

CHRISTIANNE SOARES FALCÃO E VASCONCELOS

**A USABILIDADE E AS TECNOLOGIAS EMERGENTES NO
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DE CONSUMO: UMA
ABORDAGEM EM AMBIENTES VIRTUAIS E NEUROCIÊNCIA**

Trabalho de conclusão apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Design, área de concentração Design do Produto.

Orientador: Prof. Marcelo Marcio Soares, PhD

Recife

2014

Catálogo na fonte
Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

V331u	Vasconcelos, Christianne Soares Falcão e A usabilidade e as tecnologias emergentes no desenvolvimento de produtos de consumo: uma abordagem em ambientes virtuais e neurociência / Christianne Soares Falcão e Vasconcelos. – Recife: O Autor, 2014. 332 f.: il., fig. Orientador: Marcelo Marcio Soares. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Artes e Comunicação. Design, 2015. Inclui referências, apêndices e anexos. 1. Desenho (projetos). 2. Realidade virtual. 3. Neurociências. 4. Projeto de produto. 5. Inovações tecnológicas. I. Soares, Marcelo Marcio (Orientador). II. Título. 745.2 CDD (22.ed.) UFPE (CAC 2015-143)
-------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO ACADÊMICO DE

CHRISTIANNE SOARES FALCÃO E VASCONCELOS

“A USABILIDADE E AS TECNOLOGIAS EMERGENTES NO DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS DE CONSUMO: UMA ABORDAGEM EM AMBIENTES VIRTUAIS E
NEUROCIÊNCIA.”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESIGN E ERGONOMIA.

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a)
candidato(a) **Christianne Soares Falcão e Vasconcelos APROVADA.**

Recife, 27 de outubro de 2014.

Prof. Walter Franklin Marques Correia (UFPE)

Prof^a. Laura Bezerra Martins (UFPE)

Prof^a. Amilton José Vieira de Arruda (UFPE)

Prof^a. Luis Carlos Paschoarelli (UNESP)

Prof^a. Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto (UFPR)

O filósofo da ciência J. W. Grove uma vez escreveu (Lewis, 2014):

“There is, of course, nothing strange or scandalous about divisions of opinion among scientists. This is a condition for scientific progress.”

“Existe, é claro, nada de estranho ou escandaloso sobre divergências de opinião entre os cientistas. Esta é uma condição para o progresso científico.”

***Àqueles que para mim são eternos, aos
meus filhos Rodolpho e André Luís,
dedico este trabalho.***

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta pesquisa não seria possível sem a ajuda destes que nesta página gostaria de registrar meus agradecimentos.

À minha irmã, Aninha Z, pelo apoio e principalmente pela paciência na revisão linguística do texto.

Ao prof. Marcelo Soares, pela orientação e incentivo para enfrentar o desafio de realizar esta pesquisa, possibilitando o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Aos pais, pelo incentivo e apoio.

Ao Prof. Tareq Ahram, pelas valiosas contribuições durante o meu estágio na University Central Florida.

Aos mais de 30 participantes dos experimentos, brasileiros e estrangeiros, sem os quais não seria possível essa pesquisa.

Aos queridos alunos Ana Catarina Lemos e Phillipe Burgos, pela ajuda durante os testes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

Sou-lhes grata!

RESUMO

A avaliação da usabilidade representa uma tarefa essencial no ciclo de desenvolvimento do produto ao buscar uma maior satisfação do usuário e, conseqüentemente, o sucesso do produto no mercado. Para tal, torna-se fundamental a colaboração e a comunicação eficiente entre os diversos membros da equipe. Neste âmbito, tecnologias são desenvolvidas no sentido de promover um design participativo em todas as fases do processo de design e tem provocado uma mudança de paradigmas. O objetivo desta tese consiste em investigar o potencial das principais tecnologias para a usabilidade de produtos, buscando soluções que tornem a avaliação mais eficiente e inclusiva. Uma revisão de literatura sobre usabilidade e métodos é realizada, contextualizando o tema da pesquisa. Em seguida, as tecnologias emergentes da prototipagem virtual, simulações em ambientes virtuais e a interface cérebro-computador, ou neurociência para o design, são identificadas e suas possíveis aplicações na avaliação da usabilidade apontadas. A aplicação das tecnologias emergentes e o relacionamento destas entre si é avaliada em dois estudos de caso. O primeiro estudo consiste em dois experimentos com profissionais e estudantes de Design. Um questionário foi aplicado para investigar a situação atual da aplicação das tecnologias prototipagem virtual e realidade virtual, como também realizou-se um estudo comparativo entre protótipos. No segundo estudo, um teste de usabilidade com usuários reais utilizando um sistema EEG *wireless* foi realizado para investigar as atividades cerebrais durante o uso de um produto de consumo. Como resultado, várias lições foram aprendidas, correspondendo a uma importante contribuição para pesquisas no campo do design de produtos. A tese é finalizada com as lições aprendidas e são apresentadas sugestões para futuras pesquisas.

Palavras-chave: Protótipo virtual; Realidade Virtual; EEG; Emotiv EPOC.

ABSTRACT

The usability evaluation is an essential task in the product development process to seek a greater user satisfaction and, consequently, the product success in the marketplace. For this, it is necessary the collaboration and effective communication among stakeholders. In this context, technology is developed in order to promote a participatory design at all stages of the design process and has resulted in a paradigm shift. The aims of this thesis are to investigate the potential of key technologies for testing the usability of products, and exploring solutions that make usability evaluation more efficient and comprehensive. A comprehensive literature review on usability and testing methods is provided by contextualizing the research theme. Then the emergent technologies of virtual prototyping, virtual environment simulation and brain computer interfacing or neuroscience for design are identified and possible applications in usability evaluation are outlined. The emerging technologies, their applications and how they relate to each other are evaluated in two case studies. The first study consists of two experiments with professional settings and with design students. A questionnaire was applied to investigate the present situation of virtual prototyping and virtual reality technologies application, and also a comparative study between prototypes was conducted. In the second study, a usability test with real users using a wireless EEG system was performed to investigate the brain activity during the use of a consumer product. As results show, several lessons were learned, representing an important contribution to research in the field of product design. The thesis concludes with best practices (lessons learned) and suggestions for further research.

Keywords: Virtual Prototype; Virtual Reality; EEG; Emotiv EPOC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Fluxo de desenvolvimento de novos produtos	21
Figura 1.2	Carros inteligentes nem sempre possuem um uso amigável	23
Figura 1.3	Boeing 737 propõe inovação radical para chamar comissários de bordo	23
Figura 1.4	A redução da dimensão dos dispositivos portáteis e o aumento das funções podem interferir na usabilidade	25
Figura 1.5	Modelos de Rádios-relógios	31
Figura 1.6	Radio relógio desenvolvido pela rede de hotéis Hilton	32
Figura 1.7	Distribuição dos capítulos da tese	35
Figura 2.1	Os diferentes papéis da relação usuário-produto	41
Figura 2.2	<i>SmartBoard</i>	53
Figura 2.3	Abordagem da usabilidade do produto	56
Figura 2.4	Modelo de usabilidade	61
Figura 2.5	Modelo P5 USESCAN	62
Figura 2.6	Modelo <i>Ping-Pong</i>	63
Figura 2.7	Modelo de avaliação da usabilidade	64
Figura 2.8	Visão sistêmica dos elementos de referência a partir da ergonomia	67
Figura 3.1	O processo de design centrado no usuário	71
Figura 3.2	Processo de design do produto	72
Figura 3.3	Método centrado no usuário para o design de produtos para pessoas portadoras de deficiência	74
Figura 3.4	Modelo de Desenvolvimento do Sistema de Produção	75
Figura 3.5	Avaliação da usabilidade através do ciclo de desenvolvimento do produto	76
Figura 3.6	Representação da curva número de usuários x problemas de usabilidade	90
Figura 3.7	Modelos dos produtos escolhidos para a pesquisa	97
Figura 3.8	Detalhe do menu modelo GPX C222B	101
Figura 3.9	Detalhe do menu modelo Sony ICF-C218	105
Figura 4.1	As dimensões da prototipagem	114
Figura 4.2	Alguns sinônimos de protótipo virtual	117

Figura 4.3	Gráfico de referência da relação protótipo x usuário	119
Figura 4.4	Exemplo de prototipagem mista em produtos	121
Figura 4.5	Estratégias para testes com produtos relacionados ao tempo e eficiência	121
Figura 4.6	O uso de protótipos virtuais ou mistos modificáveis permite realizar atividades de ensaio, sem a necessidade de construir continuamente novos protótipos	124
Figura 4.7	Como os dados da avaliação da usabilidade podem ser coletados a partir do uso de protótipos virtuais	125
Figura 4.8	Exemplo de uso do CATIA™ para avaliar o design de um modelo de produto	127
Figura 4.9	Exemplos de dispositivos para manipulação de objetos tridimensionais	131
Figura 4.10	Divisão do modelo em diversas partes para impressão 3D e montagem do modelo final	132
Figura 4.11	Vistas do protótipo físico final	133
Figura 4.12	Display do modelo virtual do rádio relógio	135
Figura 4.13	Menu do modelo digital para ajuste do relógio e alarme	135
Figura 4.14	Botão para desligamento do alarme	136
Figura 4.15	Apresentação do modelo digital na tela.	136
Figura 5.1	Exemplo de um Modelo Oculus Rift	144
Figura 5.2	HMD Natalia Immersive SmartGoggles	144
Figura 5.3	Cave Automatic Virtual Environment – CAVE	145
Figura 5.4	Os três I's da realidade virtual - Imersão, Interação e Imaginação	148
Figura 5.5	Tipos de imersão com base na interface física com o usuário	149
Figura 5.6	Um marcador de RA exibido através do navegador de um <i>Smartphone</i>	157
Figura 5.7	Exemplo comparativo entre um mouse convencional e um mouse háptico	160
Figura 5.8	Dispositivos hápticos como joysticks	162
Figura 5.9	Luvas de dados - (a) Luva CyberGlove (b) Luva CyberGrasp	163
Figura 5.10	Luva CyberTouch	
Figura 5.11	Mecanismos de interface háptica pessoal desenvolvidos pela empresa SensAble - (a) PHANToM Omni e (b) PHANToM Desktop	165
Figura 5.12	Luva CyberForce	166
Figura 5.13	Características da simulação em ambiente virtual	169

Figura 6.1	Comunicação entre neurônios	176
Figura 6.2	Estrutura do neurônio	177
Figura 6.3	Distribuição dos eletrodos de acordo com o Sistema Internacional 10-20 para EEG (Eletroencefalografia).	179
Figura 6.4	Headset Emotiv EPOC	181
Figura 6.5	O headset Emotiv EPOC posicionado na cabeça e apresentado nas vistas frontal e lateral	182
Figura 6.6	Disposição dos 14 eletrodos do Headset Emotiv EPOC para registro de dados EEG	182
Figura 6.7	Expressiv Suite	184
Figura 6.8	Affectiv Suite	184
Figura 6.9	Cognitiv Suite	185
Figura 6.10	Medidas EEG em tempo real com o TestBench	186
Figura 7.1	Distribuição das três fases do estudo de caso I	191
Figura 7.2	Distribuição dos questionários respondidos de acordo com o meio de divulgação	193
Figura 7.3	Gráfico com a quantidade de respostas para cada item sugerido da questão 12	201
Figura 7.4	Protótipo virtual do rádio relógio visualizado na tela do iPad a partir do software eDrawings	203
Figura 7.5	Protótipo físico com as etiquetas indicativas dos botões do menu	204
Figura 7.6	Cenário do estudo comparativo com protótipos	207
Figura 7.7	Resultados das questões 1, 2 e 3 sobre o protótipo virtual	209
Figura 7.8	Resultados das questões 5, 6 e 7 sobre o protótipo físico	211
Figura 7.9	Resultado da comparação entre protótipos quanto a eficiência na avaliação sugerida na pesquisa	213
Figura 7.10	Resultados da avaliação pós-teste	214
Figura 8.1	Laboratório de Interação Humano Computador da Universidade Central Florida	219
Figura 8.2	Modelos do rádio relógio utilizados no cenário 2	221
Figura 8.3	Planta baixa do Laboratório de Interação Humano-Computador da Universidade Central Florida	223
Figura 8.4	Exemplo da ferramenta Scroll para remoção das áreas de ruído	227
Figura 8.5	Exemplo do mapa com dados EEG por participante	227

Figura 8.6	Gráfico dos resultados da questão 3 - aparência visual	229
Figura 8.7	Gráfico dos resultados sobre a Tarefa 1: ajuste da hora	230
Figura 8.8	Gráfico dos resultados sobre a Tarefa 2: ajuste do alarme	231
Figura 8.9	Gráfico dos resultados sobre a Tarefa 3: parar e cancelar o alarme	232
Figura 8.10	Gráfico da questão 1 sobre usabilidade	234
Figura 8.11	Gráfico da questão 2 sobre usabilidade	235
Figura 8.12	Gráfico da questão 3 sobre usabilidade	236
Figura 8.13	Gráfico da questão 4 sobre usabilidade	237
Figura 8.14	Gráfico da questão 5 sobre usabilidade	237
Figura 8.15	Gráfico da questão 6 sobre usabilidade	238
Figura 8.16	Gráfico da questão 7 sobre usabilidade	239
Figura 8.17	Gráfico da seção 5 do questionário durante o teste – protótipo virtual	240
Figura 8.18	BoxPlot dos valores 'Y' para os produtos A, B e PV	243
Figura 8.19	Resultado do Teste Friedman para os valores Int. Y	244
Figura 8.20	Resultado da avaliação dos participantes sobre os procedimentos do experimento	245
Figura 9.1	Processo para Avaliação da Usabilidade	250

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Principais diferenças entre produtos comerciais e de consumo	51
Quadro 2.2	Dimensões da usabilidade a partir de diversos autores e norma ISO	57
Quadro 2.3	Dimensões da usabilidade para produtos de consumo eletrônicos	58
Quadro 2.4	Taxonomia dos modelos de usabilidade	60
Quadro 3.1	Tamanho ideal do grupo de participantes para várias finalidades de Usabilidade	93
Quadro 3.2	Quadro conceitual das variáveis do contexto	96
Quadro 3.3	Quadro com as dez heurísticas utilizadas no estudo piloto	98
Quadro 4.1	Comparação entre as técnicas de prototipagem de média fidelidade	115
Quadro 4.2	Checklist das situações onde o uso dos protótipos físicos ou virtuais é mais adequado	118
Quadro 5.1	Definições das terminologias hápticas	162
Quadro 6.1	Emotiv SDKs	183
Quadro 7.1	Classificação dos participantes de acordo com ocupação e localidade	194
Quadro 8.1	Ordem de uso do protótipo e dos produtos por participante	225

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Percentagem total de problemas de usabilidade encontrados em uma análise de amostras 100	92
Tabela 6.1	Faixas e frequências do EEG	178
Tabela 7.1	Respostas da questão 3	196
Tabela 7.2	Respostas da questão 4	197
Tabela 7.3	Respostas da questão 5	198
Tabela 7.4	Respostas da questão 6	198
Tabela 7.5	Relação das características quanto aos grupos de usuários	208
Tabela 8.1	Tabela dos dados EEG	241
Tabela 8.2	Medidas descritivas dos valores 'Y' para os produtos A, B e PV	242
Tabela 8.3	Percentis dos valores 'Y' para cada produto	242
Tabela 8.4	Teste de normalidade dos valores 'Y' para os três produtos	243
Tabela 8.5	Resultados do teste par a par	244

SUMÁRIO

PARTE I - CONTEXTUALIZAÇÃO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Usabilidade e contexto	20
1.1.1 Efeitos da usabilidade	22
1.1.2 Fatores que interferem na usabilidade	24
1.2 Abordagens da pesquisa	26
1.2.1 Definição do problema	26
1.2.2 Hipóteses da pesquisa	28
1.2.3 Objetivos da pesquisa	28
1.2.4 Metodologia da pesquisa	29
1.2.5 Escolha do produto da pesquisa	30
1.2.6 Estrutura da Tese	32
 CAPÍTULO 2 USABILIDADE DO PRODUTO	 36
2.1 O que é Usabilidade?	37
2.1.1 Usabilidade do produto de consumo	39
2.1.2 Conceito de usabilidade do produto a partir das normas ISO	43
2.1.3 Design de produto, ergonomia e usabilidade	44
2.2 Abordagens da usabilidade	47
2.2.1 Caracterizando o Usuário	47
2.2.2 Compreendendo o conceito de produtos de consumo	50
2.2.3 Produtos inteligentes	52
2.2.4 Contexto de uso dos produtos de consumo	54
2.3 Dimensões da usabilidade	55
2.4 Modelos de usabilidade	59
2.5 Considerações finais do capítulo	65
 CAPÍTULO 3 USABILIDADE E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	 68
3.1 Sistemas de Desenvolvimento do Produto	69
3.1.1 Modelos proposto por Buurman (1997)	71
3.1.2 Modelo proposto por French (1999)	72
3.1.3 Modelo proposto por Soares (1998)	73
3.1.4 Análise dos modelos e o papel da usabilidade	75
3.2 Métodos para criação de produtos utilizáveis	76
3.2.1 Design Centrado no Usuário	77
3.2.2 Engenharia da Usabilidade	78
3.3 Métodos para avaliação da usabilidade	79
3.3.1 Avaliação heurística	80
3.3.2 Método <i>Walkthrough</i>	84
3.3.3 Testes de usabilidade	85

3.3.4	Questionários	87
3.3.5	Comparação entre métodos com especialistas e com usuários	88
3.4	Seleção dos participantes	89
3.5	Seleção das medidas de usabilidade	93
3.6	Estudo Piloto	94
3.6.1	Metodologia do experimento	95
3.6.2	Resultados da avaliação com o radio relógio GPX C222B ..	99
3.6.3	Resultados da avaliação com o radio relógio Sony ICF-C218	103
3.6.4	Resultados da aplicação dos métodos	107
3.7	Considerações finais do capítulo	108

PARTE II - TECNOLOGIAS EMERGENTES

CAPÍTULO 4 	PROTOTIPAGEM VIRTUAL	109
4.1	Definição de protótipo	110
4.1.1	Precisão	112
4.1.2	Representação	115
4.1.3	Interatividade	119
4.1.4	Evolução	122
4.2	Prototipagem e avaliação da usabilidade	122
4.3	Métodos de prototipagem virtual	126
4.3.1	Representação tridimensional versus bidimensional	128
4.3.2	Conversão do protótipo virtual para o protótipo físico	129
4.4	Construção dos protótipos para os estudos de caso.....	130
4.4.1	Estudo de Caso I - Protótipo Virtual	130
4.4.2	Estudo de Caso I - Protótipo Físico	132
4.4.3	Estudo de Caso II - Protótipo Virtual	133
4.5	Considerações finais do capítulo	137
CAPÍTULO 5 	SIMULAÇÕES EM AMBIENTE VIRTUAL	139
5.1	Simulação e Design	140
5.1.1	Dispositivos de simulação disponíveis para o design	142
5.2	Realidade Virtual	147
5.2.1	Os vértices da RV	149
5.2.2	A RV aplicada ao design de produtos	152
5.3	Realidade Aumentada	155
5.3.1	A RA aplicada ao design de produtos	158
5.4	Dispositivos Hápticos	159
5.4.1	Captura dos movimentos das mãos	163
5.4.2	Captura dos movimentos das pernas e braços	165
5.4.3	Captura dos movimentos do corpo	167
5.4.4	Dispositivos hápticos aplicados ao design de produtos	167
5.5	Considerações sobre a interface em ambiente virtual	168
5.6	Considerações finais do capítulo	170

CAPÍTULO 6 USABILIDADE E NEUROCIÊNCIA	172
6.1 Conceito de Neurociência	173
6.1.1 Interface Cérebro-Computador	175
6.1.2 Mecanismos de comunicação entre os neurônios	176
6.1.3 Eletroencefalografia - EEG	177
6.2 O Sistema Emotiv EPOC®	180
6.2.1 Control Panel	183
6.2.2 TestBench	185
6.3 Eletroencefalografia aplicada ao design de produtos	187
6.4 Considerações finais do capítulo	189

PARTE III – ESTUDOS DE CASOS

CAPÍTULO 7 ESTUDO DE CASO I – AMBIENTE VIRTUAL E PROTÓTIPOS	190
7.1 Metodologia do estudo de caso I	191
7.2 Questionário sobre RV e Prototipagem Virtual	192
7.2.1 Resultados do questionário	194
7.2.2 Resumo dos resultados do questionário	201
7.3 Estudo comparativo entre protótipos	202
7.3.1 Preparação do cenário	203
7.3.2 Processo do experimento	206
7.3.3 Resultados do experimento	207
7.3.4 Resumo dos resultados do experimento	215
7.4 Considerações finais do capítulo	215
CAPÍTULO 8 ESTUDO DE CASO II – EEG E TESTE DE USABILIDADE	217
8.1 Metodologia do estudo de caso II	218
8.2 Planejamento do Teste de Usabilidade	219
8.2.1 Variáveis do Contexto	219
8.2.2 Instrumentos e medidas	221
8.2.3 Montagem do sistema	223
8.2.4 Processo do experimento	224
8.2.5 Software para coleta dos dados EEG (EEGLAB)	225
8.3 Resultados do experimento	228
8.3.1 Resultados do Questionário Durante o Teste	228
8.3.2 Análise dos resultados	242
8.3.3 Resultados do Questionário Pós-teste	245
8.4 Considerações finais do capítulo	246

PARTE IV – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

CAPÍTULO 9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	248
9.1 Revisão das principais descobertas da pesquisa	248
9.1.1 A revisão de literatura	248
9.1.2 As tecnologias emergentes	251

9.1.3 Os estudos de campo.....	254
9.1.4 Lacunas identificadas	256
9.2 Conclusões	257
9.3 Indicações para estudos futuros	258
 REFERÊNCIAS	 260
 APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DA USABILIDADE POR ESPECIALISTA	 275
APÊNDICE B – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO DO PVII	281
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO REALIDADE VIRTUAL E PROTOTIPAGEM	285
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO ESTUDO COMPARATIVO COM PROTÓTIPOS	288
APÊNDICE E – CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	292
APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE	295
APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO DURANTE O TESTE - PRODUTO	297
APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO DURANTE O TESTE – PROTÓTIPO VIRTUAL	300
APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE	303
APÊNDICE J – CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO	305
APÊNDICE H – MAPA DE DADOS EEG DOS PARTICIPANTES	309
 ANEXO A - APROVAÇÃO DO CONSELHO ÉTICA DA UNIVERSITY CENTRAL FLORIDA	 325

Capítulo 1

Introdução

"Prototipagem virtual leva à redução dos custos e a um aumento da eficiência na indústria."

(Nesbitt, 2013)

O desenvolvimento de novas ferramentas tecnológicas para suporte ao design tem provocado uma mudança de paradigmas no que se refere ao processo de desenvolvimento do produto. Acredita-se que para garantir o sucesso de um produto é necessário que haja integração entre as diversas partes durante todas as fases do processo. Ou seja, a colaboração e a comunicação eficiente são fundamentais entre os desenvolvedores do produto (designers e engenheiros), os especialistas de mercado (profissionais de marketing e gestores), os clientes (aqueles que contratam o projeto) e os usuários finais.

No entanto muitas das técnicas utilizadas para apresentar as propostas do projeto não são compreendidas por todas as partes, como por exemplo, muitos modelos em CAD (Computer Aided Design) facilitam a comunicação entre os designers, mas muitas vezes não são compreendidos pelos usuários ou clientes. Para atender a esta necessidade, tecnologias como a prototipagem virtual são desenvolvidas no sentido de promover um design participativo em todas as fases do ciclo de desenvolvimento do produto.

Com base nos autores Nesbitt e Redwood, foi possível destacar alguns aspectos do uso de tecnologias emergentes na avaliação da usabilidade para serem abordados ao longo da tese. Abble Nesbitt (NESBITT, 2013), em seu artigo para a revista *Appliance Design*, apresenta a prototipagem virtual como um importante recurso no desenvolvimento de produtos por permitir que o projeto do produto seja explorado a partir de uma simulação digital, reduzindo o número de reconstruções de protótipos físicos e consequente redução do desperdício de material.

Porém o ponto mais interessante apontado pelo autor, consiste em apresentar as recentes inovações realizadas nas tecnologias virtuais, permitindo que a prototipagem virtual se torne mais acessível e versátil. Empresas que desenvolvem estas tecnologias estão cada vez mais criando soluções que possam ser adquiridas por pequenas e médias empresas de design, um recurso que anteriormente só era concedido a grandes empresas.

Nesbitt (2013) cita como exemplo a CAVE (*Automatic Virtual Environment*). Esta tecnologia permite uma visualização imersiva de objetos 3D em tempo real, sendo utilizada não apenas para observação do produto, mas também para a análise de todo o sistema antes da fabricação. Atualmente, um grande obstáculo para a sua utilização corresponde ao alto

custo de aquisição, sendo apenas construída e operada por grandes corporações, tais como universidades, empresas automobilísticas e instituições governamentais. No entanto, empresas têm se esforçado para reduzir os custos de equipamentos de *hardware* e *software* utilizados não apenas na CAVE, mas em todas as tecnologias que lidam com ambientes virtuais.

Em outro artigo Guy Redwood (REDWOOD, 2011), da empresa SimpleUsability, apresenta um sofisticado sistema de medida das correntes elétricas cerebrais. O sistema utiliza um *headset* com a tecnologia eletroencefalograma (EEG), e corresponde ao mais novo periférico da Interface Cérebro-Computador (ICC). Associando-se a este sistema os conhecimentos da neuropsicologia moderna, os estados afetivos básicos do usuário, incluindo emoção, envolvimento, frustração e meditação, podem assim ser extraídos e documentados, representando uma excelente oportunidade para os estudos da satisfação do usuário quanto ao uso do produto.

Diante dos exemplos citados, podemos perceber que a tecnologia tem a flexibilidade de permitir a equipe de projeto e aos usuários uma melhor interação e em consequência encontrar as respostas necessárias no projeto de produtos.

1.1 Usabilidade e contexto

Consumidores passaram a adquirir grandes vantagens a partir do crescente interesse da indústria no investimento de produtos inovadores e no desenvolvimento de novas estratégias de negócios, tendo em vista que a globalização disponibiliza uma vasta gama de informações, tornando o consumidor mais exigente e difícil de agradar, o que impulsiona a necessidade de inovação e criação de novos produtos e serviços (SHULZE, 2011; DUL et al., 2012).

Este fato pode ser comprovado com as ações da Consumer Reports.org¹ (CR). A CR corresponde a uma organização mundial independente e livre da influência comercial, composta por especialistas para avaliar a usabilidade de novas tecnologias e produtos e alertar sobre os perigos em potencial. Sua missão consiste em trabalhar para um mercado justo e seguro, capacitando o consumidor à proteger-se na hora da compra. No *website* da organização, por exemplo, é possível encontrar um aplicativo para *smartphone* que permite

¹ <http://www.consumerreports.org/cro/about-us/our-mission/index.htm>

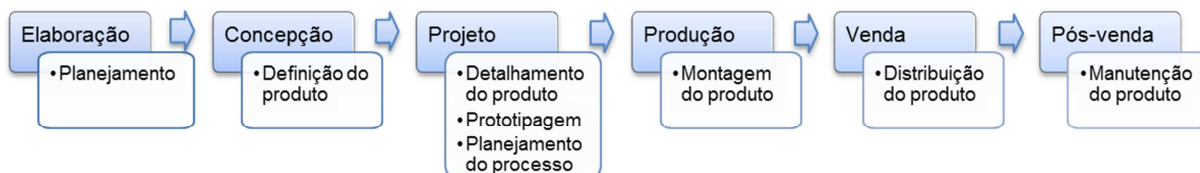
ao consumidor acessar informações sobre produtos em qualquer lugar, evitando a famosa compra pela emoção².

Nesse panorama, a busca por inovações tecnológicas tem sido alvo de investigação da indústria para melhorar a competitividade, aumentar o desempenho e otimizar o custo total. Neste contexto, o projeto, testes e avaliação da usabilidade representam uma tarefa essencial no ciclo de desenvolvimento do produto, sempre em busca de uma maior satisfação do usuário e, conseqüentemente, atingir o sucesso no mercado. A usabilidade e a ergonomia passaram a exercer um importante papel neste contexto. Usabilidade representa a facilidade de uso do produto, e para tanto é preciso, antes de tudo, conhecer quem é o usuário/consumidor e quais os seus níveis de exigências, a fim de atendê-lo com eficiência. A ergonomia, nestas circunstâncias, apresenta-se como uma disciplina essencial na análise da interface entre o produto e o usuário.

Nielsen (1993) afirma que para uma empresa que vende *softwares* ou qualquer outro produto para o mercado, a usabilidade contribui de forma significativa para a reputação da empresa fornecendo qualidade. Segundo o autor, basta um simples produto com usabilidade pobre para causar um dano nas vendas de todos os outros produtos da mesma família. Acosta et al. (2011), corroboram com esta premissa de Nielsen, afirmando que empresas identificam a ‘usabilidade do dia-a-dia’ como sendo um elemento estratégico na competitividade, eficiência, diferenciação e boas práticas pela integração da usabilidade em todos os diferentes processos no ciclo de desenvolvimento do produto, incluindo sua influência nos valores de concepção, fidelidade da marca e inovação.

O desenvolvimento do produto corresponde à transformação da oportunidade de mercado em um produto disponível para venda (KRISHNAN; ULRICH, 2001). Como forma de sistematizar o processo de desenvolvimento, cada empresa adota um fluxo de trabalho próprio, cujo objetivo consiste em ordenar e coordenar todas as atividades do projeto. A Figura 1.1 apresenta um exemplo de fluxo de desenvolvimento do produto.

Figura 1.1 – Fluxo de desenvolvimento de novos produtos.



Fonte: Adaptado de Silva e Lourenção (2005).

² <http://www.consumerreports.org/cro/video-hub/miscellaneous/about-us/no-one-tests-like-we-do/35157223001/32326377001/>

Conforme a figura 1.1, no design de produtos vários estágios são necessários durante o processo de projeto para garantir o sucesso do produto final. Os testes de usabilidade geralmente são realizados na fase de prototipagem, que corresponde ao processo de construção, modificação e teste de protótipos, até a produção do produto final. Corresponde a uma atividade fundamental para estruturar inovação, colaboração e criatividade ao design, e pode fazer a diferença no lançamento do produto no mercado (LIU, 2011).

Nesta fase o designer precisa avaliar as necessidades dos usuários em termos de usabilidade e apelo ao prazer, emoção, segurança e individualização, a fim de garantir produtos compatíveis com as atuais exigências de mercado (SEVA et al., 2011). Manter o usuário interessado no produto exige competência dos designers e ergonomistas, que têm investido na racionalização do processo de projeto para gerir conhecimento, habilidades e acervo tecnológico.

Para atender a tais necessidades, as inovações tecnológicas são ferramentas importantes que podem permitir um maior suporte na concepção, desenvolvimento e avaliação de produtos. Este projeto de pesquisa é inserido neste contexto com o objetivo de investigar o uso destas tecnologias na avaliação da usabilidade de produtos de consumo.

1.1.1 Efeitos da usabilidade

A usabilidade do produto pode ser entendida a partir do modo como as pessoas interagem com o produto. A interação além de se manifestar em forma de desempenho, como qualidade na execução da tarefa e esforços necessários, representa também uma "experiência" aos sujeitos. Forlizzi & Battarbee (2004), descrevem experiência como uma avaliação contínua dos objetivos de um sujeito em relação às pessoas, produtos e ambientes que o cercam. Quando estes objetivos são alcançados a experiência do mesmo é positiva.

A qualidade da experiência do usuário com o produto poderá ter consequências na repercussão das empresas no mercado. As consequências de uma má usabilidade dos produtos poderá representar, neste caso, um aumento dos recursos necessários para lidar com o suporte ao cliente e reclamações. A seguir são apresentados alguns exemplos da importância da usabilidade na experiência do usuário, e como o sucesso de mercado pode ser afetado.

Os novos sistemas eletrônicos com *softwares* mal projetados têm sido um dos responsáveis pela queda nos índices de qualidade da empresa Ford Motors nos últimos quatro anos (LANCASTER, 2012). O novo sistema *MyFordTouch* foi desenvolvido adotando o conceito

de veículo 'inteligente' e aclamado como o início de uma nova era (Figura 1.2). O sistema tem o controle de tudo, som, ar condicionado, iluminação interior e etc., mas estas funções vêm provocando dificuldades no uso pelos usuários desde quando foi implantado em 2010. Neste período os consumidores reclamaram das interfaces confusas e complexas do sistema, além do sistema apresentar respostas extremamente lentas e uma grande variedade de falhas no *software*. Tal fator reforça o conceito de que a usabilidade é fundamental para o sucesso de qualquer produto. Conforme Lancaster (2012), o lançamento de um produto sem a quantidade adequada de testes pode arruinar com a reputação de uma empresa, principalmente se este produto representar uma tecnologia de ponta.

Figura 1.2 - Carros inteligentes nem sempre possuem um uso amigável.



Fonte: <http://usabilitygeek.com/jd-power-poor-usability-ford-quality-ratings/>

Figura 1.3 - Boeing 737 propõe inovação radical para chamar comissários de bordo.



Fonte: <http://www.reuters.com/article/2011/06/21/us-airshow-button-odd-idUSTRE75K4AM20110621>

Os botões de chamada dos comissários de bordo são usualmente localizados próximos aos botões da lâmpada de leitura individual e muitas vezes indistinguíveis, ocasionando o seu acionamento por engano e levando os comissários a realizar inúmeras viagens desnecessárias pelos corredores, para ouvir dos passageiros envergonhados que os mesmos estavam apenas tentando acender a luz. Para evitar tal constrangimento, foi sugerida uma mudança radical, porém óbvia, no sistema de comunicação do Boeing 737, o avião mais vendido na história da aviação, localizando o botão de chamada do comissário distante do botão da luz de leitura (Figura 1.3).

Outro exemplo de usabilidade do produto é o *e-book reader*, ou livro digital, em comparação com o livro tradicional. van Kuijk (2010) cita o seguinte exemplo de um diretor de uma cadeia de livrarias na Holanda:

"Os livros eletrônicos são muito convenientes, especialmente se você estiver em uma viagem. (...) O verdadeiro livro é insuperável por causa de sua superior facilidade de

utilização. Muitas vezes você só quer voltar algumas páginas e reler o que um personagem disse. Tente fazer isso com um e-book."

Conforme citação acima, ambos os sistemas possuem vantagens e desvantagens no seu uso. Se o objetivo consiste em rever uma informação ou o conteúdo de uma página, os livros convencionais podem ser considerados mais eficientes, mas se o objetivo for levar vários livros para ler durante uma viagem de férias, por exemplo, um *e-reader* pode ser uma solução mais eficaz.

Nielsen (2009) realizou um teste com o *e-reader* Amazon Kindle 2, lendo metade de um livro com este equipamento e a outra metade com um livro clássico de papel. O autor concluiu que o Kindle 2 estava bem adaptado para os textos lineares e não encontrou nenhuma diferença na velocidade de leitura entre ambos. Nielsen apontou vantagens no uso dos *e-readers* tais como menor peso para o transporte, a possibilidade de modificar o tamanho da fonte, uma boa legibilidade na impressão e a integração de multidispositivos. Porém observou problemas na navegação e a classificou como não intuitiva, sendo a leitura dos textos não lineares, como por exemplo de um jornal, desconfortável.

De acordo com Siegenthaler et al. (2010), os leitores digitais precisam apresentar uma boa usabilidade para substituir o livro clássico, o que não tem acontecido de fato. Os autores apontam que apesar desta tecnologia permitir um processo de leitura muito similar aos livros tradicionais, há uma necessidade da integração de funções que possibilitem o uso de forma mais intuitiva.

Em adição ao que foi mencionado neste tópico, a abordagem de Jordan (1998) observou que os produtos são destinados à comodidade e ao desfrute das pessoas, se estes são difíceis de usar e causam aborrecimentos, acabam por destruir o propósito ao qual foram destinados.

1.1.2 Fatores que interferem na usabilidade

Conforme vem sendo apontado, um produto com baixa usabilidade pode ter sérias consequências para o usuário, assim como para o mercado. Na interação humano-produto três fatores tomam parte e podem influenciar na usabilidade: o usuário, o produto e o ambiente.

Os usuários de produtos de consumo possuem características e culturas distintas, apresentando diferentes necessidades, preferências e costumes, o que representa um desafio para se alcançar a usabilidade. Por outro lado, usuários estão menos tolerantes aos problemas de qualidade do produto, que incluem usabilidade (DEN OUDEN, 2006).

O número de funções em muitos produtos de consumo vem aumentando significativamente ao longo do tempo, ocasionado em virtude dos avanços tecnológicos (NORMAN, 2006). Em contrapartida o tamanho desses produtos tem diminuído o que ocasiona o acesso às funções em interfaces menores. Por exemplo, um dispositivo musical portátil que antes era apenas utilizado para ouvir música, hoje permite vários aplicativos (ver Figura 1.4). Outro fator a considerar é que produtos menores podem ser utilizados em vários tipos de ambientes, pois são facilmente transportados, representando um desafio prever todas as situações de uso (VAN KUIJK, 2010).

Figura 1.4 – A redução da dimensão dos dispositivos portáteis e o aumento das funções pode interferir na usabilidade.



Fonte: A Autora

Juntamente com o aumento das funções, a complexidade dos produtos vem aumentando, podendo tornar o uso mais difícil pelas pessoas, principalmente as que possuem pouca familiaridade tecnológica. Por outro lado há uma pressão do mercado para a redução do tempo de lançamento de novos produtos, prevendo um período reduzido para os testes de usabilidade, nas quais muitas das recomendações advindas destes testes não possam ser implantadas (MINDERHOUD; FRASER, 2005).

A complexidade crescente nos produtos tem exigido a colaboração de equipes multidisciplinares, inclusive acrescidas de membros de vários países (MINDERHOUD; FRASER, 2005), o que pode dificultar a comunicação da equipe e ocasionar uma redução da qualidade do produto.

1.2 Abordagens da pesquisa

Nesta seção, as observações que vêm sendo apontadas serão sintetizadas para a construção do problema da pesquisa. Em seguida serão introduzidas as questões da pesquisa e finalmente o esboço do projeto de pesquisa.

1.2.1 Definição do problema

Conforme os itens anteriores, os produtos de consumo são projetados para atender a uma determinada demanda e estão se tornando cada vez mais complexos. A introdução de novos produtos no mercado pode ocasionar novos problemas, bem como novas oportunidades, nas quais o design é agente transformador. Conforme esclarece Carroll (2000, p.48), "o design é sempre indeterminado porque muda o mundo onde as pessoas agem e passam por experiências".

No apoio a uma abordagem do design de produtos se faz necessária a participação do usuário durante todo o processo de desenvolvimento do produto, nas quais as decisões de projeto são tomadas pela equipe de design com base nos requerimentos do produto, sendo este um processo dinâmico. As propostas de projeto para a avaliação geralmente são geradas a partir de modelos utilizando os sistemas convencionais CAD (*Computer Aided Design*), que vem demonstrando ser uma ferramenta bastante eficaz, principalmente no design de novos produtos.

Entretanto, conforme Ye e Campbell (2006), os sistemas CAD não são adequados para suportar as atividades de design conceitual e somente têm sido utilizados nos últimos estágios do processo de design, como por exemplo, na fase de detalhamento. A interação

com os sistemas CAD para os propósitos de modelagem ainda é mediada pelos tradicionais dispositivos I/O, por exemplo, mouse, teclado e monitores 2D. Tal fator impõe restrições aos designers para a elaboração de objetos tridimensionais, tendo que converter as informações 3D em 2D para uma interpretação visual.

Outro fator a considerar é que muitos designers de produto ainda não têm experiência na modelagem geométrica em 3D utilizando os sistemas CAD e preferem utilizar lápis e papel na concepção de projetos. Desta forma, a comunicação de ideias com os outros participantes do processo é dificultada, prolongando o tempo das atividades ainda nas primeiras fases do ciclo de desenvolvimento do produto. Sendo assim, é evidente a necessidade de implantar novas interfaces humano computador (HCI), especialmente dando suporte ao design conceptual, permitindo aos designers concentrarem-se nos aspectos criativos em vez de tentarem resolver as restrições de interação.

Neste sentido, a aplicação de tecnologias avançadas no design vem crescendo substancialmente, e transformando o processo de desenvolvimento do produto. A tecnologia da prototipagem virtual, por exemplo, vem sendo utilizada para proporcionar uma rápida visualização das várias alternativas de projeto ainda nas fases iniciais do design do produto.

Como exemplo dos sistemas de representação, a tecnologia da realidade virtual (RV) vem sendo apontada como uma ferramenta potencial para o design de produtos participativos (KOVÁC et al., 2012). Tais tecnologias associadas ao conhecimento do designer podem promover testes de usabilidade do produto mais eficazes e abrangentes ainda nos primeiros estágios do projeto (FALCÃO; SOARES, 2012 e 2013), possibilitando aos usuários reais, a interação com dispositivos através de todos os sentidos e não apenas a visão (BARBIERI et al., 2013). Contudo, apesar das intensas pesquisas e desenvolvimento na área de ambientes virtuais, estes apresentam ainda um campo a ser explorado para promover a avaliação da usabilidade.

Outro exemplo que vem sendo apontado corresponde à adição de tecnologias para o rastreamento ocular (*eye tracking*), permitindo observar o que os usuários realizam naturalmente em oposição ao que pensam estar fazendo, representando também um novo campo a ser explorado. No entanto, o *eye tracking* não pode inferir no que foi sentido pelo usuário. Para atender a tal necessidade, o sistema de medidas oferecido pelo eletroencefalograma (EEG) permite extrair marcadores chave da experiência emocional do usuário a partir da leitura das atividades elétricas do cérebro (REDWOOD, 2011). Recentemente a tecnologia EEG passou a ser mais acessível a partir do desenvolvimento de um *headset wireless*. Se antes as soluções em EEG eram demasiadamente caras e não permitiam uma experiência confortável ou natural para os participantes, com o uso do

headset passou a ser permitido ao usuário movimentar-se livremente com um sistema de fácil calibração e baixo custo.

Neste contexto, a tecnologia desempenha um importante papel na procura de soluções que tornem a avaliação da usabilidade mais eficiente e inclusiva. Identificar como estas tecnologias emergentes podem contribuir para uma melhor avaliação do uso, representa compreender a importância da usabilidade no processo de desenvolvimento do produto.

Com base nestes avanços tecnológicos, a abordagem desta pesquisa não pretende buscar novos métodos de avaliação, por si só, mas investigar o que é necessário para uma análise de produto, quais tecnologias estão disponíveis e o que precisa avançar, buscando uma base sobre a qual o desenvolvimento de novos métodos de avaliação da usabilidade em ambientes virtuais possa ser baseado em futuras pesquisas decorrentes a partir deste trabalho.

1.2.2 Hipóteses da pesquisa

Para o desenvolvimento desta pesquisa, as seguintes hipóteses foram levantadas:

- Os testes com protótipos virtuais em um ambiente virtual simulado, são eficientes para avaliar a usabilidade de produtos de consumo ainda nos primeiros estágios do ciclo de design, possibilitando a substituição dos testes com protótipos físicos.
- As atividades cerebrais medidas a partir da eletroencefalografia (EEG), permitem definir o nível de satisfação do usuário com o uso do produto de consumo em uma avaliação da usabilidade.

1.2.3 Objetivo da pesquisa

O objetivo desta pesquisa consiste em obter conhecimento sobre a prática atual da avaliação da usabilidade no desenvolvimento de produtos de consumo e identificar novas ferramentas desenvolvidas a partir do avanço tecnológico, e avalia-las no design do produto.

Este objetivo conduz às seguintes questões a serem investigadas:

- Como a avaliação da usabilidade vem sendo abordada no desenvolvimento de produtos de consumo?
- Quais recursos tecnológicos vêm sendo utilizados na prática da avaliação da usabilidade de produtos de consumo?
- Como as novas ferramentas contribuem ou dificultam na avaliação da usabilidade de produtos e como as variáveis são relacionadas?

Para responder às questões apresentadas, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- Identificar métodos de avaliação da usabilidade aplicáveis a produtos de consumo.
- Identificar novos recursos tecnológicos nos campos da prototipagem virtual, realidade virtual e neurociência, aplicáveis à avaliação da usabilidade e caracterizá-los como ferramentas.
- Avaliar a possibilidade de aplicação destas ferramentas na avaliação da usabilidade.

1.2.4 Metodologia da pesquisa

Quatro características foram adotadas para o desenvolvimento do presente estudo, sendo estas: a pesquisa possui uma abordagem integrada, os estudos focam nas fases iniciais do desenvolvimento do produto, as questões da pesquisa buscam por uma abordagem qualitativa e, buscou-se estudos de caso que se relacionam entre si.

Integração

Para a avaliação da usabilidade foram empregados métodos que tiveram por objetivo identificar os problemas potenciais no uso dos produtos pelo usuário, desde as fases iniciais do ciclo de desenvolvimento de produtos. Esta atividade também envolve diferentes atores além do designer, tais como gerentes, engenheiros e especialistas de diversas áreas. A abordagem da pesquisa foi baseada na avaliação de como as tecnologias emergentes contribuem para a integração dos métodos de usabilidade existentes. Nesta abordagem considerou-se diversos atores, entre eles o usuário, e o contexto pelo qual a avaliação é realizada.

Prática orientada

A fase mais decisiva para o desenvolvimento do produto é quando os primeiros testes com usuários e especialistas são realizados. Nesta fase é possível identificar problemas de usabilidade e corrigi-los mais facilmente, como por exemplo, utilizar métodos de prototipagem que permitem modificações mais rápidas. Por esta razão este estudo busca alternativas de ferramentas para serem aplicadas a esta fase em particular. Para tal, teve como foco adotar uma abordagem centrada na prática, ou seja, enquanto o tema é explorado a partir da revisão de literatura, foram realizadas entrevistas com profissionais de usabilidade e especialistas, assim como estudos de caso com usuários reais.

Qualitativo

Em face do número limitado de pesquisas abordando a usabilidade e tecnologias emergentes no desenvolvimento de produtos de consumo, desconhecemos quais variáveis na prática influenciam na avaliação da usabilidade. Este fator limitou a possibilidade de conduzir estudos a partir de uma abordagem quantitativa. O problema em questão, neste contexto, requer uma abordagem de pesquisa qualitativa. A pesquisa qualitativa tem sido defendida como a melhor estratégia para a descoberta e exploração de uma nova área e o desenvolvimento de hipóteses (MILES; HUBERMAN, 1994), cujo método de pesquisa preliminar aplicado é o estudo de caso. Este método é indicado para estudos explicativos em um conjunto contemporâneo de acontecimentos, sobre os quais o investigador tem pouco ou nenhum controle (YIN, 2009).

Estudo de caso

O mesmo fenômeno, como as tecnologias emergentes podem ser aplicadas na avaliação da usabilidade, foi estudado a partir de uma pesquisa exploratória com dois estudos de caso. Conforme Gil (1996), a pesquisa exploratória tem como foco a familiarização com o problema, construindo os conhecimentos necessários para melhor compreendê-lo.

Os estudos de caso foram baseados na revisão bibliográfica, ou seja, a partir de estudos exploratórios baseados em materiais já publicados (MARCONI; LAKATOS, 2010). O primeiro estudo investiga a simulação em ambiente virtual e o segundo estudo acrescenta a contribuição da neurotecnologia, ambos integram a tecnologia da prototipagem virtual. Para a construção destes cenários da pesquisa, foi realizado primeiramente um estudo piloto para a investigação e escolha do produto a ser pesquisado, seguido por um estudo para a elaboração dos protótipos virtuais e físico a serem utilizados. Esta abordagem gradual oferece a possibilidade de preparar os recursos para o estudo de caso subsequente, assim como aumentar o nível de detalhes a cada etapa do estudo. De forma complementar, foi também avaliada a opinião do designer sobre prototipagem e a realidade virtual a partir de um questionário.

1.2.5 Escolha do produto da pesquisa

O produto escolhido para o estudo da usabilidade foi o radio-relógio (*alarm clock*). A escolha se deu pelo fato do usuário ter um baixo interesse por este produto, em comparação com produtos que possuam alta tecnologia e que poderiam interferir na expectativa do usuário quanto à usabilidade e à aplicação dos métodos de avaliação. Tractinsky et al. (2000) descrevem em seu artigo intitulado "*What is beautiful is usable*" (O que é bonito é utilizável),

que uma avaliação positiva da aparência de uma interface não apenas impacta as expectativas sobre a usabilidade, mas também pode influenciar nos resultados da avaliação da usabilidade pelo usuário após ter experimentado o produto. Outro fator considerado foi que as pessoas são bastante familiarizadas com este tipo de produto, facilitando não apenas a seleção de usuários como também a sua utilização.

Baseados neste fator, van Kuijk et al. (2009) realizaram um estudo sobre a usabilidade através da experiência dos usuários e a usabilidade esperada. De acordo com a figura 1.5, o radio-relógio descrito pelos usuários como "lúdico" e "divertido", localizado no centro da figura, teve uma usabilidade esperada bastante elevada. Em contrapartida, após o seu uso, o produto foi descrito como muito difícil de usar. No entanto tal fator foi possível pelo fato dos usuários já terem experiência com este tipo de produto, facilitando a identificação dos problemas de usabilidade.

Figura 1.5 – Modelos de Rádios-relógios



Fonte: Kuijk et al. (2009)

Donald Norman, um famoso consultor da usabilidade, faz uma crítica ao radio-relógio desenvolvido pela linha de hotéis Hilton, visto que este produto é bastante utilizado nos quartos de hotéis. O autor disponibiliza o estudo em detalhe na seguinte página na internet: http://www.jnd.org/dn.mss/the_hilton_hotel_ala.html.

De acordo com Norman os despertadores nos hotéis são muitas vezes 'miseráveis', visto que são adquiridos em função do preço e não da funcionalidade, dificultando o seu uso pelos clientes. Dessa forma, os viajantes passaram a detestar os rádios-relógios fornecidos pela maioria dos hotéis. A rede de hotéis Hilton decidiu fazer algo para resolver este problema. Foram testados mais de 150 rádios-relógios disponíveis no mercado e nenhum passou nos testes como 'fácil de usar'. Diante desta problemática, a empresa resolveu projetar seu próprio radio relógio conforme ilustrado na figura 1.6 (BARNUM, 2011).

Figura 1.6 – Radio-relógio desenvolvido pela rede de hotéis Hilton



Fonte: http://www.jnd.org/dn.mss/the_hilton_hotel_alarm_clock.html

Quando o projeto foi finalizado e o produto implantado, Norman o experimentou novamente e encontrou um outro problema que o fez voltar atrás sobre seus elogios. Apesar de enaltecer a iniciativa da empresa Hilton, uma característica importante foi esquecida: o relógio precisa indicar a hora local corretamente.

Muitos usuários do radio-relógio que frequentaram os hotéis Hilton escreveram para Norman indicando que o problema não estava apenas no fato da hora estar errada, mas principalmente na dificuldade de corrigi-la. Para tal é necessário desparafusar a parte de trás do radio-relógio e iniciar um complicado processo, o que não é recomendado. Com o objetivo de evitar que funcionários ou hóspedes modificassem acidentalmente a hora, foi criado um radio controlado por comando à distância que se ajusta por ele mesmo.

Esta experiência vivenciada por Norman enfatiza a problemática que vem sendo abordada para esta pesquisa, ou seja, ainda há a necessidade de melhorar a interação a partir do estudo de desempenho do usuário em uma avaliação da usabilidade considerando a sua experiência.

1.2.6 Estrutura da Tese

Esta seção descreve como os resultados da pesquisa estão relacionados e como estes foram organizados. A estrutura geral da tese foi dividida em quatro partes.

A primeira parte corresponde à fundamentação teórica e tem por finalidade conceituar a temática da pesquisa considerada relevante para o entendimento do tema estudado. Os conceitos abordados nesta parte serviram de base para as partes II e III. Na parte II as tecnologias emergentes foram identificadas a partir de uma revisão de literatura, e o seu

conteúdo experimentado nos estudos de caso da parte III. Todo o conhecimento abordado nas três primeiras partes foi revisto e comentado na parte IV, que compreende o desfecho da pesquisa.

Cada parte foi dividida em capítulos, conforme descrição a seguir.

Parte I - Contextualização

O capítulo 1 introduz o projeto de pesquisa realizado nesta tese. Este se inicia explicando a base da pesquisa, contextualizando a usabilidade. O problema e o objetivo da pesquisa são apresentados juntamente com as questões que os estudos desenvolvidos pretendem responder. Mais adiante os procedimentos da pesquisa são descritos e o produto escolhido para ser utilizado nos estudos de caso é apresentado. Por fim, uma visão geral da estrutura da tese é também fornecida para orientar o leitor.

No capítulo 2 os principais conceitos para o estudo da usabilidade do produto foram identificados a partir de uma revisão das pesquisas existentes sobre usabilidade e sua relação com o design de produtos e ergonomia. Foi realizado um vasto levantamento dos conceitos de usabilidade, apresentando uma evolução da sua aplicação em produtos de consumo. Com base na pesquisa realizada foi sintetizado um quadro conceitual, fornecendo uma visão geral sobre conceitos e abordagens da usabilidade, assim como suas dimensões e modelos, que serviu de suporte para o desenvolvimento dos capítulos subsequentes.

Dando continuidade ao tema, o capítulo 3 apresenta as ferramentas necessárias para uma avaliação da usabilidade, descrevendo como os métodos são entendidos e aplicados pelos designers nas pesquisas com usuários. O capítulo tem por objetivo subsidiar os estudos de caso dos capítulos 7 e 8, conforme a Figura 1.7. Por fim, o estudo piloto realizado é apresentado, cuja finalidade principal consistiu em escolher o produto a ser utilizado na pesquisa, a partir da avaliação realizada por especialistas.

Parte II - Tecnologias Emergentes

O capítulo 4 apresenta uma revisão da literatura do conceito de protótipos, com ênfase no protótipo virtual como uma tecnologia emergente, e descreve as tecnologias que vêm sendo utilizadas na fase de prototipagem. O capítulo finaliza com a descrição da construção dos protótipos virtuais e físico, os quais foram utilizados nos estudos de caso.

O capítulo 5 tem como objetivo descrever as tecnologias que envolvem a simulação em ambientes virtuais. Foi desenvolvida uma revisão da literatura sobre as tecnologias da realidade virtual e aumentada, assim como novas interfaces como os dispositivos hápticos, e como estas tecnologias podem ser aplicadas na avaliação da usabilidade de produtos em ambientes virtuais.

O último tópico abordado no capítulo 6 aborda o conhecimento da neurociência aplicado ao design e identifica a Eletroencefalografia como uma potencial ferramenta para a avaliação da usabilidade a partir do mais recente dispositivo desenvolvido para pesquisas nesta área, o *headset* Emotiv EPOC.

Parte III – Estudos de casos

O capítulo 7 descreve o estudo de caso I a partir de dois experimentos que abordam as tecnologias apontadas nos capítulos 4 e 5. O primeiro experimento corresponde a um questionário sobre realidade virtual e prototipagem virtual, e o segundo, um estudo experimental da avaliação da usabilidade em ambiente virtual com protótipos, seguido por um estudo comparativo.

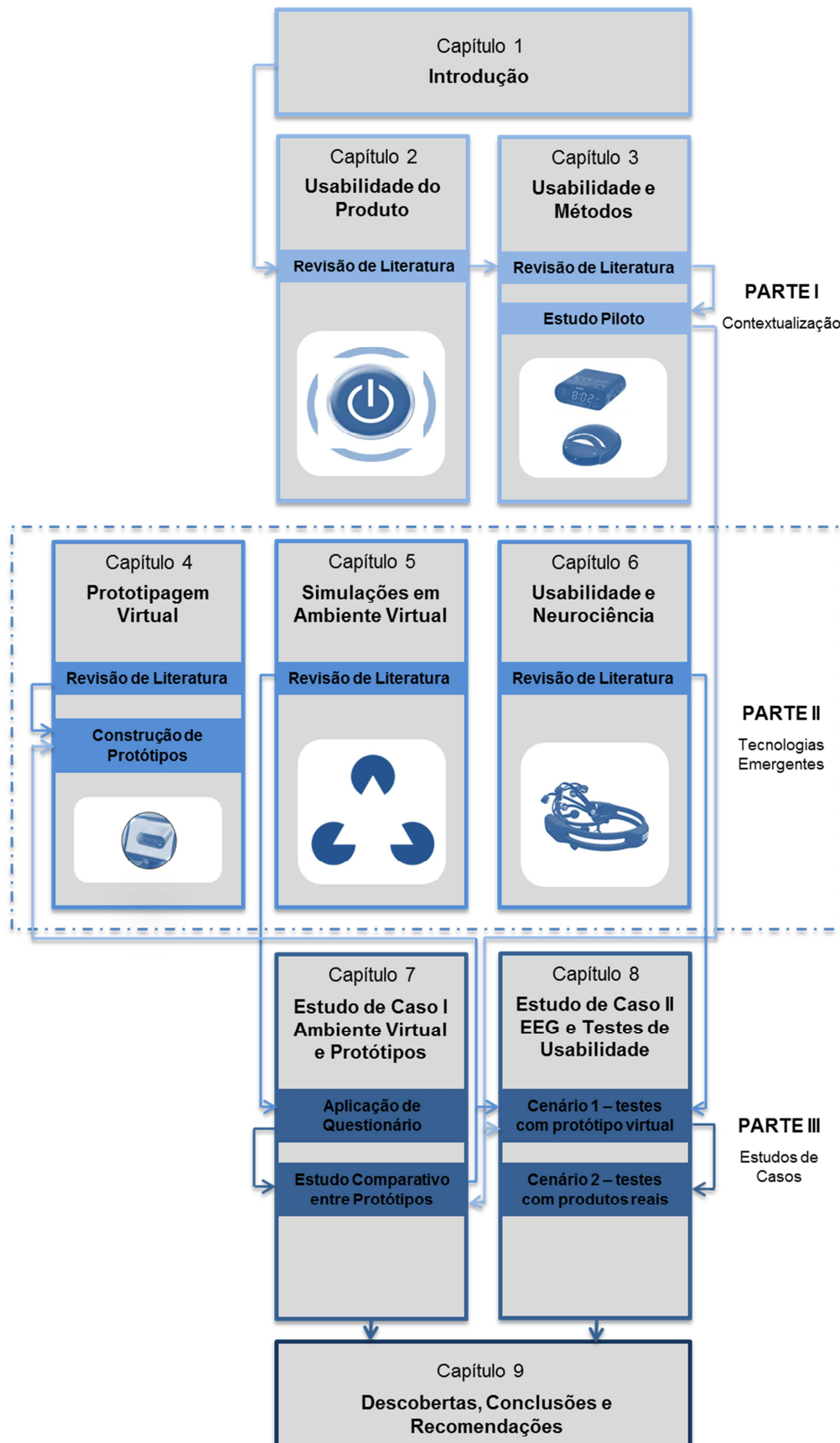
O Capítulo 8 descreve o estudo de caso II a partir de um experimento que aborda a tecnologia descrita no capítulo 6 e utilizando o *headset* Emotiv EPOC. O experimento utilizou o registro da eletroencefalografia humana como uma ferramenta na pesquisa prática da usabilidade de produtos, sendo realizado a partir de dois cenários, um com o protótipo virtual e o outro com o produto real.

Parte IV – Resultados, conclusão e recomendações para futuras pesquisas

O capítulo 9 apresenta as conclusões advindas de todo o processo de pesquisa, a discussão sobre as limitações encontradas e as recomendações para futuros trabalhos.

A Figura 1.7 apresenta graficamente a estrutura da tese, apresentando a relação entre os capítulos a partir das quatro partes em que foi dividida.

Figura 1.7 - Distribuição dos capítulos da tese.



Fonte: A autora

Capítulo 2

Usabilidade do Produto

No ambiente doméstico, no escritório e nos ambientes de lazer, defronta-se com uma grande variedade de produtos de consumo. Para ganhar espaço em um mercado competitivo, fabricantes procuram constantemente formas de aprimorar a qualidade desses produtos. Por outro lado, os usuários estão cada vez mais intolerantes com relação às dificuldades no manuseio de produtos, dando maior ênfase aos que são fáceis de usar e permitem maior facilidade de aprendizagem, aos que apelam por uma melhor estética (HAN et al., 2001). Se um produto é difícil de usar, causa desperdício de tempo ao usuário, frustração e desconforto, desestimulando o seu uso.

O mercado para produtos de consumo é caracterizado por constantes mudanças. Não é novidade que produtos compostos de *software* e *hardware* estão cada vez mais complexos ao longo dos anos. Novos recursos e funcionalidades são adicionados aumentando a complexidade global do sistema. As empresas de manufatura precisam acompanhar essa rápida evolução tecnológica, fabricando produtos com melhor desempenho e menor custo em um ritmo acelerado. De acordo com Acosta (2011), empresas identificam a usabilidade como um fator estratégico na competitividade, eficiência, diferenciação e boa prática e que pode ser integrada nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento do produto. O desenvolvimento de produto, conforme Krishnan e Ulrich (2001), é a transformação da oportunidade de mercado em um produto disponível para venda.

A partir da crença de que a concepção do produto deve atender às necessidades do usuário, a usabilidade concentra-se em criar uma experiência excelente para o mesmo. Mas é no processo que está a verdadeira meta da usabilidade. Um processo de usabilidade começa por olhar para quem usa o produto, entender seus objetivos e necessidades, selecionando as técnicas certas para responder a pergunta: Este produto atende aos requisitos de uso pelos usuários?

A usabilidade, de acordo com o próprio sentido da palavra, foca-se em como as pessoas usam o produto, no que concerne a interação entre usuário, a tarefa e o produto. Alguns autores (JORDAN, 1998; NORMAN, 2006; PREECE et al., 2002; GÖBEL, 2011), relatam que no passado muitos produtos eram projetados com pouca ênfase no usuário e causavam frustrações e desperdício de tempo por não oferecerem uma usabilidade adequada. Com a saturação do mercado e a queda das diferenças tecnológicas, aspectos como a estética e a usabilidade passaram a ter mais importância. Em paralelo, esta questão foi enfatizada pelo crescimento da complexidade dos produtos, exigindo uma maior atenção às necessidades do usuário, de modo a permitir que benefícios técnicos fossem explorados. Durante esta fase, iniciada na década de 90, os parâmetros de usabilidade receberam maior atenção, inicialmente com foco nos estudos de mercado, envolvendo cada vez mais o usuário no processo de design.

Apesar da usabilidade ser bastante conhecida como um elemento chave no projeto de produto, os conceitos utilizados são oriundos da Interação Humano-Computador (HCI),

apontando uma necessidade de formalizar o seu conceito quando se trata de produto de consumo. Este capítulo apresenta um extenso levantamento dos conceitos de usabilidade, apresentando uma evolução da sua aplicação em produtos de consumo ao longo de três décadas.

Como primeiro capítulo da Fundamentação Teórica, tem por finalidade conceituar a temática da pesquisa que foi considerada relevante para o entendimento do tema estudado e está dividido em quatro tópicos: análise dos conceitos, relação entre design do produto, ergonomia e usabilidade, modelos e aplicações. Parte do conteúdo deste capítulo encontra-se publicado em Falcão & Soares (2013)³.

2.1 O que é usabilidade?

O conceito de usabilidade foi primeiramente discutido por Shackel (1984), que define usabilidade de um sistema ou equipamento como a capacidade deste ser utilizado facilmente e eficazmente, em termos funcionais humanos, por uma gama específica de usuários, ao receber treinamento adequado e suporte para cumprir uma tarefa específica, dentro de um determinado intervalo e em um cenário ambiental. Ou seja, corresponde a capacidade deste ser usado facilmente e eficazmente por humanos (SHACKEL, 1991, p. 24).

A usabilidade é mais conhecida e melhor definida quanto à abordagem da interação humano-computador (HCI *Human computer interaction*). Estes conceitos são utilizados para aprimorar a interface usuário-software (NIELSEN, 1993; CYBIS; BETIOL; FAUST, 2010). A importância dessa dimensão no design de produtos de consumo foi primeiramente considerada no início da década 1990 por companhias como Thomson Consumer Electronics, Apple Computer e Northern Telecom (MARCH, 1994). Mais adiante, Jordan (1998; 2000) já assinalava um crescimento do tema com o aumento de publicações, mais profissionais de usabilidade sendo empregados, mais conferências sobre o assunto e uma maior sensibilização do público para a sua existência. A partir da última década a usabilidade vem sendo aplicada em ampla escala para a concepção de produtos de uso fácil, compreensível, acessível e confortável.

Nielsen (1993) considera usabilidade como um aspecto, entre outros, que influencia na aceitação de um produto, cujo objetivo consiste em elaborar interfaces transparentes,

³ Falcão, Christianne S. & Soares, Marcelo M. 2013. Usabilidade de Produtos de Consumo: uma análise dos conceitos, métodos e aplicações. *Estudos em Design* (online) 21 (2): 01-26. ISSN 1983-196X. Disponível em: http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/estudos_em_design.php?strSecao=INDEX

capazes de permitir uma interação fácil, agradável, com eficácia e eficiência, permitindo ao usuário pleno controle do ambiente sem se tornar um obstáculo durante a interação.

Nielsen também sugere que a usabilidade e a utilidade quando em conjunto formam o sistema utilizável. A utilidade do produto pode ser conceituada como a capacidade de suas funcionalidades realizarem as operações necessárias, enquanto que a usabilidade corresponde ao fato de como tão bem o usuário pode usar esta funcionalidade. Esta visão é apoiada por Eason (1984), ao afirmar que a usabilidade pode limitar o grau em que um usuário pode realizar uma utilidade em potencial de um sistema de computador.

Steve Krug em seu famoso livro *Don't Make me Think!* (Não me faça pensar!) (KRUG, 2000), caracteriza a usabilidade, a partir de uma simples perspectiva, com a certeza de que alguma coisa funciona bem quando uma pessoa com habilidade e experiência média (ou mesmo abaixo da média) pode usar uma coisa a qual se destina, seja um *website*, um jato de caça ou uma porta giratória, sem ficar irremediavelmente frustrado. De acordo com Bevan (1995), a usabilidade é frequentemente definida como facilidade de uso e caracteriza a aceitabilidade de um sistema para uma determinada classe de usuários que realizam tarefas específicas em um determinado ambiente. A facilidade de uso afeta o desempenho do usuário e a sua satisfação, enquanto aceitabilidade afeta o sistema quando utilizado. No entanto a expressão 'fácil de usar' oferece pouca orientação sobre a interface do produto.

A ISO 9241-11 (ISO, 1998) traz o mais clássico e reconhecido conceito de usabilidade: “o alcance pelo qual um produto pode ser usado por certos usuários para atingir objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em certo contexto de uso”.

Eficácia: refere-se à dimensão pela qual um objetivo ou tarefa são atingidos. A eficácia mede a relação entre os resultados obtidos e os objetivos pretendidos, ou seja, ser eficaz é conseguir atingir um dado objetivo. Eficiência: refere-se à quantidade de esforço requerido para se atingir um objetivo. Quanto menor o esforço, maior a eficiência. Satisfação: refere-se ao nível de conforto que o usuário sente quando usa um produto e o quanto aceitável o produto é para o usuário em relação ao desejo de atingir os seus objetivos.

Comparando a definição da ISO pela proposta por Shackel (1991), fica evidente a importância dada pelo autor ao fato de que a usabilidade é dependente do contexto de uso. Jordan (2006) corrobora ao destacar que a definição dada pela ISO deixa claro que a usabilidade não é simplesmente uma propriedade do produto de forma isolada, mas que depende também de quem está usando o produto, o objetivo que pretende atingir e em que ambiente o produto está sendo utilizado. Neste caso, se for levado em conta este contexto para produtos de consumo e a escolha de tais medidas para avaliar sua usabilidade, a norma ISO 9241-11 parece ser aplicável.

2.1.1 Usabilidade do produto de consumo

Considerando produtos de consumo, conforme explicitado por Jordan (2000), o nível de tolerância no uso do produto passou de 'satisfatório' para 'insatisfatório'. No passado, usuários tolerariam uma usabilidade pobre para novas funções e desempenhos, e eram surpreendidos se um produto fosse usável (satisfatório). Agora consideram que um produto pode ser usável e são desagradavelmente surpreendidos quando encontram dificuldade no uso (insatisfatório).

O conceito de usabilidade foi desenvolvido principalmente para a aplicação na interação humano-computador (HCI). Tal fator pode ser percebido ao analisar os conceitos propostos por Shackel (1984) e Nielsen (1993), entre outros apresentados no item anterior. Contudo este estudo aborda a usabilidade de produtos de consumo e estes diferem de *softwares* de várias maneiras. Um primeiro fator são as diferenças nos aspectos físicos da interface de uso. Na avaliação de *softwares* normalmente não se faz o estudo da interface física do usuário, como por exemplo, a avaliação do mouse e teclado.

Outro fator é que muitos produtos de consumo constituem sistemas híbridos, formados por diferentes componentes. Por exemplo, possuem *hardware* (ex. componentes físicos) e *software* (ex. componentes de sistema), cuja utilização difere do uso de *software* na tela de um computador. Estes produtos são denominados por diversos autores como produtos de consumo eletrônicos (HAN et al., 2001; VAN KUIJK et al., 2006; KIM; HAN, 2008). Como exemplo, podemos citar um típico rádio relógio que possui um pequeno display e vários botões e indicadores, que são os componentes de *hardware*. Por outro lado, algumas funções, tais como, ajuste de hora e alarme, estão organizadas em um menu e representadas por ícones, sendo estes componentes de *software*. Portanto, o conceito de usabilidade aplicado a este tipo de produto precisa ser flexível, em consequência dos diferentes tipos de interfaces a serem avaliadas (HAN et al., 2001; VAN KUIJK et al., 2006).

Jordan (1998) e Han et al. (2001), argumentam que é preciso levar em consideração uma abordagem do desempenho menos orientada quando se considera a usabilidade de produtos de consumo por consequência de seu uso voluntário. Desta forma, um produto de consumo não é uma ferramenta na qual se desenvolve apenas uma tarefa, mas também é um artefato tridimensional, podendo ser utilizado para decoração em um ambiente e que pode representar um estilo de vida do usuário. Isto significa que as interfaces físicas precisam ser incluídas numa avaliação, e que estas não devem ser apenas eficientes e fáceis de usar, mas ao mesmo tempo precisam ter boa aparência.

Nesta direção, embora a usabilidade seja considerada como um importante atributo para o sucesso do produto e interfaces (JORDAN, 1988; HAN et al., 2001; TULLIS; ALBERT, 2008), percebe-se que sozinha não é suficiente para otimizar a relação usuário-produto. Em face desta constatação, profissionais do design começaram a expandir este horizonte para além da usabilidade, explorando noções como prazer (JORDAN, 2000; GREEN; JORDAN, 2002) e percepção/emoção (SEVA et al., 2011). A base desse pensamento parece ter advindo da noção de que um produto utilizável não é a garantia de que as pessoas vão adquiri-lo. Overbeeke et al. (2002), descreve que usuários muitas vezes podem optar em usar um produto, apesar da dificuldade de sua utilização porque pode ser desafiador, sedutor, divertido, surpreendente, memorável ou gratificante, resultando no prazer da experiência.

Maguire (2004), a partir de um estudo por questionário, demonstrou que funções e estilo representavam fatores mais importantes quando os usuários estavam “gostando” de um produto, embora a usabilidade, em menor escala, também desempenhou um papel importante. Este fato levou o autor a perceber que uma usabilidade ruim tem um maior impacto do que uma boa usabilidade.

Mack e Sharples (2009), desenvolveram um estudo com aparelhos celulares para entender a importância da usabilidade na escolha do produto, investigando em que circunstâncias a usabilidade é superada quando comparada a outros fatores, tais como estéticos, e qual o significado destes fatores na escolha de um produto. Os usuários relataram que consideravam usabilidade importante, mas de fato outros atributos como particularmente, custo, estética e funcionalidades, eram mais prioritários na escolha do produto. Foi considerado que fatores como idade, gênero, estilo de vida e o tipo de produto são susceptíveis de afetar o nível de importância dada à usabilidade e aos atributos do produto.

No entanto, van Kuijk (2010, p.45) apresentou em um de seus estudos, que quando a qualidade de utilização de um produto é inferior a um determinado nível, os aspectos estéticos não conseguem compensar esta deficiência. O autor também afirmou que a aparência (estilo e forma funcional) de um produto pode ser um indicador enganoso para a usabilidade. Tal fato é esclarecido por Norman (2006) ao afirmar que o design do dia a dia quando regido pela estética, pode tornar a vida mais agradável aos olhos, porém menos confortável; se governado pela usabilidade, poderia ser mais confortável, porém menos bonito; se dominado pelo custo ou facilidade de fabricação, os produtos poderiam não ser atraentes, funcionais ou duráveis. Sendo assim, cada fator tem seu lugar e o problema ocorre quando um domina todos os outros.

Neste contexto, Han et al. (2001) e Helander e Tham (2003), argumentam a necessidade de incluir na definição de usabilidade, a avaliação do usuário quanto aos aspectos hedônicos⁴ ou da qualidade estética do produto. O conceito hedônico corresponde aos aspectos do comportamento do consumidor que se relacionam com o aspecto multissensorial, a fantasia e os aspectos emotivos de sua experiência com os produtos (HIRSCHMAN; HOLBROOK, 1982).

Han et al. (2001) acrescentam que, a usabilidade deve abordar dois aspectos: o desempenho e a imagem/impressão do produto. O aspecto desempenho corresponde ao quanto o produto é eficiente e efetivo para que o usuário desenvolva uma determinada tarefa. Enquanto que o aspecto de imagem/impressão está de acordo com a sensação ou sentimento sobre o mesmo.

De acordo com den Buurman (1997), surge a necessidade de um projeto integrado da parte física do produto (*hardware*) com os dispositivos do sistema (*software*), e com um grande apelo estético, o que torna o design de muitos produtos de consumo mais complexo.

Kahman & Henze (2002) apontam que existem diferentes papéis na relação usuário-produto. Conforme ilustrado na Figura 2.1, existe aquele que compra o produto, o que o utiliza e o que o possui, sendo que com produtos de consumo todos estes papéis se encontram em uma só pessoa, sendo o usuário final também o consumidor (SCHULZE, 2011). Segundo Kahman e Henze (2002), para compreender esta relação é necessário olhar tanto a usabilidade como ao redor dela, correspondendo às afeições, conforme ilustra a Figura 2.1, porém a usabilidade apenas corresponde à dimensão de uso do produto.

Figura 2.1 – Os diferentes papéis da relação usuário-produto



Fonte: Kahman e Henze (2002, p. 301)

⁴ Hedonismo, conforme o dicionário online de português, tem origem da palavra latina *hedonismos* e significa excessiva busca pelo prazer como modo de vida.

A usabilidade corresponde à questão específica de saber se as pessoas são capazes de usar determinada coisa. Outros conceitos, tais como prazer, aceitação do consumidor ou como as pessoas irão usar, comprar ou desfrutar de um produto, devem complementar a usabilidade, conforme sugerem Kahman e Henze (2002). Sendo assim, a usabilidade é um dos muitos conceitos avaliativos para descrever a experiência do consumidor de um produto. Como bem descreve Jordan (2000, p. 5), "*A usabilidade é vital, mas não toda a história*".

Nielsen (1993) destaca que a usabilidade é apenas uma das propriedades que determinam a 'aceitabilidade do sistema'. Neste sentido não se acredita que para avaliar a capacidade dos usuários em utilizar um produto, seja necessário expandir o conceito de usabilidade para abarcar os valores hedônicos da experiência do usuário.

Staton e Baber (1996), baseados em diversos autores, sugerem os seguintes fatores para moldar o conceito de usabilidade do produto e definir o seu âmbito: Facilidade de Aprendizado (*Learnability*); Eficácia (*Effectiveness*); Atitude (*Attitude*) e Flexibilidade (*Flexibility*). Este conjunto de conceitos foi denominado 'LEAF'. Em adição aos preceitos do LEAF, os autores sugerem o seguinte:

- Utilidade percebida ou utilidade do produto (*The perceived usefulness or utility of the product*) – o produto precisa ter elevado nível de classificação nos preceitos LEAF.
- Correspondência da tarefa (*Task match*) – um produto utilizável deve apresentar uma correspondência aceitável entre as funções disponibilizadas pelo sistema e as necessidades e exigências do usuário.
- Características da tarefa (*Task characteristics*) – A frequência com que uma tarefa pode ser realizada e o grau em que a tarefa pode ser modificada.
- Características do usuário (*User characteristics*) – Uma outra seção que deve ser incluída em uma definição de usabilidade diz respeito ao conhecimento, habilidades e motivação da população de usuários.

Ao observar tais definições, pode-se concluir que estas compartilham dos seguintes aspectos: A existência de um usuário; que este possui uma atividade; que está usando um produto; que o produto está sendo utilizado em um determinado contexto; em um determinado ambiente (FALCÃO; SOARES, 2012).

Partindo deste princípio a usabilidade de um produto não existe, está situada, visto que depende de um contexto composto pelos aspectos apresentados acima. Iida (2005) afirma que a usabilidade não depende apenas das características do produto, mas também do usuário, dos objetivos pretendidos e do ambiente em que o produto é usado, ou seja, da interação entre o produto, o usuário, a tarefa e o ambiente. Por consequência, um produto pode ter níveis significativamente diferentes de usabilidade quando usado em diferentes contextos.

De acordo com Tullis e Albert (2008), a usabilidade pode ter um enorme impacto na sociedade, no que se refere ao acesso de bens e serviços para diferentes populações de usuários, tais como idosos, pessoas com deficiência ou pessoas com dificuldades de linguagem ou de alfabetização. Usabilidade impacta a todos, a cada dia, atravessando culturas, gênero, idade e classe econômica.

2.1.2 Conceito de usabilidade do produto a partir das normas ISO

A definição de usabilidade proposta pela ISO 9241-11 (ISO, 1998), procura avaliar os resultados da interação com o produto e como os usuários experimentam esta interação. Esta norma não especifica quais componentes devem ser incluídos na avaliação.

A norma ISO 20282-1 (ISO, 2006, p.1) aplica a ISO 9241-11 para os produtos do dia-a-dia. Estes são definidos como produtos mecânicos ou elétricos com uma interface que um usuário pode operar diretamente ou remotamente para ter acesso às funções fornecidas.

As dimensões eficácia e eficiência correspondem a uma situação específica de avaliação do desempenho humano, de caráter objetivo, enquanto que satisfação se refere a uma situação específica de avaliação subjetiva, e desta forma pode ser mais difícil de ser mensurada do que a eficácia e eficiência (JORDAN, 1998).

Como os produtos de consumo são usados voluntariamente, com o objetivo de facilitar as tarefas ou proporcionar prazer, a satisfação passa a ser vista como a mais importante medida de usabilidade (DEN BUURMAN, 1997; HAN et al., 2001; JORDAN, 2006; BARNUM, 2011). Han et al. (2001), complementam afirmando que os aspectos subjetivos, como por exemplo a satisfação, estão sendo mais enfatizados do que costumavam ser. Isto ocorre porque sem a consideração deste fator, o produto não é aceito pelos usuários.

Se um produto permitir ao seu usuário alcançar seus objetivos de uso sem apresentar problemas, garantirá a satisfação do mesmo sem que haja resistência, rejeição, ou até mesmo revolta quanto ao uso. Por outro lado, se o produto apresentar dificuldades ou

problemas no uso, os usuários podem solicitar assistência à empresa que vendeu ou fabricou o produto, ou mesmo retorná-lo (DEN OUDEN et al., 2006).

Em contraste ao que foi mencionado acima, onde a satisfação é a dimensão mais importante, a norma ISO 20282-1 considera a eficácia como a medida mais crítica: podem os usuários completar a meta principal a qual o produto se destina? A norma distingue entre a instalação e a operação de produtos de consumo, na qual a facilidade de operação está relacionada ao alcance do principal objetivo suportado pelo produto e a facilidade de instalação é a facilidade de operação para atingir os objetivos no primeiro uso do produto (ISO, 2006, p.2).

A definição proposta pela ISO 9241-11 e utilizada pela ISO 20282 apresenta uma estrutura para a avaliação da usabilidade (eficácia, eficiência e satisfação), aborda que esta está situada ("em certo contexto de uso") e que na avaliação deve ser levado em conta se um produto tem uma correta funcionalidade ("para atingir objetivos específicos"). Na avaliação da usabilidade de leitores de livros digitais (*e-readers*), Siegenthaler et al. (2010), aplicaram a definição da ISO 9241-11 enfatizando-a como a mais aceita. Na mesma direção, van Kuijk (2010) e Merino et al. (2012) utilizam a mesma como referência principal.

Segundo van Kuijk (2010), a definição da ISO está formulada de forma detalhada e é suficientemente genérica para ser aplicada em todas as fases de uso do produto, além de ser a definição mais comumente aplicada, mas em cada caso específico o avaliador deve atribuir as medições apropriadas para as dimensões propostas (eficácia, eficiência e satisfação).

2.1.3 Design de produto, ergonomia e usabilidade

O termo 'design' vem sendo utilizado para descrever qualquer atividade criativa que promova uma ideia existente ou apresente uma alternativa original, que tenha sido estendida para vários campos de conhecimento. Sendo assim, é possível ao design, entre outras coisas, a elaboração de planos, estratégias, projetos, e produtos de consumo para o dia-a-dia (SÁENZ, 2008). Nos dias atuais, design pode também ser considerado como uma experiência ou um processo que gera mudanças significativas na vida das pessoas (PRESS; COOPER, 2009).

A ergonomia pode ser entendida como uma disciplina focada na natureza das interações do ser humano com os artefatos, a partir de uma perspectiva unificada da ciência, engenharia, design, tecnologia e gerenciamento da compatibilidade humano-sistema, incluindo uma variedade de produtos, processos e ambientes naturais e artificiais, e que vem atualmente

sendo indicada como uma das principais disciplinas de suporte ao design de produtos (KARWOWSKI, 2005). Corroborando com este entendimento, Dul et al. (2012), definem ergonomia como uma disciplina científica preocupada com o entendimento das interações entre o ser humano e os outros elementos de um sistema, sendo a profissão que aplica princípios teóricos, dados e métodos para o design, a fim de intensificar o bem estar e o desempenho global.

De acordo com Karwowski, Soares e Stanton (2011), a ergonomia utiliza uma abordagem holística centrada no usuário, que considera as questões física, cognitiva, social, organizacional, ambiental e outros fatores relevantes ao seu campo de ação, utilizando metodologias adequadas para melhorar o design. Assim, a ergonomia se envolve nas diversas etapas de tomada de decisão, quando um produto está sendo desenvolvido, conduzindo a mesma a ter um papel fundamental na melhoria de seu desempenho.

Na relação entre ergonomia e design, os aspectos referentes aos seres humanos e as perspectivas do objeto determinam as condições apropriadas entre o usuário e o produto, tendo em conta o ambiente no qual estas condições existirão (ZAPATA, 2011). Soares (2011) aponta que a aplicação dos princípios ergonômicos no design contribui para a redução de acidentes, riscos de mau funcionamento do produto, melhoria da usabilidade e redução de custos no ciclo de vida do produto.

Desta forma, a ergonomia passa a ser considerada como uma disciplina de apoio ao design na concepção de produtos que trabalhem atendendo as necessidades humanas, evidenciando o usuário do produto (algumas vezes referido como o usuário final), cujo objetivo principal é garantir que os produtos sejam fáceis de usar, fáceis de aprender, produtivos e seguros (CUSHMAN; ROSENBERG, 1991).

De acordo com Schulze (2011), a ergonomia tem se preocupado com o processo de design por duas vertentes principais. Na primeira há uma preocupação para a otimização do processo de design, a fim de reduzir os efeitos do acaso e os erros no projeto. Na segunda existe a preocupação de se incorporar os requisitos do usuário final tão cedo quanto possível nas etapas iniciais da metodologia de design.

Conforme Göbel (2011), a ergonomia no design de produtos lida com a adaptação do produto para o usuário ou mais precisamente, com as necessidades do mesmo, incluindo não apenas o sujeito, como também a circunstância de uso, sua finalidade e as condições ambientais. Considerando que a ergonomia tem como foco lidar com tais atributos, o termo usabilidade muitas vezes passa a ser utilizado como sinônimo da ergonomia.

Conforme visto, a ergonomia lida com um largo escopo de problemas relevantes ao design contribuindo para a inovação de produtos e serviços e auxiliando empresas na inovação de

processos e operações que forneçam novas e eficientes formas de produção (DUL et al. 2012). Karwowski (2006) enfatiza tal afirmação advogando que a ergonomia é uma disciplina orientada ao design.

Neste contexto, a usabilidade passa a fazer parte de um dos atributos da ergonomia com o objetivo de ajustar produtos e sistemas ao usuário, levando em consideração suas necessidades, habilidades e limitações. Apresenta-se como a fronteira entre o usuário e partes do sistema com o qual está interagindo. Nesse sentido, a ergonomia e a usabilidade passam a exercer a mesma função.

Corroborando com tal afirmação, Cybis, Betiol e Faust, (2010, p. 16-17) afirmam:

"Pode-se dizer que a ergonomia está na origem da usabilidade, pois ela visa proporcionar eficácia e eficiência, além do bem-estar e saúde do usuário, por meio da adaptação do trabalho ao homem. Isto significa que o seu objetivo é garantir que sistemas e dispositivos estejam adaptados à maneira como o usuário pensa, comporta-se e trabalha e, assim, proporcionem usabilidade."

Em Cushman e Rosenberg (1991), tal afirmação é consolidada quando enfatizam que os testes de usabilidade ao serem conduzidos pelo ergonomista, correspondem a uma parte importante do trabalho de projeto de qualquer produto, independentemente dos métodos usados para se tomar as decisões de projeto. Obviamente deve-se considerar que a ergonomia aplica-se num contexto mais amplo que a usabilidade, quando investiga, por exemplo, questões relacionadas à organização do trabalho e aspectos fisiológicos e cognitivos da relação humano x máquina.

Os autores acrescentam que existem três formas nas quais os atributos relacionados à ergonomia podem ser introduzidos no projeto de um produto:

- Evolução do produto (tentativa e erro);
- Intuição;
- Aplicação da tecnologia da ergonomia durante o projeto.

A primeira forma corresponde ao processo evolucionista, que é o mais comum, cuja facilidade de uso e capacidades funcionais vão se aprimorando ao longo do tempo, o que demanda um longo período, podendo ser uma desvantagem quando aplicado a produtos de consumo devido às necessidades de mercado.

A intuição é a segunda forma pela qual os problemas ergonômicos podem ser tratados durante o projeto do produto. Esta é utilizada quando não existe base empírica ou teórica para se tomar uma decisão de design, e o designer simplesmente decide como a interface

do usuário com o produto irá parecer e funcionar, baseado apenas na sua personalidade, saberes, experiência e preferências. É importante destacar que nesta fase o teste de usabilidade é especialmente importante, a fim de evitar inadequações para o usuário a que se destina (CUSHMAN; ROSENBERG, 1991).

A terceira forma pode ser abordada sob dois aspectos: (1) A abordagem por diretrizes, envolvendo a aplicação de princípios de design específicos, baseados em dados empíricos; (2) a abordagem modelo causal/teórica, correspondendo ao desenvolvimento de modelos causais ou teorias específicas do comportamento humano.

Ainda segundo os autores, os designers irão perceber na prática que as três formas de integrar a ergonomia e o projeto do produto são úteis, porém destaca que a tecnologia ergonômica deve ser utilizada, sempre que possível, como base para se tomar as decisões de design iniciais que irão afetar o usuário.

2.2 Abordagens da usabilidade

Conforme discutido no item anterior, a usabilidade do produto deve ser avaliada a partir de três aspectos: o usuário, o produto e o contexto de uso. Este subcapítulo apresenta uma breve descrição sobre cada um destes componentes.

2.2.1 Caracterizando o Usuário

Nielsen (1993) destaca que as duas questões mais importantes para a usabilidade são a tarefa do usuário e suas características e diferenças individuais. Para Norman (1999), o desenvolvimento de produto centrado no ser humano é o processo iniciado com usuários e suas necessidades ao invés da tecnologia. A tecnologia é o objetivo que serve o usuário por meio de sua adequação à tarefa. Se existir alguma complexidade, esta deve ser inerente à tarefa e não à ferramenta.

O usuário, de acordo com Ward (2011), refere-se principalmente àquele que está inserido entre o proprietário e o usuário final de um tipo particular de produto de consumo. Alguns designers utilizam a expressão '*Target market*' (Mercado alvo) para descrever uma população de usuários para um produto que está sendo desenvolvido. Também é importante considerar que, em certos tipos de produtos, as pessoas envolvidas na instalação e manutenção podem também ser consideradas usuários se suas necessidades são identificadas como impactantes no processo de design e nos resultados finais (IIDA, 2005).

Dejean e Wagstaff (2012) propõem a seguinte pergunta para identificar todos os usuários e dividi-los entre os usuários diretos e indiretos: O 'usuário' escolheu o produto no qual está interagindo ou não?

Em muitas ocasiões as pessoas têm contato com produtos involuntariamente, sendo classificadas como usuários indiretos. Considerando o comportamento destes usuários e as consequências do uso, é importante identificar os usuários indiretos para antever o seu papel na avaliação da usabilidade. Por outro lado, os usuários diretos correspondem às pessoas que têm uma escolha voluntária para utilizar o produto (DEJEAN; WAGSTAFF, 2012).

Dessa forma, no conceito sobre usuário devem ser incluídos todos aqueles cujo trabalho é afetado pelo produto de alguma forma. Antes de se iniciar qualquer projeto, é importante considerar as características de quem utilizará o produto final, a quem o produto será destinado. Segundo Jordan (1998), este pode ser, por exemplo, o público em geral, uma sessão particular de uma população consumidora, um pequeno grupo de especialistas ou mesmo um usuário individual. O importante é compreender as características das pessoas deste grupo e obter informações sobre as várias características do produto, e quais implicações podem causar em seu uso. A partir daí, requisitos são gerados de modo que as necessidades dos usuários sejam contempladas no projeto.

Kumin et al. (2012), por exemplo, realizaram um estudo para avaliar como usuários portadores da Síndrome de Down poderiam utilizar telas sensíveis ao toque (*touch-screens*) em suas tarefas. A pesquisa buscou soluções para que os testes de usabilidade possam ser conduzidos com este perfil de participante, como também para identificar potenciais desafios encontrados no uso dos *tablets*.

Jordan (1998) chama a atenção para a necessidade de se conhecer as características físicas e cognitivas do utilizador. No design de muitos produtos de consumo, as características físicas do usuário referem-se às medidas individuais das pessoas para fins de compreensão da variação física humana, por exemplo, altura, alcance ou força. As características cognitivas incluem conhecimentos específicos que os usuários possam ter, tais como, atenção, repertório de conhecimento, processamento de informações, atitudes esperadas pelos usuários, ou nenhuma expectativa que os usuários possam ter de um produto. Tais fatores são susceptíveis de variação, de acordo com o público-alvo ao qual o produto está destinado.

Jordan (1998), afirma que para se determinar o público-alvo, algumas características dos usuários devem ser consideradas, sendo estas:

- **Experiência:** a experiência prévia com o produto, ou produtos similares, é um dos fatores que afetam a facilidade ou dificuldade do usuário ao realizar determinada tarefa.
- **Domínio do conhecimento:** refere-se ao conhecimento do usuário relativo à tarefa e não está necessariamente ligado ao produto utilizado para realizá-la.
- **Antecedente cultural:** a cultura dos usuários também é um fator que influencia na interação com os produtos. As ferramentas de informação devem estar de acordo com a cultura local – estereótipos populacionais.
- **Limitações:** deve-se levar em conta que nem todos os usuários estão em plena funcionalidade física, muitos possuem limitações físicas e/ou mentais que devem ser consideradas.
- **Idade e gênero:** Idosos, adultos, jovens, adolescentes, crianças, do gênero masculino ou feminino devem ser tratados de forma específica. A força, a capacidade intelectual e o desempenho das tarefas podem ser extremamente prejudicados por esses fatores, lesando assim a percepção da usabilidade do produto.

Ao observar as três primeiras características descritas por Jordan, estas representam um foco na importância da observação da experiência prévia do usuário, ou seja, o conhecimento adquirido a partir de sua interação com o uso do produto e as suas características e experiências pessoais, também chamada de “repertório de conhecimento”. Nesta direção Chamorro-Koc et al. (2009) ressaltam a importância do designer considerar o conhecimento cultural do usuário e a sua experiência prévia, ao invés de seguir suas próprias interpretações pessoais para descrever as necessidades dos usuários e a previsão de seu comportamento.

São muitos os diferentes tipos e características dos usuários. Por conta disto, entender a sua natureza implica em grandes dificuldades, exigindo esforços que vão além de pesquisas de mercado. Dada a dificuldade de se classificar os usuários, Meister e Enderwick (2002), sugeriram abordá-los sob a seguinte ótica:

- O usuário como sujeito em testes de usabilidade e prototipagem, onde o foco é saber como e o quanto o seu desempenho é bom com relação a um equipamento particular ou a uma característica deste equipamento;
- O usuário como alguém que tem preferências, particularmente por produtos de consumos;

- O usuário como especialista em assuntos específicos, como provedor de informações.

2.2.2 Compreendendo o conceito de produtos de consumo

O ser humano, por não possuir uma estrutura física suficientemente apta para sobreviver em diversos contextos, muitas vezes hostis, sempre procurou construir utensílios que fortalecessem ou complementassem as suas características e aptidões naturais. Este fato possibilitou que ao longo da história da humanidade, o ser humano conseguisse sobreviver e permitindo assim o seu domínio no ambiente em que vive. Da adaptação de uma cuia de barro para beber água à construção de ferramentas hápticas para o manuseio em ambientes virtuais, a história da humanidade sempre demonstrou o quanto a inteligência humana foi responsável por mudanças dramáticas e surpreendentes no domínio do ser humano sobre o ambiente em que vive.

Para Löbach (2000), algumas das necessidades humanas são satisfeitas pelo uso de objetos, no que quer dizer produtos sendo utilizados. Tais produtos refletem as condições ambientais, sociais e culturais de uma sociedade e que podem ser produzidos de forma artesanal ou industrial. Na forma industrial, os produtos são produzidos maciçamente por meio de processos industriais para o consumo em massa, e o produto passa a ser uma oferta particular que uma empresa providencia para os clientes (KAHN, 2001).

Os produtos, a partir de uma larga definição, são elementos físicos e tangíveis, em contraste aos serviços que são intangíveis. Dentre estes, é importante caracterizar produtos de consumo, tema desta pesquisa. De acordo com diversos autores (CUSHMAN; ROSENBERG, 1991; IIDA, 2005; SCHULZE, 2011), existe uma diferença entre produtos de consumo e produtos comerciais ou industriais. O último refere-se a máquinas e equipamentos para uso na indústria em geral, e mais especificamente na produção, para produzir bens e prestar serviços. Os produtos de consumo são aqueles para uso pessoal, familiar ou doméstico, em um ambiente residencial ou social e não em um ambiente de trabalho, como por exemplo, eletrodomésticos, móveis e brinquedos. A norma ISO 20282-1 (ISO, 2006) descreve que produtos de consumo são destinados a serem adquiridos e utilizados por um indivíduo para uso pessoal, em vez de uso profissional, como por exemplo, rádios relógio, chaleiras elétricas, telefones e furadeiras elétricas.

As principais diferenças entre os produtos de consumo e os produtos comerciais são a quantidade de características, a capacidade de produção e a velocidade de operação. Os produtos de consumo são distribuídos através de um longo canal com muitos passos entre a fábrica e o consumidor final, e normalmente são adquiridos em pequena quantidade, por um

único indivíduo (usuário) a partir do comércio varejista. Em contraste, os produtos comerciais são normalmente comprados por um comprador da empresa ou pelo gerente (CUSHMAN; ROSENBERG, 1991; SCHULZE, 2011).

Quanto aos usuários do produto de consumo, estes normalmente não são treinados, não são especializados e não são supervisionados por agentes experientes na compra. Também estão sujeitos a um uso irregular, menos sistemático e, inclusive, a usos não previstos pelo fabricante. O usuário de um produto comercial é normalmente treinado, altamente especializado e supervisionado. Acrescentando também que estes usuários possuem em sua volta várias pessoas que dão suporte no funcionamento do produto, como ferramenteiros, analistas de trabalho e técnicos de manutenção, etc. Dificilmente estes produtos são utilizados de forma diferente daquela que foi programada pela empresa e prevista pelo fabricante (CUSHMAN; ROSENBERG, 1991; IIDA, 2005; SCHULZE, 2011). Entretanto, ambos podem ter qualquer idade, gênero ou condição física, como também grande variação educacional, cultural ou econômica (HUNTER, 1992).

Tanto os produtos de consumo quanto os produtos comerciais, dependem de marketing intenso e precisam ser continuamente melhorados para se tornarem competitivos (CUSHMAN; ROSENBERG, 1991). Para tal, a interface possui dupla função, uma focada na qualidade da interação com o produto e outra focada no poder de atratividade do produto para a compra por apelação (BAUERSFELD; BENNET; LYNCH, 1992).

Em resumo, o quadro 2.1 baseia-se em Iida (2005), apresentando as principais diferenças entre os produtos comerciais e os de consumo.

Quadro 2.1 – Principais diferenças entre os produtos comerciais e de consumo

Fatores	Produtos comerciais	Produtos de consumo
Objetivo	Produzir bens e prestar serviços	Atender às necessidades do consumidor em um ambiente residencial ou social
Características do uso	Uso na indústria. Definido pelo fabricante e programado pela empresa.	Uso pessoal, familiar ou doméstico. Irregular, menos sistemático e selecionado pelo usuário, podendo variar.
Comprador	Empresa, mediante critérios técnicos e econômicos.	Individual, podendo denominar critérios subjetivos.
Usuário	Pessoas habilitadas, com treinamento.	Individual, podendo predominar critérios subjetivos.
Acompanhamento do uso	Supervisionado por pessoas especializadas.	Não existe, especificamente.

Fonte: Adaptado de Iida (2005, p. 318)

Na literatura outros termos podem ser encontrados para definir produtos. Gomes Filho (2006) caracteriza como produto industrial qualquer objeto de configuração predominantemente tridimensional fabricado no modo industrial, onde o produto passa pelo processo de concepção, elaboração, desenvolvimento do projeto e fabricação. Para uma melhor compreensão, o autor divide os produtos industriais em dois conceitos, de acordo com os níveis de complexidade de sua configuração tecnológica e de fabricação: produto simples e produto sistêmico.

Produto simples significa qualquer objeto tridimensional fabricado principalmente no modo industrial e configurado por poucas unidades, partes ou componentes físicos ou visuais. Produto sistêmico, em uma definição ampla e mais abrangente, corresponde a qualquer objeto tridimensional fabricado principalmente no modo industrial, porém com características muito mais complexas da configuração física. Ou seja, é o produto que possui um maior número de partes e componentes físicos ou visuais. Muitos deles agregando no seu conjunto, além das peças fabricadas, outros produtos já prontos, como por exemplo, o automóvel (GOMES FILHO, 2006).

2.2.3 Produtos inteligentes

Na atualidade novos princípios de design vêm sendo introduzidos para atender a um novo conceito de produto denominado produto inteligente (*smart product*). Com base em teorias desenvolvidas na Alemanha para ambientes inteligentes, este conceito vem afetando o crescimento econômico e industrial em muitas nações (AHRAM; KARWOWSKI; SOARES, 2011). Conforme Ahram, Karwowski e Amaba (2011) e Das e Cook (2006), Ambiente Inteligente é aquele capaz de adquirir e aplicar conhecimentos sobre um ambiente e adaptá-los a seus habitantes, promovendo uma melhor experiência.

O grupo Ambient Intelligence (AMI) identifica dois objetivos motivadores para a concepção de produtos inteligentes (SABOU et al., 2009):

1. O crescente aumento da necessidade de simplificar o uso de produtos diários, quando as suas funcionalidades têm se tornado cada vez mais complexas. Simplicidade é oportuna durante todo o ciclo de vida do produto desde apoio à fabricação, reparo e uso.
2. Aumento do número, sofisticação e diversidade dos componentes do produto, bem como a tendência dos fornecedores e fabricantes tornarem-se cada vez mais independentes uns dos outros, o que requer considerável grau de abertura nas características do produto.

A questão chave que caracteriza produtos inteligentes é o aspecto de conhecimento, representando os produtos que facilitam as tarefas diárias e ampliam os objetos do cotidiano (AHRAM; KARWOWSKI; SOARES, 2011). A Smart Products Consortium (SPC) define produto inteligente como um objeto autônomo projetado para se auto incorporar em diferentes ambientes ao longo de seu ciclo de vida e que permite uma interação natural humano-produto. Estes produtos são capazes de se aproximarem do usuário de forma proativa usando sensores, dados de entrada e saída e capacidade de ajuste ao ambiente, sendo sensíveis à situação e ao contexto de uso. O conhecimento e a funcionalidade relacionados podem ser compartilhados e distribuídos entre vários produtos inteligentes, evoluindo ao longo do tempo (SABOU et al., 2009; AHRAM; KARWOWSKI; AMABA, 2011; AHRAM; KARWOWSKI; SOARES, 2011).

Produtos inteligentes já fazem parte da nossa vida cotidiana e têm provocado grandes transformações. Em muitos aeroportos, por exemplo, foi adaptado um sistema de *check-in* automatizado, substituindo os representantes das companhias aéreas, criando um ambiente de autoatendimento aos viajantes, que podem também realizar o *check-in* a partir de seu *smartphone*. Podemos também citar como exemplo de produto inteligente o quadro digital ou *Smart Board* que vem sendo utilizado tanto nas empresas como na sala de aula (SOARES; FALCÃO; AHRAN, 2013). Este corresponde a um equipamento de alta tecnologia, integrando projetor LCD, tela de projeção e superfície sensível ao toque, conforme ilustra a Figura 2.2.

Figura 2.2 – SmartBoard



Fonte: Soares, Falcão e Ahran (2013)

Na sala de aula, o *Smart Board* pode proporcionar aulas mais dinâmicas, contribuindo com um novo conceito para este espaço, onde várias atividades de aprendizado podem ocorrer ao mesmo tempo, enquanto que nas empresas pode proporcionar um ambiente de reuniões interativas e teleconferências.

2.2.4 Contexto de uso dos produtos de consumo

Quando um produto (ou sistema) é desenvolvido, ele será usado dentro de um contexto particular e por uma população de utilizadores com determinadas características (MAGUIRE, 2001). Nesse sentido, a usabilidade do produto não é uma atividade independente e está relacionada ao contexto. A alteração de qualquer aspecto relevante ao contexto de uso pode alterar a capacidade de utilização do produto (BEVAN; MACLEOD, 1994).

Sendo assim, as características do contexto para determinar usabilidade devem ser tão importantes quanto as características do produto em si (TRIVERDI; KHANUM, 2012). Contexto de uso, de acordo com a ISO 9241-11 (ISO, 1998) compreende usuários, tarefas, equipamentos (*hardware*, *software* e materiais), e o ambiente físico e social no qual um produto é usado.

O contexto físico compreende a localização onde o usuário está na realização dos testes. Ambiente natural é o lugar real do produto e quando os testes são realizados neste ambiente, são chamados de testes de campo. Ambiente artificial é a simulação do ambiente natural, por vezes denominado como ambiente controlado, e os testes realizados nesse ambiente são chamados de testes de laboratório.

Os testes de campo acontecem em um ambiente mais natural. Conforme Markopoulos et al. (2008), em um cenário artificial têm-se maior controle dos dados mas carece de realismo, enquanto que em um cenário natural possui realismo mas são encontradas dificuldades no controle. Os testes de laboratório são realizados em um ambiente controlado, proporcionando maior domínio no tratamento e manipulação de variáveis. É possível empregar instalações para recolher dados com alta qualidade, tais como a gravação de vídeo. Testes de laboratório têm recebido tanto reconhecimento quanto críticas. Razak et al. (2010) descrevem como vantagens dos testes realizados no laboratório o controle das condições para a realização da pesquisa, a possibilidade de todos os participantes experimentarem a mesma configuração e dos mesmos se concentrarem nos fenômenos específicos de interesse da pesquisa, facilitando a coleta de dados. Park e Lim (1999), apontam que a simulação das configurações de uso é difícil, demorada, cara e não possui fatores contextuais. Bruno e Muzzupappa (2010) apontam que as avaliações realizadas em

laboratórios não proporcionam a descoberta de problemas de usabilidade ocorridos no mundo real, pois os testes laboratoriais são apenas simulações de uso do produto.

O contexto social corresponde às pessoas envolvidas e tem um papel importante na usabilidade. As pessoas envolvidas podem ser os avaliadores e monitores dos testes, assim como os usuários. Existe também um efeito substancial das outras pessoas que podem não estar diretamente envolvidas com a avaliação, tais como familiares e usuários curiosos. Stoica et al. (2005), descobriram que, enquanto avaliações laboratoriais fornecem excelentes dados, o contexto social, bem como a presença de outras pessoas ao redor também desempenham um papel importante. Embora o contexto social seja considerado importante, poucas pesquisas são realizadas para identificar sua influência nas avaliações de usabilidade (TRIVERDI; KHANUM, 2012).

2.3 Dimensões da usabilidade

Medidas de usabilidade proporcionam ao termo usabilidade tornar-se mais concreto e mais fácil de ser avaliado (Hornbaek, 2006). Inicialmente estas medidas resumiam-se em apenas duas, eficiência e eficácia, sendo posteriormente decompostas em várias dimensões por diversos autores. A ideia base é a de que usabilidade pode ser medida e tem como objetivo saber na prática o quanto a tarefa com o produto pode ser realizada e finalizada com êxito.

De acordo com Tullis e Albert (2008), medir a experiência do usuário oferece muito mais do que apenas uma simples observação. Métricas adicionam estrutura para o processo de concepção e avaliação, dá dicas sobre os resultados e fornece informações para os tomadores de decisões. Sem as informações fornecidas pelas métricas de usabilidade, importantes decisões de negócios podem ser tomadas com premissas inadequadas.

Tullis e Albert (2008) também acrescentam que as métricas de usabilidade podem auxiliar a revelar padrões que são difíceis ou mesmo impossíveis de se ver. Ao avaliar um produto com uma pequena amostra, sem coletar qualquer métrica, geralmente são revelados os problemas de usabilidade mais óbvios. No entanto, existem outros problemas mais sutis que requerem o auxílio das métricas.

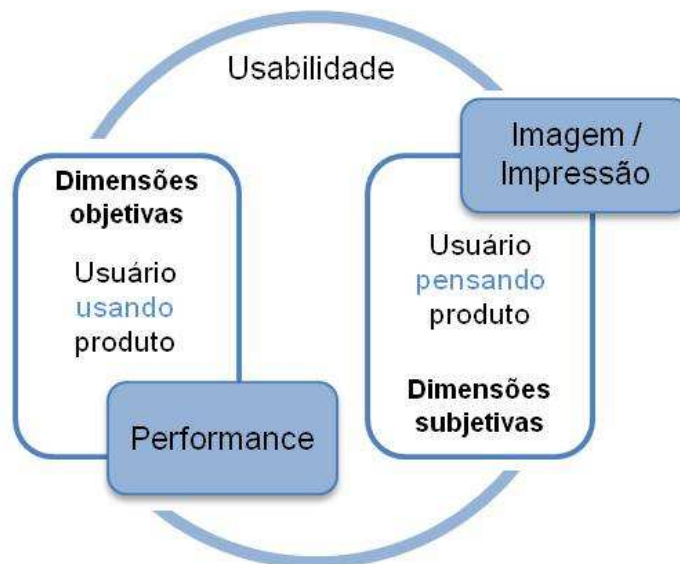
Nielsen (1993) destaca que a usabilidade não é uma propriedade única de uma interface, mas possui múltiplos componentes. Neste sentido, considera cinco dimensões para definir tal conceito de forma clara e objetiva: *Facilidade de aprendizado*; *Eficiência*; *Facilidade de memorizar*; *Poucos erros* e *Satisfação*.

A abordagem de Nielsen (1993), entre outras constantes no Quadro 2.2, unifica três diferentes aspectos da usabilidade (NIELSEN, 1993; HAN et al., 2001; RAITA; OULASVIRTA, 2011):

- *Medidas operacionais de usabilidade de caráter objetivo.* As medidas objetivas correspondem às variáveis quantitativas correspondentes ao desempenho, ao tempo da tarefa e ao número ou taxa de erros do usuário.
- *As medidas objetivas de usabilidade estão relacionadas com os níveis de conhecimento do usuário.* Estas medidas correspondem ao desempenho do usuário experiente, a capacidade de aprendizagem do usuário iniciante e a capacidade de reaprendizagem do usuário casual de um determinado produto.
- *Medidas subjetivas de usabilidade.* As medidas subjetivas refletem opiniões e experiências baseadas na percepção do usuário.

Baseada em Han et al. (2001), a Figura 2.3 apresenta a abordagem da usabilidade do produto considerando as dimensões objetivas e subjetivas.

Figura 2.3 – Abordagem da usabilidade do produto



Fonte: Adaptado de Han et al. (2001)

As dimensões de usabilidade apresentadas por autores relevantes e a norma ISO encontram-se resumidas no Quadro 2.2. Cada linha da figura apresenta uma dimensão, agrupadas de acordo com as definições dadas pelos autores e divididas em objetivas e subjetivas. Ao observar a tabela, percebe-se que muitos autores possuem dimensões com

mesmo significado, mas com nomenclaturas diferentes. As dimensões propostas aliam usabilidade a outros atributos e conceitos de sistemas ou produtos, oferecendo critérios mensuráveis de usabilidade, sendo necessários para a sua compreensão.

Quadro 2.2 – Dimensões da usabilidade a partir de diversos autores e norma ISO.

Shackel (1991)	Nielsen (1993)	Abran et al. (2003)	Quesenbery (2003)	ISO 9241-11 (2006)	Rubin & Chisnell (2008)
Dimensões objetivas					
<i>Eficácia</i>		<i>Eficácia</i>	<i>Eficaz</i>	<i>Eficácia</i>	<i>Eficaz</i>
	<i>Eficiência</i>	<i>Eficiência</i>	<i>Eficiente</i>	<i>Eficiência</i>	<i>Eficiente</i>
<i>Facilidade de aprendizado</i>	<i>Facilidade de aprendizado</i>	<i>Facilidade de aprendizado</i>	<i>Fácil de aprender</i>		
	<i>Facilidade de memorizar</i>				
					<i>Utilizável</i>
<i>Flexibilidade</i>					
	<i>Poucos erros</i>		<i>Tolerância ao erro</i>		
					<i>Acessibilidade</i>
		<i>Segurança</i>			
Dimensões subjetivas					
	<i>Satisfação</i>	<i>Satisfação</i>	<i>Engajado</i>	<i>Satisfação</i>	<i>Satisfação</i>
<i>Atitude</i>					

Fonte: A autora

No entanto, as dimensões apresentadas foram desenvolvidas para avaliar a interface usuário *software* e podem deixar lacunas na avaliação de produtos de consumo. Para atender a tal necessidade, Kim & Han (2008), a partir de uma revisão de literatura aprofundada, propõem dezoito dimensões da usabilidade para produtos de consumo eletrônicos, conforme o Quadro 2.3. Deve-se notar que nem todas as dimensões listadas são relevantes para todos os tipos de avaliação, assim como, dimensões adicionais podem ser necessárias para testes com produtos que possuem um determinado tipo de sistema ou desempenho específico.

Quadro 2.3 – Dimensões da usabilidade para produtos de consumo eletrônicos

Dimensões da usabilidade	Descrição
Simplicidade	As interfaces e métodos de interação de um produto devem ser simples, claras e intuitivamente reconhecidas.
Consistência	As interfaces e métodos de interação devem ser consistentes dentro do produto e entre produtos da mesma família.
Modelagem	Cada interface e método de interação deve ter apenas um significado e um comportamento.
Lócus de controle	Deve ser dado ao usuário autoridade para controlar todas as funções e a aparência da interface do usuário.
Direção	Todas as operações devem ser projetadas para proporcionar ao usuário a sensação de manipulação direta.
Feedback	O status do produto e as consequências de qualquer operação do usuário devem ser fornecidas de forma clara e imediata.
Prestatividade	Qualquer informação útil deve ser fornecida ao usuário sempre que for preciso.
Perdão	Quando um erro é reconhecido, deve ser oferecida ao usuário a possibilidade de tomar ações corretivas.
Prevenção de erros	As interfaces e métodos de interação devem ser projetados para impedir erros.
Adaptabilidade	Modificações da interface devem possibilitar a adaptação a diferentes usuários e condições de acordo com a experiência, conhecimento e preferências dos mesmos.
Acessibilidade	Quaisquer funções e interfaces devem ser facilmente acessíveis.
Capacidade de aprendizado	O esforço necessário para o aprendizado das interfaces e os métodos de interação deve ser pequeno.
Memorização	As interfaces e os métodos de interação devem ser fáceis de lembrar.
Familiaridade	Interfaces e métodos de interação familiares devem ser adotados para que o usuário possa aplicar sua experiência anterior.
Previsibilidade	O método de interação e os significados das interfaces devem estar de acordo com as expectativas do usuário.
Informativa	As interfaces apresentadas ao usuário devem ser claras e de fácil entendimento.
Eficácia	Todas as funções de uso devem ser implementadas em um produto.
Eficiência	Um produto deve ser projetado para permitir que um usuário execute funções de forma rápida, fácil e econômica.

Fonte: Adaptado de Kim & Han (2008, p. 336)

2.4 Modelos de usabilidade

As definições de usabilidade caracterizadas pelas dimensões apresentadas no item anterior precisam ser conduzidas de forma a facilitar a avaliação e testes da usabilidade. Para tal, alguns autores propõem "modelos de usabilidade". De acordo com Leventhal e Barnes (2008), um modelo não apenas estabelece as características de uma interface utilizável, mas também indica como estas características se encaixam, o que significam e como contribuem para a usabilidade. Sem um modelo e suas implicações sobre o efeito causal de diferentes interfaces de usuários e as características situacionais, possivelmente o engenheiro/designer de usabilidade teria que adivinhar os fatores que influenciam potencialmente na usabilidade de um produto ou sistema.

Diferentes abordagens para a avaliação da usabilidade são propostas em diferentes contextos, tais como *software* (LEVENTHAL; BARNES, 2008) e produtos de consumo eletrônicos (KWAHK; HAM, 2002; KIM; HAN, 2008). O quadro 2.4 apresenta os modelos de usabilidade mais utilizados, assim como as suas definições.

Os três modelos desenvolvidos por Eason (1984), Shackel (1991) e Nielsen (1993), e apresentados no Quadro 2.4, sugerem que determinadas propriedades da interface possuam uma influência causal na usabilidade. Nos modelos de Shackel e Nielsen, um número de dimensões que contribuem para a usabilidade é identificado enquanto que, no modelo de Eason, encontramos uma abordagem diferenciada. De acordo com Eason, as características das três dimensões – usuário, sistema e tarefa – são variáveis independentes, e a forma como essas dimensões interagem entre si influenciará os resultados de usabilidade.

Uma contribuição importante do modelo proposto por Eason é que não se pode medir usabilidade sem considerar o usuário e a sua tarefa alvo. Estas duas abordagens fornecem informações contextuais essenciais e podem influenciar a usabilidade tanto quanto as características da interface do usuário em si (LEVENTHAL; BARNES, 2008).

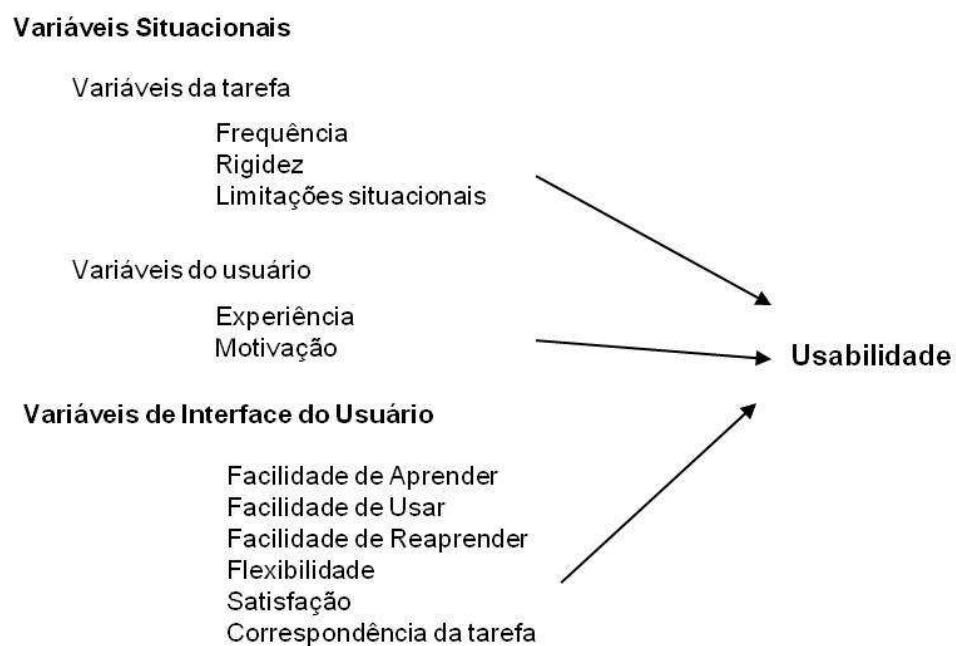
Quadro 2.4 – Taxonomia dos modelos de usabilidade.

Modelo	Dimensões		Definição
Modelo de Eason (1984)	Tarefa	Frequência	Número de vezes que uma tarefa é realizada pelo usuário.
		Abertura	Extensão em que uma tarefa é modificável.
	Usuário	Conhecimento	O conhecimento que o usuário aplica na tarefa. Este deve ser apropriado ou não.
		Motivação	O que determinou ao usuário o cumprimento de sua tarefa.
		Critério	A habilidade do usuário em não escolher o uso de alguma parte do sistema.
	Sistema	Fácil de aprender	O esforço requerido para entender e operar um sistema não familiar.
		Fácil de usar	O esforço requerido para operar um sistema uma vez que é entendido e dominado pelo usuário.
		Correspondência da tarefa	A extensão que cada informação e funções que um sistema fornece correspondem às necessidades do usuário para uma determinada tarefa.
Modelo de Shackle (1991)	Eficácia	É descrita pelo intervalo da tarefa que deve ser melhor do que o nível de desempenho exigido, assim como uma percentagem específica de um intervalo de usuários alvo dentro de uma gama específica do ambiente de uso.	
	Facilidade de aprendizado	Corresponde ao tempo entre o treinamento dos usuários e suporte da instalação do sistema, incluindo o tempo de reaprendizado.	
	Flexibilidade	Corresponde à permissão de alguma variação de percentual especificado na tarefa e/ou no ambiente além do que foi especificado primeiramente.	
	Atitude	Corresponde aos níveis aceitáveis de custo humano em termos de cansaço, desconforto, frustração e esforço pessoal.	
Modelo de Nielsen (1993)	Facilidade de aprendizado	O sistema deve ser fácil de aprender para que o usuário, mesmo não tendo experiência, possa rapidamente começar a obter resultados satisfatórios do trabalho realizado.	
	Eficiência	Está diretamente relacionada com a produtividade do sistema, de modo que uma vez que o usuário tenha aprendido o sistema, seja possível uma alta produtividade.	
	Facilidade de memorizar	O sistema deve ser fácil de lembrar, de forma que o usuário ocasional não tenha que aprender tudo de novo sobre o sistema após algum período sem tê-lo usado.	
	Poucos erros	O sistema deve ter uma baixa taxa de erros, de modo que os usuários cometam poucos erros durante o uso do sistema, e assim que erros sejam cometidos, estes possam ser corrigidos de forma simples e rápida. Além disso, erros catastróficos não devem ocorrer.	
	Satisfação	O sistema deve permitir uma interação agradável, para que os usuários estejam subjetivamente satisfeitos ao utilizá-lo.	

Fonte: A autora

Leventhal e Barnes (2008) propõem um modelo híbrido de usabilidade, aplicado a sistemas, a partir dos modelos de Shackel, Nielsen e Eason descritos no quadro 2.4. O modelo proposto é uma tentativa de colocar juntos os fatores mais importantes dos três modelos que foram considerados. Assume que um número de variáveis que são tomadas juntas determinará se a interface tem boa usabilidade. Tais variáveis dividem-se em: variáveis situacionais e variáveis de interface do usuário, conforme ilustrado na figura 2.4.

Figura 2.4 – Modelo de usabilidade



Fonte: Leventhal & Barnes (2008, p. 36)

Os modelos propostos acima foram desenvolvidos principalmente para a análise de *softwares* e *websites*, a partir do contexto da interação humano-computador. Porém podem ser adaptados para o estudo da usabilidade de produtos de consumo.

Em busca de um modelo específico para produtos, Kahmann & Henze (1999; 2002), descrevem um modelo baseado em três elementos: *Objeto*, *Intervenção* e *Resultado* (Figura 2.5). O modelo P5 USESCAN® tem sido amplamente aplicado em diversos testes de usabilidade do produto através da empresa P5 formada pelos autores.

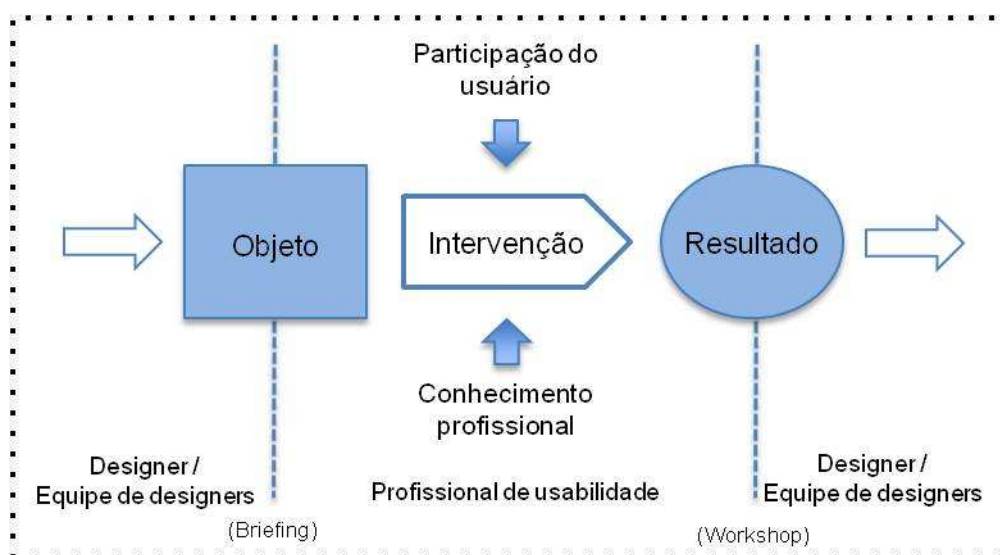
O *Objeto* é o sujeito do estudo da usabilidade. Dependendo da fase de produção do processo de desenvolvimento, a qualidade do objeto pode variar consideravelmente. Esta

variação corresponde do conceitual ao material, isto é, elementos da ideia, do conceito, do modelo, do protótipo e do produto.

A *Intervenção* corresponde aos testes de usabilidade do objeto. O tipo de objeto determina o alvo da intervenção. Este alvo, por exemplo, pode ser requerimentos visíveis do produto com base nas ideias de um gerente, ou pode ser testar conceitos para determinar requerimentos específicos.

Resultados correspondem aos dados obtidos na Intervenção na forma de informação. Segundo os autores, o conceito resultado não é intencionalmente utilizado, porque este só poderá ser realizado quando os resultados são incorporados e aceitos em um processo de desenvolvimento do produto.

Figura 2.5 –Modelo P5 USESCAN



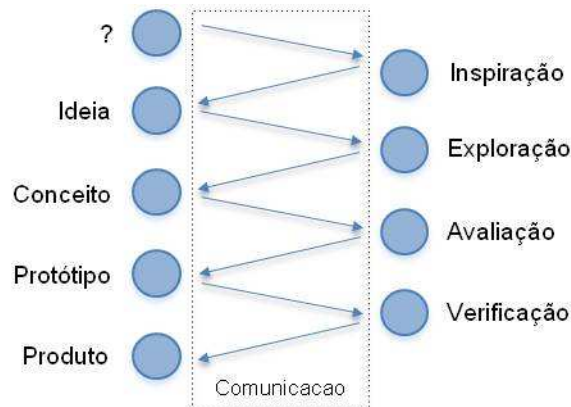
Fonte: Kahmann e Henze (2002, p. 300).

Conforme a Figura 2.5, uma linha é desenhada representando o modelo proposto pelos autores. O processo inicia demonstrando o movimento do objeto a partir do designer (ou equipe) para o profissional de usabilidade que desenvolverá os testes, a partir de um *briefing*, representado pela linha da esquerda. O processo é finalizado com a apresentação dos dados coletados para o designer (ou equipe) através da realização de um *workshop*, conforme a linha da direita. Fazendo isto, o processo pode ser repetido diversas vezes.

Para melhor ilustrar as fases de desenvolvimento do produto onde os testes de usabilidade fazem parte, Kahmann e Henze (2002) propõem uma abordagem adicional que consiste em

quatro fases: Inspiração, Exploração, Avaliação e Verificação. A figura 2.6 representa este processo como um todo. Do lado esquerdo são apresentados os diferentes estágios de materialização do produto, enquanto que no lado direito estão posicionadas as quatro fases da pesquisa de usabilidade.

Figura 2.6 – Modelo *Ping-Pong*



Fonte: Kahmann e Henze (2002. P. 299).

A inspiração corresponde à ideia inicial, o *insight*. A Exploração busca que tipo de interação pode ou deve ocorrer na utilização do produto e quais aspectos são relevantes, formando o conceito do produto. A fase seguinte corresponde à avaliação desse conceito. A esta corresponde testar a partir de protótipos, a forma como diferentes interações trabalham de forma qualitativa. Na terceira e última fase, a verificação terá lugar em uma pesquisa quantitativa para verificar se as interações esperadas trabalham no caminho certo. A conclusão do processo corresponde ao produto final.

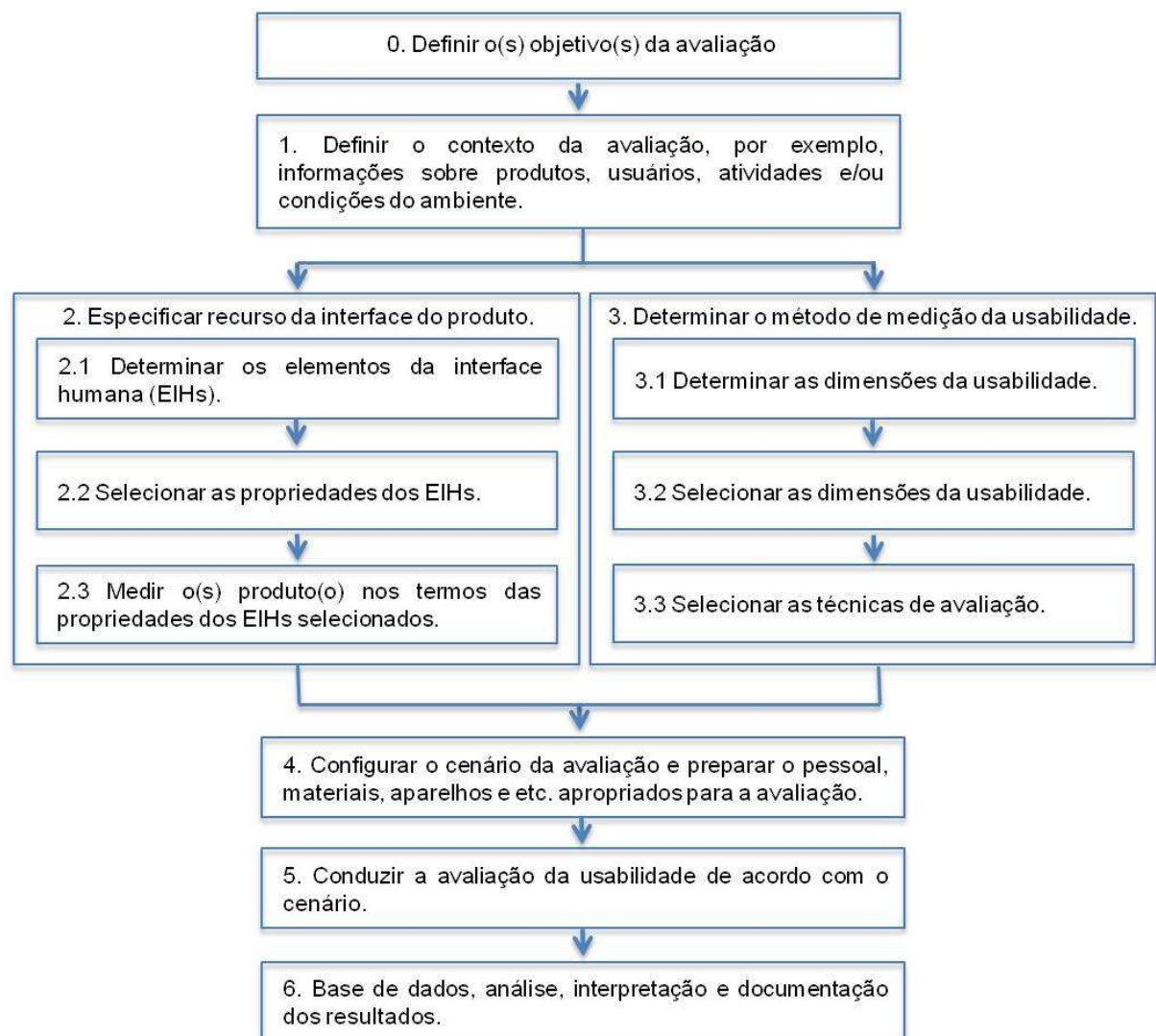
As informações colhidas durante a intervenção devem ser divididas em objetivas e subjetivas. As informações objetivas, denominadas conhecimento profissional, apresentadas na Figura 2.5, consistem nas informações de natureza física e cognitiva, correspondendo aos dados sobre dimensões, forças admissíveis, tamanho de fontes e combinações de cores. Por outro lado, as informações de entrada do usuário são obtidas a partir dos testes de usabilidade. Nestes testes, métodos qualitativos são geralmente utilizados e os resultados obtidos não são absolutos e podem ser considerados como dados subjetivos.

O modelo propõe várias avaliações ao longo do processo de desenvolvimento do produto. Demonstra o modo como a análise da usabilidade deve ser conduzida, posicionando todos os elementos dentro de um contexto. Apesar da abordagem estar focada na interação entre

usuário e produto a partir dos termos definidos na norma ISO 9241-11, a configuração deste modelo permite adaptar as dimensões da usabilidade, ou até mesmo um dos modelos apresentados anteriormente, de acordo com os objetivos ou escopo da avaliação.

No contexto de produtos de consumo eletrônicos, Kwahk e Ham (2002) desenvolveram um modelo de avaliação da usabilidade conforme ilustra a Figura 2.7.

Figura 2.7 – Modelo de avaliação da usabilidade



Fonte: Kwahk e Ham (2002)

O procedimento de avaliação da usabilidade começa com uma fase preparatória. Na fase 1 os avaliadores vão requerer a taxonomia das variáveis do contexto para definir a situação dos testes. A partir de uma lista de variáveis do contexto que são consideradas importantes,

tais como características dos usuários ou do ambiente, os avaliadores precisam configurar cada uma delas como uma variável constante, controlada ou aleatória.

As informações detalhadas sobre as características da interface do produto a serem avaliadas são fornecidas na fase 2. Primeiramente são analisados os elementos da interface humana para posteriormente medir cada produto em relação a essas propriedades. Na fase 3 as dimensões de usabilidade, medidas e técnicas de avaliação são determinadas. Esta etapa pode ser realizada em paralelo com a etapa 2, caso seja necessário.

Kim e Ham (2008), propõem um modelo que proporciona um nível de usabilidade através das medidas da mesma, podendo ser utilizado na fase 3. O modelo é composto por duas fases: modelo individual e modelo integrado. O modelo individual é utilizado para calcular o nível de usabilidade de cada dimensão propostas na tabela 2.3, subcapítulo 2.3, enquanto o modelo integrado calcula o nível global entre todas estas dimensões.

A etapa 4 é o lugar onde os avaliadores constroem o cenário para a avaliação e preparam todos os materiais, aparelhos e etc., para que a avaliação seja realizada na etapa 5. A etapa 6 corresponde a um passo muito importante onde os resultados da avaliação são armazenados em uma base de dados para uma gestão eficiente para posterior análise e modificações de design.

2.5 Considerações finais do capítulo

Conforme visto, embora o conceito de usabilidade tenha como objetivo a área de HCI, a sua aplicação em produtos de consumo tem evoluído ao longo dos anos, a partir dos vários estudos de diversos pesquisadores, apresentados neste capítulo. Diferentes dimensões foram propostas como indicadores para uma visão clara da usabilidade e dos seus aspectos, assim como modelos para sua aplicação, que formam a base para a avaliação da usabilidade do produto.

Como suporte ao entendimento do usuário, a usabilidade foi associada à ergonomia, por exercerem a mesma função na abordagem de produtos. A ergonomia/usabilidade está na interface humano-produto, dando suporte ao designer para um melhor entendimento das necessidades e expectativas do usuário. Sendo assim, em termos de definição, design, ergonomia e usabilidade interagem em um mesmo sentido: otimizar as condições do usuário, considerando ao mesmo tempo o objeto e as atividades realizadas em um determinado contexto.

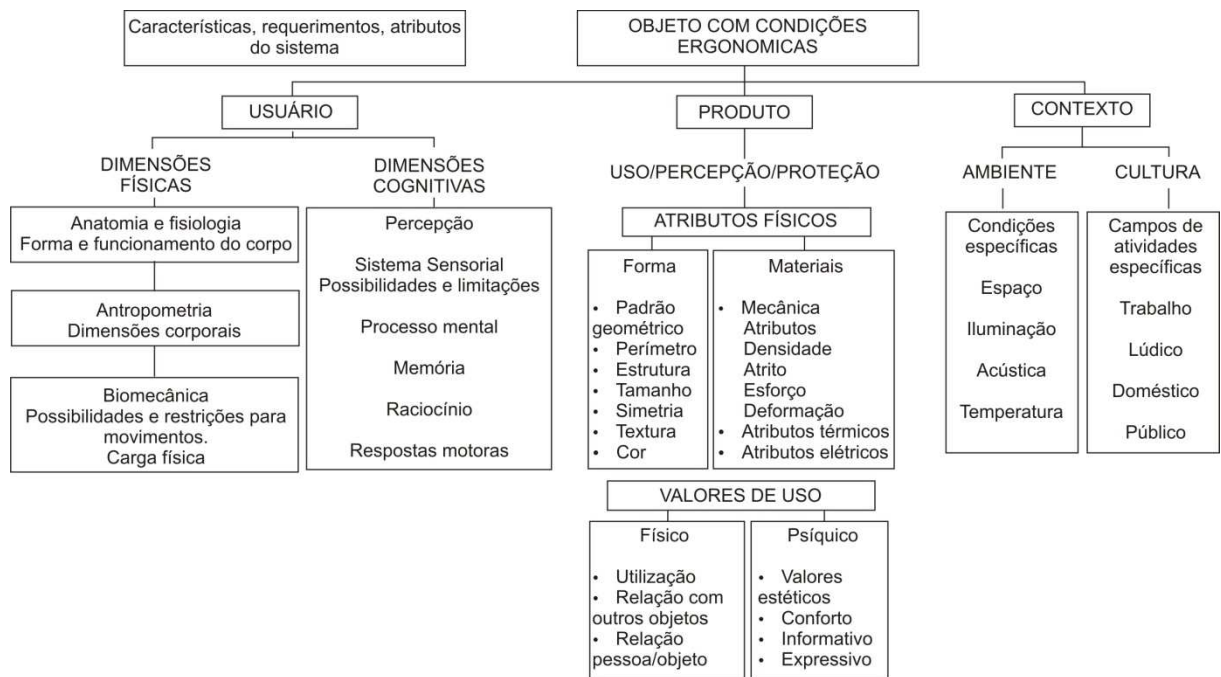
A partir das questões abordadas, compreende-se que o foco fundamental da usabilidade continua sendo a facilidade de uso quando interage com o produto. Para definir um conceito

é necessário elaborar medidas que reflitam a experiência do usuário e estabelecer um nível de sucesso para o produto. Estas medidas podem ser direcionadas a um entendimento das necessidades do usuário e requisitos das dimensões físicas, cognitivas e emocionais, às quais são entendidas como complementares e interdependentes. Sendo assim, as características da interação entre usuário, produto e contexto de uso determinam a usabilidade do produto.

Baseado nestas relações, modelos conceptuais foram construídos para a avaliação da usabilidade e descritos no subcapítulo 2.4. Porém muitos destes modelos dizem respeito à avaliação da usabilidade de *softwares*, abordando fatores que representam constructos hipotéticos sobre usabilidade em critérios mensuráveis a partir de métricas específicas. No entanto, estes critérios e métricas não estão definidos de forma consistente nos diferentes modelos quando relacionados a produtos de consumo. Estes oferecem pouca informação sobre como selecionar determinadas métricas diante de metas mais amplas de usabilidade em um determinado contexto de uso, dificultando a aplicação prática. Buscando superar estas dificuldades, também foi descrito neste capítulo modelos desenvolvidos especificamente para produtos, reunindo informações sobre como coletar os dados de acordo com os objetivos gerais da usabilidade do produto, conforme o modelo de Kwahk e Ham (2002), levando em consideração as fases de desenvolvimento do mesmo, conforme o modelo de Kahmann e Henze (2002).

De acordo com o modelo de Kahmann e Henze (1999; 2002), assim como a ênfase dada ao longo do capítulo sobre a importância da participação do usuário, ficou evidente a necessidade dos designers superarem suas interpretações pessoais de uma dada situação e passarem a considerar o conhecimento cultural do usuário e a sua experiência prévia. Erros de design podem surgir das diferenças entre o conceito que os designers têm sobre os usuários e o conceito que de fato os usuários têm sobre os produtos do dia-a-dia (NORMAN, 2006). Neste sentido, o conhecimento do usuário é uma questão central na usabilidade do produto.

Este estudo também proporcionou, a partir da abordagem dos diversos autores, a possibilidade de se compreender produtos de consumo como qualquer objeto de configuração predominantemente tridimensional, destinado ao uso pessoal, familiar ou doméstico, em um ambiente residencial ou social, e que tenha passado por um processo de concepção, elaboração e desenvolvimento do projeto para uma fabricação de modo industrial. Além de produtos, dois elementos principais para a abordagem da usabilidade também foram apontados: o usuário e o contexto de uso. A relação entre estes fatores pode ser vista na Figura 2.8 a seguir.

Figura 2.8 – Visão sistêmica dos elementos de referência a partir da ergonomia

Fonte: Adaptado de Zapata (2011, p. 158)

Dando continuidade ao tema usabilidade, a avaliação e testes da usabilidade em produtos de consumo envolvem o uso de ferramentas das diferentes áreas para a coleta de informações qualitativas e quantitativas. Estes métodos e técnicas, quando utilizados em conjunto a partir de uma metodologia, mostram-se capazes de gerar resultados significativos. Nesta direção, o próximo capítulo tem como objetivo identificar os métodos e técnicas utilizadas para a avaliação da usabilidade e o seu papel no ciclo de desenvolvimento do produto.

Capítulo 3

Usabilidade e Métodos de Avaliação

No capítulo anterior conceitos centrais sobre usabilidade foram descritos de forma a subsidiar a compreensão do tema. Dando continuidade à revisão de literatura, o propósito deste capítulo consiste em encontrar como designers realizam uma avaliação da usabilidade. Para tal foi avaliado como diferentes métodos são entendidos e aplicados, de forma a subsidiar os estudos de caso subsequentes.

O capítulo inicia com uma abordagem do papel da usabilidade no sistema de desenvolvimento do produto. A segunda parte apresenta os métodos de avaliação da usabilidade selecionados na literatura de design e ergonomia. Existe uma literatura substancial de como conduzir uma avaliação da usabilidade (por exemplo, NIELSEN, 1993; JORDAN, 1998; LEVENTHAL; BARNES, 2008; TULLIS; ALBERT, 2008, BARNUM, 2011), sendo utilizada por pesquisadores e especialistas em projetos desenvolvidos tanto na academia como em outras organizações, como suporte à equipe multidisciplinar de design. Ao final do estudo teórico do capítulo, será apresentado um panorama sobre a escolha dos participantes e das medidas para a avaliação da usabilidade.

A segunda parte descreve um estudo piloto realizado a fim de avaliar a aplicação dos instrumentos de pesquisa elaborados a partir da revisão de literatura. Os objetivos deste estudo consistem em primeiro lugar, validar o método de avaliação da usabilidade em produtos e promover o conhecimento dos produtos escolhidos a serem utilizados ao longo da pesquisa, e em segundo lugar, colher a opinião e sugestões dos especialistas para aprimoramento das ferramentas de pesquisa. O estudo foi conduzido com professores e estudantes da pós-graduação com experiência em usabilidade.

Conforme o capítulo 2, a definição de usabilidade da ISO 9241-11 (ISO, 1998) servirá de base para esta tese. A escolha se deu pelo fato do seu conteúdo ter sido formulado em excelente detalhe, sendo suficiente para ser aplicado em todos os estudos de caso pretendidos. Desta forma, o estudo de usabilidade está focado no uso do produto, sendo então a dimensão satisfação relacionada unicamente com o uso do produto.

Em adição, consideramos importante esclarecer a diferença entre os testes e avaliação de usabilidade, em consequência das palavras “testes” e “avaliação” conduzirem a um significado incerto, especialmente quando estamos usando um vocabulário para uma disciplina relativamente nova. Os testes de usabilidade correspondem ao processo de aprendizado sobre os usuários a partir da observação destes utilizando um produto para atingir objetivos específicos. A avaliação da usabilidade corresponde ao número total de

sessões de testes, sendo um dos muitos componentes que formam o processo de desenvolvimento do produto. Tradicionalmente a avaliação era realizada no final do processo com o produto já finalizado. Porém, conforme visto no capítulo anterior, vários estudos apontaram que custos com redesign poderiam ser reduzidos substancialmente se a usabilidade do produto fosse avaliada desde os primeiros estágios de seu desenvolvimento.

3.1 Sistemas de Desenvolvimento do Produto

No nosso dia a dia fazemos uso de ambientes, produtos e sistemas de informação que foram desenvolvidos por profissionais do design. O design como disciplina contribui com a construção de ambientes e materiais culturais a partir do domínio do conhecimento e métodos que possibilitam aos profissionais entenderem questões relevantes, realizarem julgamentos, comunicarem ideias e finalizarem com o desenvolvimento do design de produtos, ambientes e sistemas. O ato de projetar envolve realizar previsões sobre como futuros usuários irão interagir com algo que ainda não existe. Isto resulta que designers, mais especificamente designers de produtos, devem buscar métodos para desenvolver o seu conhecimento com o do usuário e testar suas premissas sobre a interação do usuário com o produto que está sendo desenvolvido.

O termo design de produto, em um sentido mais amplo, corresponde a um processo que parte das necessidades, conceitos e exigências do consumidor e finaliza com a conversão dessas informações em uma especificação de algo que possa ser produzido. Stamm (2008) corrobora ao sugerir que o design é o processo de tomada de decisão consciente pelo qual a informação é transformada em um resultado. Acrescenta-se também que no processo de design, os designers não apenas atendem às necessidades dos clientes, mas também podem vir a criar necessidades para eles. Conforme Kahn (2001), os clientes podem ter dificuldade de articulação de produtos inovadores ou de nova geração. Como exemplo, Kelley (2001) diz que o cliente pode sugerir os sabores que gosta, mas não é o seu trabalho, ou mesmo não está dentro de sua capacidade, criar novos sabores.

Tal fator pode ser identificado, por exemplo, com os profissionais de design da empresa Apple. Conforme aponta Hannon (2012), a Apple tem a capacidade de criar novos artefatos revolucionários, e que, no entanto, as pessoas já sabem como usar. Este fator é desencadeado pelo fato da empresa recorrer a padrões que as pessoas estão familiarizadas, apesar do meio de interação ser completamente novo. Por exemplo, anteriormente ao iPhone⁵, poucas pessoas haviam utilizado uma tela *multitouch*, mas todos

⁵ <https://www.apple.com/br/iphone/>

tenham o conhecimento de como comprimir ou esticar algo, sendo este padrão de interação facilmente transferível para uma pequena tela.

Na prática, o processo de design é bastante complexo e está sujeito a diferentes influências, como as restrições impostas pelo contexto social, econômico, político, cultural, organizacional e comercial em que os produtos são desenvolvidos, e fatores como o pensamento e capacidade criativa do designer individualmente ou em equipe, dos especialistas alinhados ao processo e fabricantes envolvidos na sua realização (CHARLOTE; FIELL, 2003). Sendo assim, o desenvolvimento de um produto não é uma atividade simples e nem direta e requer pesquisa, planejamento e controle, sendo uma atividade realizada em equipe, composta por especialistas de diversas áreas, especialmente em grandes projetos. De acordo com Soares (1998), para a direção de todo esse processo se faz necessário o uso de métodos sistemáticos.

A fim de dispor de um método de trabalho estruturado, algum tempo deve ser gasto na fase de planejamento, no início do projeto. De acordo com Bellgran e Säfsten (2010), um método de trabalho estruturado:

- Reduz o tempo gasto na estruturação dos procedimentos de trabalho;
- Facilita a coordenação e gestão do projeto;
- Proporciona oportunidades de soluções de sistemas bem pensadas.

Conforme Twiss (1987), as decisões terão melhor êxito se forem realizadas com a compreensão dos processos de trabalho e dentro de um quadro conceitual. Este quadro conceitual pode ser definido como uma estrutura que serve de suporte ou guia para a construção de alguma coisa que amplia a estrutura em algo útil.

Diversos autores apresentam quadros conceituais que representam modelos de design estruturado para o desenvolvimento de produtos como uma sequência de passos, fases, etapas. A definição de cada etapa pode ser alterada, adaptando-se com a natureza do produto e o funcionamento da empresa onde ele está sendo desenvolvido.

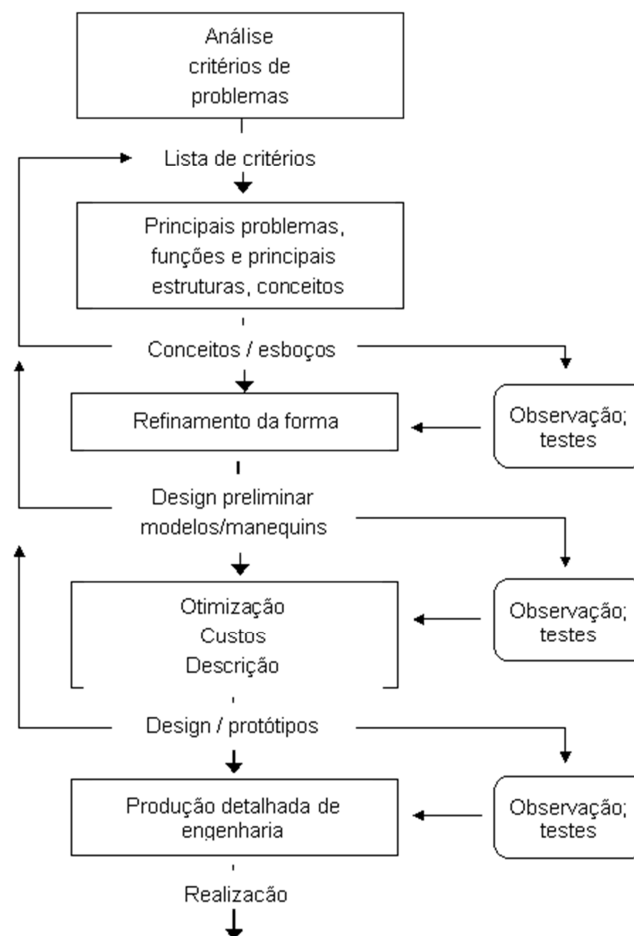
A seguir, para melhor compreender o papel da usabilidade no desenvolvimento do produto, três modelos são revistos e analisados. O primeiro modelo foi desenvolvido no ambiente educacional (DEN BUURMAN, 1997), enquanto que os outros dois foram desenvolvidos no contexto industrial (FRENCH, 1999; SOARES, 1998).

3.1.1 Modelo proposto por den Buurman (1997)

O modelo proposto por den Buurman (1997) corresponde ao resultado do desenvolvimento do processo de design centrado no usuário e tem sido utilizado junto aos alunos da School of Industrial Design Engineering da Delft University of Technology. O processo inicia-se basicamente com uma demanda de um cliente, um problema a ser resolvido ou uma ideia global para design. A Figura 3.1 apresenta o processo de design dividido em cinco grupos sucessivos com uma coerência de atividades que formam as diferentes fases na elaboração do design.

Entre os blocos, os resultados esperados das atividades anteriores são listados. Conforme ilustrado na parte do lado direito da figura, esses resultados devem ser usados para a discussão entre usuários e seus observadores, a fim de extrair informações detalhadas sobre a utilidade e usabilidade do produto. Os resultados obtidos por meio de ciclos de interação, conforme esquematicamente indicado do lado esquerdo da figura, também devem ser verificados com os resultados das fases iniciais do processo de design.

Figura 3.1 – O processo de design centrado no usuário

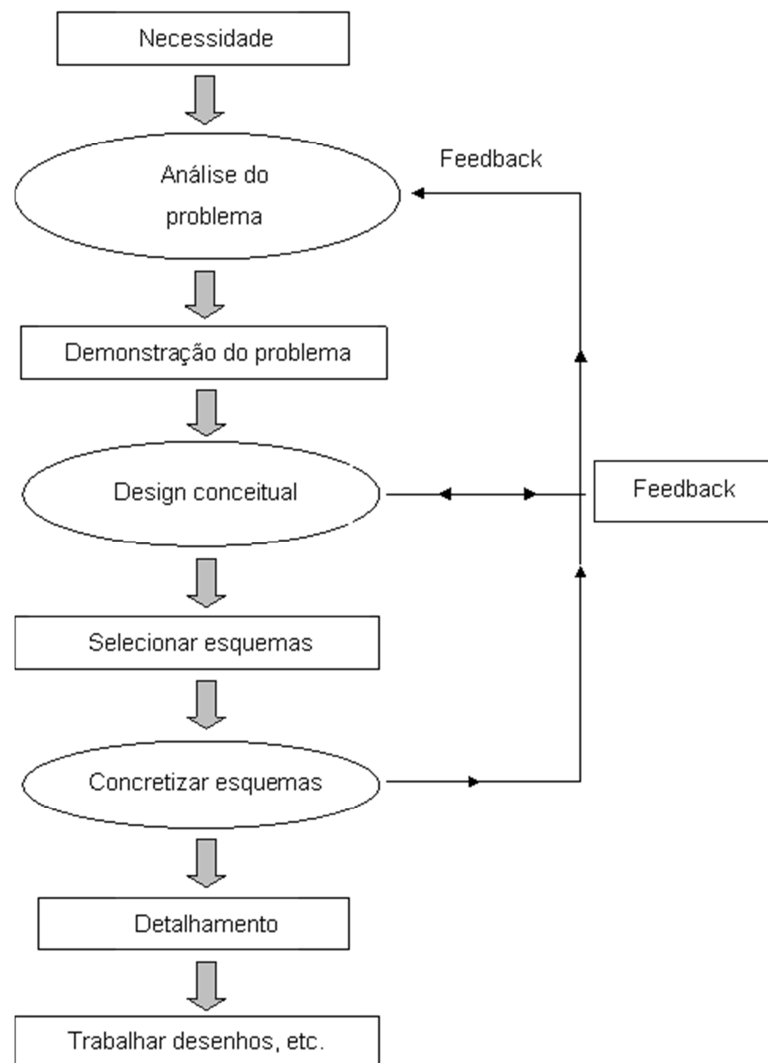


. Fonte: Adaptado de den Buurman (1997)

3.1.2 Modelo proposto por French (1999)

O processo proposto por French (1999) começa a partir da identificação das necessidades e indica a interação e o *feedback* entre as fases. A fase de 'design conceitual' corresponde ao núcleo do processo de concepção. Assim como o modelo anterior, o autor sugere que a avaliação deve acontecer continuamente em todos os retângulos, conforme a Figura 3.2.

Figura 3.2 - Processo de design do produto.



Fonte: Adaptado de French (1999)

3.1.3 Modelo proposto por Soares (1998)

O método proposto por Soares (1998) foi desenvolvido primeiramente para ser aplicado no design de produtos para pessoas com deficiência, entretanto, pode ser utilizado para qualquer produto de consumo a ser produzido em larga escala na indústria (SOARES, 2012).

O método de design de produtos centrado no usuário tem como objetivo desenvolver produtos que possam abranger a maior gama possível de usuários, adaptando-se às necessidades específicas dos mesmos. Para tal, um guia passo a passo é proposto para ser utilizado pelo design de forma a auxiliá-lo nas seguintes fases:

1. Decisões sobre vários dilemas de design através das fases distintas, reduzindo a possibilidade de avançar com resoluções sem suporte e permitindo aos demais membros da equipe entender a decisão racional;
2. Obtenção de informação sobre o uso de uma variedade de técnicas de coleta de dados;
3. Seguir uma série de etapas fundamentais, assegurando que as questões relevantes de design tenham sido consideradas no processo de design;
4. Organização de uma documentação das várias fases do design com o objetivo de facilitar o processo de tomada de decisão, para ser usado como referência futura e para educar novos membros da equipe de design.

O método compreende um conjunto de onze fases, conforme ilustra a Figura 3.3.

Figura 3.3 – Método centrado no usuário para o design de produtos para pessoas portadoras de deficiência



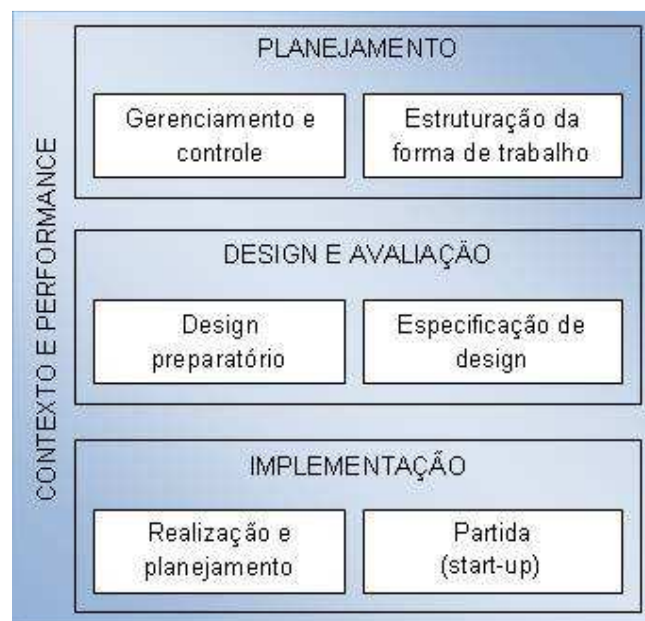
Fonte: Soares (1998)

3.1.4 Análise dos modelos e o papel da usabilidade

Os modelos apresentados possuem diferenças e semelhanças entre si. As etapas propostas pelos autores são bastante semelhantes, onde o ponto de partida corresponde à identificação das necessidades, passando pelo estágio de planejamento e alternativas de projeto, em seguida análise dos diversos conceitos, a fase de avaliação onde são realizados os testes com protótipos e por fim a implementação. É importante observar que os modelos apresentados indicam a necessidade da avaliação da usabilidade em praticamente todas as etapas desde que o conceito do design do produto começa a ser desenvolvido, e que os resultados correspondem a um *feedback* que indicará a passagem para a próxima etapa ou a necessidade de re-design.

Desta forma, percebe-se que o processo de desenvolvimento do produto pode ser classificado em quatro etapas: Análise conceitual, design preliminar, design conceitual e incorporação do design. Tal fator pode ser observado no modelo de desenvolvimento do produto apresentado por Bellgran e Säfsten (2010). O modelo de desenvolvimento do sistema de produção (*Production System Development Framework*) é construído a partir dos dados teóricos e empíricos. O modelo consiste em três blocos principais, cada um contendo dois elementos que constituem etapas do processo, que são tratadas de forma separada (ver Figura 3.4). Sendo assim, o bloco 'design e avaliação' representa tanto a fase preliminar do design, como também a fase de design conceitual.

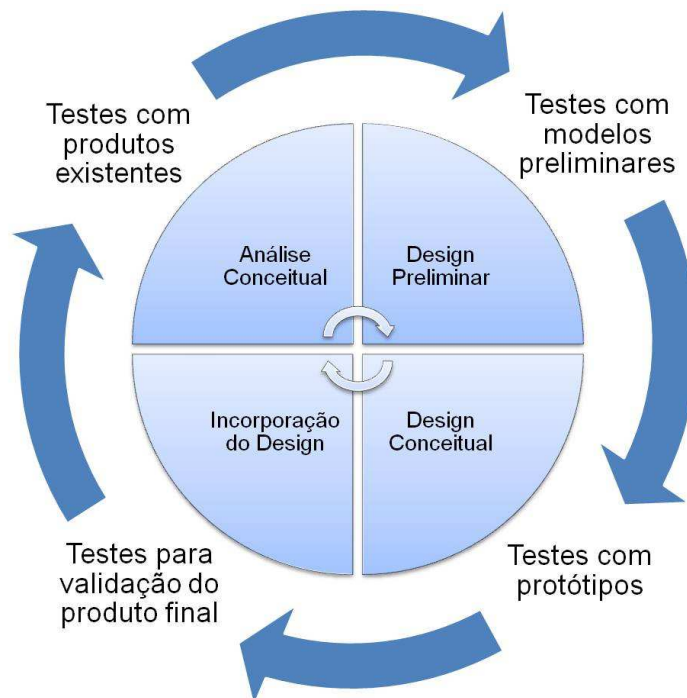
Figura 3.4 - Modelo de Desenvolvimento do Sistema de Produção



Fonte: Bellgran e Säfsten (2010)

No entanto, conforme aponta Soares (2012), um método de design por si só não é uma garantia suficiente para a boa qualidade do design de qualquer produto em particular, ou o seu sucesso no mercado. Mas os riscos, bem como os custos, podem ser minimizados seguindo a boa prática e incorporando as necessidades dos usuários para atingir a satisfação do consumidor. Neste contexto, a avaliação da usabilidade exerce um papel fundamental em todo o processo de design. A Figura 3.5, com base nos modelos apresentados, representa uma síntese das fases de desenvolvimento do produto, indicando como os testes de usabilidade podem contribuir em cada etapa.

Figura 3.5 - Avaliação da usabilidade através do ciclo de desenvolvimento do produto.



Fonte: A autora

3.2 Métodos para criação de produtos utilizáveis

Neste item serão apresentadas as características dos dois métodos mais destacados para a criação de produtos utilizáveis: Design Centrado no Usuário e Engenharia da Usabilidade.

3.2.1 Design Centrado no Usuário

No item anterior foram apresentados exemplos de ciclos de desenvolvimento de produtos que representam a forma como designers analisam problemas, desenvolvem soluções e avaliam sua implantação. Esta concepção de produto pode ser realizada sem incluir usuários no processo, mas se o objetivo consiste em proporcionar satisfação ao usuário, uma abordagem de design centrada no mesmo torna-se fundamental, como por exemplo, o modelo apresentado por Soares (1998). Para tal, autores sugerem um processo de design centrado no usuário (*User-centred design* - UCD) (ISO, 1999; MAGUIRE, 2001; PREECE et al., 2002; VREDENBURG et al., 2002; SOARES, 2005, 2012). Gould e Lewis (1985) propuseram quatro princípios que formam a base para o UCD e que mais tarde foram adaptados por Rubin e Chisnell (2008), são eles:

- Saber quem é o grupo de usuários;
- Incorporar o conhecimento atual do usuário na fase inicial do projeto;
- Avaliar: confrontar os usuários repetidamente com os primeiros protótipos para fins de avaliação;
- Interação: *redesign* quantas vezes for necessário.

Com base nestes princípios, a norma ISO 13407 (1999, p.3) caracteriza uma abordagem centrada no usuário pelo seguinte: a) A participação ativa dos usuários e uma compreensão clara dos requisitos do usuário e das tarefas; b) Uma adequada alocação de funções entre usuários e tecnologia; c) A interação de soluções de design e d) Design multidisciplinar.

Rubin e Chisnell (2008) descrevem UCD como a representação de técnicas, processos, métodos e procedimentos para a criação de produtos e sistemas utilizáveis. Em vez de focalizar as possibilidades tecnológicas e medição da qualidade em termos de componentes, o usuário deve ser tomado como ponto de partida e a qualidade do produto deve ser medida a partir do ponto de vista do mesmo, levando em conta suas necessidades, desejos, características e habilidades (VREDENBURG et al., 2002).

De acordo com a norma ISO 13407 (1999), para incorporar os requisitos de usabilidade no processo de desenvolvimento de produtos são essenciais cinco processos, como seguem:

- Planejamento do processo de design centrado no usuário.
- Entendimento e especificação do contexto de uso.
- Especificar o usuário e os requerimentos organizacionais.
- Produção do design e protótipos.
- Realizar a avaliação baseada no usuário.

O ciclo de design centrado no usuário não representa o processo de desenvolvimento do produto ou o processo de design, mas sim uma incorporação da perspectiva do usuário para soluções de problemas que pode ser aplicada ao longo das fases de desenvolvimento do produto, com o objetivo de alcançar um sistema utilizável (DEN BUURMAN, 1997; MAGUIRE, 2001).

3.2.2 Engenharia da Usabilidade

Engenharia da usabilidade é descrita como um processo que tem por objetivo melhorar a usabilidade da interface com o usuário, envolvendo uma série de atividades como elementos chave, tais como testes com usuários, protótipos e design interativo, que são inseridas durante todo o ciclo de desenvolvimento do produto (NIELSEN, 1993). A Engenharia da Usabilidade fornece métodos sistemáticos e ferramentas para a complexa tarefa de projetar interfaces de usuários que podem ser facilmente compreendidas, rapidamente aprendidas e operadas de forma confiável (BUTLER, 1996). Nielsen (1993) introduziu o ciclo de engenharia da usabilidade e que consiste nos passos listados abaixo.

1. Conhecer o usuário
2. Análise competitiva
3. Ajuste dos objetivos da usabilidade
4. Design paralelo
5. Design participativo
6. Design coordenado da interface total
7. Aplicar diretrizes e análise heurística
8. Prototipagem
9. Teste empírico
10. Design interativo
11. Coleta de *feedback* do uso em campo

Na essência Nielsen propôs um processo de desenvolvimento do produto (ou *software*) centrado no usuário com foco na usabilidade. Um fator importante apontado no ciclo da engenharia da usabilidade é a inclusão de diretrizes e a avaliação heurística antes da construção de protótipos e dos testes empíricos. Desta forma, a usabilidade trabalha antes do produto ser projetado, evitando mudanças no design para seguir as recomendações de usabilidade (NIELSEN, 1993). Outro fator a considerar corresponde à coleta de *feedback* a partir do uso em campo, algo que não é destaque na maioria dos modelos de design centrado no usuário.

3.3 Métodos para avaliação da usabilidade

A avaliação da usabilidade corresponde ao procedimento para aquisição de informações sobre o uso do produto, com o objetivo de aprimorar a interface de um produto ou sistema em desenvolvimento, usando protótipos com baixa fidelidade, ou já finalizados, como também protótipos mais sofisticados. Basicamente existem dois tipos de avaliação, os testes com e sem usuários (avaliação por especialistas), cujo objetivo é o mesmo: melhorar a usabilidade de produtos (ROSENBAUM, 1989; MOLICH; DUMAS, 2008). Rosenbaum (1989) enfatiza a importância da contribuição do especialista e sua capacidade de concentrar-se em aspectos particulares do produto.

Vários métodos têm sido propostos para estimar o nível de usabilidade em produtos. A seleção dos mesmos dependerá sempre do propósito da avaliação, dos objetivos, dos recursos financeiros e do tempo disponível. De acordo com Kim e Ham (2008), estes métodos podem ser classificados em dois tipos: os métodos baseados em questionários e os métodos baseados no desempenho.

O design centrado no usuário compreende uma variedade de métodos que podem ser aplicados em diferentes estágios do ciclo de desenvolvimento do produto. No passado, de acordo com Maguire (2001), estes eram utilizados separadamente e de forma isolada. No entanto, já existem várias maneiras de combinar os diferentes métodos e cada novo projeto possui uma combinação ligeiramente independente a partir de suas características (NIELSEN, 1993).

Os casos nos quais não são requeridos participantes e a investigação é baseada na opinião de um especialista ou são feitas algumas observações estruturadas, são classificados como métodos não empíricos. Dentre estes destacamos a *avaliação heurística* e a *walkthrough*.

Por outro lado os métodos empíricos requerem a participação de usuários. As formas mais comuns para coleta de informações sobre como as pessoas desenvolvem tarefas consistem em observá-las e perguntá-las sobre o que estão fazendo. Estes são os métodos de observação e entrevistas e que são utilizados nos testes de usabilidade. Jordan (1998) relata que de acordo com sua experiência, não há substituto para observar as pessoas tentando usar um produto.

O método de observação das atividades humanas deve fornecer a coleta de dados sobre a real interação entre o humano e a máquina. As entrevistas, por outro lado, devem fornecer uma forma rápida de coletar o que não é observável no processo de observação das atividades.

Os métodos empíricos podem ser divididos em métodos quantitativos e qualitativos (JORDAN, 1998; MOODY, 2002). Os métodos quantitativos consistem na coleta de dados numéricos e que são analisados a partir de métodos estatísticos. Por outro lado, as pesquisas com métodos qualitativos buscam coletar dados qualitativos do comportamento humano em vez de medições, sendo estes dados analisados de forma interpretativa e subjetiva.

As avaliações realizadas com especialistas ou usuários podem acontecer a qualquer tempo no ciclo de desenvolvimento do produto. Os especialistas devem estar aptos para prever problemas que vão surgir depois, enquanto que usuários reais possuem uma melhor ideia sobre os requerimentos de uma tarefa real, especialmente quando se está avaliando um produto já finalizado (LEVENTHAL; BARNES, 2008).

A seguir serão revistos os principais métodos utilizados nesta pesquisa para avaliação da usabilidade. Estes podem ser utilizados em uma série de situações, Leventhal e Barnes (2008) destacam as seguintes:

- Avaliar um sistema já existente e uma interface do usuário para a usabilidade;
- Utilizar as demandas dos clientes para as características de usabilidade a fim de conduzir um projeto na direção de uma interface adequada ao uso;
- Acompanhar e avaliar a usabilidade durante o desenvolvimento de uma interface;
- Criticar um produto final.

3.3.1 Avaliação heurística

Heurística corresponde a um procedimento simplificador (embora não simplista) que, em face de questões difíceis envolve a substituição destas por outras de resolução mais fácil a fim de encontrar respostas viáveis, ainda que imperfeitas.

(Heurística, 2013)

Na avaliação heurística, ou avaliação por especialista, a interface do produto é avaliada por um especialista ou um pequeno grupo de avaliadores que tenham pouco, ou mesmo nenhum envolvimento com o projeto. Rosenbaum et al. (2000), a partir de um questionário

com especialistas, mostraram que a avaliação heurística era o método mais frequentemente utilizado, sendo apontado por 70% dos especialistas questionados.

A análise por um grupo de especialistas pode ser realizada separadamente ou em conjunto. Nielsen (1993; 1995a) e Maguire (2001), apontam a importância da avaliação heurística por um grupo em razão de um único indivíduo nunca ser capaz de encontrar todos os problemas de usabilidade em uma interface. Mais adiante Nielsen acrescenta a importância da avaliação independente e imparcial por cada avaliador e apenas no final ficam os avaliadores autorizados a se comunicarem e terem seus resultados agregados. O especialista, neste contexto, deve ser um profissional treinado e com experiência que o faz apto a realizar julgamentos sobre as questões de usabilidade (ROSENBAUM, 1989; NIELSEN, 1993; JORDAN, 1998; RUBIN; CHISNELL, 2008).

A principal vantagem da avaliação heurística é que corresponde a um método barato e, portanto bastante usado na indústria para fornecer *feedback*, muitas vezes antes do produto ser liberado para testes (MILLS, 2006). Este tipo de avaliação consiste numa forma rápida e fácil de obter sugestões e recomendações sobre a interface. Por outro lado, os especialistas podem ter tendências pessoais com relação a características específicas do projeto, ficando difícil para eles esquecerem suas experiências profissionais na tentativa de assumirem o papel de usuários (MAGUIRE, 2001).

Quando aplicada na avaliação da usabilidade, o método heurístico tem como objetivo encontrar problemas de usabilidade em uma interface do design a partir de uma avaliação sistemática (MILLS, 2006). Durante uma sessão o avaliador percorre a interface diversas vezes, inspeciona os vários elementos de diálogo e realiza comparações com uma lista de princípios, ou heurísticas de usabilidade (NIELSEN, 1993).

As heurísticas da usabilidade correspondem a um conjunto de princípios que compõem uma lista de verificação, descrevendo propriedades comuns de interfaces utilizáveis, e que são aplicadas por especialistas para verificar se há inadequações em uma interface (NIELSEN, 1993; BARNUM, 2011). Estas permitem ao avaliador investigar com mais profundidade, inclusive acrescentar princípios de usabilidade não contemplados ou resultados que lhe vêm a mente e que podem ser relevantes (NIELSEN, 1993). Tal fator tem importância porque o conhecimento especializado permite buscar ideias em um contexto particular que pode fazer diferença para a usabilidade (JORDAN, 1998). Desta forma, o conhecimento do investigador de como projetar para a usabilidade pode permitir soluções de problemas desde os primeiros estágios do design do produto.

Nielsen (1993; 1995b), sugere dez princípios para o design da interação de sistemas, aos quais chamou de "regras de ouro", são eles:

1. Visibilidade do status do sistema:

O sistema deve sempre manter os usuários informados sobre o que está acontecendo, através de um feedback adequado em um prazo razoável.

2. Correspondência entre o sistema e o mundo real:

O sistema deve falar a linguagem dos usuários, com palavras, frases e conceitos familiares, ao invés de termos orientados ao sistema. Siga as convenções do mundo real, fazendo com que as informações apareçam em uma ordem natural e lógica.

3. Controle e liberdade do usuário:

Usuários frequentemente escolhem funções do sistema por engano e precisam de uma 'saída de emergência' claramente marcada para sair do estado indesejado sem ter que passar por um diálogo extenso. Suporte desfazer e refazer.

4. Consistência e normas:

Usuários não devem ter que pensar se palavras, situações ou ações diferentes significam a mesma coisa. Siga as convenções da plataforma.

5. Prevenção de erros:

Melhor do que boas mensagens de erro é um design cuidadoso que evite que um problema ocorra em primeiro lugar. Eliminar condições que propiciem erros ou então verificá-los e apresentar aos usuários uma opção de confirmação antes que eles cometam a ação.

6. Reconhecimento em vez de recordação:

Minimizar a carga de memória do usuário fazendo objetos, ações e opções visíveis. O usuário não deve ter que lembrar informações de uma parte do diálogo para outra. Instruções para uso do sistema devem ser visíveis ou facilmente recuperáveis sempre que apropriado.

7. Flexibilidade e eficiência de uso:

Aceleradores, invisíveis para o usuário iniciante, podem acelerar a interação para o usuário experiente desde que o sistema possa atender a ambos, usuários experientes e inexperientes. Permitir aos usuários adaptar ações frequentes.

8. Estética e design minimalista:

Os diálogos não devem conter informações que são irrelevantes ou raramente necessárias. Cada unidade extra de informação em um diálogo compete com as unidades relevantes de informação e diminui sua visibilidade relativa.

9. Ajuda aos usuários para reconhecer, diagnosticar e recuperar erros:

As mensagens de erro devem ser expressas em linguagem simples (sem códigos), com indicação precisa do problema e construtivamente sugerir uma solução.

10. Ajuda e documentação:

Mesmo sabendo que é melhor para o sistema poder ser utilizado sem documentação, esta pode ser necessária para fornecer ajuda. Qualquer informação deve ser fácil de pesquisar, focada na tarefa do usuário, com uma lista de passos concretos a serem realizados e a mesma não deve ser muito extensa.

Jordan (1998; 2006), delinea características de design para serem associadas com a usabilidade de produtos. Dez princípios para um design utilizável foram propostos pelo autor, descrevendo o porquê e como cada um afeta a usabilidade de produtos. São eles:

1. Consistência:

As tarefas semelhantes são realizadas de forma semelhante.

2. Compatibilidade:

A realização de uma tarefa através de um determinado produto é compatível com a expectativa do usuário, baseada no seu conhecimento de outros produtos similares e o mundo exterior.

3. Consideração dos recursos do usuário:

Quando a realização de uma tarefa leva em consideração a demanda dos recursos físicos e mentais do usuário.

4. *Feedback*:

Quando um produto possui uma resposta significativa às ações tomadas pelos usuários na realização de uma tarefa e estas são recebidas e reconhecidas.

5. Prevenção e recuperação de erros:

Quando na realização de uma tarefa a possibilidade de erro é minimizada e caso o erro venha a ocorrer, possa ser rapidamente e facilmente corrigido.

6. Controle do usuário:
Onde o usuário possui o controle sobre as ações tomadas dentro da tarefa, sem automatização do processo geral.
7. Clareza visual:
Quando as informações dispostas podem ser facilmente lidas e interpretadas sem causar confusão ou má interpretação durante a realização da tarefa.
8. Priorização da funcionalidade e da informação:
Quando as funções e informações mais importantes da tarefa devem ser facilmente visualizadas e acessadas pelo usuário.
9. Transferência de tecnologia adequada:
Fazer uso apropriado de tecnologia desenvolvida em outros contextos a fim de melhorar a usabilidade do produto.
10. Clareza:
O produto fornece sugestões quanto à sua funcionalidade e método de operação.

Embora as heurísticas propostas por Nielsen tenham sido originalmente estabelecidas para a análise de *softwares*, estas podem ser adotadas e adaptadas para qualquer tipo de produto, de acordo com as necessidades da avaliação. O mesmo conceito se aplica às propostas por Jordan, podendo inclusive realizar uma associação dos dois autores.

3.3.2 Método Walkthrough

O método *Walkthrough* (Percurso) pode ser utilizado na avaliação da capacidade de aprendizado de um produto, ou seja, o quanto é fácil utilizar o produto durante a primeira experiência de utilização. O método é particularmente adequado para avaliar o design antes de iniciar os testes com usuários ou como um suplemento para os testes, em situações em que os usuários são difíceis de serem recrutados ou dispendiosos (HERTZUM; JACOBSEN, 2001). Porém há uma diferença entre este método e o da avaliação por especialistas. Nesta última o investigador está focado na concepção do produto e tentando prever se o mesmo se encaixa ou não dentro dos princípios da usabilidade. Já na avaliação *walkthrough* o investigador aborda o formulário de avaliação a partir do ponto de vista de um usuário típico tentando executar uma tarefa específica (JORDAN, 1998).

O método concentra-se na aprendizagem por tentativa, visto que muitas pessoas tendem a usar produtos sem consultar os manuais, podendo utilizar o produto em si ou um protótipo. Produtos de consumo devem ser fáceis o suficiente para o aprendizado pela exploração e o método *walkthrough* pode ser um importante recurso para projetá-los.

O procedimento para realização do método consiste de uma fase de preparação e uma fase de execução. Na fase de preparação o avaliador descreve um usuário típico, escolhe as tarefas a serem avaliadas e constrói uma sequência de ações para cada tarefa. Após esta fase a execução pode começar. A cada passo que o usuário deve alcançar, as seguintes perguntas são feitas: O objetivo do usuário (neste momento) corresponde ao mesmo objetivo que o sistema supõe que o usuário deve ter? Será que o usuário (neste momento) tem a visão da função correta para atingir o objetivo? O usuário é capaz de compreender que esta é a função correta? Se o usuário executou a ação correta, será que é capaz de ver que progrediu na direção certa? (JORDAN, 1998). Com a descrição do usuário em mente, o avaliador decide se cada pergunta leva ao sucesso ou ao fracasso. Após todas as ações serem avaliadas, o método estará concluído através da associação dos problemas detectados (HERTZUM; JACOBSEN, 2001).

Os dois métodos apresentados por não serem empíricos, podem ser uma alternativa para um *feedback* mais rápido, fácil e relativamente barato, com prescrições dos problemas de usabilidade que podem gerar boas soluções de como melhorar a interface. Por outro lado, por não contemplar a análise com usuários não há evidências de que os problemas de usabilidade apontados pelos especialistas realmente são verdadeiros.

3.3.3 Testes de usabilidade

Os testes de usabilidade correspondem à atividade focada na observação de usuários utilizando um produto, e desenvolvendo tarefas que são reais e significativas para os mesmos (RUBIN; CHISNELL, 2008; BARNUM, 2011). Pode ser considerado como um método fundamental e em certo sentido insubstituível, uma vez que fornece informações diretas sobre como as pessoas utilizam um produto (NIELSEN, 1993). Para tal são empregadas técnicas de observação para coleta de dados empíricos (RUBIN; CHISNELL, 2008), que permitem ao avaliador quantificar o grau em que um produto atende às necessidades de seus usuários pretendidos (ROSENBAUM, 1989).

Ao abordar testes de usabilidade, pode ocorrer a ideia de similaridade com a técnica de grupo focado (*focus groups*). A técnica grupo focado tem como objetivo reunir um grupo de pessoas para discutir um assunto em particular e não foi abordado neste capítulo por não ter sido utilizado durante a pesquisa, porém julgamos importante esclarecer as diferenças entre este método e os testes de usabilidade.

Tullis e Albert (2008), esclarecem que a semelhança entre os dois métodos começa e termina com o fato de que ambos envolvem participantes representativos. Em um grupo focado os participantes geralmente assistem alguém demonstrar ou descrever um produto,

um líder, para em seguida expor sua opinião enquanto que no teste de usabilidade os participantes usam um produto. Os autores observaram que em muitos estudos um protótipo recebeu elogios em um grupo focado e em seguida falhou consideravelmente em um teste de usabilidade. Nielsen (2012) acrescenta que os grupos focados possuem um lugar na pesquisa de mercado, mas para avaliar projetos de interação é importante observar atentamente o usuário individualmente, vendo o que ele realmente faz.

Nos testes de usabilidade, conforme os modelos de design descritos no item 3.1, podem ser empregados um ciclo iterativo de testes destinados a expor deficiências de usabilidade e gradualmente formar ou moldar o produto em questão, assim como testes de grandes proporções quando o produto é finalizado. Para uma melhor compreensão, autores dividem os testes em etapas de acordo com a fase de desenvolvimento do produto. A partir da análise de vários autores (JORDAN, 1998; RUBIN; CHISNELL, 2008; TULLIS; ALBERT, 2008; LEVENTHAL; BARNES, 2008; BARNUM, 2011), percebemos que diferentes termos são utilizados para descrever fases idênticas. Desta forma, buscamos como referência as fases de desenvolvimento do produto descritas na Figura 3.5 (item 3.1), para classificar os diferentes testes de usabilidade, sendo estes: comparativos, formativos ou sumativos, que serão descritos a seguir.

Antes de iniciar o projeto de um novo produto é proveitoso conduzir avaliações de produtos existentes como forma de garantir um melhor entendimento do estado da arte em termos de usabilidade, constituindo testes para análises comparativas de produtos existentes (JORDAN, 1988). Esta fase de análise corresponde aos testes comparativos. Os testes também podem ser realizados no final do processo de design para comparar um novo produto com os já existentes (TULLIS; ALBERT, 2008).

Os testes formativos são realizados nas duas primeiras fases do ciclo de design. Na primeira fase, quando o produto ainda está no estágio preliminar, são realizados estudos exploratórios para examinar a usabilidade dos conceitos preliminares de design. Nesta fase o perfil do usuário e a análise da tarefa do produto devem ser definidos e os primeiros modelos do produto são construídos. Na segunda fase, são realizados pequenos estudos qualitativos com protótipos, cujo objetivo consiste em diagnosticar e corrigir problemas (RUBIN; CHISNELL, 2008; BARNUM, 2011).

O objetivo dos testes formativos consiste em realizar melhorias no design do produto. A partir de vários testes interativos problemas são identificados, diagnosticados e recomendações são realizadas para o produto ser avaliado novamente. Quanto mais cedo a avaliação iniciar maior o impacto sobre o projeto (TULLIS; ALBERT, 2008). A avaliação

formativa traz vários benefícios, entre estes podem ser identificadas inconsistências, imperfeições ou inviabilidades na especificação do design (LEVENTHAL; BARNES, 2008).

Os testes sumativos, ou de validação, são realizados na finalização do produto, com o objetivo de estabelecer uma linha de base para validação caso o produto atenda aos requerimentos (RUBIN; CHISNELL, 2008; TULLIS; ALBERT, 2008; BARNUM, 2011), "se é bom o suficiente" (LEVENTHAL; BARNES, 2008). Geralmente é necessário um experimento de larga escala para validação estatística, constituindo em testes quantitativos.

A técnica *thinking aloud* (Pensar alto) pode ser utilizada como complemento nos testes de usabilidade e consiste na observação do usuário pensando em voz alta enquanto realiza uma tarefa. Ao escutar os pensamentos do usuário e observar suas ações, o avaliador detecta problemas de usabilidade. Os testes geralmente são realizados em um laboratório de usabilidade com câmaras de vídeo e espelhos unidirecionais. As sessões de testes são realizadas por um facilitador que pode ser o próprio avaliador. Na introdução do teste o avaliador deve ensinar ao usuário pensar em voz alta, uma vez que não é uma ação natural e poucos usuários são capazes de proporcionar um relato verbal valioso sobre suas atividades (HERTZUM; JACOBSEN, 2001).

3.3.4 Questionários

Os questionários são instrumentos de investigação por escrito, com perguntas de múltipla escolha, a partir de escala de valores ou não, ou discursivas. Esta técnica tem como objetivo coletar informações e algumas vezes medir uma exatidão estatística. O principal recurso consiste em uma técnica relativamente de baixo custo e rápido acesso a um número maior de pessoas, visto que um grande número de questionários podem ser distribuídos e os resultados podem ser facilmente resumidos (LEHTO; BUCK, 2008).

Segundo Garland (2006), essa técnica oferece desvantagens, visto que as informações podem ser extensas e fora do controle do pesquisador, como também, a qualidade das respostas vai depender do nível de motivação do entrevistado. A autora propõe alguns passos a serem seguidos na elaboração dos questionários, com a finalidade de reduzir tais limitações. Estes recomendam que o design deve ser o mais conciso possível, ser facilmente lido, seguido e entendido, e que as questões com opções de respostas devem ser mínimas. Conforme Soares (2004), os questionários podem ser de dois tipos:

- os *questionários de auto-aplicação*, nos quais o sujeito fica só, diante do questionário, para respondê-lo;

- os *questionários por pesquisadores*, nos quais o pesquisador faz as perguntas e anota as respostas.

Um questionário bem planejado requer um planejamento cuidadoso, considerando potenciais problemas que podem ocorrer. Nesta direção, Lehto e Buck (2008) sugerem um procedimento sistemático a ser seguido durante o planejamento do questionário e consiste dos seguintes passos: 1. Planejamento do questionário; 2. Desenvolvimento do processo de amostragem; 3. Construção do questionário; 4. teste piloto e 5. Coleta de dados e análise.

Nos testes de usabilidade o pesquisador pode solicitar aos participantes que completem os questionários, antes, durante e depois, como forma de obter dados sobre a experiência do usuário com o produto.

- Questionário pré-teste: é utilizado para acessar os dados pessoais do participante, assim como seu conhecimento sobre o produto, seu background e sua impressão inicial do produto.
- Questionário durante o teste: é realizado ao completar uma tarefa e pode ser aplicado como meio de obter dados sobre as ações do participante ao realizar a tarefa.
- Questionário pós-teste: tem como objetivo obter a opinião do participante sobre o produto depois do teste. Nesta fase é obtido um feedback dos dados subjetivos do usuário quanto à sua satisfação e à sua experiência prática com o produto.

3.3.5 Comparação entre métodos com especialistas e com usuários

Rolf Molich, um consultor dinamarquês de usabilidade, tem organizado estudos comparativos sobre avaliações de usabilidade (MOLICH, 2013). Nestes estudos, nos quais denominou CUE (*Comparative Usability Evaluation*), um determinado número de grupos de profissionais que avaliam um *software*, usualmente um *website*, de forma simultânea e independente. Após os testes, os dados são comparados e os resultados correspondem a uma importante contribuição para a comunidade de design (MOLICH; DUMAS, 2008).

O quarto estudo da série, o CUE-4, realizou uma pesquisa com 17 especialistas de usabilidade de diferentes países, a fim de avaliar a usabilidade do *website* do Hotel Pennsylvania em Nova York (MOLICH; DUMAS, 2008). Os resultados apontaram que os problemas identificados tanto pelos especialistas como pelos usuários eram similares, levando a crer que os dados dos especialistas podem ser comparáveis em qualidade com os dos usuários. Desta forma, os estudos comprovam que ambos, especialistas e usuários,

são importantes para a avaliação da usabilidade, desde que os participantes tenham experiência com os métodos utilizados.

Contribuindo para esta afirmação, Barnum (2011) aponta que, mesmo com um orçamento pequeno, é importante realizar a avaliação heurística e testes de usabilidade simultaneamente. Mas caso não seja possível e tenha que ser feita uma escolha, a autora descreve o que as pesquisas têm demonstrado sobre ambos os métodos, conforme segue abaixo:

- Nenhum método de inspeção pode prever problemas com o usuário final tão bem quanto os testes de usabilidade.
- Os especialistas da usabilidade realizam uma verificação para identificar os erros mais graves, de forma bem melhor, quando comparados com desenvolvedores ou não especialistas.
- Especialistas são também melhores que desenvolvedores ou não especialistas para prever as reações dos usuários quando encontram um erro.
- Especialistas realizam um bom trabalho de identificação de melhorias que podem ser realizadas na interface.
- Testes de usabilidade e métodos de inspeção não possuem um alto grau de sobreposição dos resultados. Desta forma, os testes e a inspeção encontram diferentes coisas, reforçando a necessidade de utilização de ambos.

Considerando que ao realizar testes com produtos de consumo, o especialista é também um usuário, é importante avaliar o seu nível de experiência com o produto, assim como o do usuário, a partir de três níveis, sendo estes:

- Usuário novato - conhecimento limitado sobre o produto, nunca utilizou o produto.
- Usuário regular - nível de conhecimento moderado, já utilizou um produto similar.
- Usuário experiente - nível de conhecimento alto, já utilizou o mesmo modelo de produto.

3.4 Seleção dos participantes

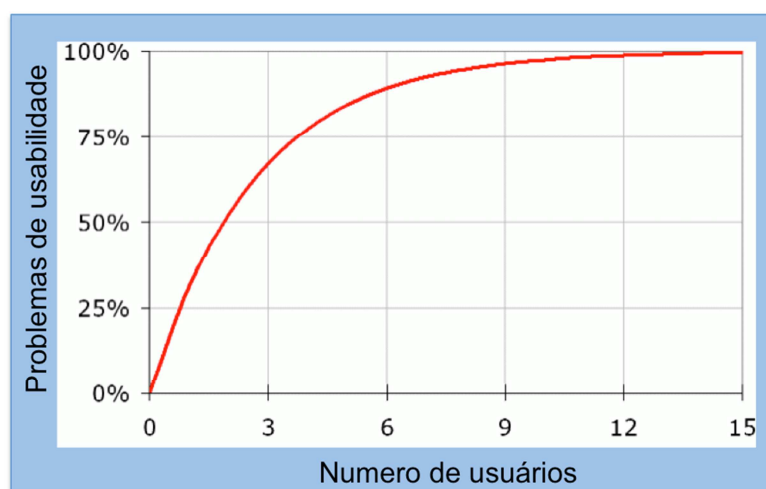
Os participantes em qualquer estudo de usabilidade têm um grande impacto sobre as conclusões e por esta razão é fundamental um planejamento adequado para selecionar os mais representativos quanto possível (TULLIS; ALBERT, 2008).

O primeiro passo consiste em identificar os critérios que serão utilizados para o recrutamento, e assim determinar se uma pessoa é elegível ou não para participar do estudo. Estes critérios devem ser o mais específico possível para não correr o risco de que seja recrutado alguém que não se encaixe no perfil. O segundo passo corresponde em calcular quantos participantes serão necessários para o estudo.

A questão mais comum no campo da avaliação da usabilidade e que envolve a todos, profissionais de usabilidade, gerentes de projeto, pesquisadores de mercado, engenheiros e designers, corresponde a quantos participantes são necessários em um estudo. Os testes com usuários têm como objetivo encontrar o maior número de falhas no projeto de uma interface com o menor custo (custo de participantes, custo de observadores, custo das instalações laboratoriais e tempo limitado) (LEWIS, 2006). Conforme Tullis e Albert (2008), não há regras para afirmar que os dados só serão válidos a partir de um número 'x' de participantes em um estudo. Esse número deve ser escolhido baseado em dois fatores: o objetivo do estudo e a tolerância para uma margem de erros.

Durante as fases iniciais do projeto um número menor de participantes é necessário para identificar os principais problemas de usabilidade (TULLIS; ALBERT, 2008). Nielsen (2000), aponta que os melhores resultados surgem a partir de testes com não mais que cinco usuários. A partir de uma pesquisa, Tom Landauer e Nielsen (TURNER et al., 2006) mostraram que o número de problemas de usabilidade encontrados em um teste de usabilidade com n usuários é: $N(1 - (1 - L)^n)$, onde N é o número total de problemas de usabilidade e L é a proporção de problemas enquanto um simples usuário é testado. O valor típico de L é 31% da média entre um grande número de projetos estudados, determinando a curva da Figura 3.6.

Figura 3.6 – Representação da curva número de usuários x problemas de usabilidade



Fonte: Nielsen (1993; 2000)

A curva da Figura 3.6 demonstra que ao coletar dados de um simples usuário já se aprendeu quase um terço sobre usabilidade. A partir do segundo usuário percebe-se que este faz algumas das mesmas coisas que o primeiro, mas ainda há algo o que aprender. Após o quinto usuário os resultados passam a ser repetitivos e não se aprende muita coisa, apenas se desperdiça tempo. Quanto mais usuários são adicionados o aprendizado diminui por se estar observando as mesmas coisas (NIELSEN, 2000).

Outro fator apresentado pela curva corresponde a um número de quinze usuários como ideal para descobrir todos os problemas de usabilidade, no entanto Nielsen (2000) recomenda que estes participantes sejam divididos em três grupos de cinco durante o processo de design. Ou seja, após o primeiro teste, 85% dos problemas são apresentados, e estes serão resolvidos no redesign. Depois de criar um novo design novos testes serão conduzidos, sendo mais vantajoso distribuir o orçamento em pequenos testes do que em apenas um. Segundo Turner et al. (2006), pode-se obter um melhor retorno de investimento a partir de testes de usabilidade realizados em pequenos grupos de usuários a partir de uma metodologia de design iterativo.

No entanto, conforme Woolrych e Cockton (2001), não há atualmente nenhuma maneira de determinar com certeza que qualquer conjunto de testes combinados correspondem a esta percentagem apontada por Nielsen, ou quais problemas em particular foram revelados ou não atendidos. Neste contexto, muitas perguntas têm surgido a respeito do número 5 em testes de usabilidade e muito tem sido escrito sobre este tópico (WOOLRYCH; COCKTON, 2001; FAULKNER, 2003; LEWIS, 2006; SAURO, 2010), mas ainda não se chegou a um número fixo de usuários (SAURO, 2006; MACEFIELD, 2009).

Quando o projeto se aproxima da conclusão um número maior de participantes é necessário para identificar algumas questões relevantes (TULLIS; ALBERT, 2008). Nielsen (2006) recomenda um número de 20 participantes em estudos quantitativos.

Faulkner (2003), com base em um grande número de estudos, afirma que o número de 5 participantes revela apenas 55% dos problemas ou talvez menos, mas não condena a sua utilização na avaliação da usabilidade, apenas deixa claro para o avaliador a confiabilidade dos dados. O autor apresenta na Tabela 3.1 uma referência sobre a variabilidade do número de participantes, com a percentagem de descobertas dos problemas que um estudo vai conseguir. A partir destes dados, o avaliador pode planejar o número de participantes necessários de acordo com a média desejada para cada fase específica da avaliação da usabilidade.

Tabela 3.1 – Percentagem total de problemas de usabilidade encontrados em uma análise de amostras 100

NºUsuários	% mínima encontrada	% média encontrada	SD	SE
5	55	85.55	9.2957	.9295
10	82	94.686	3.2187	.3218
15	90	97.050	2.1207	.2121
20	95	98.4	1.6080	.1608
30	97	99.0	1.1343	.1464
40	98	99.6	0.8141	.1051
50	98	100	0	0

Fonte: Faulkner (2003)

No entanto o debate sobre a quantidade de participantes nos estudos de usabilidade continua conforme Bevan et al. (2003) e Molich et al. (2010). Neste contexto, Macefield (2009) aponta que a especificação da quantidade de participantes para um estudo da usabilidade deve ser influenciada pelas características exclusivas e o contexto de cada estudo em particular.

Conforme Macefield (2009), para os estudos relacionados à descoberta de problemas um grupo de 3-20 participantes é válido, sendo de 5-10 participantes uma faixa sensata. Neste cenário, o tamanho do grupo deve ser aumentado juntamente com a complexidade do estudo e o caráter crítico do contexto. Em cenários com estudos de protótipos conceituais para descoberta de problemas graves, um grupo de cinco participantes é válido. Nos estudos comparativos, quando são necessários resultados estatisticamente significativos, um grupo de 8-25 participantes é válido, e de 10-12 participantes corresponde a uma base sensata.

Molich (2010), ao observar os dados apontados por Macefield descobriu que uma série de questões importantes não foram abordadas. Ao analisar os estudos comparativos de avaliação da usabilidade (CUE), Molich (2013) observou que é impossível, ou pelo menos inviável, encontrar todos os problemas de usabilidade em um *website* ou produto devido ao extenso número, provavelmente aos milhares. Este fator tem implicações importantes para as discussões sobre o tamanho do grupo de participantes.

Assim como Tullis e Albert (2008) e Macefield (2009) citaram anteriormente, para Molich (2010), uma discussão sobre o número de participantes em um grupo só faz sentido se o propósito de uma avaliação da usabilidade é conhecida, conforme Quadro 3.1. O quadro também apresenta que o total de participantes necessários para encontrar todos os problemas de usabilidade, inclusive os mais graves, é desconhecido ("infinito").

Quadro 3.1 – Tamanho ideal do grupo de participantes para várias finalidades de usabilidade.

Principal propósito	Descrição	# participantes
Político	Demonstrar às partes interessadas que existem sérios problemas de usabilidade em seus produtos e que os testes de usabilidade podem encontrar alguns deles.	2-3
Encontrar problemas sérios	Conduzir um ciclo útil iterativo: encontre problemas sérios, corrija-os e encontre problemas mais sérios em um novo teste.	4-8
Encontrar todos os problemas sérios	Encontrar todos os problemas graves de usabilidade em um produto não trivial.	Desconhecido
Encontrar todos os problemas	Encontrar todos os problemas em um produto não trivial	Desconhecido
Medir usabilidade	Medir parâmetros chaves como por exemplo o tempo para completar uma tarefa chave e satisfação subjetiva do usuário.	>20

Fonte: Molich (2010)

A partir do que foi discutido neste tópico, a melhor estratégia para conduzir uma avaliação da usabilidade nos primeiros estágios do desenvolvimento do produto, consiste em realizar pequenos testes qualitativos em laboratório com quatro a oito participantes, repetidas vezes em um ciclo iterativo (NIELSEN, 2000; TULLIS; ALBERT, 2008; MACEFIELD, 2009; MOLICH, 2010; SAURO, 2010). Por fim, podemos considerar que os resultados da avaliação da usabilidade dependem consideravelmente da qualidade dos avaliadores (HERTZUM; JACOBSEN, 2001), provavelmente mais do que a quantidade de participantes (MOLICH, 2010).

Por fim, se faz necessário planejar a estratégia para recrutamento dos usuários. Conforme Nielsen (1993), a principal regra é que os usuários devem ser o mais representativos possível para o tipo de sistema a ser avaliado. Selecionar e recrutar potenciais usuários requer tempo e esta atividade pode ser realizada pelo próprio avaliador ou por uma agência especializada.

3.5 Seleção das medidas de usabilidade

De acordo com Tullis e Albert (2008), dois aspectos são medidos na experiência do usuário em testes de usabilidade: Desempenho e satisfação. Estes dois aspectos, afirmam os autores, nem sempre andam juntos, visto que em muitos casos um usuário que teve que fazer um maior esforço para realizar as principais tarefas com um aplicativo, em seguida deu-lhe alto índice de satisfação, enquanto que um outro usuário avaliou um baixo nível de

satisfação de um aplicativo que funcionou perfeitamente. Desta forma, os autores aconselham olhar tanto para as métricas de desempenho como para satisfação para obter uma visão precisa da experiência do usuário.

Desempenho diz respeito a tudo o que o usuário atualmente faz na interação com o produto (LEVENTHAL; BARNES, 2008). Isto inclui medir o grau de sucesso em que usuários realizam uma tarefa ou partes da tarefa. Muitas medidas relacionadas ao desempenho destas tarefas são também importantes, incluindo o tempo que se leva para realizar cada uma, a quantidade de esforço, o número de erros cometidos, e o tempo necessário para o aprendizado.

As medidas de desempenho são instrumentos valiosos para avaliar a eficácia e a eficiência de muitos produtos, ou seja, avaliar o quão bem os usuários estão usando um produto. Se os usuários estão cometendo muitos erros pode-se perceber que há oportunidades de melhorias. Se os usuários estão levando muito mais tempo que o previsto para concluir uma tarefa, a eficiência precisa ser melhorada (TULLIS; ALBERT, 2008).

Na avaliação da performance é importante classificar os usuários de acordo com o grau de experiência de cada um para uma melhor análise dos dados. Mesmo que usuários novatos tenham uma boa experiência de aprendizado e uso, o usuário mais experiente terá uma performance sempre melhor, podendo interferir nos resultados principalmente com um número pequeno de participantes.

Satisfação corresponde às questões subjetivas do feedback do usuário sobre uma interface (LEVENTHAL; BARNES, 2008). Em outras palavras, corresponde a tudo o que os usuários dizem e pensam sobre sua interação com o produto. O usuário deve informar sobre o que foi fácil de usar, o que foi confuso, ou o que excedeu suas expectativas. O usuário pode ter opiniões sobre a atratividade ou confiabilidade do produto. A satisfação do usuário possui diferentes aspectos e, assim como outras métricas, é importante para produtos que possibilitam ao usuário opções de escolhas em seu uso, como a maioria dos sites, aplicativos de *software* e produtos de consumo (TULLIS; ALBERT, 2008).

3.6 Estudo Piloto

Antes de iniciar qualquer teste de usabilidade é importante testar os procedimentos pretendidos. Esta será a oportunidade de testar o estudo com um usuário real. Os primeiros participantes podem ser escolhidos por conveniência entre as pessoas que estão facilmente disponíveis, mesmo que não sejam usuários representativos, visto que os mesmos deverão ser pacientes com os possíveis problemas que podem ocorrer, tais como a necessidade de

parar o teste para reajuste do material, como também ter disponibilidade caso seja necessário repetir o procedimento mais tarde (NIELSEN, 1993; BARNUM, 2011). Conforme sugerido por Barnum (2011), dois estágios são necessários durante a preparação dos testes:

1. Walkthrough - Corresponde a uma leitura pelos avaliadores das tarefas a serem realizadas e de toda a aparelhagem.
2. Teste piloto - O teste piloto consiste em um ensaio geral com um usuário 'real' e é realizado para refinar o procedimento experimental e esclarecer as definições de várias coisas que serão medidas.

O objetivo deste primeiro estudo consiste em aprofundar o conhecimento dos produtos escolhidos e conseqüentemente elaborar um método de avaliação da usabilidade para ser aplicado nos estudos de caso subsequentes. A partir da revisão de literatura foi adquirido um conhecimento básico sobre como realizar uma avaliação da usabilidade a partir de dois cenários, sendo o primeiro um estudo com especialistas e o segundo com usuários do produto. Seguindo estas considerações, um estudo piloto com especialistas foi esboçado e aplicado para identificar problemas, tanto em relação aos produtos quanto em relação à atividade experimental. Nos próximos itens deste capítulo os resultados do teste piloto serão apresentados.

3.6.1 Metodologia do experimento

A avaliação da usabilidade tem como foco observar o usuário realizando uma tarefa com um produto em determinado ambiente, constituindo um modelo de contexto que determinará como a usabilidade deve ser mensurada (SHACKEL, 1984; ISO, 1998; JORDAN, 1998; KWAHK; HAM, 2002). Para compreender o contexto é preciso descrever as características destes quatro elementos que, segundo Shackel (1984), correspondem aos principais componentes de um sistema humano-máquina do qual depende um bom sistema de design.

Com os produtos de consumo a usabilidade deve ser abordada diferentemente de um *software*, uma vez que muitos produtos de consumo possuem recursos de *hardware* e *software* e que precisam interagir de forma coordenada para garantir uma boa usabilidade. Desta forma, as variáveis do contexto de cada produto precisam ser especificadas para elaboração da avaliação da usabilidade. O Quadro 3.2 apresenta um quadro conceitual das variáveis do contexto a partir dos quatro elementos que o compõe.

Quadro 3.2 – Quadro conceitual das variáveis do contexto

1. *Informações do usuário*

1.1 Características físicas

Sentidos (visão, audição, tato, paladar); antropometria (dimensões corporais); biomecânica (possibilidades e restrições de movimento, carga física); condições físicas (saúde, fadiga, metabolismos).

1.2 Características cognitivas

Percepção, aprendizado, sistema sensorial, memória, respostas motoras (velocidade/flexibilidade), níveis de compreensão oral/escrita.

1.2 Características do aprendizado

Domínio do conhecimento, experiência de uso do produto, conhecimento acadêmico, nível de inteligência.

1.3 Características emocionais

Preferências estéticas, crenças, autoestima, ansiedade, stress, motivação, interesses.

1.4 Informações pessoais

Idade, gênero, nacionalidade, ocupação, estado civil, formação cultural.

2. *Informações do produto*

2.1 Componentes de *hardware* (forma geométrica, botões de acionamento, textura, cor, tamanho, simetria)

2.2 Componentes de *software* (programação do menu, feedback, interfaces gráficas)

2.3 Condição do produto (prototipagem em papel, *mockups*, protótipo virtual ou produto final)

2.4 Valores de uso (valores estéticos e valores de mercado)

2.5 Dispositivos periféricos (fones de ouvido, controle remoto, cabo conector, etc.).

3. *Informações da tarefa*

3.1 Objetivos específicos.

3.2 Descrição de todas as tarefas que podem ser realizadas com o produto.

4. *Informações do ambiente*

4.1 Condições físicas

Espaço, temperatura, umidade, iluminação, ventilação, acústica.

4.2 Condições sociais e culturais.

Campos de atividades (trabalho, doméstico, educacional, público); influência familiar ou grupos de trabalho; ambiente organizacional.

Fonte: Adaptado de Kwahk & Ham (2002) e Zapata (2011)

Para os testes que foram realizados durante o estudo, os usuários foram divididos em grupos de acordo com a sua experiência de uso do produto, sendo assim classificados:

- Usuário novato - conhecimento limitado sobre o produto (nunca usou um rádio relógio)
- Usuário regular - nível de conhecimento moderado, já utilizou um rádio relógio.
- Usuário experiente - nível de conhecimento alto, já utilizou este mesmo modelo de rádio relógio.

O estudo piloto foi conduzido a partir da aplicação do método avaliação heurística com especialistas. Este tem como finalidade testar um conjunto de princípios para avaliação da usabilidade do produto a partir da visão de especialistas. A avaliação desenvolvida neste estudo preliminar consiste em avaliar as funcionalidades das interfaces de *hardware* e *software* de dois modelos de rádio relógio. O primeiro produto da marca GPX e modelo C222B - *Clock Radio with Dual Alarm* (Figura 3.7a). O segundo produto da marca Sony e modelo ICF-C218 - *FM/AM Clock Radio* (Figura 3.7b). O objetivo principal deste estudo consiste em identificar a partir dos resultados obtidos, possíveis inadequações quanto ao uso do produto e dos princípios abordados, assim como todo o processo de avaliação.

Figura 3.7 – Modelos dos produtos escolhidos para a pesquisa.



a) GPX C222B



b) Sony ICF-C218

Fonte: images.google.com

Os principais estudos realizados aplicando as heurísticas são em sua maioria orientados para a avaliação de *websites*. O rádio relógio possui uma interface diferente e para melhor adaptar as funções de *hardware* e *software* do mesmo, as heurísticas propostas por Nielsen (1993) foram combinadas com os princípios propostos por Jordan (1998), conforme apresentadas no item 3.3.1, resultando uma lista com dez heurísticas para avaliação do

produto, conforme descritas no Quadro 3.3. Cada heurística foi classificada de acordo com as características do produto (física e configurações do menu), da tarefa e do usuário.

Quadro 3.3 – Quadro com as dez heurísticas utilizadas no estudo piloto

	Número	Heurísticas	Questões
Produto	Configurações do menu		
	1	Feedback	O menu indica ao usuário o que está acontecendo? Os sinais são compreensíveis?
	2	Correspondência e reconhecimento	As opções de menu são visíveis ao usuário? As informações mais importantes são facilmente visualizadas? A linguagem utilizada é adequada (familiar)? As informações aparecem em uma ordem natural e lógica?
	3	Saídas claramente indicadas	O sistema permite ao usuário cancelar uma função? O sistema permite ao usuário sair de uma função indesejada facilmente?
	4	Prevenção de erros	O sistema prevê mensagens de erros? As mensagens de erro sugerem uma solução para ajudar o usuário a resolver o problema?
	5	Estética e design minimalista	O menu contém informações irrelevantes? O tipo e tamanho da fonte estão adequados?
Tarefa	Configurações físicas		
	6	Clareza visual	Os botões de acionamento estão dispostos de forma a serem facilmente encontrados sem causar confusão ou má interpretação durante a realização da tarefa? Os botões que representam as principais funções são facilmente visualizados e acessados pelo usuário? O produto fornece sugestões quanto a sua funcionalidade e método de operação?
	7	Consistência	As tarefas semelhantes são realizadas de forma semelhante? O produto fornece sugestões quanto à sua funcionalidade e o método de operação?
	8	Compatibilidade	A realização de cada tarefa é compatível com o conhecimento do usuário a partir de outros produtos similares?
Usuário	9	Ajuda e documentação	As informações contidas no manual de instruções são fáceis de entender? Os passos para execução das tarefas estão adequados às necessidades dos usuários? É fácil encontrar soluções para problemas específicos?
	10	Recursos do usuário	A configuração do produto leva em consideração os recursos físicos do usuário? As configurações do menu levam em consideração a demanda cognitiva do usuário?

Fonte: A autora

Cada participante recebeu junto com o rádio relógio, o manual de instruções do produto e um roteiro para aplicação do experimento com o produto, conforme o Apêndice A. Os testes foram realizados em ambiente particular do participante e sem a presença do pesquisador. Na primeira parte do roteiro, foram coletados os dados referentes à atuação do especialista como pesquisador e à sua experiência com a temática usabilidade, assim como à sua experiência de uso do produto.

Na segunda parte, os especialistas foram convidados primeiramente a conhecerem o produto, e para tal foi sugerido o uso do método *walkthrough*. As tarefas a serem realizadas foram descritas como guia para uma análise detalhada dos recursos oferecidos pelo produto e por fim os participantes avaliaram a sua experiência com o método.

A terceira e última parte corresponde à avaliação heurística. As duas primeiras questões avaliaram a experiência do especialista com a aplicação do método e em seguida foi sugerido uma lista com dez heurísticas para avaliação do produto. Por fim os participantes foram convidados a tecerem seus comentários e recomendações sobre o experimento.

O experimento foi realizado em duas partes. O experimento com o rádio relógio GPX C222B foi realizado com um especialista na University Central Florida (UCF), em Orlando nos Estados Unidos. O rádio relógio Sony ICF-C218 foi testado no Brasil por três especialistas, sendo estes: um professor de design da UFPE e dois alunos da pós-graduação em Design da UFPE, sendo um de mestrado e outro de doutorado. Em ambos os experimentos, os especialistas foram escolhidos de acordo com a sua experiência com testes de usabilidade. Os resultados da avaliação da usabilidade por especialistas serão descritos nos próximos itens, seguidos pela descrição das características dos produtos, conforme Quadro 3.2.

3.6.2 Resultados da avaliação com o rádio relógio GPX C222B

O experimento foi realizado no mês de maio de 2013. O produto foi entregue ao participante para que o mesmo o utilizasse durante uma semana em sua sala no Department of Industrial Engineering and Management Systems da UCF.

Na primeira etapa da avaliação o participante indicou que já participou de testes de usabilidade com produtos tanto em sala de aula como em empresas parceiras da UCF. Na segunda etapa sobre o produto, este indicou que já teve experiência usando um rádio relógio anteriormente, sendo portanto classificado como um usuário regular do produto em estudo. Como principais atributos relacionados a um rádio relógio, foi apontado pontualidade, confiabilidade e estética.

A seguir as características do produto e os problemas de usabilidade serão descritos, com base nas respostas do participante e na avaliação realizada pela pesquisadora.

Características do produto:

O radio-relógio foi desenvolvido para ser utilizado nos Estados unidos, sendo configurado para 12 horas, a.m (*ante meridiem*) e p.m (*post meridiem*). Um diferencial deste radio-relógio é que possui uma programação para dois alarmes.

O produto é comercialmente vendido pelo valor de \$12,99, conforme site de compras Amazon.com. O produto tem como dispositivo periférico um cabo conector de eletricidade.

Informações da tarefa:

O rádio relógio possui as funções de informar hora, alarme e rádio. Apesar das várias tarefas que podem ser realizadas em cada função, para este estudo foram consideradas três tarefas: i. Ajuste da hora; ajuste do alarme e desligar o alarme. Sendo as tarefas abaixo descritas (ver Figura 3.8):

i. Ajuste da hora:

- ☐ Pressionar e segurar a tecla **CLK/MEM** até o *display* começar a piscar, então solte a tecla;
- ☐ Pressionar a tecla **Hour** para ajustar a hora (A indicação **PM** acenderá no display quando a hora for ajustada para o horário *post meridiem*);
- ☐ Pressione a tecla **Min** para ajustar o minuto;
- ☐ Pressione a tecla **CLK/MEM** para finalizar o ajuste da hora.

ii. Ajuste do alarme:

- ☐ Pressionar e segurar a tecla **AL1** ou **AL2** até o display começar a piscar, então solte o a tecla;
- ☐ Pressionar a tecla **Hour** para ajustar a hora;
- ☐ Pressione a tecla **Min** para ajustar o minuto e aguarde alguns segundos até o display parar de piscar;
- ☐ A luz indicando o ajuste do alarme será acionada;
- ☐ Para ajustar o outro alarme siga as mesmas instruções.

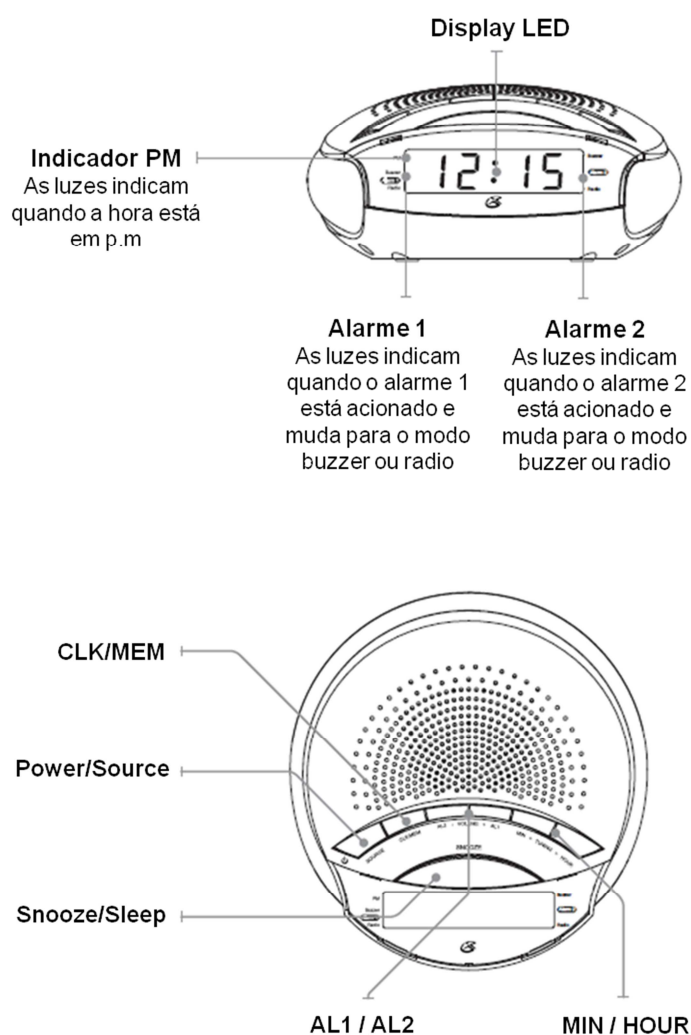
iii. Desligar o alarme.

□ Pressionar a tecla **Snooze** para atrasar o alarme em 9 minutos adicionais;

ou

□ Pressione o botão **Power** para desligar o alarme, até a hora do alarme ser atingida novamente.

Figura 3.8 – Detalhe do menu modelo GPX C222B.



Fonte: A autora

Avaliação heurística:

1. Feedback

O *display* indica as ações realizadas através da indicação de luzes e o LED piscando. Por exemplo, enquanto os números estão piscando significa que podem ser ajustados.

2. Correspondência e reconhecimento

As teclas do menu são de fácil identificação e visíveis ao usuário. A tecla **Snooze**, que é mais utilizada para desligar o alarme, tem dimensão adequada ao uso, porém para evitar que o usuário desligue o alarme e volte a dormir, esta tecla está programada para a 'soneca' e é reativada depois de 9 minutos. Para cancelar o alarme é preciso acionar a tecla **power**, com dimensão menor. A linguagem utilizada tanto no menu quanto no *display* é adequada para este tipo de produto.

3. Saídas claramente indicadas

Não é possível cancelar uma função que foi realizada por engano, é preciso concluir a operação e recomeçar caso tenha havido erros no ajuste da hora ou alarme. Intuitivamente o usuário pode querer cancelar ou reiniciar a operação apertando a tecla **power/source**, no entanto esta apenas liga o rádio.

4. Prevenção de erros

Não se percebeu nenhuma forma de prevenção de erro, como também nenhum tipo de mensagem para ajudar ao usuário.

5. Estética e design minimalista

O tamanho da fonte foi considerado adequado, principalmente para visualização à distância. O menu apresenta as informações necessárias para as principais funções. Os sinais do *display* referentes ao alarme indicam a escolha por sirene (*buzzer*) ou rádio e foi considerado como adequados. Quanto à indicação da hora, o menu deveria também indicar a opção a.m (*ante meridiem*).

6. Clareza visual

As funções dos botões estão dispostas da direita para a esquerda, enquanto que no *display* estão da esquerda para a direita. Ou seja, as teclas AL1 e AL2 estão no sentido oposto da indicação luminosa no *display*, assim como as teclas para ajuste da hora e minutos, podendo causar confusão ou má interpretação durante a tarefa.

7. Consistência

O modo de operação das tarefas de ajuste da hora é semelhante ao ajuste do alarme. Todas as teclas são acionadas de forma igual, ou seja pressionando para um ajuste gradual ou iniciar uma operação, e segurando para um ajuste mais rápido ou finalizar uma operação.

8. Compatibilidade

As tarefas realizadas com este produto são compatíveis com outros produtos similares.

9. Ajuda e documentação

As instruções são bem explicativas e de fácil compreensão.

10. Recursos do usuário

As teclas se ajustam bem à dimensão do dedo indicador, sendo este o mais utilizado pela maioria dos usuários. Conforme apontado na heurística de número 6, a ordem das teclas da direita para a esquerda não estão de acordo com a demanda cognitiva do usuário.

3.6.3 Resultados da avaliação com o radio relógio Sony ICF-C218

Os testes com especialistas no Brasil foram realizados no período de maio e junho de 2013, tendo em vista que cada participante levou em torno de uma semana com o produto para devolvê-lo. Estes foram todos realizados na cidade do Recife, estado de Pernambuco.

Os três participantes atuam como pesquisadores na área de usabilidade e já participaram de testes de usabilidade em sala de aula. O participante 1 é estudante do mestrado acadêmico em Design da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o participante 2 é professor de Design e Ergonomia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e estudante do doutorado acadêmico em Design da UFPE, e o participante 3 é professor de Design e Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco.

Quanto ao uso do produto, os três participantes informaram que já tiveram experiência de uso com um rádio relógio anteriormente, sendo portanto classificados como usuários regulares do produto em estudo. Como principais atributos relacionados ao produto, os participantes apontaram confiabilidade, clareza na informação das funções, boa visualização dos comandos e familiaridade de uso.

A partir das respostas dos participantes, assim como uma avaliação realizada pela pesquisadora, as características do produto serão descritas, assim como cada problema de usabilidade identificado.

Características do produto:

O rádio relógio foi desenvolvido para ser utilizado nos Estados unidos, por esta razão tem uma programação para os tipos de fuso horário local. Outra característica é que a configuração da hora é para 12 horas, a.m (*ante meridiem*) e p.m (*post meridiem*). O produto é comercialmente vendido pelo valor de \$15,99, conforme site de compras Amazon.com.

O produto tem como dispositivo periférico um cabo conector de eletricidade e uma bateria que permite a memorização das configurações do relógio caso haja interrupção na energia elétrica.

Informações da tarefa:

O rádio relógio possui as funções de informar data, hora, alarme e rádio. Apesar das várias tarefas que podem ser realizadas em cada função, para este estudo foram consideradas três tarefas: i. Ajuste da hora; ajuste do alarme e desligar o alarme. Sendo as tarefas abaixo descritas (ver Figura 3.9):

i. Ajuste da hora:

- ☐ Apertar a tecla **clock** por mais de 2 segundos. Será dado um alarme sonoro (um *beep*) e aparecerá piscando no display o ano;
- ☐ Apertar as teclas + ou - até o ano corrente aparecer no *display*;
- ☐ Pressione a tecla **clock**;
- ☐ Repetir os passos anteriores para ajustar o mês, dia e hora;
- ☐ Após o ajuste da hora ser finalizado o alarme sonoro será de dois *beeps*.

ii. Ajuste do alarme:

- ☐ Girar o botão **alarm mode** para o som de alarme desejado (rádio ou *buzzer*); A luz indicadora de alarme no *display* vai aparecer, esta fica apagada quando o botão está na posição **off**;
- ☐ Deslizar o botão **alarme time set** para + ou - para ajustar a hora de alarme desejada;

iii. Desligar o alarme.

- Pressionar a tecla **radio off / alarm reset** para desligar o alarme.

A tecla **snooze** também desliga o alarme, mas tem a função 'soneca' e aciona o alarme novamente a cada dez minutos.

Figura 3.9 – Detalhe do menu modelo Sony ICF-C218.



Fonte: A autora

Avaliação heurística:

1. Feedback

A todo momento há indicações de feedback no *display* através da indicação luminosa, da LED piscando e indicação sonora (*beep*) na finalização da tarefa.

2. Correspondência e reconhecimento

O menu é bastante claro e de fácil compreensão. A função de ajustar a hora confunde o usuário por aparecer primeiro o ano, depois dia e mês, quando normalmente o usuário está habituado a começar ajustando a hora. Se o usuário não ler o manual não saberá que precisa ajustar a data primeiro.

3. Saídas claramente indicadas

A ação de cancelar o alarme está bem indicada, porém ao escolher a função **Off** da tecla **alarm mode**, o alarme não tocará mais e, ao escolher a função **Off** da tecla **alarm reset** o alarme fica programado para tocar no outro dia. Este fator pode vir a confundir o usuário, apesar de no display a luz indicar se o alarme está *on* ou *off*.

Para desfazer um ajuste errado é preciso reiniciar todo o processo. Um fator positivo é que enquanto se ajusta a data e a hora, é possível retornar ao processo anterior pressionando a tecla **clock** até chegar ao local desejado.

4. Prevenção de erros

Não se percebeu nenhuma forma de prevenção de erro, como também nenhum tipo de mensagem.

5. Estética e design minimalista

O tamanho da fonte foi considerado adequado, principalmente para visualização à distância. O menu aparenta apresentar as informações necessárias de acordo com as principais funções.

6. Clareza visual

Cada tecla sugere claramente a que se refere e são bem visíveis. O formato de cada tecla sugere como deve ser usada, por exemplo, a tecla **alarm time set** induz ao usuário deslizá-la para ajuste mais rápido do alarme.

7. Consistência

O modo de operação é semelhante em todas as tarefas. As teclas indicam a forma como devem ser operadas. No entanto, o mecanismo de ajuste da hora é diferente do ajuste do alarme, provavelmente para não confundir o usuário ao utilizar o mesmo botão para ambos.

8. Compatibilidade

Na função **alarm time set** a forma de acionamento do botão é pouco usual, apesar de ser bastante clara. Nas demais tarefas a realização é compatível com o conhecimento do usuário.

9. Ajuda e documentação

Os participantes tinham o conhecimento da língua inglesa e puderam avaliar o manual, que estava representado em inglês pelo fato de ter sido adquirido nos Estados Unidos. As instruções do manual são bem explicativas e de fácil compreensão.

10. Recursos do usuário

As teclas são bem sinalizadas, não apenas pela legenda mas também por diferenças táteis e dimensionais. Por exemplo, as teclas de ajuste da hora, por não terem uso frequente, possuem dimensão menor do que as do ajuste do alarme.

3.6.4 Resultados da aplicação dos métodos

Tanto no início como após a aplicação dos métodos *walkthrough* e avaliação heurística, os participantes foram convidados a responderem questões sobre a sua experiência anterior com os mesmos, assim como a sua opinião quanto ao experimento. Conforme descrito nos itens anteriores, o número total de participantes utilizando os dois métodos e com os dois produtos foi de quatro usuários.

Na avaliação do método *walkthrough*, dois participantes informaram não ter utilizado o método anteriormente, enquanto os outros dois tiveram experiência com o método em sala de aula. Na questão quanto ao desempenho do método em manter o avaliador envolvido com a execução da tarefa, todos foram unânimes em escolher a opção '*Bastante*'. Nenhum dos participantes preencheu a questão quanto a comentários ou recomendações sobre a experiência com o método.

Quanto ao método da avaliação heurística, três dos participantes afirmaram ter aplicado anteriormente. Destes, dois tiveram experiência na sala de aula e um na empresa de usabilidade. Todos os avaliadores escolheram a opção '*Bastante*' como resposta à questão sobre o desempenho do método.

Por fim, na seção de comentários ou recomendações sobre o método, um dos participantes recomendou modificar a opção de resposta aberta para resposta direta ('sim' e 'não') nas perguntas relacionadas a cada heurística, a fim de facilitar a análise dos resultados. Outro participante indicou que nas heurísticas 2 e 6 é preciso definir melhor o termo menu, ou seja, o que se refere ao menu do *display* e o que se refere ao menu físico (teclas ou botões de acionamento).

3.7 Considerações finais do capítulo

No início do capítulo foram abordados modelos de Sistema de Desenvolvimento do Produto para um melhor entendimento do papel da usabilidade dentro desse processo. A partir deste estudo, foi observado que os desenvolvedores de produtos cultivam o estudo da usabilidade para obterem informações da interface usuário-produto no decorrer de todo o processo, comprovando a sua importância.

Conforme estudado no capítulo 2, a usabilidade corresponde a medidas relativas para saber se um produto permite a um determinado conjunto de usuários alcançarem objetivos específicos em um certo contexto de uso. Isto significa que os resultados quanto à facilidade de uso podem variar de um utilizador para outro em função das diferenças de perfis de usuários, das características da tarefa, sistemas de *hardware* e *software* e ambientes físicos ou organizacionais. Para uma melhor compreensão deste cenário, este capítulo apresentou os principais métodos utilizados por profissionais e pesquisadores da usabilidade para o design de produtos utilizáveis, assim como métodos para medir a eficácia, eficiência e satisfação.

Conforme Moody (2002), a seleção de um método de investigação adequado é fundamental para o sucesso do projeto de pesquisa, que deve ser impulsionado pelo estado do conhecimento na área em estudo. Seguindo esta recomendação, todo conteúdo abordado neste capítulo serviu como base para elaboração do estudo piloto, também descrito neste capítulo, como também para os demais experimentos dos próximos capítulos.

A experiência com o estudo piloto possibilitou ao pesquisador aprofundar seu conhecimento quanto aos dois produtos utilizados na pesquisa, assim como a aplicação dos métodos estudados. Outro fator a acrescentar é que, a partir da identificação dos problemas de usabilidade dos produtos e os comentários e sugestões dos avaliadores quanto aos procedimentos da pesquisa, foi possível adquirir conhecimento para elaboração dos questionários para os próximos experimentos com os usuários reais.

O estudo piloto também exemplificou a aplicação dos métodos *walkthrough* e avaliação heurística no estudo da usabilidade de produtos existentes. Este procedimento pode ser aplicado durante a fase de análise conceitual, conforme a Figura 3.5, onde testes com produtos existentes são necessários para fornecer conhecimento à equipe de design na elaboração de um novo produto.

Com base no estudo piloto, o produto da Sony ICF-C218 foi escolhido para ser utilizado como modelo para elaboração dos protótipos virtuais e físico, cuja temática será abordada no próximo capítulo.

Capítulo 4

Prototipagem Virtual

No desenvolvimento de produtos, a comunicação com os potenciais usuários pode variar, estes podem atuar como codesigners ou podem atuar como o próprio designer. No primeiro caso, muitos usuários não conseguem entender a linguagem utilizada por designers na representação do conceito de um produto, sendo esta tradicionalmente realizada a partir de desenhos técnicos, esboços e mock-up físico (ULRICH; EPPINGER, 2008). No segundo caso os usuários podem atuar diretamente definindo a especificação do produto de seu desejo. Atualmente para atender a ambos os casos, considerando que usuários não são designers, novas ferramentas vêm sendo desenvolvidas a partir do uso de tecnologias emergentes, mudando o cenário de interação nos testes com produtos.

Conforme descrito no capítulo 2, na atualidade, um produto é aceito pelo cliente não apenas pela sua qualidade técnica, funcionalidade, desempenho, entre outros, mas também pela apreciação do usuário quanto a sua qualidade estética e principalmente quanto as suas características ergonômicas e de usabilidade. Em face desse aumento da demanda de projeto e restrições quanto ao tempo e eficiência no desenvolvimento de produtos, novos desafios têm surgido para diminuir o tempo necessário no desenvolvimento de um protótipo para um novo produto (SISCA, MOGAN; SUBRIN, 2008). Neste contexto, as empresas estão buscando desenvolver versões digitais com modelagem e simulação de produtos a partir de dois objetivos: comunicar um novo produto para os usuários e permitir que os mesmos avaliem o produto e suas variações antes do objeto físico ser construído (BORDEGONI; FERRISE, 2013). Esta nova prática é conhecida como 'prototipagem virtual'.

A prototipagem virtual tem se beneficiado de um alto nível de realismo nas representações visuais a partir do desenvolvimento de algoritmos e ferramentas de *software*, permitindo a interação com modelos complexos de objetos e ambientes que são processados de forma realística e em tempo real (BORDEGONI; FERRISE, 2013).

Como primeiro capítulo abordando as tecnologias emergentes, este inicia com a definição de protótipos a partir da descrição de ferramentas e tecnologias utilizadas na fase de prototipagem, traçando uma análise de seu impacto no design de produtos e avaliação da usabilidade. É importante considerar que, para uma melhor compreensão do tema abordado neste capítulo, a diferença entre protótipo e prototipagem deve ser esclarecida. Protótipo é o modelo do produto, enquanto que prototipagem é o processo de construção e teste de protótipos. Na segunda parte, os conceitos abordados no início são utilizados para a

construção dos protótipos que serão utilizados nos estudos de caso apresentados nos capítulos 7 e 8.

4.1 Definição de protótipo

Diferentes definições podem ser dadas ao protótipo dependendo do campo em que é aplicado, podendo seu significado variar de acordo com cada área profissional. Por exemplo, na arquitetura este é conhecido como um modelo em escala reduzida do edifício, enquanto que para o designer de produto pode ser em sua escala real com mesmo material e funcionalidade. Para os desenvolvedores de *softwares* são criados protótipos modelos extraídos de outros *softwares* semelhantes para serem em seguida desenvolvidos, criando novas versões.

Beaudouin-Lafon e Mackay (2003), definem protótipo como uma representação concreta de uma parte ou da totalidade de um sistema interativo. Trata-se de um artefato tangível e não uma descrição abstrata que exige interpretação. Designers, assim como desenvolvedores, clientes e usuários finais podem utilizar este artefato para visualizar e refletir sobre o sistema final.

O protótipo corresponde a um componente importante no processo de design por permitir uma avaliação inicial do projeto do produto, permitindo vários tipos de testes, tais como testes de usabilidade e respostas do usuário quanto as suas preferências de produto. Beaudouin-Lafon e Mackay (2003), acrescentam que protótipos apoiam a criatividade, ajudando o designer a capturar e gerar ideias; facilita a exploração do espaço do design e a descoberta de informações relevantes sobre os usuários e as suas práticas de trabalho.

Preece, Rogers & Sharp (2002), descrevem um exemplo interessante apresentado por Ehn e Kyng (1991)⁶, no qual uma caixa de papelão com a etiqueta “Desktop Laser Printer” é utilizada como um *mockup*. Em sua configuração, a impressora não era real, mas isso não importava, pois o objetivo era que os usuários pudessem experimentar e visionar o que seria ter uma destas máquinas em suas mesas de trabalho. Isto pode parecer um pouco exagerado, mas em 1982, quando este experimento foi feito, uma impressora laser de mesa era um equipamento extremamente caro e não era comumente vista em um escritório.

Beaudouin-Lafon e Mackay (2003), acrescentam também que os protótipos encorajam a comunicação ajudando a equipe de desenvolvedores e usuários discutirem as diversas opções de projeto e interagirem uns com os outros. Neste contexto, os protótipos podem

⁶ Ehn, P. & Kyng, M. 1991. Cardboard computers: mocking-it-up or hands-on the future. In J. Green-baum and M. Kyng (eds.). Design at Work. Hills-dale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

atuar como ferramenta de comunicação e de demonstração para mostrar-lhes o cumprimento das metas do projeto e obter *feedback* dos fornecedores, vendedores e gestão (OTTO; WOOD, 2001).

A prototipagem de novos produtos corresponde a uma técnica alternativa para desenhos e esboços (BORDEGONI; FERRISE, 2013). Existe uma variedade de técnicas de prototipagem disponíveis, com vários tipos de protótipos que possuem diferentes funções e finalidades dentro do fluxo das atividades de comunicação e avaliação de produtos (ZORRIASSATINE et al., 2003).

Diversos autores utilizam o termo prototipagem para descrever as etapas de representação das características de um produto, e dependendo do nível de fidelidade surgem termos como *sketches*, *mock-up*, modelos e protótipos funcionais. De acordo com Wang (2002), no campo de atuação, os termos protótipo e *mock-up* são muitas vezes utilizados como sinônimos. Todavia, existem diferenças no conceito entre ambos.

No campo da engenharia, *Mock-up* corresponde a um modelo em escala, muitas vezes do tamanho natural, de uma estrutura, equipamento, ou veículo; utilizado para o estudo, treinamento ou testes; e para determinar se o equipamento pode ser fabricado de forma rápida e econômica (WANG, 2002). Neste contexto, tanto protótipo como *mock-up* envolvem um modelo em escala real de uma estrutura ou equipamento usado para testes ou avaliações.

Tradicionalmente em muitas escolas de Design no Brasil, o termo *mock-up* corresponde a um modelo do produto que utiliza materiais diferentes dos que serão utilizados no produto final, e são aplicados nas primeiras fases de desenvolvimento do produto (SOARES, 1998; BAXTER, 1998). Este conceito vem sendo ampliado para *mock-ups* que podem utilizar o mesmo material do produto final, desde que não reproduzam as suas demais características (ALCOFORADO, 2007). Por outro lado, o termo protótipo, corresponde a um modelo físico bem aproximado, ou se necessário exato, do produto final, representado na escala natural 1:1 e no mesmo material (BAXTER, 1998; BACKX, 1994; GEBHARDT, 2003).

No entanto, ao observar o significado do termo protótipo no processo de design, este é interpretado de uma forma mais livre como uma representação aproximada de um produto e que permite a interação com um usuário para algum tipo de avaliação. Para tal inclui todos os tipos de protótipos utilizados no processo de desenvolvimento do produto, desde a construção de um cenário em papel (*storyboard*), um *mockup* de papelão ou um modelo de espuma, até um protótipo físico funcional aproximado de um produto final (ALCOFORADO, 2007; BEAUDOUIN-LAFON; MACKAY, 2003; PREECE, ROGERS; SHARP, 2002). Sendo

assim, protótipo passa a ser definido conforme a ferramenta utilizada para a sua produção e o nível de acabamento.

Seguindo este conceito, para os estudos desta tese, protótipo corresponde a um artefato desenvolvido para ilustrar um projeto para fins de avaliação. As técnicas de prototipagem e os protótipos serão analisados a partir das quatro dimensões seguintes, propostas por Beaudouin-Lafon e Mackay (2003):

- *Precisão* descreve o nível de detalhamento conforme a finalidade do protótipo;
- *Representação* descreve a forma do protótipo que pode ser física ou virtual;
- *Interatividade* descreve a extensão na qual o usuário pode interagir com o protótipo, que pode ser apenas visualizar ou interagir com o mesmo;
- *Evolução* descreve o ciclo de vida esperado do protótipo.

4.1.1 Precisão

A forma e o nível de detalhamento em que um protótipo é construído vai determinar o nível de precisão. Esboços ou croquis, por exemplo, tendem a não serem precisos mesmo se forem gerados em computador. Nos protótipos podem ser incluídas algumas das propriedades de um produto ou mesmo todas, possibilitando organizar os testes para avaliação de uma propriedade a cada vez, ou adaptando uma abordagem mais holística, testando todas as propriedades ao mesmo tempo.

Greenberger (1998) descreve que os protótipos podem ser divididos em baixa, média e alta fidelidade, conforme o grau de precisão da aparência e interação do produto. Os protótipos de baixa fidelidade são construídos rapidamente para descrever conceitos e alternativas de design e proporcionam pouca ou nenhuma funcionalidade. Estes são desenvolvidos com materiais bem diferentes do que se intenciona para a versão final, tal como papel e papelão, para demonstrar a aparência geral do produto em desenvolvimento e para se comunicar e trocar ideias com os usuários. Correspondem a uma alternativa simples, rápida e de baixo custo, particularmente importante nos primeiros estágios de desenvolvimento do produto e, por serem flexíveis encorajam a exploração de ideias e modificações (PREECE, ROGERS; SHARP, 2002).

Os protótipos de média e alta fidelidade são inteiramente interativos dependendo do grau de precisão, simulando muitas das funcionalidades do produto final. Os protótipos de média fidelidade simulam parcialmente a interação do sistema e funcionalidade, enquanto que os de alta fidelidade representam fielmente a interface do produto (GREENBERGER, 1998).

Conforme Preece, Rogers & Sharp (2002), o protótipo de alta fidelidade envolve um custo bem maior para seu desenvolvimento, sendo útil para a venda da ideia e para testes técnicos. Contudo, o uso dos protótipos de baixa fidelidade deve ser encorajado nas questões de exploração do conteúdo e estrutura.

Bordegoni e Ferrise (2013) propõem uma forma mais detalhada para classificar os protótipos, conforme seguem:

- *Protótipos visuais*. Mostram a estética do design e simulam a aparência, cor e textura da superfície do produto. São utilizados para inserir o produto dentro de um contexto e não incorporam as funções de um produto final.
- *Protótipos forma*. Mostram o tamanho e a forma de um produto e são utilizados para avaliar em detalhe os aspectos visuais e fatores ergonômicos da forma do produto final. Na realidade estes não simulam a aparência exata (cor, textura ou acabamento) e funções do produto, mas representam a escala final (dimensão e forma).
- *Protótipos funcionais*. São construídos com o propósito de simular os princípios de funcionalidade e operacionalidade dos produtos e podem ser utilizados para verificar a viabilidade dos mesmos em termos de propriedades sinestésicas e dinâmicas, consumo de energia, comportamento térmico, etc.
- *Protótipos físicos completos*. Simulam o design final, a estética, os materiais e funcionalidades pretendidas para o produto. Normalmente são construídos em escala ou até mesmo em tamanho real.

Sendo assim, a forma do protótipo deve ser adaptada ao nível de precisão desejado e de acordo com o que se pretende avaliar a medida que o projeto se desenvolve. Para o desenvolvimento dos protótipos desta tese, serão adotados protótipos de média fidelidade tanto visuais como funcionais.

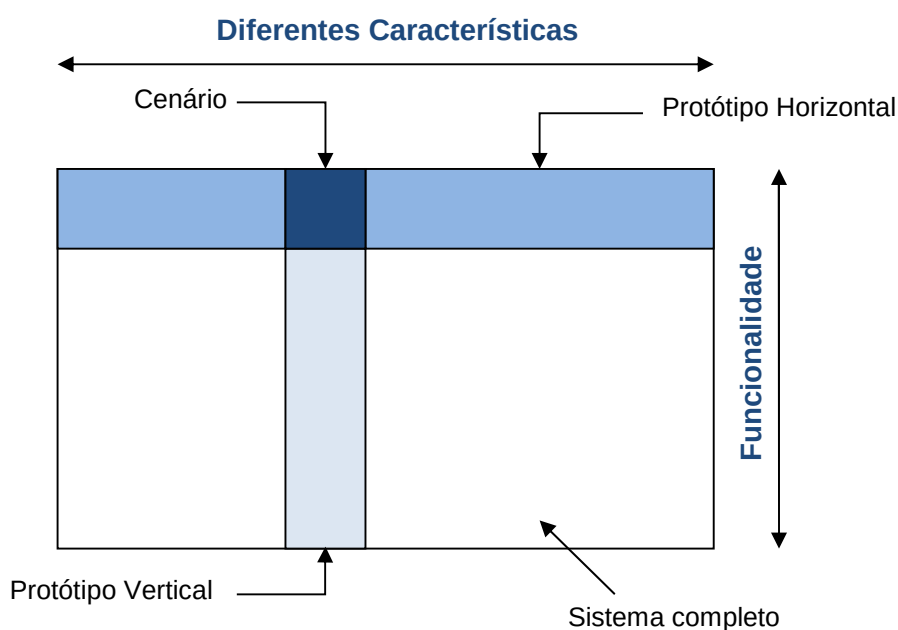
Nielsen (1993) e Greenberger (1998) descrevem três abordagens para limitar a funcionalidade dos protótipos de média fidelidade, sendo estas:

- [1] Protótipos verticais, no qual é reduzido o número de recursos que se pretende prototipar. Estes permitem aos usuários realizar e testar algumas tarefas reais com as funcionalidades reproduzidas.
- [2] Protótipos horizontais, no qual é desenvolvido um sistema completo mas com um reduzido nível de funcionalidade. Estes permitem ao usuário sentir toda a interface ainda que não possam executar todas as tarefas reais.

- [3] Protótipos de cenário, no qual ambos os atributos, número de recursos e funcionalidade, são reduzidos. Este tipo de protótipo permite simular um caminho previamente planejado da interface com o usuário, para ser utilizado durante a fase inicial do design ou para avaliar decisões preliminares de forma mais fácil e econômica.

Em resumo, Roger, Sharp e Preece (2002) descrevem protótipos horizontais como aqueles que abrangem várias funções com poucos detalhes e protótipos verticais como aqueles que abrangem poucas funções com muitos detalhes. A Figura 4.1 ilustra o conceito de prototipagem vertical, horizontal e cenário, assim como o Quadro 4.1 apresenta uma breve comparação entre os três tipos de prototipagem de média fidelidade.

Figura 4.1 – As dimensões da prototipagem



Fonte: Adaptado de Nielsen (1993, p. 94)

Quadro 4.1 – Comparação entre as técnicas de prototipagem de média fidelidade.

Técnicas	Vantagens	Desvantagens
Vertical	✓ Testes em profundidade em circunstância realista; ✓ Testes com tarefas reais do usuário.	✓ Apenas testes com parte limitada do sistema.
Horizontal	✓ Testes com toda a interface; ✓ Pode ser implementado rapidamente.	✓ Não permite desenvolver tarefas reais.
Cenário	✓ Fácil e econômico para desenvolver.	✓ Apenas permite o teste de parte limitada do sistema; ✓ Não permite desenvolver tarefas reais.

Fonte: Adaptado de Greenberger (1998)

4.1.2 Representação

A forma do protótipo pode ter as duas seguintes representações: protótipo físico e protótipo virtual.

Prototipagem física é o processo de fazer uma representação física de uma ideia (SIMMONDS, 2012), permitindo ao designer construir um conhecimento a partir da interação com o mesmo, assim como analisar a interface com o usuário. O protótipo físico pode ser construído a partir de vários materiais, tais como madeira, argila, espuma ou metal e não precisa necessariamente possuir as mesmas propriedades do produto final (ZORRIASSATINE et al., 2003; JIMENO; PUERTA, 2007), como também pode representar uma amostra exata do produto final.

De acordo com Zorriassatine et al. (2003), os protótipos físicos podem ser classificados em três grupos principais, de acordo com a natureza da mudança física utilizada na sua construção, conforme descritos a seguir:

- 1 *Protótipos tradicionais.* São tradicionalmente construídos com a remoção de material a partir de uma variedade de processos de um bloco inicial. Os métodos e processos de fabricação mais adequados ou convenientes podem ser usados em qualquer combinação para criar os protótipos, sendo estes, totalmente manual utilizando ferramentas manuais, uma combinação de manual com o auxílio de máquinas para operar dispositivos como perfuração e torno, ou inteiramente automatizado a partir de máquinas de controle numérico por computador.

- 2 *Prototipagem rápida.* Esta tecnologia corresponde a um modelo tridimensional do design requerido criado no computador. Em seguida, o modelo é convertido para um formato digital referido como STL⁷ (*Stereolithography Tessellation Language*) e o modelo final é construído a partir da junção das diversas camadas, geradas a partir do arquivo STL.
- 3 *Prototipagem Híbrida.* Esta tecnologia combina as técnicas utilizadas na prototipagem rápida (adição de material) com o sistema de máquinas de controle numérico por computador (subtração de material), cuja finalidade consiste em moldar as peças com maior precisão. O processo de planejamento para prototipagem híbrida é mais complicado que os dois primeiros por envolver dois tipos de tecnologias ao mesmo tempo, mas por outro lado podem proporcionar uma melhor precisão e processar o material conforme pretendido para incorporação no produto acabado.

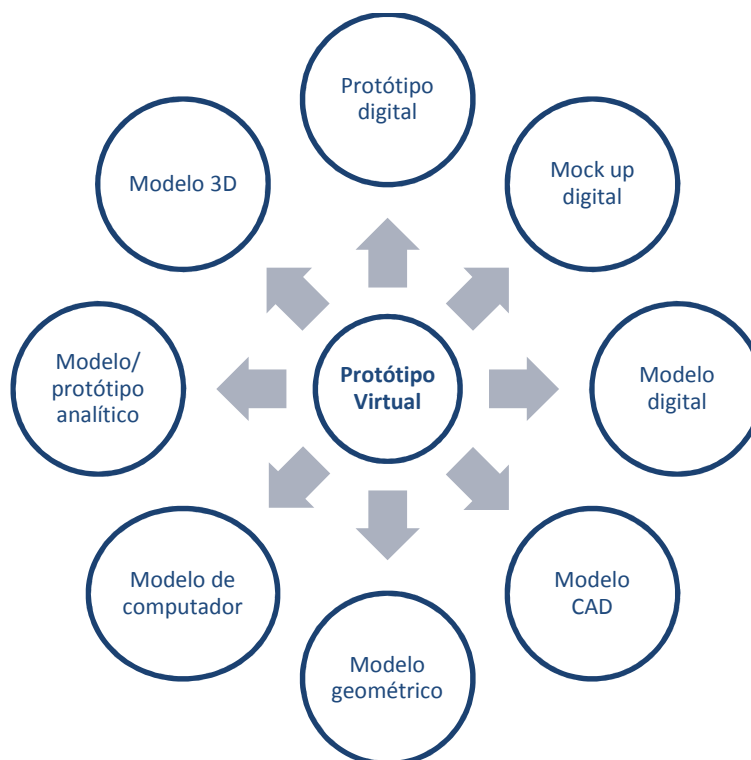
Desta forma, dependendo do método de construção, os protótipos físicos podem apresentar algumas limitações, como por exemplo, não permitem a variação de formas e materiais e a sua produção pode ser demorada e ter custos elevados. Como exemplo Zorriassatine et al. (2003), citam a prototipagem rápida como um método vantajoso por não utilizar ferramentas caras como na prototipagem tradicional, mas por outro lado este método pode ficar aquém das tolerâncias especificadas e acabamentos de superfície.

Ao utilizar protótipos físicos na revisão de design ou durante os testes, é muito difícil ou impossível modificá-lo e um novo protótipo precisa ser construído a cada modificação. Este fator dificulta extensivos testes com diferentes possibilidades e dificulta a inovação e a inspiração de novas ideias de design, pois cada protótipo individual incorre em um custo adicional (ZORRIASSATINE et al., 2003), em consequência muitas empresas deixam para utilizá-lo nas últimas fases do processo de design.

O Protótipo Virtual (PV) é geralmente entendido como a construção no computador de modelos de um produto que ainda não existe na realidade (WANG, 2002; ZORRIASSATINE et al., 2003), frequentemente em um ambiente virtual (JIMENO; PUERTA, 2007). O PV corresponde a apresentação, teste e análise de modelos tridimensionais CAD antes da criação do produto final (ZORRIASSATINE et al., 2003). Em diferentes contextos, o PV pode ter muitos sinônimos, conforme apresenta a Figura 4.2.

⁷ STL é um formato de arquivo nativo para software CAD e é suportado por muitos outros pacotes de software, sendo amplamente utilizado para prototipagem rápida. Arquivos STL descrevem apenas a geometria da superfície de um objeto tridimensional, sem qualquer representação de cor, textura e outros atributos comuns ao modelo CAD.

Figura 4.2 – Alguns sinônimos de protótipo virtual



Fonte: Adaptado de Liu (2011)

Após analisar diversos estudos Wang (2002), descreve protótipo virtual como uma simulação em computador de um produto físico que pode ser apresentado, analisado e testado a partir dos aspectos do ciclo de vida do produto em causa, tais como design/engenharia, manufatura, serviço e reciclagem, como se fosse em um modelo físico real. A partir desta técnica a equipe de projeto como também os usuários finais podem usar um protótipo virtual para avaliar a qualidade estética e as características funcionais de um produto, assim como a usabilidade antes da construção do produto físico (BORDEGONI; FERRISE, 2013).

Os protótipos virtuais foram pioneiramente adotados pelas indústrias automotiva e espacial. Hoje em dia, a indústria de manufatura tem feito uso desta técnica em face do desenvolvimento tecnológico de *hardware* e *software* na área da engenharia assistida por computador (Computer Aided Engineering - CAE) (ZORRIASSATINE et al., 2003).

Uma das maiores vantagens da prototipagem virtual corresponde a sua natureza digital, que juntamente com a capacidade de processamento do computador, permite a geração de várias alternativas de concepção do produto sem muito esforço, uma vez que o primeiro protótipo é desenvolvido, como também a revisão e otimização das funcionalidades do objeto de forma mais rápida, econômica e eficiente (ZORRIASSATINE et al., 2003; KIM et al., 2011).

Segundo Zorriassatine et al. (2003), a PV permite:

- Uma melhor comunicação, produtividade e eficácia através de uma modelagem gráfica realista baseada em cores, textura natural e aparência;
- Redução significativa no tempo de desenho;
- Uma visualização dinâmica dos modelos a partir de qualquer ângulo e orientação desejada pelo usuário.

Apesar das vantagens, em algumas ocasiões um protótipo virtual é menos preferível em comparação a um protótipo físico. Liu (2011) cita como exemplo a preferência de muitos participantes em interagir com um protótipo físico nos testes sobre os aspectos ergonômicos de um produto. Desta forma, tanto os protótipos físicos quanto os virtuais têm papéis importantes para o design. Ambos possuem vantagens e desvantagens em diferentes aspectos, e de acordo com Grimm (2005), não deveriam ser vistos como tecnologias competitivas e sim como complementares. O Quadro 4.2 apresenta uma lista de critérios para indicar se um protótipo físico ou virtual é mais desejável.

Quadro 4.2 – Checklist das situações onde o uso dos protótipos físicos ou virtuais é mais adequado.

	Protótipo virtual	Protótipo físico
Custo	√	
Tempo	√	
Habilidade de interação	√	
Avaliação ergonômica		√
Estética	√	
Tátil		√
Análise dinâmica	√	
Produtos complexos	√	
Produtos de estrutura simples		√
Testes funcionais		√
Comunicação com usuário		√

Fonte: Adaptado de Liu (2011)

Com base nestas proposições, a prototipagem é um processo interativo e os dois tipos de tecnologias não são estritamente competitivos, onde os pontos fortes e as vantagens de um abordam a fragilidade e limitações do outro. Sendo assim, cada tipo de protótipo fornece informações sobre alguns aspectos e ignoram outros e cabe ao designer escolher a

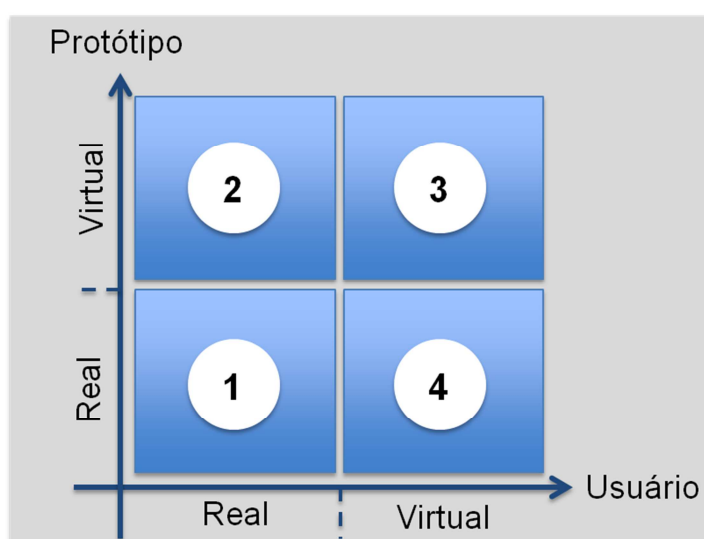
representação mais adequada ao propósito da avaliação (BEAUDOUIN-LAFON; MACKAY, 2003), ou unir ambas as técnicas para formar uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de produtos mais complexos (CAMPBELL et al., 2004).

4.1.3 Interatividade

A interatividade corresponde a forma como o usuário pode interagir com o protótipo. Nos protótipos virtuais, a interação baseia-se principalmente na visão (BORDEGONI et al., 2009; BARBIERI et al., 2013), no entanto a interação fornecida pelos protótipos não devem limitar-se apenas a este sentido, visto que a interação com produtos é realizada tanto visualmente como de forma tátil. Embora a interação com protótipos físicos proporcione uma interface de toque mais natural, no que aumenta o realismo, os protótipos virtuais podem oferecer facilidades para explorar diferentes estratégias de interação pela flexibilidade em ser readaptado para as diferentes versões do projeto.

Os dois tipos de protótipos podem ser classificados de acordo com a sua interação com o usuário. Bordegoni et al. (2009), propõem um quadro de referência representado por dois eixos que definem o espaço de interação entre o protótipo e o usuário, conforme ilustra a Figura 4.3. Os dois eixos possuem dois estágios, real ou virtual, e ao cruzar suas matrizes são criadas quatro situações: 1. usuário real → protótipo real; 2. usuário real → protótipo virtual; 3. usuário virtual → protótipo virtual e 4. usuário virtual → protótipo real.

Figura 4.3 – Gráfico de referência da relação protótipo x usuário



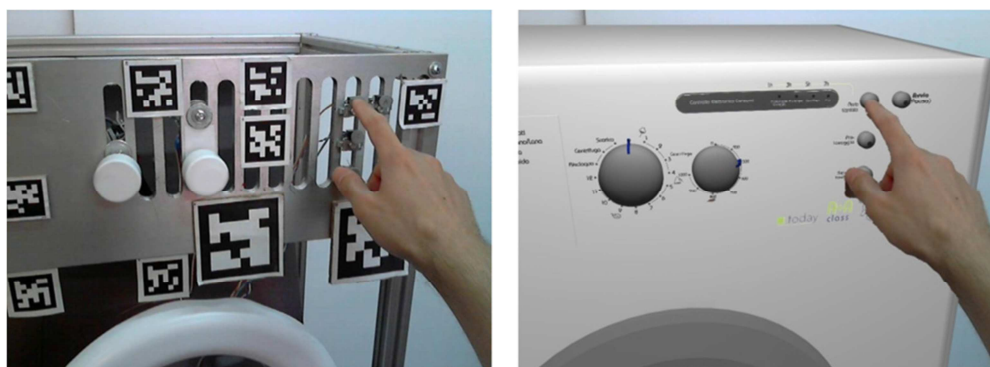
Fonte: Adaptado de Bordegoni et al. (2009)

1. *Usuário real* → *protótipo real*. Corresponde a situação mais típica utilizada na prática. Trata-se da construção de um protótipo físico para ser utilizado pelo usuário durante a validação e avaliação dos aspectos estéticos, funcionais e ergonômicos. Dependendo da necessidade dos itens a serem avaliados, a construção destes protótipos pode tornar-se mais complexa.
2. *Usuário real* → *protótipo virtual*. Esta situação corresponde a um usuário interagindo com um objeto virtual. A interação é comumente baseada na visão e deriva de simulações a partir de ferramentas como CAD.
3. *Usuário virtual* → *protótipo virtual*. Nesta situação um humano virtual interage com um objeto virtual em um ambiente totalmente virtual. Este recurso é geralmente utilizado em situações cujo objetivo principal é definir um layout espacial e avaliar condições de alcance, acessibilidade e entre outros (BORDEGONI et al., 2009).
4. *Usuário virtual* → *protótipo real*. Quando um protótipo real precisa ser testado quanto a sua consistência ou fadiga e as possibilidades e sequências de interação são limitadas, busca-se um agente para agir como usuário para explorar exaustivas vezes todas as possibilidades de interação (BORDEGONI et al., 2009).

Bordegoni et al. (2009) apontam mais uma situação considerando a mistura entre protótipos físico e virtual (protótipo misto) e o usuário real. A prototipagem mista é baseada na mistura de componentes reais e virtuais em um ambiente de realidade mista em que a aparência visual do produto é sobreposta em um *mock-up* físico (BRUNO et al., 2010; BARBIERI et al., 2013). Esta técnica vem apresentando soluções mais efetivas para a avaliação de produtos interativos em relação a protótipos totalmente reais ou totalmente virtuais, pelo fato de combinar as vantagens da prototipagem virtual (avaliação rápida das várias alternativas de design) e a prototipagem física (que envolve o sentido do tato), permitindo uma sensação de toque mais realista dos objetos virtuais pelo usuário (BORDEGONI et al. 2009; BARBIERI et al., 2013). Além disto, permite aos designers otimizarem o tempo e os custos nas fases de desenvolvimento, testes e avaliação de produtos interativos (BORDEGONI et al. 2009).

Um exemplo de aplicação com protótipo misto foi sugerido por Barbieri et al. (2013), conforme ilustra a Figura 4.4. Neste estudo foi realizado um teste comparativo da usabilidade em três diferentes máquinas de lavar roupas. Foi utilizado um protótipo físico representando os botões de operação da máquina e sobre este foi projetado o protótipo virtual.

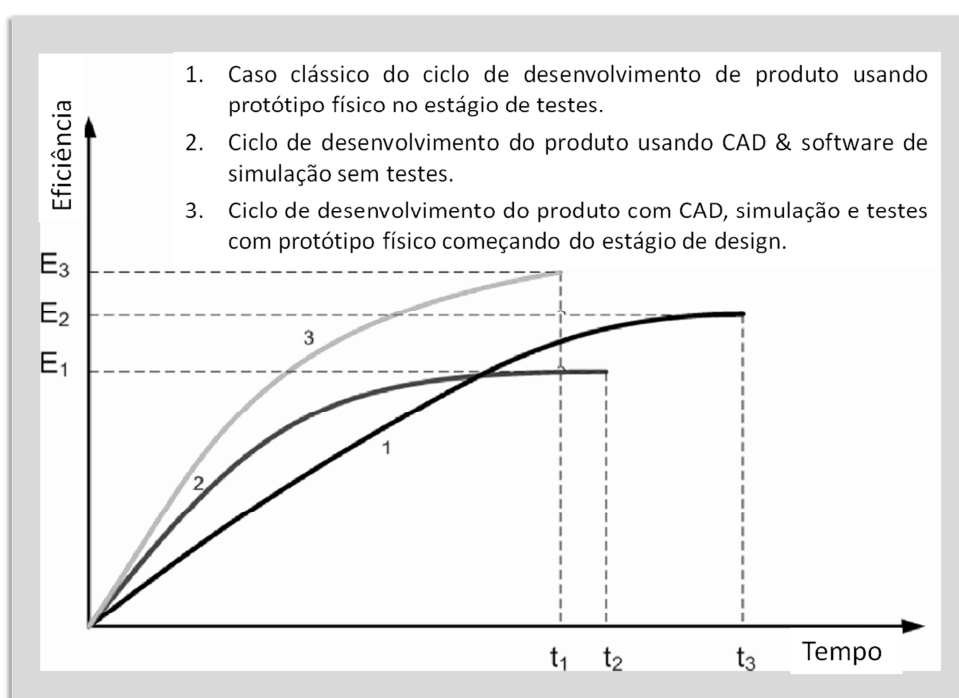
Figura 4.4 – Exemplo de prototipagem mista em produtos



Fonte: Barbieri et al. (2013)

Conforme Sisca, Mogan & Subrin (2008), este novo método híbrido pode gerar um menor tempo e aumentar a eficiência dos testes na construção de um protótipo. A Figura 4.5 apresenta três curvas indicando o tempo e a eficiência dos métodos de prototipagem. A curva 1 apresenta um caso clássico com apenas testes com protótipos físicos, a curva 2 corresponde ao caso quando apenas são utilizadas simulações em computador para o desenvolvimento de um novo produto e a curva 3 corresponde ao método que combina experimentos com protótipos físicos e simulação. De acordo com a figura, o método utilizando protótipos físicos e virtuais (curva 3) apresenta o tempo mais curto com maior eficácia nos testes com produtos.

Figura 4.5 – Estratégias para testes com produtos relacionadas ao tempo e eficiência.



Fonte: Sisca, Mogan e Subrin (2008)

4.1.4 Evolução

O ciclo de vida do protótipo possui diferentes períodos, a prototipagem rápida, por exemplo, geralmente é utilizada nas fases iniciais do ciclo de design por ser mais fácil de produzir e com menor custo, visto que o objetivo consiste em explorar rapidamente vários tipos de interação e em seguida são descartados.

Os protótipos interativos são desenvolvidos quando o projeto está em andamento com o objetivo de evoluir para as próximas fases. Dificilmente os protótipos físicos suportam esse comportamento interativo, sendo o protótipo virtual mais vantajoso pela sua flexibilidade e mutabilidade (BARBIERI et al., 2013). Bordegoni e Ferrise (2013), afirmam que qualquer modificação em um protótipo virtual é mais fácil e menos dispendiosa do que uma modificação correspondente em um protótipo físico, do qual pode requerer a construção de um novo, conforme descrito no item 4.1.2.

4.2 Prototipagem e avaliação da usabilidade

No desenvolvimento de produtos, para cada etapa do projeto uma categoria específica de protótipo é utilizada de acordo com as necessidades e objetivos. Metodologias de avaliação mais comuns são baseadas em protótipos físicos (LAWSON, 2005), permitindo testes e análises funcionais sobre sua representação visual e proporcionando variações morfológicas e estéticas.

Em geral, no estágio conceptual são elaborados vários esboços com uma grande variedade de interfaces elaboradas de acordo com as necessidades do consumidor. Nesta etapa o uso de protótipos de baixa fidelidade é suficiente para analisar as diferentes alternativas e conceitos. Outros métodos utilizando produtos existentes também podem ser adotados, como por exemplo, a avaliação baseada nos testes comparativos entre alguns novos conceitos de design construídos por meio de protótipos físicos e um produto já existente, conforme estudos realizados por Romero et al. (2009).

A partir dos primeiros conceitos traçados se faz necessário apresentar mais detalhes sobre o projeto, tais como forma, textura, cor e funcionalidades. Durante esta fase protótipos virtuais correspondem a uma alternativa eficiente para designers testarem os aspectos estéticos e funcionais do produto, assim como recolher a opinião dos usuários a partir de testes. Conforme Barbieri et al. (2013), protótipos virtuais são bastante versáteis e podem ser utilizados para várias finalidades, pois proporcionam um *feedback* visual ao usuário que pode facilmente interagir e manipular os modelos virtuais.

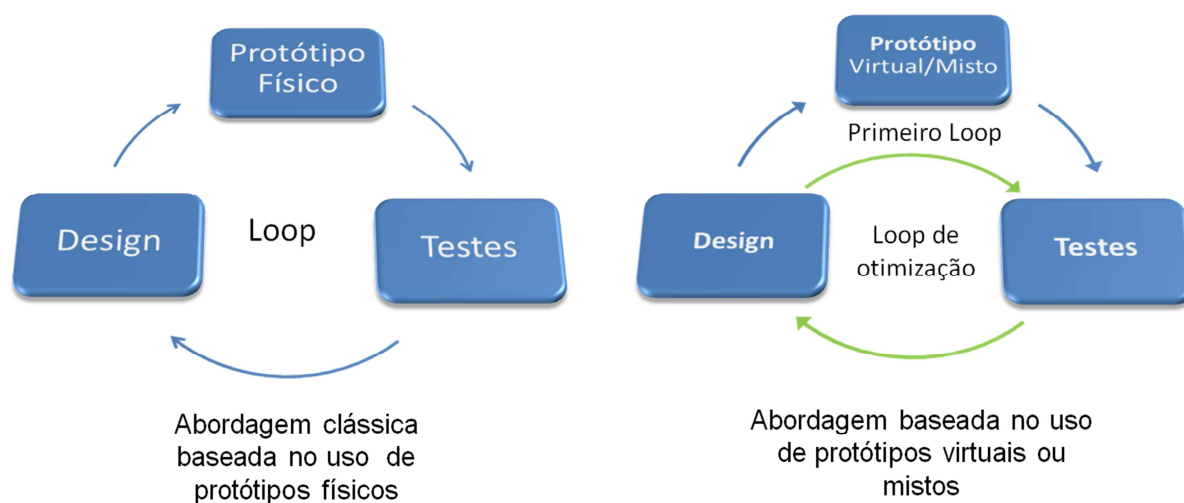
Inicialmente o uso de protótipos virtuais era bastante limitado pela tecnologia disponível, inclusive com limites de visualização. Ainda hoje encontramos um grande número de aplicações de protótipos virtuais baseadas apenas na representação visual de produtos (ZORRIASSATINE et al., 2003), apesar de já existirem tecnologias mais avançadas de interação com o usuário através de múltiplos canais sensoriais como as tecnologias hápticas e dispositivos auditivos (BORDEGONI; FERRISE; CUGINI, 2012).

Nos últimos anos pesquisas abordando novas tecnologias em protótipos virtuais na avaliação da usabilidade de produtos vêm apresentando consideráveis avanços na área, motivadas principalmente pela redução dos custos e do tempo (BARBIERI et al., 2013). No entanto, a avaliação e os testes de usabilidade do produto, ou seja, a observação do usuário desenvolvendo as tarefas com um modelo, são mais articuladas e devem abordar as modalidades de interação mais complexas e integradas. Desta forma, o protótipo físico não tem sido completamente substituído em razão de alguns aspectos relacionados com o uso, tais como interação física e respostas, que ainda requererem um modelo físico (BORDEGONI; FERRISE; CUGINI, 2012).

Para que os protótipos físicos sejam totalmente substituídos seria necessário dispor de um protótipo virtual com as mesmas características. Para atender a este requisito, pesquisas recentes têm apontado uma abordagem multimodal, ou seja, a utilização da combinação de vários canais sensoriais como visão, audição e tato, a partir do uso de protótipos mistos (BRUNO et al., 2010; FERRISE; BORDEGONI; GRAZIOSI, 2013; BORDEGONI; FERRISE, 2013; BARBIERI et al., 2013).

Ferrise, Bordegoni e Graziosi (2013), apontam duas vantagens no uso de protótipos virtuais ou mistos, estes são menos dispendiosos do que os físicos e permitem modificações, possibilitando aos designers revisarem o projeto de forma mais dinâmica, rápida e eficiente. Nesta direção, as tecnologias virtuais ajudam aos desenvolvedores do produto envolverem os potenciais usuários dentro de um ciclo de otimização existente entre a fase de design do produto e de testes. Tal fator permite uma evolução contínua do protótipo inicial, virtual ou misto, que pode ser atualizado rapidamente a partir dos resultados obtidos com os testes (ver Figura 4.6).

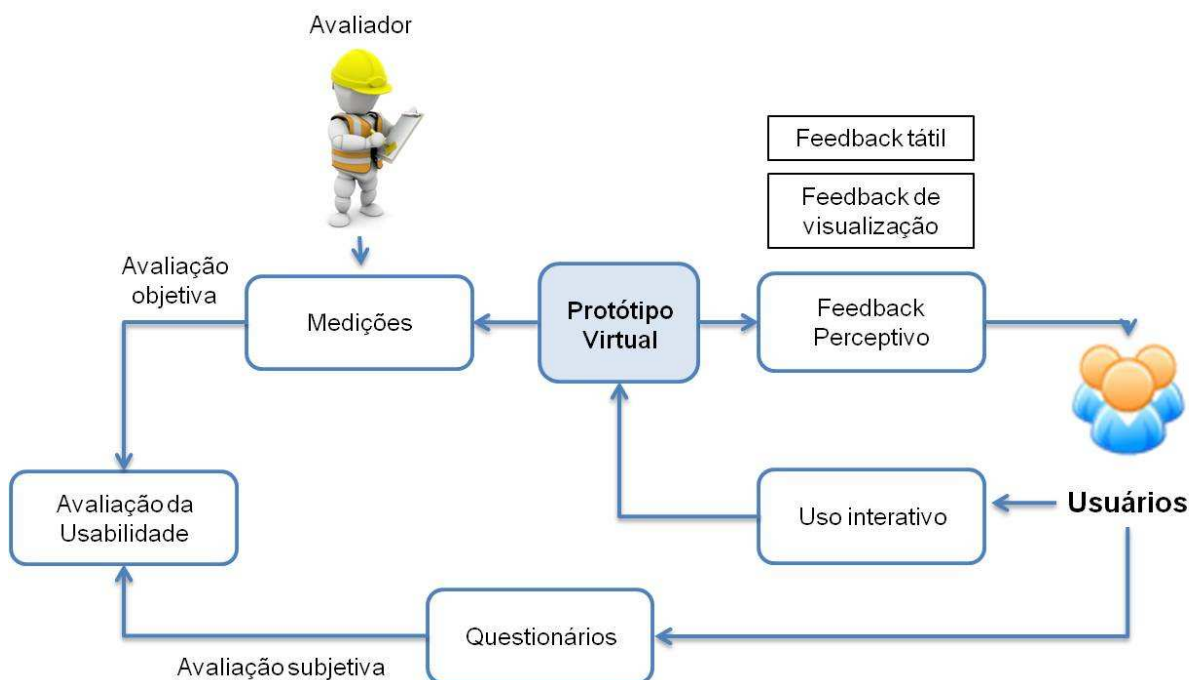
Figura 4.6 – O uso de protótipos virtuais ou mistos modificáveis permite realizar as atividades de ensaio, sem a necessidade de construir continuamente novos protótipos.



Fonte: Adaptado de Ferrise, Bordegoni e Graziosi (2013)

A avaliação da usabilidade com o usuário final e utilizando protótipos virtuais interativos permite ao avaliador obter informações sobre o uso do produto, analisando tanto os aspectos de desempenho ou objetivos, obtidos por meio dos sistemas de medição, como também os dados subjetivos, obtidos a partir dos questionários de satisfação do usuário (BORDEGONI; FERRISE; CUGINI, 2012). A Figura 4.7 demonstra o recolhimento de informações sobre a avaliação da usabilidade de produtos a partir do uso de protótipos virtuais.

Figura 4.7 – Como os dados da avaliação de usabilidade podem ser coletados a partir do uso de protótipos virtuais.



Fonte: Adaptado de Bordegoni, Ferrise e Cugini (2012)

A possibilidade de uma avaliação da usabilidade utilizando protótipos virtuais foi apontada nos estudos de Bruno e Muzzupappa (2010), onde foi realizada uma análise comparativa entre a interação do usuário com um produto real e com um protótipo virtual. Como resultado foi constatado que a interface virtual não aumenta a dificuldade de uso do produto enquanto as tarefas são realizadas, assim como não altera a eficácia do sistema. Nos estudos de Barbieri et al. (2013), foi desenvolvida uma metodologia para avaliar a usabilidade do produto a partir do uso de diferentes tipos de protótipos (baixa fidelidade, virtual, misto ou físico). De acordo com os autores, a parte mais inovadora da metodologia corresponde a introdução da prototipagem mista, conforme descrita no item 4.1.3, e que contribuiu para uma avaliação mais eficiente a partir de uma maior variedade de interfaces a serem avaliadas, reduzindo o tempo e os custos de prototipagem, além de manter um grau de realismo satisfatório na interação com o usuário.

4.3 Métodos de prototipagem virtual

A partir do desenvolvimento da capacidade dos computadores e da sofisticação dos métodos computacionais, capazes de transportar resultados entre os vários modelos e melhorar o alcance de precisão e realismo a um custo menor, a tecnologia de prototipagem virtual vem crescendo em ritmo acelerado (ZORRIASSATINE et al., 2003). Tal fator possibilitou o desenvolvimento de ferramentas de *software* de simulação que são incorporadas aos modelos tridimensionais CAD. Chang, Silva e Bryant (1999), fornecem um exemplo bastante abrangente do uso do protótipo virtual e programas de *software* comercial CAE, incluindo CAD e Computer Aided Manufacture (CAM), para projetar um motor de um avião.

Atualmente, muitos fabricantes de automóveis realizam testes virtuais na fase de planejamento e projeto de desenvolvimento do veículo para avaliar a qualidade dos principais componentes como motores, transmissões e suspensões, assim como analisar os fatores ergonômicos e de usabilidade (EUREKA, 2013). A indústria automobilística é uma grande propulsora do desenvolvimento tecnológico na área de protótipos virtuais. A empresa Jaguar Land Rover (JLR), por exemplo, no ano de 2013 fez um investimento de aproximadamente dez milhões de libras em programas de pesquisas para os próximos quatro anos em conjunto com o Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) e quatro principais universidades, para o desenvolvimento da capacidade da engenharia virtual no Reino Unido (EUREKA, 2013).

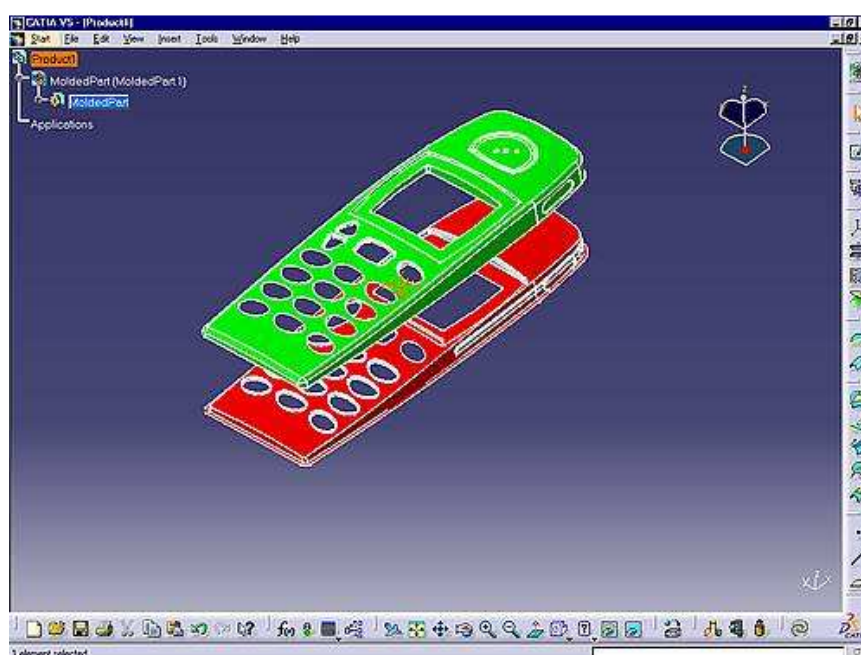
Conforme Wang, (2002), os componentes para a elaboração de protótipos virtuais são, primeiramente, uma simulação em computador de um produto, cuja apresentação deste produto corresponde a um modelo sólido 3D. Em seguida, para um protótipo virtual ser apresentado como um modelo físico real, um modelo de interação humano-produto é desejado. De forma ideal, um produto virtual pode ser visto, escutado, inalado e tocado pelo designer ou usuário final. Por fim, várias perspectivas do design do produto são disponíveis para os testes e avaliações. Neste sentido, os métodos de prototipagem virtual podem ser classificados em duas partes: os métodos de construção e os métodos de testes.

A construção de protótipos virtuais é geralmente obtida através de um *software* de modelagem 3D. Como exemplo de pacotes de *software* utilizados no design industrial podemos citar o 3D SolidWorks, o CATIA, o 3D Studio Max, o Autodesk Maya, entre outros, no qual apresentam diferentes vantagens na modelagem.

O *software* Computer Aided Three Dimensional Interactive Application (CATIA), desenvolvido pela Dassault SystemTM e distribuído pela IBMTM, corresponde a um conjunto

integrado de aplicações CAD, CAE e CAM para a definição de um produto digital e simulação. CATIATM permite aos designers simular todos os processos de design desde a fase de pré-projeto até a fase de detalhamento, análise, simulação, montagem e manutenção (Ahram, Karwowski e Amaba, 2011). Como exemplo de aplicação, a Figura 4.8 mostra o CATIATM sendo utilizado para construção de um modelo de produto. O software também vem sendo utilizado pela Boeing para projetar aviões complexos como o Boeing 747-8 e pela NASA para projetar o ônibus espacial (AHRAM; KARWOWSKI; FALCÃO, 2015).

Figura 4.8 – Exemplo de uso do CATIATM para avaliar o design de um modelo de produto



Fonte: http://www.idexsolutions.com/software_solutions/catia/v5/ccv/

Na construção de um protótipo virtual existe outra abordagem que é chamada de Engenharia Reversa (ER). ER corresponde ao processo de extrair informações de design de uma parte existente, da qual tais informações estão indisponíveis ou extraviadas (JAMSHID; MILEHAM; OWEN, 2006). Esta técnica permite a reconstrução de um modelo digital geométrico através da digitalização de contato ou não contato do produto existente.

Além da capacidade de construir um modelo virtual 3D, muitos dos *softwares* de modelagem têm a função de testar e analisar os protótipos virtuais. Por exemplo, o Pro/Engineer tem um recurso chamado "model analisys" que permite ao usuário executar três diferentes tipos de avaliação: modelagem comportamental, modelo de verificação e edição de design (LIU, 2011).

4.3.1 Representação tridimensional versus bidimensional

O uso de protótipos virtuais no design e desenvolvimento de produtos tem acontecido desde a década de 70 (BINNARD, 1999). Conforme Zorriassatine et al. (2003), um protótipo virtual para ser efetivo não pode ser realizado sem a utilização de modelos tridimensionais, especialmente no design mais detalhado. A evolução dos modelos tridimensionais se deu a partir dos modelos de superfície e *wireframe* em modelos sólidos.

Ao comparar os modelos sólidos com os bidimensionais, estes são capazes de incorporar informações mais unificadas, possibilitando uma melhor interpretação e análise do modelo (PRATT, 1995). Apesar dos modelos bidimensionais também representarem um produto, muitas atividades de observação e análise serão inferiores quando comparadas aos modelos tridimensionais. Apesar deste conhecimento, muitos designers e empresas de manufatura ainda não utilizam os modelos tridimensionais para representação em seus projetos. Um dos principais fatores apontados são os custos e a falta de habilidade com os *softwares* 3D por muitos designers. Porém, conforme apontado por Nesbitt (2013), em seu artigo da revista *Appliance Design*, as recentes inovações feitas nas tecnologias virtuais permitem aos protótipos virtuais serem cada vez mais acessíveis e versáteis, propiciando às empresas de pequeno e médio porte fazerem a mudança do protótipo físico para o virtual, um luxo que anteriormente só era concedido às grandes corporações.

Neste contexto, uma maior conscientização dos potenciais benefícios da modelagem tridimensional ainda é necessária, encorajando principalmente as empresas de menor porte a explorarem mais a prototipagem virtual.

Contudo, a qualidade das representações tridimensionais vai depender do nível de precisão dada na construção do protótipo virtual. Para alcançar protótipos virtuais precisos é necessário ter um elevado nível de detalhes para que possuam as mesmas características de um modelo físico correspondente. A precisão em prototipagem depende da simulação fiel de todos os fatores que representam o produto e o seu ambiente operacional, sendo estes a geometria do produto, funções e desempenho, assim como a tecnologia de fabricação pretendida e os participantes humanos e a sua interação com o produto (ZORRIASSATINE et al. 2003).

4.3.2 Conversão do protótipo virtual para o protótipo físico

O protótipo físico, de forma tradicional, é desenvolvido de forma manual. Porém, a partir do desenvolvimento tecnológico, hoje é possível produzir um protótipo físico diretamente de um protótipo virtual, conforme descrito no item 4.1.2. As duas tecnologias tipicamente utilizadas para converter o protótipo virtual em físico são as máquinas CNC e a Prototipagem Rápida.

As máquinas CNC (*Computerised Numerical Control*) utilizam um processo de remoção de material sólido a partir de um sólido bloco de metal, plástico ou madeira para obter uma peça acabada ou um protótipo físico. Para sua aplicação, o programador precisa lidar com todos os recursos em uma parte, e isto pode adicionar tempo e custos significativos no processo de desenvolvimento do produto (WOHLERS; GRIMM, 2003).

Ao contrário do processo de remoção de material pelo processo CNC, a Prototipagem Rápida (PR) é um processo de deposição de material (GROTE et al., 2001), e corresponde a uma construção automática de objetos físicos diretamente dos dados CAD, a partir do depósito de material físico em camadas. No processo PR, a peça é criada primeiramente em um modelo de computador 3D e, em seguida, cortado em camadas 2D e consecutivamente fabricada a partir da primeira camada para a última, utilizando esquemas de controle para dirigir a formação de cada camada. Uma vez que uma camada é criada, outra camada de material é adicionada, e todo o processo é repetido até a conclusão da peça (OTTO; WOOD, 2001). A PR é também conhecida como a fabricação de forma livre sólida, fabricação de mesa ou a tecnologia de fabricação de camada (ZORRIASSATINE et al., 2003).

A prototipagem rápida permite aos designers a produção de um protótipo físico complexo e com alta qualidade, permitindo reduzir o tempo de confecção durante o processo de desenvolvimento do produto (RAMANATH; CHUA, 2006). Todavia, antes do modelo ser impresso, o modelo originado em CAD deve ser convertido para um formato de arquivo STL (*Stereolithography Tessellation Language*), a partir de um programa especializado de computador da máquina de PR, para análise e processo dos cortes utilizados para construir o modelo. Este processo de conversão pode vir a gerar um desvio da geometria originada no CAD.

Além dos dois processos apresentados, pesquisadores veem investigando outro processo de prototipagem denominado prototipagem híbrida, cuja produção utiliza tanto a adição como a remoção de material no mesmo sistema. A tecnologia desenvolvida com base na prototipagem corresponde a SDM (*Shape Deposition Manufacturing*), onde a adição de material é usada para estabelecer a geometria do volume, enquanto a remoção de material

é usada para produzir características geométricas precisas (LIU, 2011). Conforme Zorriassatine et al. (2003), os sistemas de prototipagem híbrida podem promover uma melhor precisão do que os sistemas de prototipagem rápida.

A partir de uma rápida consideração entre a prototipagem convencional e os sistemas CNC, prototipagem rápida e híbrida, estes últimos apresentam progressos significativos na combinação entre protótipos virtuais e físicos, reproduzindo fielmente o protótipo em termos de aparência, escala e dimensão, permitindo ao usuário visualizar e interagir com o mesmo de forma mais eficaz. Conforme Liu (2011), a fidelidade de reprodução é bastante significativa no teste com protótipos, como por exemplo, se o protótipo físico difere do virtual, fica difícil para o designer apresenta-los juntos ao cliente, pois o mesmo cliente pode entendê-los como produtos diferentes em vez do mesmo produto.

4.4 Construção dos protótipos para os estudos de caso

A partir da revisão de literatura neste capítulo foi adquirido um conhecimento básico sobre as características dos protótipos virtual e físico, possibilitando a idealização e construção dos protótipos que serão utilizados nos dois estudos de caso apresentados nos capítulos 7 e 8. Nas seções seguintes, os protótipos construídos serão apresentados.

4.4.1 Estudo de Caso I – Protótipo Virtual

O protótipo virtual foi elaborado para o estudo de caso I, conforme será apresentado no capítulo 6. O modelo foi construído objetivando mostrar claramente algumas características estéticas e de detalhamento, enfatizando os benefícios de um protótipo virtual ainda nas primeiras fases de desenvolvimento do produto, conforme visto na revisão de literatura.

O modelo foi construído em parceria com uma aluna do Mestrado Acadêmico de Design da Universidade Federal de Pernambuco. A fase de desenvolvimento do mesmo foi no período de janeiro a março de 2014.

Conforme descrito no item 4.1, o protótipo foi construído a partir das seguintes especificações:

Precisão

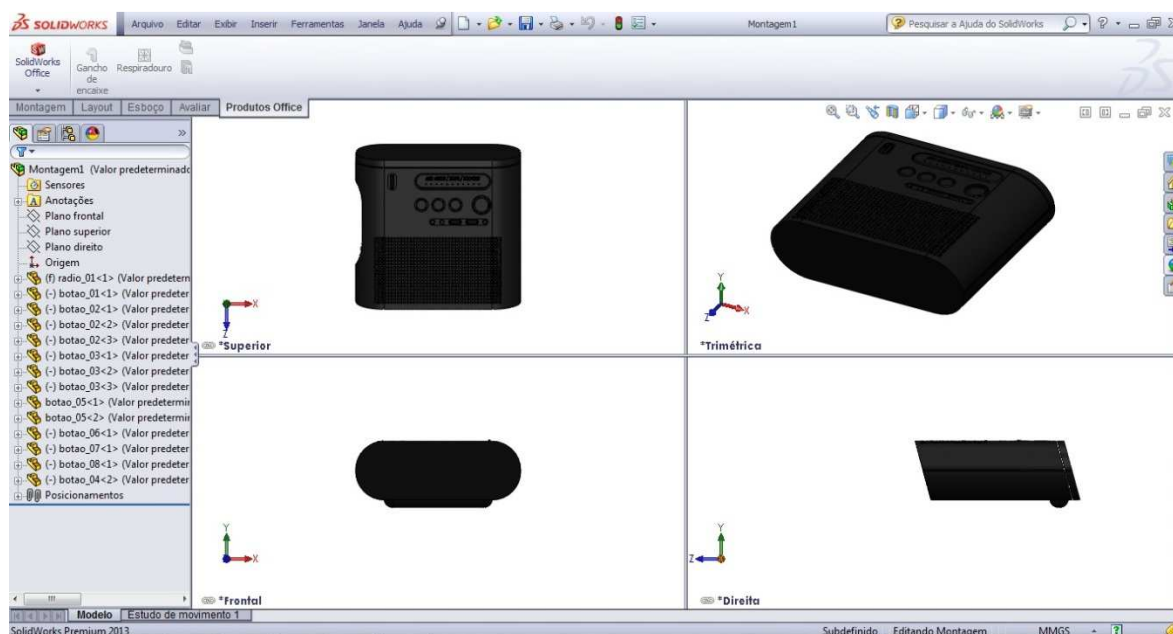
O protótipo foi desenvolvido com base no modelo do rádio relógio da marca Sony ICF-C218, que foi descrito no item 3.6 do capítulo 3, e foi construído seguindo fielmente as mesmas dimensões do produto real. Para atender ao objetivo do estudo que consistia em avaliar a volumetria e a disposição dos botões do rádio relógio, foi elaborado um protótipo forma, ou

seja, não simulam as funções do produto e nem a aparência exata, mas representam a volumetria real. Neste contexto, podemos classificar o protótipo como sendo de média fidelidade horizontal.

Representação

O protótipo foi totalmente desenvolvido no computador utilizando o software de modelagem 3D SolidWorks⁸, no que o caracteriza como um protótipo virtual. A Figura 4.9 ilustra o modelo na tela do software.

Figura 4.9 – Exemplos de dispositivos para manipulação de objetos tridimensionais.



Fonte: A autora

Interatividade

A interação com o modelo consiste em um usuário real utilizando um protótipo virtual, a partir dos seguintes sentidos: visual, a partir da visualização do protótipo projetado na tela, e o tátil, para movimentação do modelo com o auxílio de um dispositivo háptico. O software de modelagem utilizado permite que o usuário movimente o modelo através de atalhos que identificam as faces da peça. É possível rotacionar o modelo, modificar a transparência, as formas de visualização, o material e a cor.

Evolução

O protótipo foi desenvolvido em CAD e pode ser facilmente modificado.

⁸ <https://www.solidworks.com/>

4.4.2 Estudo de Caso I – Protótipo Físico

Dando continuidade ao estudo de caso I, a segunda etapa consistiu em construir um protótipo físico. O modelo foi desenvolvido objetivando os benefícios da prototipagem rápida a partir do protótipo virtual desenvolvido no item anterior. A fase de impressão e acabamento do mesmo foi no mês de março de 2014.

Conforme descrito no item 4.1, o protótipo foi construído a partir das seguintes especificações:

Precisão

O protótipo foi desenvolvido com base no modelo do protótipo virtual desenvolvido no item 4.4.2, sendo este também classificado como de média fidelidade horizontal, apresentando a volumetria em tamanho real do produto, mas com reduzido nível de funcionalidade. Desta forma, o modelo desenvolvido foi caracterizando como um protótipo forma, no qual permitia a avaliação da volumetria do objeto em escala real, assim como a disposição dos botões e localização do display, porém os botões não podiam ser acionados.

Representação

O protótipo foi impresso na impressora 3D tipo FDM, modelo uPrint, no Departamento de Design da Universidade Federal de Pernambuco, no que o caracteriza como um protótipo físico de prototipagem rápida. O modelo foi dividido em várias partes para impressão, que foram encaixadas para compor a volumetria final, conforme ilustra a Figura 4.10. Após o encaixe e colagem das partes, o modelo recebeu pintura automotiva spray na cor preta, conforme Figura 4.11.

Figura 4.10 – Divisão do modelo em diversas partes para impressão 3D e montagem do modelo final



Fonte: A autora

Figura 4.11 – Vistas do protótipo físico final



Fonte: A autora

Interatividade

A interação com o modelo consiste em um usuário real utilizando um protótipo físico, a partir dos seguintes sentidos: visual, a partir da visualização do volume físico real, e o tátil, para movimentação do modelo diretamente com as mãos.

Evolução

O protótipo foi impresso a partir da tecnologia de prototipagem rápida e não pode ser modificado após a colagem e pintura das peças. Qualquer modificação deverá ser realizada no modelo CAD e novamente impresso.

4.4.3 Estudo de Caso II - Protótipo Virtual

Esta etapa pretende elaborar um protótipo que será utilizado no estudo de caso II, conforme apresentado mais adiante no capítulo 8. O estudo consistiu em simular o uso do produto ainda nas primeiras etapas de seu desenvolvimento, devendo este ser o mais simples e com menor custo possível. No entanto, dois importantes aspectos devem ser considerados na criação deste modelo virtual. Primeiro, o modelo deve mostrar claramente suas características físicas para ser identificado como um rádio relógio pelo usuário. Segundo, o modelo deve ser facilmente modificável, tendo em vista as constantes mudanças que serão necessárias nesta fase do design.

Após a análise destes fatores, o modelo foi construído em parceria com dois pesquisadores do Institute for Advanced System Engineering⁹ da University Central Florida, nos Estados

⁹ <http://www.iase.ucf.edu/index.html>

Unidos. A fase de desenvolvimento do mesmo foi no período de abril e maio de 2013, durante o período de estágio da autora.

Conforme descrito no item 4.1, o protótipo foi construído a partir das seguintes dimensões:

Precisão

O objetivo do estudo com o protótipo desenvolvido consistia em avaliar a funcionalidade e operacionalidade do rádio relógio e para tal foi construído um protótipo funcional, permitindo a realização de três tarefas: ajuste da hora, ajuste do alarme e ligar/desligar alarme. De acordo com a sua funcionalidade, o protótipo pode ser classificado como de média fidelidade e de cenário, visto que, os recursos e a funcionalidade foram reduzidos, permitindo simular uma interface com o usuário para avaliação preliminar das tarefas sugeridas.

O protótipo foi desenvolvido com base no modelo do rádio relógio da marca Sony ICF-C218, que foi descrito no item 3.6 do capítulo 3. Foi utilizado o padrão web HTML (*Hyper Text Markup Language*) e o *JavaScript*, que corresponde a uma linguagem de programação da *Web* e que vem sendo utilizado pelas modernas páginas HTML. O desenvolvimento da parte funcional do protótipo foi realizado nas três partes a seguir e foi programado utilizando o software Adobe Dreamweaver:

Parte I: Extensão para o relógio digital composta por números digitais sincronizados com o computador em tempo real.

Parte II: Instalação do alarme para o tempo em horas e minutos.

Parte III: Extensão do botão para acionamento e desligamento do alarme e programação do som.

Os códigos utilizados para programação de cada parte encontram-se no Apêndice B. A seguir as partes do protótipo serão ilustradas.

Parte I - O sistema possui um *display* que apresenta o tempo sincronizado com o computador ou de acordo com o ajuste realizado pelo usuário (ver Figura 4.12).

Figura 4.12 – Display do modelo virtual do rádio relógio



Fonte: A autora

Parte II - O sistema possui um menu com botões para o ajuste do relógio e alarme em horas e minutos, conforme ilustra a Figura 4.13.

Figura 4.13 – Menu do modelo digital para ajuste do relógio e alarme.

SET HOUR:				SET MINUTE:				
Clock	+		-	:	+		-	Set
Alarm	+		-	:	+		-	Set

Fonte: A autora

Parte III - O sistema possui um botão para desligar o alarme conforme ilustra a Figura 4.14.

Figura 4.14 – Botão para desligamento do alarme



Fonte: A autora

Representação

O modelo deste protótipo foi totalmente desenvolvido e testado no computador, no que o caracteriza como um protótipo virtual. A Figura 4.15 ilustra o modelo do radio relógio como foi apresentado durante o estudo de caso.

Figura 4.15 – Apresentação do modelo digital na tela



Fonte: A autora

Interatividade

A interação com o modelo consiste em um usuário real utilizando um protótipo virtual, utilizando os seguintes sentidos: visual, a partir da visualização do protótipo projetado na tela, e o auditivo, para identificação do alarme. Na elaboração do menu foi utilizada a língua inglesa em razão do protótipo ter sido avaliado por estudantes da University Central Florida nos Estados Unidos.

O menu de ajuste do tempo e alarme é operado pelo usuário utilizando o mouse. Este deve pressionar os botões '+/-' tanto para a hora como para o minuto e concluir pressionando o botão 'Set' (Figura 4.13).

Evolução

O protótipo desenvolvido tem uma característica interativa e o código para HTML elaborado pode ser facilmente modificado como também adaptado a outros modelos.

4.5 Considerações finais do capítulo

A princípio os protótipos virtuais consistiam apenas em uma visualização realística do produto, no entanto, os recentes estudos apontados neste capítulo demonstraram diversas possibilidades de interação com os mesmos. Desta forma, protótipos virtuais são construídos para permitir a interação com o usuário desde o início do processo de desenvolvimento do produto, no que significa que os usuários são capazes de tocar, mover, manipular e operar os produtos virtuais através dos vários sentidos.

Em consequência desta nova prática, o número de protótipos físicos construídos durante todas as fases do processo de desenvolvimento do produto pode reduzir consideravelmente, se comparado ao uso dos protótipos virtuais, pois estes possibilitam um número maior de variações e interações, assim como a comparação entre as mesmas (BORDEGONI; FERRISE, 2013). No entanto, conforme visto ao longo do capítulo, no processo de desenvolvimento do produto, tanto o protótipo físico como o virtual possuem benefícios e limitações. Para um melhor aproveitamento destes dois sistemas, a integração ou combinação entre eles pode ser uma opção mais eficiente. Para tal, as tecnologias relacionadas com a integração e conversão entre protótipos físicos e virtuais foram apresentadas no item 4.3.2.

Por outro lado, conforme também apontado neste capítulo, a interação somente com protótipos virtuais também é possível em consequência do desenvolvimento de tecnologias

emergentes, tais como a tecnologia da Realidade Virtual e as tecnologias avançadas de visualização estereoscópica que permitem uma visão mais realista e de alta fidelidade, com representação em tempo real do modelo virtual do produto dentro de um espaço apropriado (CRAIG; SHERMAN; WILL, 2009). Outro exemplo corresponde a tecnologia de equipamentos hápticos, que vem demonstrando um bom desempenho para ser utilizada na implementação da interação física com os objetos digitais (HAYWARD et al, 2004). Estas tecnologias serão abordadas no capítulo a seguir, assim como os protótipos desenvolvidos neste capítulo serão avaliados quanto a sua funcionalidade e aplicação na avaliação da usabilidade nos dois estudos de caso propostos nesta tese.

Capítulo 5

Simulações em Ambiente Virtual

Ambientes virtuais correspondem a ambientes interativos, multissensoriais e sintetizados por computador, que ao serem manipulados pelos participantes, permitem aos mesmos imergirem em uma simulação de computador (BARFIELD; NASH, 2006). Conforme Sherman e Craig (2003), o ambiente virtual corresponde a uma instância de um mundo virtual apresentado num meio interativo tal como a realidade virtual.

Durante as últimas décadas, a comunidade da computação vem dando ampla atenção aos ambientes virtuais. Neste mesmo período, conforme descrito nos capítulos anteriores, a usabilidade ganhou importância no ciclo de desenvolvimento do produto. Neste contexto, foi ressaltada a importância dos testes de usabilidade serem realizados durante todo o processo de desenvolvimento do produto, a partir do uso de protótipos, que são construídos com base nas várias técnicas de prototipagem.

Na avaliação da interação humana com produtos, as atividades desencadeadas estão correlacionadas com uma complexa combinação de estímulos sensoriais que chegam através de diferentes canais, o tato, a visão e a audição. Para que os resultados destas avaliações sejam validados, é preciso que os protótipos utilizados possam replicar o comportamento e a aparência do conceito do produto, e esta capacidade está estritamente ligada com a capacidade de desempenho das tecnologias de simulação, tanto de *hardware* como de *software* (FERRISE; BORDEGONI; GRAZIOSI, 2013). O desenvolvimento das tecnologias em ambientes virtuais, especificamente da realidade virtual e aumentada, tem levado ao desenvolvimento de interfaces mais intuitivas para o design (SHEN; ONG; NEE, 2010), possibilitando a execução das atividades de testes com usuários a partir da interação com protótipos virtuais. Com o desenvolvimento de ambientes multimodais e multissensoriais, é possível ao usuário interagir com o modelo digital de forma similar como interage com um modelo físico (FERRISE; BORDEGONI; CUGINI, 2013).

Apesar da difusão de pesquisas nas áreas de ambiente virtual e usabilidade, ainda são poucos os exemplos que abordam os dois temas em conjunto. Este capítulo pretende abordar as técnicas existentes de simulação em ambientes virtuais, demonstrando as diferentes técnicas de interação, visualização e navegação, assim como os tipos de interfaces, e como estas podem ser aplicadas na avaliação de produtos.

A primeira parte descreve os fundamentos da realidade virtual e aumentada, com uma breve descrição de seus componentes de *hardware* e *software*, e o uso destas tecnologias para resolver os problemas de design do produto, enfatizando as potencialidades que estas aplicações podem levar a novos paradigmas importantes para o designer. O capítulo também destaca as capacidades sensoriais humanas, apresentando os dispositivos hápticos como uma ferramenta importante para a manipulação de produtos no ambiente virtual, e descreve as suas características e aplicações no design de produtos.

5.1 Simulação e Design

A partir de uma simples busca no site google.com, podemos encontrar o significado da palavra simulação como o ato de fazer parecer verdadeiro aquilo que não é. Como algo pretendido, a simulação possui vários graus de fidelidade (realismo) e desenvolve diferentes papéis, tais como solução de problemas, projeção, pesquisa, treinamento, diversão, entre outros. De acordo com o Dicionário Houaiss, simulação significa:

“1. Fazer parecer real (o que não é); fingir aparentar. 2. Representar com semelhança certos aspectos de; imitar; reproduzir” (HOUAISS, 2010).

A participação da usabilidade no projeto de design baseia-se na simulação, permitindo uma projeção do usuário em uma situação futura de uso. Conforme vem sendo apontado nesta tese, os recentes desenvolvimentos em tecnologia oferecem potencialidades bastante interessantes para o enriquecimento desta prática.

A simulação no design, não tem como objetivo prescrever a maneira correta de como usar um determinado produto, mas sim avaliar quais são as possíveis formas de atividades futuras e se estas são aceitáveis de acordo com os critérios da usabilidade. Esta ferramenta deve permitir observar as futuras atividades com o produto para avaliar o impacto sobre o desempenho do uso.

Conforme Keates e Looms (2014), há duas abordagens principais para a simulação no design, sendo estas:

- Simulação Formativa. A simulação pode ser usada como um componente formativo durante os estágios de criação do design, dos quais conceitos, protótipos e soluções estão sendo desenvolvidos. Neste contexto, a simulação ajuda no entendimento dos usuários gerando novas soluções.
- Simulação Sumativa. Outra abordagem para o uso da simulação é quando designers a utilizam para retrospectivamente realizar a revisão da usabilidade de um

produto finalizado. Este processo pode ser entendido como um uso reativo, ao invés de proativo, da simulação.

Com o desenvolvimento tecnológico, o computador passou a ser uma ferramenta bastante eficiente para a simulação e bastante utilizado na atualidade. De acordo com o tipo de aplicação desta ferramenta, a simulação pode ser distinguida entre (LEHTO; BUCK, 2008):

- Simulação por Computador (SC), onde todas as atividades de simulação são realizadas em um ou mais computadores.
- Operador no Loop da Simulação (OLS), onde uma ou mais pessoas realizam um papel ativo durante a simulação.

A distinção entre os dois tipos de simulação é importante para a avaliação do design, pois ambas atendem a importantes necessidades, mas com diferentes propósitos. A simulação por computador sempre relaciona as atividades do operador para o desempenho do sistema como uma forma de análise *top-down*, enquanto que a OLS é tipicamente um procedimento *bottom-up*, e avalia como os operadores individualmente, assim como os métodos, equipamentos e procedimentos, afetam os mesmos ou outros operadores e como o sistema se comporta.

Neste contexto, a simulação é um meio pelo qual a equipe de design pode agir, pensar e debater em torno do projeto, permitindo interagir o conhecimento geral e específico a partir da experiência da realidade (DANIELLOU, 2008; FORTINEAU; ARNAUD; NAHON, 2013).

Conforme apontam Fortineau, Arnaud e Nahon (2013), a simulação deve permitir a construção, desconstrução e reconstrução das sucessivas versões do projeto e das soluções consideradas, podendo as técnicas virtuais serem utilizadas em alguns casos. No entanto, as técnicas mais sofisticadas nem sempre são necessárias, mas o importante é fornecer ao usuário do sistema uma representação suficientemente realista e dinâmica para avaliar as suas atividades com o produto.

Dependendo da relação entre o ambiente sintético e o mundo físico real, a simulação em ambiente virtual pode ser subdividida em dois tipos, sendo que ambos têm potenciais de aplicação significativos no design de produtos. Se o ambiente gerado por computador está completamente desligado do mundo real e o usuário totalmente imerso no mundo virtual, este é comumente chamado de realidade virtual (Item 5.2). No entanto, se o ambiente virtual é apenas uma representação parcial no ambiente e o usuário não experimenta uma imersão completa, este é caracterizado como realidade aumentada (Item 5.3).

5.1.1 Dispositivos de simulação disponíveis para o design

A tecnologia da simulação em ambiente virtual corresponde simular uma realidade, sendo a visão o aspecto que mais se aproxima desta situação. Segundo Gutiérrez et al. (2008), para a maioria das pessoas, a tecnologia da simulação corresponde a sensação dominante de percepção e os principais meios para a aquisição de informações. No entanto, uma simulação integral em ambiente virtual não se limita apenas ao que podemos ver, como também envolve outros componentes que integram a experiência perceptiva como a audição, o *feedback* tátil, o odor e o paladar. Apesar da audição, do odor e do paladar representarem importantes funções nesta experiência, são pouco explorados devido ao complexo requerimento tecnológico (GUTIÉRREZ et al., 2008; FORTINEAU; ARNAUD; NAHON, 2013).

Nesta direção, a interface em ambiente virtual permite que as habilidades e o conhecimento do usuário possam ser utilizados na simulação, podendo ocorrer em duas situações: interações com sistemas e interações com objetos virtuais. Nas interações com sistemas, as interfaces multimodais devem ser integradas, incluindo visão, som estéreo, entrada de voz, reconhecimento de gestos e etc. Enquanto que na interação com objetos virtuais, além de um *feedback* visual realista, os movimentos e os comportamentos também devem ser simulados (WAN et al., 2004).

Uma boa interação é crucial na simulação virtual, sendo importante a avaliação de soluções disponíveis antes de se construir dispositivos personalizados para cada projeto (SADAVISAN et al., 2009). Ao longo dos anos, uma variedade de dispositivos de interface de alta e baixa fidelidade está sendo disponibilizada, sendo necessário avaliar sua adequação e viabilidade de acordo com a tarefa a ser desenvolvida. Os sistemas de interação de *hardware* podem ser divididos em três categorias: *dispositivos de visualização*, *dispositivos de manipulação 3D* e *sistemas de orientação espacial* (BOWMAN et al., 2005; SADAVISAN et al., 2009).

Dispositivos de visualização

Os dispositivos de apresentação visual são representados a partir dos *displays* visuais e dos óculos tridimensionais.

Os *displays* visuais fornecem informações gráficas e são usados na apresentação de uma cena virtual para o usuário. Estes podem variar de um único *display* de usuário até *displays* de multiusuários; e podem ser um simples monitor LCD de desktop ou *display* baseado em projetor ou ambientes imersivos de alta fidelidade.

O *head-mounted display* (HMD) consiste em um equipamento portátil para a cabeça (capacete) e é usualmente integrado com um rastreador de movimento para a cabeça. O HMD usualmente possui dois *displays* – um para cada olho – e tem o potencial de promover uma imagem diferente para cada olho, possibilitando alcançar facilmente visão estereoscópica. Este dispositivo é utilizado quando existe a necessidade de um sistema de visualização pessoal e proporciona um elevado grau de imersão ao utilizador.

Desde o trabalho pioneiro de Sutherland na década de 60 (SUTHERLAND, 1968), o HMD vem passando por um progresso contínuo de pesquisa, e na atualidade os sistemas HMD têm a vantagem de serem leves, compactos, de fácil programação, com rastreador 360° e geralmente com baixo custo (SAGGIO; FERRARI, 2012). No entanto o seu peso não pode ser considerado desprezível, podendo causar problemas a partir de um uso prolongado (GILSON; GLENNERSTER, 2012). Outros dois fatores que podem ser apontados como desvantagens no uso do HMD são o limitado campo de visão e a baixa resolução de imagem oferecida por alguns modelos (ARTHUR, 2000; SAGGIO; FERRARI, 2012).

A visão humana oferece um amplo campo de visão com cerca de 200°, cuja sobreposição binocular horizontal é em torno de 100°, oferecendo imersão e consciência situacional ao indivíduo. A maioria dos HMDs disponíveis no mercado possui um campo de visão diagonal limitado entre 40-60°, não proporcionando uma visão periférica (SENSICS, 2013). Quando o campo de visão encontra-se limitado, o indivíduo é forçado a realizar movimentos com a cabeça em situações onde o movimento dos olhos já bastava. Esses movimentos excessivos provocados pelo limitado campo de visão causam desconfortos e reduzem a capacidade de uso do HMD por um tempo prolongado.

A baixa resolução de muitos HMDs corresponde a outra limitação, cuja medição pode ser na contagem total de pixel, como também na resolução angular (número de pixels por grau). Baixa resolução significa menos informação na imagem e dificuldade para observar os pequenos detalhes (SENSICS, 2013).

Na tentativa de superar tais limitações, empresas vêm buscando desenvolver tecnologias para proporcionar aos HMDs um amplo campo de visão e alta resolução, como por exemplo, o HMD desenvolvido pela empresa Oculus VR¹⁰ a partir do sistema Rift.

¹⁰ <http://www.oculusvr.com/>

Figura 5.1 – Exemplo de um Modelo Oculus Rift.



Fonte: <http://www.oculusvr.com/>

Outro exemplo de HMD corresponde ao modelo “Natalia Immersive” da empresa Sensics Inc.¹¹. O dispositivo foi desenvolvido com a tecnologia altamente imersiva SmartGoggle 3D e possui on-board 1.2GHz de processador dual-core com gráficos 3D e coprocessador rodando Android 4.0; verdadeiro display 3D com 360 graus de uso; com rastreador de cabeça integrado para a posição angular e aceleração linear, display dual SXGA (1280x1024) OLED, suporte 720p, campo de visão 64 graus para uma melhor imersão; com microfone e dispositivo de áudio integrados e serviços de Wi-Fi e Bluetooth (SAGGIO; FERRARI, 2012) (ver Figura 5.2).

Figura 5.2 - HMD Natalia Immersive SmartGoggles



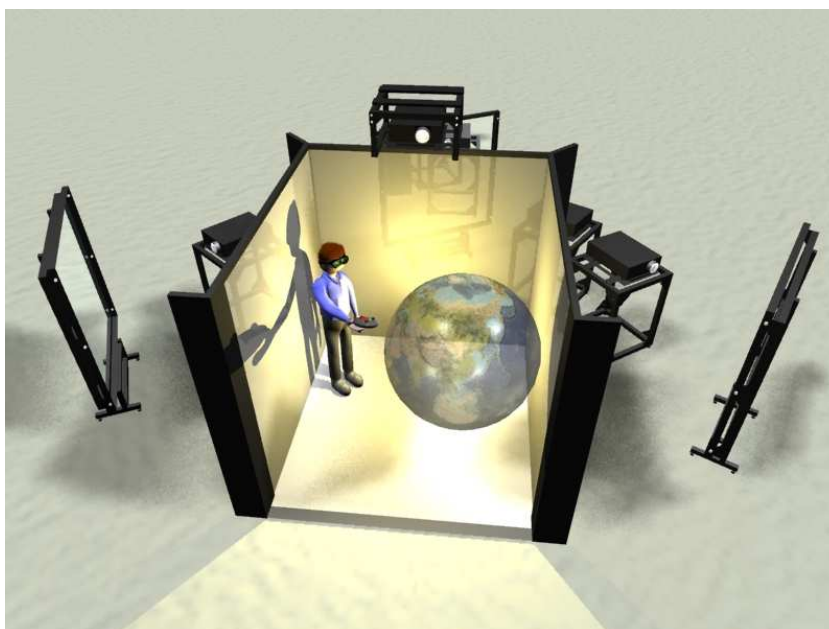
Fonte: <http://smartgoggles.net/products/natalia/>

¹¹ www.sensics.com

A *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE) é um sistema de visualização composto de várias telas de projeção posteriores, variando de três a seis, onde um par de imagens é projetado baseado na interação com o usuário, proporcionando uma experiência de imersão em tempo real (ver Figura 5.3). Numerosos projetores são utilizados para exibir imagens nas telas e a partir do uso de óculos com obturador sincronizados com as imagens, uma visão estereoscópica é alcançada e os usuários podem ver as imagens em três dimensões e andar ao redor delas (SADAVISAN et al., 2009; NESBITT, 2013).

Tradicionalmente, o maior obstáculo para o uso da CAVE corresponde ao custo. Por esta razão, estes sistemas são tipicamente construídos e operados por grandes organizações como universidades, empresas de grande porte e organizações governamentais (NESBITT, 2013).

Figura 5.3 - Cave Automatic Virtual Environment – CAVE



Fonte: <http://images.google.com/>

Os óculos obturadores, como o CrystalEyes da StereoGraphics ou o IR PRO da 3DTV, são usados como óculos regulares e permitem visão estéreo em três dimensões. Possuem uma pequena tela LCD (uma para cada olho), que opera como obturador (um olho em cada tempo), sincronizada com um sistema de mostrador como um monitor de *desktop* regular ou um sistema de projeção (SADAVISAN et al., 2009).

Dispositivos de manipulação 3D

A tarefa de manipulação em 3D envolve a seleção de um ou mais objetos para algum propósito, sendo necessário que esta interação seja realista, ou seja, o usuário possa, por exemplo, agarrar e mover o objeto virtual como o manipularia no mundo real.

Há uma variedade de dispositivos de interação disponíveis que podem ser utilizados para especificar os comandos de entrada de movimentos no ambiente virtual e a manipulação de objetos. Entre estes podemos exemplificar os dispositivos portáteis como os SpaceNavigator, SpaceMouse e o Spaceball da 3DConnexion¹², e os dispositivos hápticos, cuja temática será abordada no item 5.4.

Sistemas de orientação espacial

Os rastreadores de orientação espacial são necessários para promover respostas contínuas do mostrador virtual para as ações do usuário no sistema virtual. Um erro no rastreamento ou calibração pode levar a perda de presença (SADAVISAN et al., 2009). Uma das mais populares tecnologias de rastreamento (tracking) é o Flock-of-Birds da Ascension¹³.

As recentes inovações tecnológicas disponíveis ao design para a simulação em ambiente virtual, conforme apresentadas neste tópico, vem crescendo substancialmente. Sáenz & Capote (2002), apontam o surgimento das inovações a partir da combinação das necessidades sociais e das demandas de mercado com os meios científicos e tecnológicos. Portanto, estas inovações vêm sendo desencadeadas pelo crescimento das possibilidades de aplicações nas diversas áreas do design, em função das pesquisas realizadas em muitas universidades e laboratórios em vários países, que estabeleceram centros tecnológicos de simulação em ambiente virtual para o desenvolvimento de novas soluções de *hardware* e *software*.

Um exemplo corresponde ao dispositivo Kinect lançado pela empresa Microsoft em 2010. Este possui um sensor com base na interface free-form que permite ao usuário interagir com o ambiente virtual através de gestos.

Desta forma, a partir da combinação das necessidades da equipe de projeto e das demandas do mercado com os meios científicos e tecnológicos, novas interfaces e novos dispositivos inovadores para a simulação surgirão, assim como os recursos existentes serão aprimorados, fazendo do conteúdo deste item algo que precise ser constantemente atualizado.

A seguir as tecnologias Realidade Virtual e Realidade Aumentada serão apresentadas como ferramentas de simulação e os dispositivos hápticos que permitem a manipulação de objetos virtuais.

¹² <http://www.3dconnexion.com/>

¹³ <http://www.ascension-tech.com>

5.2 Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) é uma interface usuário-computador de alta qualidade que envolve simulação em tempo real e interações através de múltiplos canais sensoriais. Estas modalidades sensoriais são visuais, audição, tato, olfato e paladar (BURDEA; COIFFET, 2003), sendo o canal visual o mais utilizado nas aplicações em RV (KIRNER; SISCOOTTO, 2007). Dos vários dispositivos periféricos, tais como sistemas de captura de movimento e interfaces táteis, a RV oferece um ambiente de trabalho imersivo com diferentes formas de interação entre o usuário e o sistema.

As tecnologias que incorporam a realidade virtual começaram a ser desenvolvidas na década de sessenta, porém apenas no final dos anos noventa tornou-se disponível para o uso industrial. Quando esta tecnologia começou a ser utilizada produziu grandes expectativas e acreditava-se que esta estaria apta a criar mundos imaginários que seriam indistinguíveis do mundo real (GUTIÉRREZ et al., 2008).

No entanto a RV ainda é uma tecnologia em desenvolvimento e tem sido investigada e aplicada para avançar nas áreas da medicina, engenharia, educação, design, formação e entretenimento, analisando suas vantagens e benefícios (DAVIES, 2004; DINKA; LUNDBERG, 2006; HU et al., 2011; SHARAN et al., 2012). A indústria automobilística, por exemplo, adotou aplicações comerciais e tem se beneficiado das possibilidades da RV e prototipagem virtual (GUERLESQUIN et al., 2012, ZIMMERMANN, 2008).

Segundo Sherman e Craig (2003), a RV é definida como um meio composto por simulações em computadores interativos que permite ao participante o senso de posição e ação, e substitui ou aumenta o *feedback* de um ou mais sentidos, dando a sensação de estar imerso ou mentalmente presente na simulação (um mundo virtual). Baseados nas definições de diversos autores, Kirner e Siscoutto (2007, p.9), definem "realidade virtual como *uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário navegar e interagir, em tempo real, com um ambiente tridimensional gerado por computador, usando dispositivos multissensoriais.*"

Para Thalmann (1997), a RV representa uma tecnologia capaz de transferir um sujeito para um ambiente diferente sem a necessidade de movê-lo fisicamente. Para este propósito, os órgãos sensoriais do usuário são manipulados de tal maneira que esta percepção esteja associada com o desejado no ambiente virtual. Um modelo de computador baseado nas descrições físicas do ambiente virtual controla o processo de manipulação.

Neste ambiente virtual é possível navegar e interagir com objetos 3D. Navegar implica na habilidade de se movimentar e explorar as características de uma cena em três dimensões e

que, segundo Gutiérrez et al. (2008), se assemelha a caminhar em uma floresta. A interação significa a habilidade de escolher e manipular objetos em uma cena, ou seja, pegar e examinar uma flor encontrada na floresta. Desta forma, a interface do usuário baseada em RV, ou seja, a forma como este interage com o ambiente virtual, é determinada pela capacidade do sistema de computador detectar e reagir às ações do usuário, e quanto mais realista e natural for a interação, maior será o engajamento do usuário e a eficiência da simulação (BOWMAN et al., 2005; KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

A partir destas descrições, fica claro que a RV tanto é interativa como imersiva, correspondendo aos dois I's que são familiares ao tema. Acrescenta-se que para um bom desempenho da simulação é necessário em primeiro lugar, e acima de tudo, de uma boa imaginação humana, que corresponde ao terceiro 'I' da RV. Burdea e Coiffet, (2003), sugerem que a realidade virtual representa a integração dos três vértices (I^3), Imersão - Interação - Imaginação, Conforme a Figura 5.4. A parte imaginação se refere também à capacidade mental para perceber coisas não existentes. O triângulo da figura, por exemplo, é fácil ser visto pelo leitor, mas este só existe na imaginação do mesmo.

Figura 5.4 - Os três I's da realidade virtual - Imersão, Interação e Imaginação.



Na figura vê-se um triângulo branco, mas esse triângulo não existe: a sua imagem é construída por três círculos recortados por linhas interrompidas. A nossa mente constrói o triângulo a partir de partes perdidas das outras figuras, e para confirmar a sua existência, o triângulo parece se destacar, com um tom mais branco do que o fundo da página.

Fonte: Burdea & Coiffet (2003)

Além dos vértices apresentados por Burdea & Coiffet (2003), foram encontrados na literatura mais dois vértices que complementam a experiência do usuário no ambiente virtual, sendo estes presença (GUTIÉRREZ et al, 2008) e envolvimento (REBELO et al., 2012).

5.2.1 Os vértices da RV

Imersão é uma questão chave nos sistemas RV, pois é fundamental para o paradigma onde o usuário se torna parte do mundo simulado, ao invés do mundo simulado ser uma característica do mundo real. O primeiro “sistema de RV imersiva” foi o simulador de voo, onde a imersão era conseguida através de uma mistura sutil de *hardware* real e imagem virtual. Gutierrez et al. (2008), classificam os tipos de imersão baseados nas configurações físicas da interface com o usuário, sendo estas: totalmente imersiva (head-mounted displays -HMDs), semi imersiva (projeção em grandes telas) e não imersiva (desktop). A Figura 5.5 apresenta exemplos dos tipos de imersão apresentados.

Figura 5.5 – Tipos de imersão com base na interface física com o usuário



Imersiva



Semi imersiva



Não imersiva

Fonte: <http://images.google.com/>

O nível de imersão é medido pela capacidade do usuário em interagir e se comunicar com o objeto em realidade virtual de maneira similar como no mundo real. Desta forma, a partir de uma menor percepção (ver, ouvir e tocar) do mundo real, o nível de imersão em RV vai aumentar (WHITMAN et al., 2004; GUTIÉRREZ et al., 2008).

Neste contexto, vários dispositivos podem ser utilizados para uma visualização em ambiente virtual. Um HMD é utilizado para visualização de forma imersiva. Para capturar movimentos e ações dos usuários (*inputs* do usuário), dispositivos são utilizados como rastreadores de movimento e luvas, conforme item 5.1.1. Estes dispositivos têm sido construídos a partir de sensores que permitem ao computador medir a posição da mão em tempo real e gravar a flexão dos dedos, permitindo gestos naturais a serem reconhecidos.

Bochenek e Ragusa (1998), destacam a necessidade de selecionar um sistema de RV adequado, visto que aspectos como a sensação de imersão têm um papel importante nas atividades de design. O sistema semi imersivo é relativamente fácil de usar e mais acessível, mas o grau de imersão deste pode ser baixo. Por outro lado, sistemas de RV imersivos (por exemplo, o uso de dispositivos HMD ou CAVE) proporcionam um maior grau de imersão. Porém, dependendo do grau de qualidade exigido, os equipamentos podem ficar caros e, no caso da CAVE, requerem um espaço físico adequado, sendo mais utilizados por grandes empresas.

A **interação** está associada à comunicação entre o usuário e o sistema, sendo definida pela capacidade de detectar movimentos e ações dos usuários e atualização do ambiente virtual. Alguns autores como, por exemplo, Stanney et al., 2003, utilizam o termo navegação como uma forma mais simples de interação nas aplicações em RV. As respostas em tempo real que são implícitas na interação em ambiente virtual requerem uma alta demanda tanto dos componentes de *hardware* (dispositivos de entrada/saída) quanto dos de *software* (BOWMAN et al., 2005).

A **imaginação** está relacionada com a capacidade de o usuário perceber as coisas inexistentes e acreditar que está em um ambiente virtual, mesmo sabendo que está fisicamente localizado em outro ambiente (BURDEA; COIFFET, 2003). Assim, os níveis de interatividade e imersão experimentados pelo usuário afeta diretamente a sua imaginação, que por sua vez é dependente do tipo de equipamento utilizado, o grau de realismo do ambiente virtual, as tarefas a serem executadas enquanto no ambiente virtual, e a motivação do usuário para participar da simulação (REBELO et al., 2012).

Presença corresponde a um conceito subjetivo experimentado pelo usuário em um estado psicológico de estar no ambiente virtual. A presença é conseguida quando o usuário, deliberadamente ou não, torna-se consciente de estar em um ambiente virtual. Para isto é necessário que as simulações multimodais (imagens, som, *feedback* tátil, etc.) sejam processados pelo cérebro do usuário e entendido como um ambiente coerente em que ele pode realizar algumas atividades e interagir (GUTIÉRREZ et al., 2008). As condições necessárias para esta experiência são o envolvimento e a imersão.

Witmer e Singer (1998), definem a sensação de presença como a experiência subjetiva de estar em um lugar ou ambiente, mesmo quando a pessoa está fisicamente localizada em outro. Os autores também desenvolveram um questionário de presença para medir a sensação de presença em um ambiente virtual. O questionário consiste em 32 perguntas medindo a qualidade das diferentes interfaces sensoriais (por exemplo, auditiva, háptica e interface visual), bem como a facilidade de manipulação de objetos no interior do ambiente

virtual. Slater (1999) argumentou que o questionário proposto por Witmer e Singer só estavam medindo a qualidade de imersão e não o senso de presença.

Slater (1999) definiu a sensação de presença como a crença de que eles (os participantes) estão em outro mundo de onde o seu corpo real está localizado. Uma comparação entre as definições de Slater e Witmer & Singer indica uma diferença no uso da 'crença' ao invés da 'experiência do sujeito' para descrever a sensação de presença.

Envolvimento está relacionado com a concentração do usuário no interior do ambiente virtual. Desta forma, qualquer fator externo que distraia o usuário poderá afetar o seu envolvimento (REBELO et al., 2012).

Com base nos diferentes modos de interação com o usuário apresentados e nas combinações de *hardware/software*, os sistemas de RV podem ser classificados em três tipos distintos a partir da relação entre o ambiente virtual que estes representam e o mundo real do usuário (ZACHMANN, 1998):

1. O ambiente virtual é na verdade uma projeção completa de algum ambiente real, que pode estar em diferentes escalas físicas ou a alguma distância do usuário. O último caso é muitas vezes descrito pelo termo telepresença. Com este tipo de sistema RV, o usuário pode manipular objetos reais existentes remotamente com o auxílio dos seus objetos virtuais correspondentes (ex. teleoperação), como por exemplo, guiar um veículo na lua ou em terrenos poluídos.
2. O ambiente virtual não existe, ou seja, não tem ainda a sua contraparte no mundo real, mas de resto é bastante realista. Com este tipo de sistema RV, o usuário manipula diretamente objetos não existentes, por exemplo, examinar o interior do projeto de um futuro carro. Estes sistemas são comumente utilizados como ferramentas da prototipagem virtual no design de produtos.
3. O ambiente virtual é bastante irreal do ponto de vista do mundo físico real. Este tipo de sistema é geralmente aplicado para o entretenimento criativo que se esforça para fornecer ao público um ambiente excitante, exótico e imaginário, onde o usuário só pode interagir com os objetos não existentes apenas no ambiente virtual.

Existem outros sistemas de RV que correspondem a combinação ou mistura dos três tipos citados acima, como por exemplo, a realidade aumentada corresponde a um sistema híbrido dos tipos 1 e 2. Os sistemas RA serão estudados com mais detalhe no item 5.3.

5.2.2 A RV aplicada ao design de produtos

“In the future, design could be done entirely within interactive virtual environments that mirror the real world. Justin Cunningham finds out about UK efforts to make the virtual world a reality.¹⁴”
(Eureka, 2013)

O processo de design do produto tem sido cada vez mais considerado como uma atividade em equipe, onde a comunicação e a colaboração entre os integrantes envolvidos desempenham um papel central. Por outro lado, para uma melhor compreensão da tarefa é importante incluir os potenciais usuários no processo. Para tal, um processo de design precisa ter certas características para uma participação eficaz e eficiente do usuário final, conforme apontam Tideman, van der Voort e van Houten (2008):

- Uma comunicação direta e explícita entre designer e usuário final precisa ser estabelecida, devendo minimizar a possibilidade de má interpretação de ambos os lados.
- Usuários finais devem estar aptos para uma interação realística com a informação do projeto. Eles devem ser capazes de avaliar com segurança o exato funcionamento e experiência do design sob uma ampla variedade de circunstâncias.
- Usuários finais devem ser capazes de avaliar as consequências das decisões de design de forma consciente. Consequências das decisões de design devem ser explicitadas e apresentadas de uma forma compreensível, independentemente da formação do participante.

Para atender a tais requisitos, estudos têm apresentado a realidade virtual sendo aplicada em praticamente todas as fases de desenvolvimento do produto, apresentando características de interação tridimensional intuitiva e possibilitando aos usuários a exploração de sua criatividade no desenvolvimento de conceitos a partir da imersão em 3D (SHIN et al., 2000; LEE et al., 2004; BORDEGONI et al., 2011). A integração das tecnologias da RV no ciclo de desenvolvimento de produtos pode se dar a partir de diversos fatores, entre eles a RV como elemento intermediário e a RV como núcleo do ciclo de desenvolvimento do produto.

¹⁴ No futuro, o projeto poderá ser totalmente realizado em um ambiente virtual interativo que espelhe o mundo real. Justin Cunningham relata sobre os esforços do Reino Unido para fazer do mundo virtual uma realidade. (Tradução da autora).

A RV como elemento intermediário

A colaboração entre os diversos profissionais que compõem as diferentes fases do design de produtos pode ser um tanto difícil de realizar em face dos diferentes métodos, ferramentas e vocabulários específicos que cada área de atuação possui (KVAN, 2000; BENNES; BAZZARO; SAGOT, 2012). A realidade virtual pode ter um papel relevante nesse processo, permitindo uma melhor comunicação entre os diversos atores da equipe de projeto. Além disso, usando a simulação em RV, incompreensões entre os componentes da equipe são menos prováveis de ocorrer quando comparados aos que usam representações mais abstratas ou simbólicas no projeto (como a linguagem natural, esboços e desenhos em 2D) (THALEN; VAN DER VOORT, 2012).

A realidade virtual pode ser utilizada como uma ferramenta intermediária no processo de design multidisciplinar durante as etapas de convergência, quando várias áreas de conhecimento se integram para definir uma solução para o produto. A RV, conforme Bennes, Bazzaro e Sagot (2012), pode ser considerada como uma ferramenta de apoio a convergência.

A RV como núcleo do ciclo de desenvolvimento do produto

Considerando os diversos profissionais envolvidos no ciclo de desenvolvimento do produto, a RV pode ser utilizada como uma ferramenta comum a todos. A tecnologia RV pode ser empregada no sistema CAD (Computer Aided Design), que é o mais empregado na prática do design, e de acordo com suas habilidades interativas e funcionalidades envolvidas no processo de desenvolvimento do produto, pode ser caracterizada em duas principais categorias: Sistemas de análise e RV reforçados pela visualização 3D (*VR-enhanced 3D visualization and analysis system*) e Sistemas RV baseados em CAD (*VR-based CAD Systems*) (DANI; GADH, 1997; YE et al., 2006).

Nos Sistemas de análise e RV reforçados pela visualização 3D, os modelos de produtos são inicialmente criados em um sistema CAD3D existente e então transportados apropriadamente para um ambiente virtual. Os estudos desenvolvidos por Stark, Israel & Wohler (2010), apresentam esta possibilidade de integração. As tarefas de projeto são divididas em duas etapas: a modelagem ou edição do modelo 3D e a visualização imersiva. Sendo assim, estes sistemas permitem apenas que os usuários visualizem e analisem os objetos 3D em um ambiente virtual, mas não permitem que os modelos sejam criados ou modificados diretamente. Para tal é necessário regressar ao sistema CAD convencional e realizar a mudança requerida. Conforme Bennes, Bazzaro e Sagot (2012), este tipo de abordagem ainda é retardado pela barreira tecnológica da transferência de dados entre o software CAD tradicional e o ambiente RV, promovendo no modelo tridimensional a perda

de precisão e conteúdo semântico.

Por outro lado, os Sistemas RV baseados em CAD permitem ao designer criar, modificar e manipular modelos 3D diretamente em um ambiente virtual. De acordo com Ye et al. (2006), estes sistemas oferecem uma interface 3D mais natural e intuitiva na interação com as ferramentas de design, além de promover métodos alternativos para entrada/saída de usuários, comandos de voz, gestos manuais e interação háptica. Um exemplo corresponde aos estudos desenvolvidos por Mahdjoub et al. (2010). Seguindo o mesmo conceito do sistema anterior, o mesmo tipo de problema surge no sentido oposto quando os modelos 3D editados são transferidos do ambiente RV para o software de CAD.

Contudo, mesmo apresentando algumas dificuldades, estes sistemas apresentam um novo paradigma para os desenvolvedores de projetos, permitindo aos mesmos visualizarem, analisarem e aperfeiçoarem os produtos, sem a necessidade de objetos físicos (LEE et al., 2004; YE et al., 2006; ZHONGI et al., 2009; BORDEGONI et al., 2011; REBELO et al., 2011, FAUST et al., 2011).

O maior interesse para o Designer consiste estar em um ambiente virtual que seja tão realista a ponto de permitir o desenvolvimento de testes com produtos como se fossem reais (EUREKA, 2013). De fato, a RV pode criar um link de referência entre o protótipo virtual e o físico, onde os modelos tridimensionais podem ser visualizados em tamanho real e manipulados diretamente pelos usuários, permitindo *feedback* e um melhor desenvolvimento da criatividade no desenvolvimento de conceitos. Além disto, as alterações das soluções, tais como a configuração geométrica, cores e superfícies, podem ser feitas de forma mais interativa e simplificada do que se o objeto fosse físico, o que significa que um número maior de alternativas projetuais em forma de protótipos pode ser testado, sendo financeiramente mais viável (ZHONGI et al., 2009).

Neste contexto, a RV promove uma interação realística com as informações de design, beneficiando quando os envolvidos, principalmente os usuários finais, não estão familiarizados com o produto ou com as modificações sugeridas a serem incorporadas (THALEN; VAN DER VOORT, 2012).

Somando-se a isto, a RV pode permitir aos participantes atuarem de forma segura em pesquisas nas quais as condições ambientais poderiam colocá-los em risco, se realizadas no ambiente real. Estudos realizados pelo Programme for Simulation Innovation (PSI), financiado pela empresa Jaguar Land Rover (JLR), vem buscando mecanismos que levem as pessoas a interagirem com a situação simulada como se fosse verdadeira. Na verdade, pode ser que o usuário saiba que a situação não é real, mas a simulação irá desencadear a mesma interação e reação como seria no mundo real (EUREKA, 2013).

Apesar da sua contribuição comprovada, a RV também pode ser considerada como uma desvantagem pela equipe de projeto. Os sistemas RV ainda apresentam custo elevado, principalmente os imersivos, e ainda precisam ser compartilhados com o tempo e disponibilidade de todo o processo de design. Somando-se a isto, alguns dispositivos de entrada podem ser considerados invasivos ou difíceis de usar (STARK; ISRAEL; WOHLER, 2010).

5.3 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (RA) surgiu a partir da década de 90, permitindo a sobreposição de objetos virtuais no ambiente físico a partir de dispositivos tecnológicos. Porém estas aplicações tornaram-se mais acessíveis a partir dos anos 2000, em consequência da convergência das técnicas de visão computacional, *softwares* e dispositivos com melhor custo-benefício (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

A tecnologia RA permite a mistura em tempo real dos componentes gerados em computador com a exibição de vídeo ao vivo (MULLEN, 2011), cuja meta principal consiste em criar uma sensação no usuário de que os objetos virtuais estão presentes no mundo real (CAWOOD; FIALA, 2007). Desta forma, conforme Schranz (2014), dois espaços precisam ser diferenciados mais distintamente: o espaço físico que é o ambiente real, como por exemplo, uma cidade na qual nos movemos, trabalhamos e vivemos, e o espaço virtual, que amplia este espaço físico com informação adicional.

Os componentes dos sistemas em RA são semelhantes aos dos sistemas RV, do que faz esta tecnologia ser uma variante da RV (Sherman & Craig, 2003). Porém, os sistemas RA não são destinados à imersão dos usuários em um ambiente virtual, mas sim sobrepor objetos virtuais, ou seja, aumentar a quantidade de informações disponíveis para o usuário, no seu campo de vista real, com base na sua percepção normal do mundo real (SHERMAN; CRAIG, 2003; MULLEN, 2011). De acordo com Kirner e Siscoutto (2007), algumas diferenças existentes entre a RV e a RA surgem a partir dos seguintes aspectos:

- A RA incrementa a cena do mundo real através de objetos virtuais, enquanto que o cenário em RV é totalmente gerado por computador;
- Na RA o usuário mantém o sentido de presença no mundo real, enquanto que na RV a sensação visual é controlada pelo sistema;
- A RA utiliza mecanismos que combinam o real e o virtual, enquanto que a RV utiliza mecanismos para integrar o usuário ao ambiente virtual.

Neste contexto, devido ao fato dos objetos virtuais serem implantados no espaço físico do usuário (por sobreposição), permitindo interações tangíveis e sem o uso de equipamentos especiais, a RA vem sendo uma possibilidade de interface popular para a atualidade. Conforme Kirner e Tori (2006), ao utilizar a RA o usuário não precisa aprender a interagir com um mundo completamente novo, pois grande parte do cenário corresponde ao mundo que o mesmo já conhece.

Outro fator a considerar, conforme apontado nos itens anteriores, a RV depende de diversos dispositivos de interação que são normalmente utilizados em ambientes fechados, enquanto que a RA pode ser utilizada em qualquer ambiente (fechado ou aberto), sendo, portanto, mais abrangente e universal (KIRNER; SISCOOTTO, 2007). Mas por outro lado, conforme Bimber e Raskar (2005), o mundo real utilizado na RA torna-se bem mais complexo para se controlar do que o mundo virtual utilizado na RV.

A partir do momento em que o usuário pode visualizar ao mesmo tempo os gráficos virtuais e o ambiente real, fica muito fácil perceber qualquer desalinhamento entre as duas interfaces. Para prevenir esta falha, o registro tem fundamental importância nos sistemas RA. Existem diversas fontes de erros de registro, mas em geral estas podem ser divididas em duas categorias: erros estáticos e erros dinâmicos (AZUMA, 1997; HOLLOWAY, 1997). Conforme Holloway (op. cit.), o principal contribuinte para os erros estáticos consiste no erro do sistema rastreador, enquanto que os erros dinâmicos são causados pelos atrasos do sistema.

A RA normalmente requer que o objeto virtual quando inserido em uma cena seja visualizado a partir de algum tipo de *display*, sem a necessidade de modelar o ambiente. Neste sentido, o sistema economiza um grande esforço de modelagem, reduzindo a quantidade de informações a serem geradas e transferidas em tempo real, que é a principal desvantagem tecnológica da RV. O uso de um *display* pode ser um simples monitor de computador ou um *tablet*, como também pode ser algum dispositivo mais avançado como o HMD.

Há diversas formas para que os componentes virtuais possam interagir com os conteúdos reais. A maioria dos métodos atuais baseados na visualização por computador depende de marcadores físicos (*markers*) pré-definidos que permitem o reconhecimento e rastreamento de objetos 3D no espaço visível (MULLEN, 2011). Na maioria destas aplicações, o desempenho do sistema RA depende muito do método de rastreamento para a detecção dos marcadores visuais, que podem variar de um para o outro.

Os marcadores funcionam como pontos de reconhecimento pelo computador, que está habilitado a calcular a orientação do marcador no espaço com base no esquema de sua

forma projetada na visualização da câmera. O marcador pode ser impresso ou exibido de qualquer forma desde que a câmera possa vê-lo. A figura 5.6 apresenta um marcador exibido a partir de um dispositivo móvel.

Figura 5.6 - Um marcador de RA exibido através do navegador de um *Smartphone*



Fonte: <http://images.google.com/>

Os marcadores geralmente são quadrados, com uma imagem no meio e um contorno quadrado preto, muito espesso, ao redor da imagem. A criação de um marcador consiste em dois passos. O primeiro consiste em criar um design gráfico e o segundo em treinar o sistema no design. Este segundo passo produz o que é chamado um arquivo padrão, geralmente utilizando a extensão .patt ou .pat, que pode então ser colocado no aplicativo RA para que este seja capaz de reconhecer o padrão (MULLEN, 2011).

A utilização dos marcadores pode vir a limitar a interatividade e são limitados a um conjunto de imagens ou objetos encapsulados dentro de uma margem para criar o marcador. Desta forma, para o uso deste método, os marcadores precisam ser previamente impressos e também mantidos para o uso futuro. Em contraposição aos sistemas de RA com base em marcadores, nos sistemas de RA sem marcadores qualquer parte do ambiente real pode ser utilizada como um ponto de reconhecimento que poderá ser rastreado para enquadrar os objetos virtuais.

Este método permite a exclusão de marcadores intrusivos que não fazem parte do ambiente e tem a possibilidade de extrair as características do ambiente e informações que podem mais tarde serem utilizadas. Por outro lado, o método tem como desvantagem a complexidade das técnicas de monitoramento e registro (DOLZ, 2012).

5.3.1 A RA aplicada ao design de produtos

No design de produtos, conforme Shen, Ong e Nee (2010), a realidade aumentada quando comparada a realidade virtual apresenta vantagens em dois principais aspectos. Em primeiro lugar, a RA proporciona um ambiente semi-imersivo para o projeto, onde os usuários podem visualizar o mundo real durante a simulação das atividades de design com um produto virtual. Esta característica permite ao usuário uma sensação de realismo e faz com que os mesmos se sintam mais seguros e confortáveis. Em segundo lugar, os custos para a geração de um ambiente em RA são menores, visto que elimina a necessidade de criar cenários para a simulação, que corresponde a uma desvantagem da RV.

Neste panorama, várias tendências estão levando a um maior interesse da aplicação da realidade aumentada na avaliação de produtos. Uma delas corresponde a melhoria constante da tecnologia de visão pelo computador, o que permite aos desenvolvedores trabalharem com marcadores mais sutis, menos intrusivos e mais eficientes, ou até mesmo sem o uso destes (*markerless*), conforme apontado no item anterior. Outra tendência corresponde ao rápido avanço das tecnologias de visualização para ativar a realidade aumentada, sendo estas o HMD (ver Item 5.1.1), *displays* baseados em projeção (*Projector-based displays*) e os dispositivos móveis.

Os *displays* baseados em projeção são utilizados para projetar imagens ou textos diretamente sobre superfícies no mundo real. Este tipo de dispositivo pode ser utilizado para apresentar os ambientes de RA para grandes grupos de pessoas de uma só vez, enquanto que com o HMD não é possível. Pequenos projetores portáteis também podem ser usados para criar ambientes de RA pessoais. Cebulla (2013) apresenta exemplos de vários sistemas de RA projetada que podem ser escolhidos de acordo com o seu nível de mobilidade.

Outro sistema que provavelmente ocasionará um impulso adicional no mercado da RA corresponde ao recente lançamento do Google Glass, óculos com uma micro tela, câmera e entrada de voz. Os óculos de dados são interessantes por oferecem informações diretamente no campo visual, que faz parte do espaço percebido pelo usuário, sendo mais eficaz do que os dados que são vistos meramente em uma tela (SCHRANZ, 2014).

Estes recursos apontados permitem avanços em uma importante área de pesquisa para a RA, que corresponde ao desenvolvimento de aplicações colaborativas, onde vários usuários podem simultaneamente visualizar e interagir com objetos reais e virtuais (KIM; MAHER, 2008). No sistema de design colaborativo baseado na RA proposto por Shen, Ong e Nee (2010), os usuários podem interagir com o ambiente virtual a partir de dois fatores principais.

O primeiro permite aos usuários criar e modificar os modelos tridimensionais livremente sem a necessidade de atualizá-los posteriormente em outros sistemas, e o segundo propõe a geração de interfaces mais intuitivas aos usuários a partir do realce das características das funcionalidades ou faces do projeto, permitindo uma melhor compreensão das manipulações que estão sendo realizadas.

Uva et al. (2010), propõem um sistema para integração da RA no processo de desenvolvimento de produtos utilizando desenhos técnicos reais como uma interface tangível para a revisão do design. O sistema ADRON (Augmented Design Review Over Network) tem como objetivo facilitar o uso da tecnologia RA por usuários com pouca experiência ou nenhuma, a partir de uma integração realista e eficaz, oferecendo recursos como flexibilidade de *hardware* e *software*, ou seja, suporte para diferentes configurações e expansão, assim como a integração do conteúdo da web, permitindo a comunicação de vários usuários em rede.

Com base nos estudos de Shen, Ong e Nee (2010) e Uva et al. (2010), podemos observar que a tecnologia da realidade aumentada facilita a sua aplicação a partir do uso simplificado de *hardware*, como por exemplo PC/laptop, webcam, dispositivos móveis, etc., em vez de dispositivos caros e complexos de simulação virtual. Outra vantagem apontada corresponde a possibilidade de interação natural com objetos reais, como interfaces tangíveis, facilitando a compreensão do usuário.

Embora a RA ofereça vantagens, um ponto crítico nos sistemas atuais e que deve ser observado, consiste na configuração. Mesmo as estações de trabalho RA simples exigem a definição de um grande número de parâmetros de configuração (por exemplo, a posição da câmera e calibração), tornando a RA, de um modo geral, bastante complexa para usuários ocasionais sem o conhecimento de programação.

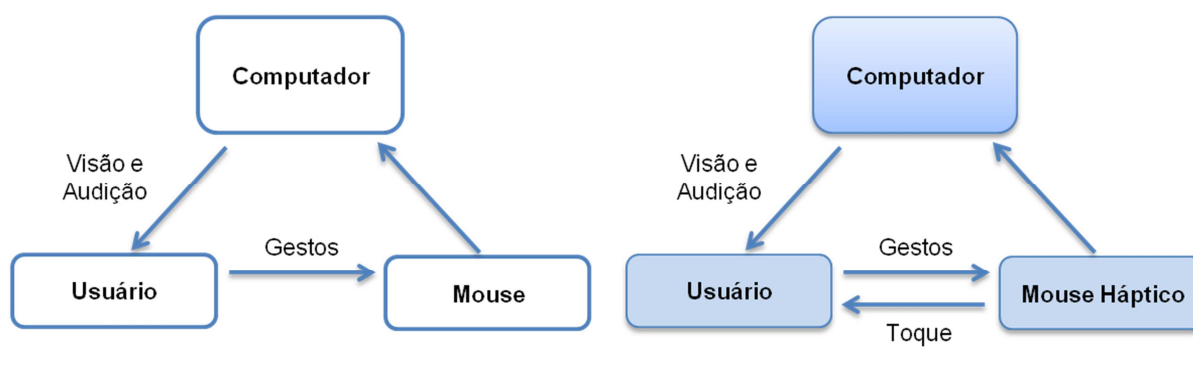
5.4 Dispositivos Hápticos

Dispositivos hápticos são utilizados para compreender o sentido tátil do ser humano no ambiente virtual, proporcionando ao usuário sentir a geometria e outras propriedades dos objetos virtuais (HAN; WAN, 2010). A palavra háptico deriva da palavra grega *haptesthai* (toque) e relaciona-se a capacidade de entrar em contato com (AZIZ; MOUSAVI, 2009), ou seja, a informação sensorial originada do toque ou contato físico (MACHADO, 2007). A ação de tocar pelo ser humano corresponde a um sentido bidirecional, ou seja, uma força é aplicada sobre um objeto e uma resposta é percebida por quem a aplicou. Esta relação pode ser mais bem entendida a partir do exemplo citado por Hayward et al. (2004), onde um

mouse convencional é comparado a um mouse háptico e habilitado com propriedades mecânicas programáveis, conforme Figura 5.7.

Figura 5.7 - Exemplo comparativo entre um mouse convencional e um mouse háptico

Uma característica distintiva das interfaces hápticas corresponde à troca simultânea de informações entre o usuário e a máquina.



Fonte: Adaptado de Hayward et al. (2004)

De acordo com a Figura 5.7, um mouse convencional está limitado a uma entrada unidirecional e o utilizador recebe quase que nenhuma informação de seus movimentos, apenas visualmente pela tela, embora as propriedades de inércia e atrito possam auxiliar o usuário na realização de movimentos hábeis. O mouse háptico, por outro lado, pode fornecer ao usuário um *feedback* programável baseado na sensação de toque ou força, permitindo uma interação mais rápida e intuitiva com o computador. As setas representam o sentido do fluxo de informação.

Conforme vem sendo apontado neste estudo, a simulação em ambiente virtual envolve a interação através de múltiplos canais sensoriais, sendo estes visuais, auditivos, táteis, olfativos e gustativos (BURDEA; COIFFET, 2003). Os *feedbacks* visual e auditivo vêm sendo bastante desenvolvidos por um grande número de pesquisas. Por outro lado, o *feedback* associado ao tato (ou háptico) corresponde a um problema de pesquisa desafiador em função da indisponibilidade de equipamentos com a capacidade total para apoiar os sistemas táteis, em face da complexa estrutura da fisiologia subjacente destes processos, custos de *hardware* e *software*, complexidade do sistema e espaço de trabalho limitado (BOUD, BARBER; STEINER, 2000; LECUYER et al., 2000; LIU et al., 2004).

Porém, é importante considerar que na avaliação das propriedades de um produto a sensação de toque é fundamental. Este canal sensorial complementa as modalidades de *feedback* visual e auditivo, que geralmente são utilizados nas atuais simulações em ambientes virtuais (BURDEA, 2000). Desta forma, fica evidente a necessidade do uso de dispositivos hápticos capazes de permitir aos usuários tocarem e sentirem os objetos simulados.

A interface háptica, ou *feedback* háptico, corresponde a dispositivos mecânicos configurados para mediar a comunicação entre o usuário e o sistema de computador, permitindo ao usuário tocar, sentir e manipular objetos tridimensionais em ambientes virtuais (BERKLEY, 2003; TIDEMAN; VAN DER VOORT; VAN HOUTEN, 2006). Da mesma forma como uma interface de vídeo permite ao usuário visualizar uma cena gerada pelo computador, a interface háptica permite ao usuário “sentir” o objeto gerado pelo computador. O sistema háptico consiste na interação dos componentes sensorial, motor e cognitivo do sistema do corpo do cérebro, que é mais frequentemente descrito como “proprioceptivo” (OAKLEY et al., 2000).

A percepção do toque está relacionada a três componentes: tátil, cutâneo e cinestesia. No ser humano estas sensações não podem ser separadas, mas o mesmo não acontece com os equipamentos desenvolvidos para simulação dos mesmos, por este motivo, existem dispositivos que fornecem ambas ou apenas uma destas sensações (OAKLEY et al., 2000; AZIZ; MOUSAVI, 2009).

Na interação com objetos 3D, os movimentos e o comportamento com estes objetos devem ser simulados a partir de um *feedback* de toque realista. Burdea (2000), divide a modalidade de *feedback* háptico em dois grupos: *feedback* tátil e *feedback* força. O *feedback* tátil permite aos usuários sentirem a rugosidade das superfícies virtuais, suas extremidades, a temperatura ou o deslizamento. O *feedback* força reproduz o peso dos objetos virtuais apreendidos, sua conformidade mecânica, inércia, bem como as restrições de movimento.

O Quadro 5.1 apresenta as definições de cada termo relacionado à sensação tátil, permitindo, de acordo com Oakley et al. (2000), que os dispositivos sejam categorizados e compreendidos pelo sistema sensorial que os afetam primariamente.

Quadro 5.1 - Definições das terminologias hápticas.

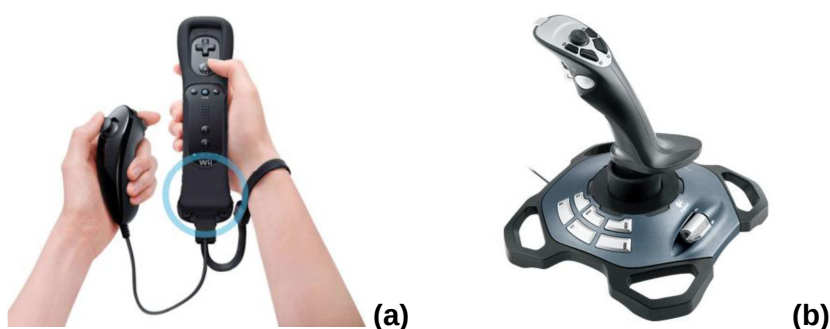
Termo	Definição
Háptico	Relativo ao sentido do tato
Proprioceptivo	Relativo à informação sensorial sobre o estado do corpo (incluindo cutâneo, cenestésico e sensações vestibulares).
Vestibular	Referente à percepção da posição da cabeça, aceleração e desaceleração.
Cenestésico	Significa a sensação de movimento e se relaciona às sensações provenientes dos músculos, tendões e articulações.
Cutâneo	Relativo a própria pele ou a pele como um órgão dos sentidos. Inclui as sensações de pressão, temperatura e dor.
Tátil	Relativo ao sentido cutâneo, porém mais especificamente à sensação de pressão em vez da temperatura ou da dor.
Força <i>Feedback</i>	Relativo à produção mecânica de informação detectada pelo sistema cenestésico humano.

Fonte: Oakley et al. (2000)

Na atualidade, os dispositivos hápticos variam em sofisticação e fidelidade e vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de oferecer maneiras de reconhecer e manipular objetos em ambientes virtuais. Por um lado estes podem ser simples joysticks, conforme ilustra a Figura 5.8, com retorno de força cuja interatividade limitada não possibilita caracterizar ações mais próximas às correspondentes no mundo real (RODRIGUES, 2011). Por outro lado, dispositivos hápticos com um maior nível de sofisticação oferecem um nível de interatividade maior e permitem maiores graus de liberdade no movimento de translação, rotação e *feedback* força. Conforme Machado (2007), estes podem ser divididos em três categorias principais, de acordo com seu uso: para as mãos, braços ou pernas, e corpo.

Figura 5.8 - Dispositivos hápticos como joysticks

(a) Controle com vibração Wii e (b) Joystick com retorno de força Logitech



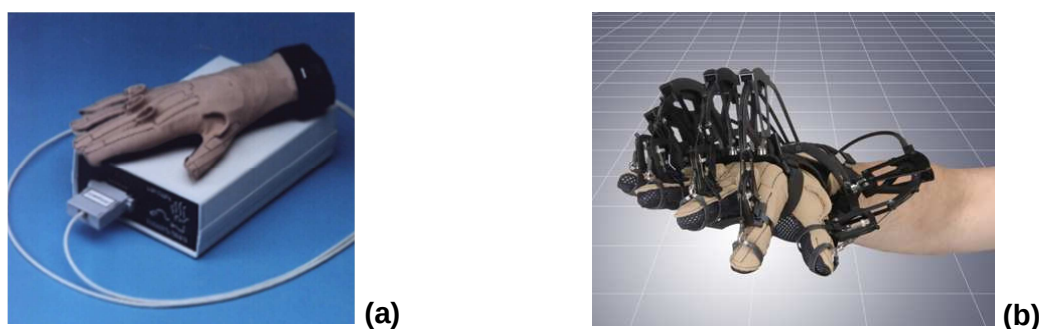
Fonte: www.wii.com; www.logitech.com

5.4.1 Captura dos movimentos das mãos

Os dispositivos de captura dos movimentos das mãos usualmente proporcionam a sensação de toque para os dedos ou a mão do usuário, assim como pressão, calor ou vibração. Dentre estes, as luvas são indicadas como as que possuem uma interação mais natural com os objetos.

As luvas são dotadas de sensores que medem o movimento de cada dedo e alguns modelos também possuem sensores que medem os ângulos de alguns dedos ou de todos, assim como possuem rastreador 3D para indicar a posição da mão do usuário. A luva CyberGrasp¹⁵, por exemplo, é composta pela luva CyberGlove (Figura 5.9a) com a adição de um exoesqueleto (Figura 5.9b) (FISHER, 2003).

Figura 5.9 – Luvas de dados - (a) Luva CyberGlove (b) Luva CyberGrasp



Fonte: <http://cyberglovesystems.com>

Durante a simulação no ambiente virtual, a luva CyberGlove lê a configuração da mão do usuário e transmite os dados para o computador central, que juntamente com os dados do rastreador 3D fixo no punho, controlam uma mão virtual (BURDEA; COIFFET, 2003). Outro exemplo de adaptação da CyberGlove corresponde a luva CyberTouch¹⁶ (Figura 5.10), no qual foram acrescentados seis atuadores por vibração (um na parte de trás de cada dedo e um na palma), para fornecer um *feedback* vibro tátil ao usuário. Este modelo de luva é mais adequado para tarefas de manipulação com as mãos onde o contato é com a ponta dos dedos, uma vez que tem a capacidade de fornecer *feedback* para os dedos individualmente (BURDEA; COIFFET, 2003).

¹⁵ <http://cyberglovesystems.com/products/cybergasp/overview>

¹⁶ <http://cyberglovesystems.com/products/cybertouch/overview>

Figura 5.10 – Luva CyberTouch

Fonte: <http://cyberglovesystems.com>

A luva CyberGrasp pode ser utilizada para tarefas que exigem maior destreza e que seja necessário feedback de força em cada dedo. A caixa de interface da CyberGlove transmite para a unidade de controle de força (FCU) da CyberGrasp os dados resultantes da posição dos dedos. O mesmo FCU recebe os dados da posição do pulso a partir de um rastreador 3D, conforme parágrafo anterior. As informações com as posições resultantes da mão 3D são enviadas a um computador central, executando a simulação através de uma linha Ethernet (rede de área local, LAN). Em seguida, o computador central executa a detecção da colisão e entrada das forças resultantes de contato dos dedos na FCU. A estrutura exoesqueleto está ligada a CyberGlove através de anéis nos dedos, uma placa traseira e tiras de velcro. Este arranjo permite apenas forças unidirecionais para serem aplicadas na ponta dos dedos, na direção oposta do fechamento da mão (BURDEA; COIFFET, 2003), sendo possível ao usuário ter a sensação de agarrar um objeto em vez de simplesmente tocá-lo.

Maciel et al. (2004), investigaram o potencial da CyberGrasp para melhorar a percepção na simulação em realidade virtual. O êxito na maior parte dos testes permitiu aos autores concluírem positivamente sobre a utilização deste dispositivo em muitas aplicações da RV. No entanto, eles também identificaram um conjunto de desvantagens que necessitam de melhorias a serem realizadas na CyberGrasp. A principal desvantagem deste sistema corresponde a sua complexidade e a incapacidade de simular o peso e inércia do objeto virtual, também apontada por Burdea e Coiffet (2003). Em seguida, pela falta de procedimentos para a suavização da força implementada no *hardware* e a direção das

forças aplicadas, que é limitada à direção da abertura da mão (MACIEL et al., 2004). Além disso, outros fatores como o *feedback* tátil e visual, parecem desempenhar um papel importante, além do *feedback* força. Conforme Maciel et al. (2004), muitos aplicativos não são possíveis, especialmente aqueles que exigem frequências muito altas como vibrações ou contato com objetos muito irregulares e muito deformáveis. Para estes objetos o dispositivo conhecido como PHANToMTM, apresentado a seguir, é o mais indicado.

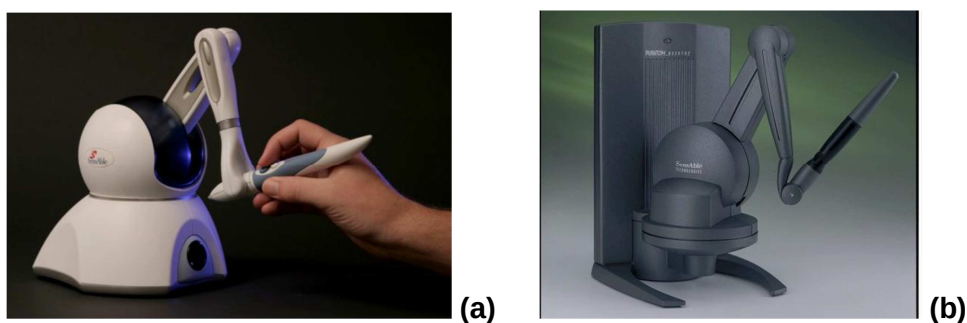
5.4.2 Captura dos movimentos das pernas e braços

Os dispositivos para captura dos movimentos dos braços e pernas têm como objetivo oferecerem *feedback* de força. Esta interface difere das interfaces táteis pelo fato da necessidade de se fornecer as forças substanciais para restringir o movimento do usuário, no que implica grandes atuadores, estruturas mais pesadas (para garantir a rigidez mecânica) e maior complexidade (BURDEA; COIFFET, 2003).

Uma das razões para que esses dispositivos não estejam focados na sensação do toque é porque a mão tem mais sensibilidade, sendo mais utilizada para esta função. Assim, apesar de alguns dispositivos oferecerem o toque e o *feedback* de força, sua principal função consiste em restringir as ações do usuário ao utilizá-los.

Um exemplo disponível no mercado utiliza uma espécie de braço mecânico para proporcionar a sensação de toque e de *feedback* de força, e tem como vantagem permitir movimentos com seis graus de liberdade (DOF - *Degrees of Freedom*), que se adéqua bem para aplicações com visores estereoscópicos. O PHANToMTM - Mecanismo de interface háptica pessoal, da empresa SensAble¹⁷, corresponde a um exemplo destes dispositivos (Figura 5.11).

Figura 5.11 – Mecanismos de interface háptica pessoal desenvolvidos pela empresa SensAble - (a) PHANToM Omni e (b) PHANToM Desktop.



Fonte: <http://www.sensable.com>

¹⁷ <http://www.sensable.com/products-haptic-devices.htm>

Este dispositivo possui uma base que está ligada a um braço mecânico que termina com um componente similar a uma caneta. A orientação da caneta é passiva e não possibilita a aplicação de torques na mão do usuário, e sua forma permite simular naturalmente instrumentos similares reais como pincéis, chaves de fenda, ferramentas cirúrgicas e etc. Dos seis graus de liberdade do braço, três estão ativos e fornecem *feedback* de força de translação. O espaço de trabalho resultante do braço é o usado pelo pulso do usuário com o antebraço, que repousa sobre um suporte (BURDEA; COIFFET, 2003).

Os dispositivos para as mãos quando equipados com uma estrutura de apoio, fornecem *feedback* de força. A Figura 5.12 apresenta a luva CyberGrasp, mencionada na sessão anterior, que quando adicionada a um braço mecânico permite a simulação do peso e inércia do objeto, e passa a corresponder a um dispositivo de braço denominado CyberForce¹⁸. No entanto, este tipo de dispositivo não é portátil, uma vez que precisa estar apoiado em uma base. Os dispositivos mais portáteis, como as luvas de *feedback* de força, por ficarem apoiadas no antebraço do usuário, permitem maior liberdade de movimentos e uma interação mais natural com a simulação (BURDEA; COIFFET, 2003). Outro fator a considerar corresponde à liberdade de movimento reduzida ao envelope do braço mecânico, que é significativamente menor do que o da CyberGrasp, seguido pelo aumento da complexidade do sistema com a adição do braço mecânico.

Figura 5.12 – Luva CyberForce.



Fonte: <http://cyberglovesystems.com>.

¹⁸ <http://cyberglovesystems.com/products/cyberforce/overview>.

5.4.3 Captura dos movimentos do corpo

Os dispositivos hápticos para captura dos movimentos do corpo correspondem atualmente a plataformas projetadas para fornecer vibração ou interação com o senso de equilíbrio do usuário. Em alguns casos, estes são tratados como dispositivos hápticos que não permitem perceber objetos, mas se ajustam ao equilíbrio do corpo, e são comumente conhecidos como plataformas móveis, sendo amplamente utilizados pela indústria do entretenimento para videogames. A indústria da aviação e automobilística, por sua vez, faz uso destas plataformas para construir simuladores (GUERLESQUIN et al., 2012; JIMENO; PUERTA, 2007; MOREAU et al., 2004).

5.4.4 Dispositivos hápticos aplicados ao design de produtos

Conforme vem sendo apontado ao longo desta tese, um dos mais recentes desafios no processo de desenvolvimento do produto consiste na substituição dos protótipos físicos pelos virtuais.

Neste contexto, o desenvolvimento das tecnologias de visualização tem atingido um alto nível de qualidade na reprodução de informações, buscando-se soluções que se aproximam das necessidades do mercado a custos reduzidos (DEFANTI et al., 2011; NESBIT, 2013). Por outro lado, as tecnologias hápticas não têm acompanhado este ritmo e grande parte dos testes de produtos realizados com protótipos virtuais tem se limitado apenas aos aspectos de visualização (FERRISE; BORDEGONI; GRAZIOSI, 2013). Porém, este tipo de avaliação é mais adequado para a avaliação dos aspectos estéticos dos produtos e não se aplica aos aspectos relativos à interação com o usuário.

Na avaliação da usabilidade de um produto é preciso tocar e manipular fisicamente o mesmo enquanto a tarefa é realizada. Para atender a este requisito, simples dispositivos de controle háptico foram desenvolvidos para os testes com a interface do usuário e produtos de consumo (MACHADO, 2007). Podemos citar como exemplo o estudo desenvolvido por Bruno e Muzzupappa (2010). Nesta pesquisa foi utilizado um 3D joystick para seleção dos objetos virtuais enquanto foram realizados vários testes de usabilidade com produtos de consumo em realidade virtual.

Ao observar os exemplos de aplicação mais complexos, como por exemplo o uso da CyberForce, percebe-se a possibilidade do usuário segurar e manipular objetos virtuais a partir de interfaces táteis com múltiplos dedos, que ajudam a aumentar o realismo e a percepção háptica. No entanto, conforme apontam Maciel et al. (2004), alguns aplicativos

não são compatíveis e adicionando o elevado valor de compra, este dispositivo não vem sendo amplamente utilizado como o PHANToMTM, por exemplo.

Wang e Lu (2009), desenvolveram um sistema de modelagem e simulação em tempo real incorporando o dispositivo PHANToMTM para o design e avaliação de dispositivos móveis. O produto foi avaliado na fase inicial de design, utilizando um modelo virtual para as etapas de modelagem, interação e avaliação, proporcionando uma economia de custos e tempo.

Outros estudos indicam a combinação de dispositivos como meio para melhorar o desempenho da interface háptica. Nikolakis et al. (2004), propuseram a combinação do PHANToMTM e da CyberGlove a fim de proporcionar um melhor *feedback*. Gao et al. (2012), utilizaram uma interface dupla com o PHANToMTM para gerar a saída da força interna e permitir a sensação de elasticidade dos produtos.

Desta forma, a decisão de qual dispositivo é mais adequado ao uso e como este deve ser aplicado, deve ser levado em conta a complexidade do ambiente 3D e da tarefa que o usuário será convidado a realizar. No entanto, o uso destes dispositivos ainda apresentam muitas limitações. Apesar dos dispositivos hápticos fornecerem um bom *feedback* sinestésico, a falta da sensação tátil que não é disponibilizada através da caneta ou da luva, reduz o realismo da simulação.

Conforme apontam Ferrise, Bordegoni e Graziosi (2013), a fidelidade da representação do comportamento háptico do controle é elevada, mas os testes de interação do usuário com o produto ficam limitados a pressionar botões, enquanto que outros gestos utilizados no uso global do produto não são considerados.

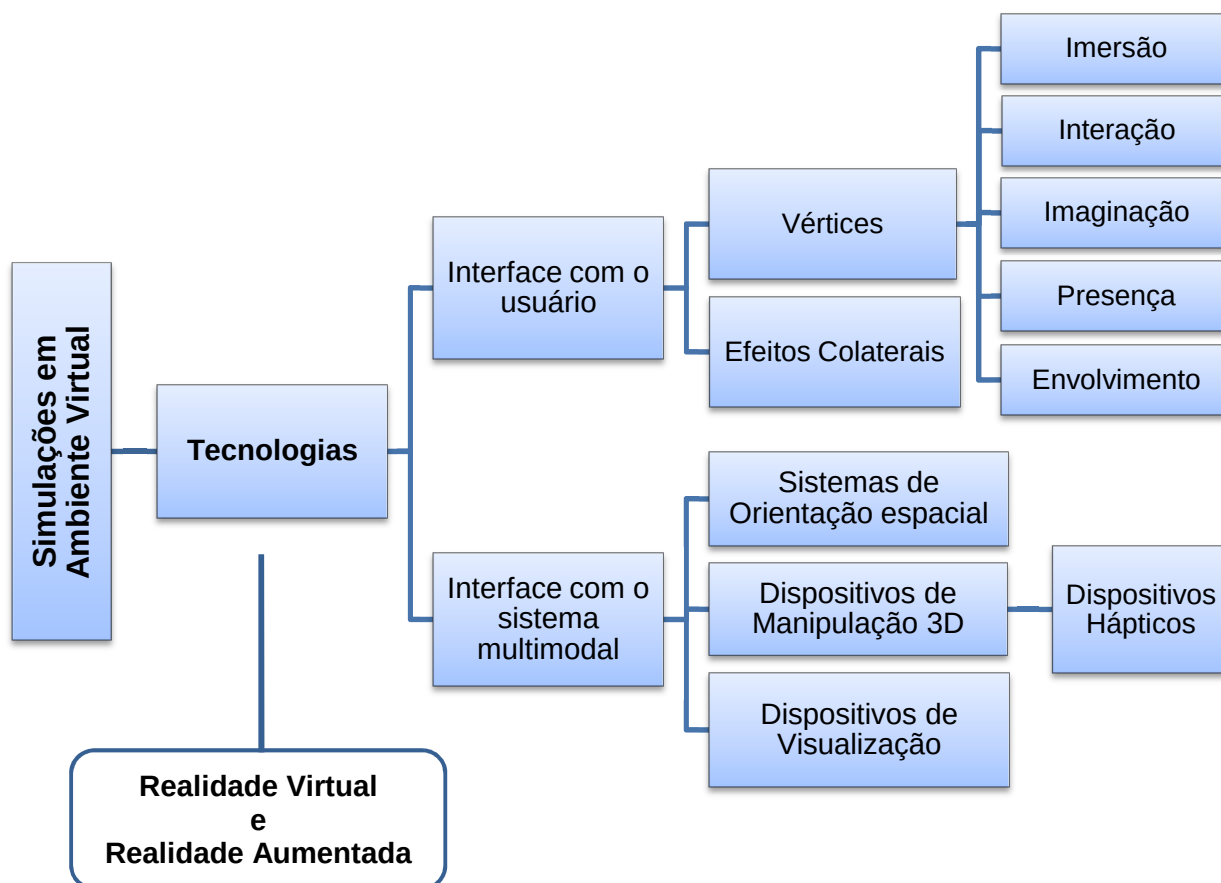
5.5 Considerações sobre a interface em ambiente virtual

Conforme exposto ao longo do capítulo, na interação com o ambiente virtual, os usuários devem estar habilitados a interagir com os dispositivos do sistema multimodal. Estes dispositivos devem estar configurados de forma a envolver o usuário em um ambiente contendo objetos em três dimensões, com localização e orientação em um espaço multidimensional. Ou seja, cada objeto virtual tem uma localização e orientação independentes do ponto de vista dos usuários.

Desta forma, a interação na simulação em ambiente virtual precisa corresponder à forma como o usuário utiliza o sistema para realizar sua tarefa. Esta correspondência é caracterizada a partir da combinação dos dispositivos do sistema multimodal e a compreensão das capacidades humanas. A figura 5.13 apresenta a correspondência das

características de uma simulação em ambiente virtual, com base no conteúdo apresentado neste capítulo.

Figura 5.13 – Características da simulação em ambiente virtual



Fonte: A autora

Na interface com o usuário, efeitos indesejáveis relacionados ao uso dos sistemas de simulação podem vir a ocorrer quando o usuário interage com o mundo virtual, como por exemplo, os sintomas de enjoo (cybersickness), desconforto físico, distúrbios fisiológicos, bem como distúrbios psicológicos. Estes efeitos são considerados secundários quando estão relacionados com o uso da tecnologia no momento da simulação, e considerados como sequelas quando são observados após o utilizador deixar o mundo virtual e retornar para o mundo real (STANNEY et al., 2003).

5.6 Considerações finais do capítulo

No início da era digital, quando os primeiros computadores foram introduzidos pela primeira vez para a atividade de desenvolvimento de produtos, poucos acreditavam no importante papel que estes poderiam desempenhar na prática do mundo real. Os sistemas eram bastante complexos, demorados, caros e complicados de usar. No entanto, impulsionados pela forte crença no potencial destas tecnologias emergentes, muitos pesquisadores trabalharam incansavelmente para quebrar os obstáculos tecnológicos que levaram as atuais conquistas apresentados neste capítulo.

Nos dias atuais é difícil imaginar a tarefa do designer sem a ajuda dos computadores e sistemas digitais. Este mesmo conceito será introduzido gradativamente nas tecnologias virtual e aumentada na concepção de produtos. Conforme apresentado neste capítulo, muitos sistemas RV/RA estão em estágio experimental e suas aplicações ainda possuem custo elevado, mas os potenciais que estas tecnologias veem demonstrando são bastante convincentes para não nos desencorajar pelas suas limitações atuais. Designers, engenheiros e cientistas da computação devem continuar unindo esforços para prosseguir ativamente na pesquisa para introdução destas tecnologias no desenvolvimento e avaliação do design de produtos na prática industrial.

Conforme apresentado nos itens 5.2 e 5.3, as tecnologias da RV e RA ainda apresentam problemas desafiadores para a comunidade do design de produtos (concepção/avaliação) e dos desenvolvedores de sistemas da computação e informação (ciência da computação). Embora tenham sido destacadas algumas oportunidades de pesquisa, novas áreas de estudo são esperadas para a contínua evolução, principalmente com o incentivo da integração das diversas comunidades trabalhando em conjunto de forma mais colaborativa.

No item 5.4 foi apresentado o estado da arte dos dispositivos hápticos com o objetivo de apontar as recentes melhorias da interação com o usuário e o potencial desta ferramenta aplicada na avaliação do design do produto. Devido à necessidade de se trabalhar de forma mais estreita com o domínio do usuário nos testes de usabilidade, as tarefas em 3D têm sido sugeridas como ferramentas e aplicações que permitem ao mesmo trabalharem em um ambiente mais realista.

Pesquisas têm apontado e alegado a necessidade de se fornecer um *feedback* através da manipulação de dispositivos de entrada física que representam os objetos virtuais. O desenvolvimento de dispositivos hápticos e a adaptação desta tecnologia às necessidades do projeto de pesquisa é um passo importante para preencher a lacuna entre saber o que queremos fazer e como alcançar os usos pretendidos ou objetivos do produto.

Apesar do entusiasmo em torno dos equipamentos hápticos, muito trabalho tem sido realizado para avançar esta tecnologia e criar sistemas úteis. No entanto, grandes inovações ainda são necessárias para obter a aplicação em ambiente virtual pretendida para o projeto de produtos de consumo. Os progressos na investigação das interfaces hápticas são bem mais lentos do que nas interfaces visuais (por exemplo, monitores e geração de imagens), e o estado atual de *hardware* para manipulação de protótipos de produtos em ambiente virtual ainda não é satisfatório na maioria dos casos. Dentre eles destacam-se dispositivos mais sofisticados que fornecem um *feedback* tátil e de forma mais realista, sendo mais leves, mais simples e mais fáceis de usar. A autora, com base na opinião dos pesquisadores da área, acredita que este problema pode ser resolvido no futuro com inovações na RV/RA e avanços tecnológicos.

Desta forma, a partir do desenvolvimento das tecnologias apontadas, espera-se que a prática do designer e fabricantes de produtos seja repensada. As tecnologias RV/RA e hápticas fornecem uma interface natural que permitirá a evolução dos processos de desenvolvimento de produtos em novos paradigmas. Estamos assistindo ao início de grandes mudanças que levará a muitas possibilidades de excelência no futuro próximo, e a comunidade de design tem um dever iniludível para assumir um papel de liderança na exploração destas grandes oportunidades.

Com base na pesquisa teórica realizada neste capítulo e nos anteriores, o capítulo 7 abordará um estudo de caso com a finalidade de investigar o nível de conhecimento do designer a respeito das tecnologias abordadas até o momento, assim como testar algumas possibilidades de aplicação na avaliação da usabilidade.

Capítulo 6

Usabilidade e Neurociência

Conforme estudado no capítulo 3, os métodos e técnicas mais utilizados para mensurar a usabilidade correspondem em perguntar ao usuário a sua experiência de uso do produto, como por exemplo, questionários, entrevistas e heurísticas. No entanto, como o pesquisador pode de fato saber se o usuário descreveu plenamente sua experiência?

Na tentativa de melhor compreender a experiência do usuário com o produto, Redwood (2011) aponta recentes pesquisas que utilizam tecnologias de rastreamento ocular (*eye tracking*) para observar o que os usuários naturalmente fazem em oposição ao que eles pensam que estão fazendo. Contudo, estes dispositivos de rastreamento sozinhos não permitem ao pesquisador observar o que um usuário realmente faz, visto que não lhe é possível inferir no que foi sentido pelo usuário na sua experiência com o produto.

Para superar esse *gap*, a aplicação de métodos da neurociência para analisar e entender o comportamento humano vem recentemente obtendo atenção nas pesquisas (KHUSHABA, 2013). O sofisticado sistema de medidas oferecido pelo eletroencefalograma (EEG) vem sendo apontado por pesquisadores como medidor chave da experiência do usuário com o produto. A Eletroencefalografia corresponde à medição e registro dos sinais elétricos produzidos pelos neurônios, utilizando sensores dispostos ao longo do escalpo¹⁹. Recentes pesquisas vêm possibilitando utilizar as medições EEG como entradas controladas por computador, sendo esta Interface Cérebro Computador (ICC) simplificada a partir de um novo dispositivo de *hardware wireless*.

Objetivando uma melhor compreensão da neurociência aplicada à usabilidade, a primeira parte do capítulo descreve o conceito de neurociência e a ampla gama de conhecimento disponível a partir das diversas possibilidades de sua aplicação tanto na área do design, como em áreas afins. Mais adiante a Eletroencefalografia é apresentada como uma ferramenta da neurociência aplicada ao design, assim como o mais recente dispositivo desenvolvido para pesquisas nesta área, o *headset* Emotiv EPOC. O capítulo finaliza descrevendo as recentes pesquisas que utilizaram o sistema Emotiv EPOC para avaliação da experiência do usuário com produtos.

¹⁹ A palavra escalpo deriva do inglês *scalp* e significa a pele que reveste o crânio, e tem como sinônimo a palavra couro cabeludo (Houaiss, 2010).

6.1 Conceito de Neurociência

Compreendendo que a atividade dos neurônios dentro do cérebro humano pode ser mensurada, a neurociência busca entender a base biológica do comportamento a partir do estudo do sistema nervoso. As pesquisas em neurociência abrangem uma área de conhecimento muito ampla, que partem do estudo de células individuais (neurociência celular) até o estudo de como diferentes áreas cerebrais ou sistemas cerebrais complexos, tais como o sistema visual, interagem (neurociência de sistemas) (PLASSMANN; RAMSOY; MILOSAVLJEVIC, 2012). Por esta razão, nos parágrafos a seguir a neurociência será descrita a partir das áreas de aplicação que são mais relevantes para o design.

Em consequência da complexidade do comportamento humano, os estudos de neurociência aplicados ao design buscam investigar os processos mentais do ser humano a partir das percepções dos sistemas cerebrais, visto que os da neurociência celular são mais limitados (PLASSMANN; RAMSOY; MILOSAVLJEVIC, 2012).

A partir da investigação prática entre a neurociência e a ergonomia, surgiu a *neuroergonomia*, que significa o estudo do cérebro e o comportamento no trabalho (PARASURAMAN, 2003; PARASURAMAN; RIZZO, 2007). O objetivo desta interdisciplinaridade não se limita apenas ao estudo da estrutura do cérebro e suas funções, mas também à investigação do contexto da cognição e comportamento humano no trabalho, em casa, no transporte e em outros ambientes do cotidiano. Conforme Parasuraman & Rizzo (2007), a compreensão da função cerebral pode levar ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de teorias da ergonomia, como por exemplo, o conhecimento de como o cérebro processa a informação visual, auditiva e tátil e como pode fornecer orientações e restrições importantes sobre o uso da teoria da apresentação da informação e da elaboração da tarefa.

No segmento do *marketing* para produtos de consumo, as diferenças individuais no processo de tomada de decisão pelo consumidor são obtidas a partir das medidas dos processos cognitivos ou emocionais. No entanto, conforme apontam Venkatraman et al. (2012), este tipo de abordagem enfrenta um sério obstáculo, compreender os processos de pensamento, tanto conscientes como inconscientes, que os consumidores aplicam na tomada de decisões. Para tal, recentes pesquisas da neurociência se apresentam como uma potencial ferramenta para enfrentar este desafio, gerando avanços significativos na identificação dos mecanismos neurais subjacentes aos processos de tomada de decisão, sendo comumente utilizados os termos *neuroeconomia* (CLITHERO; TANKERSLEY;

HUETTEL, 2008) e *neuromarketing* (LEE, BRODERICK; CHAMBERLAIN, 2007; MADAN, 2010).

Neuromarketing corresponde à prática de interesse comercial no uso de ferramentas neurofisiológicas, tais como rastreador ocular, condutibilidade da pele, eletroencefalograma (EEG) e ressonância magnética funcional, para realizar pesquisas de mercado específicas da empresa (PLASSMANN; RAMSOY; MILOSAVLJEVIC, 2012), com o objetivo de avaliar como o cérebro é fisiologicamente afetado por propagandas e estratégias de *marketing* (MADAN, 2010). Nestes estudos, a familiaridade com a marca e a preferência do produto pelo consumidor são correlacionadas com sua atividade neural, sendo esta atividade vista com certa precaução pelos grupos de proteção ao consumidor e pela academia, em face das possíveis implicações éticas no design de propagandas que intencionalmente causem efeitos neurológicos específicos (LEE; BRODERICK; CHAMBERLAIN, 2007; MADAN, 2010).

Neste mesmo seguimento, pesquisas vêm sendo realizadas com foco na psicologia do consumidor. Conforme Plassmann, Ramsøy e Milosavljevic (2012), o objetivo da neurociência do consumidor consiste em adaptar métodos e teorias da neurociência, combinados com as teorias comportamentais, modelos e testes de design experimental da psicologia do consumidor e disciplinas afins, para desenvolver uma teoria neuropsicológica que compreenda o seu comportamento.

A neurociência aplicada ao design, conforme Hevner et al. (2014), oferece métodos e ferramentas que facilitam o acompanhamento dos processos criativos que geram e constroem artefatos, que avaliam o artefato em evolução no ambiente de laboratório ou no seu lançamento em campo, como também para fornecer alguma conexão teórica.

Na experiência do usuário com o produto, os princípios da neurociência em combinação com a ciência cognitiva fez surgir um campo de pesquisas em *neuropsychology* (KIRKLAND, 2012). Esta abordagem permite ao designer compreender melhor a experiência do usuário a partir das atividades cerebrais, auxiliando-o na tomada de decisões para o design do produto. Sob este contexto, analisar o que está acontecendo sob a ótica da neurociência torna possível explicar porque uma experiência é fundamentalmente boa ou ruim, permitindo aos membros da equipe de projeto obter verdadeiros *insights* sobre o usuário (KIRKLAND, 2012).

Vale ressaltar que, apesar da existência de uma vasta literatura da neurociência sobre a investigação dos locais ativados no cérebro pelos processos da criatividade, *insight* e comunicação no design, muito pouca pesquisa tem sido realizada na investigação das

tarefas cognitivas no design de produtos e sistemas (VOM BROCKE; RIEDL; LEGER, 2012; HEVNER et al., 2014), principalmente aplicando a usabilidade.

No entanto, novas tecnologias vêm surgindo para permitir o crescimento de pesquisas e a prática em *neuromodelling*. Os itens a seguir abordam recentes estudos no campo da neurociência que podem ser aplicados ao design de produtos.

6.1.1 Interface Cérebro Computador

De acordo com a definição mais comumente usada, a Interface Cérebro Computador (BCI – *Brain Computer Interface*) é um dispositivo de comunicação que classifica as atividades do cérebro e controla equipamentos como um dispositivo de ortografia, uma neuroprótese e uma cadeira de rodas (BRUNNER et al., 2014). Com base em uma definição mais recente, a BCI corresponde a um sistema que mede as atividades do sistema nervoso central (SNC) e converte os dados em saídas artificiais que substituem, restauram, melhoram, suplementam ou aumentam a saída natural do SNC, e assim, muda a interação em curso entre o SNC e o seu ambiente externo ou interno (WOLPAW; WINTER WOLPAW, 2012).

O termo Interface Cérebro Computador surgiu na literatura científica por volta da década de 1970. As pesquisas inicialmente estavam focadas no sistema motor do córtex cerebral e eram utilizadas técnicas mais invasivas. Aos poucos, a partir de vários testes, principalmente em animais, foi sendo percebida a possibilidade de controlar os sinais de áreas específicas do cérebro (FETZ, 1969), surgindo algoritmos os quais eram capazes de decodificar as respostas motoras dos neurônios em tempo real, sendo traduzidas na atividade robótica (WESSBER et al., 2000).

Apesar destes resultados, as pesquisas em BCI começaram a desviar-se das técnicas mais invasivas, em face aos altos custos e periculosidade das cirurgias necessárias para este sistema, passando a buscar alternativas menos invasivas como a tecnologia EEG, a Magnetoencefalografia (MEG) e a Ressonância Magnética (IRM) (SZAFIR, 2010).

No entanto, os métodos não invasivos são limitados na medida em que muitas vezes estão suscetíveis ao ruído, com uma resolução ruim do sinal devido à distância do cérebro e com maior dificuldade em gravar o funcionamento interno do mesmo. Mas a partir do avanço destas tecnologias, sistemas mais sofisticados vêm surgindo constantemente com o objetivo de ir vencendo estas dificuldades, principalmente nos quesitos de menor custo e maior portabilidade, sem a necessidade de qualquer tipo de cirurgia especial (SZAFIR, 2010).

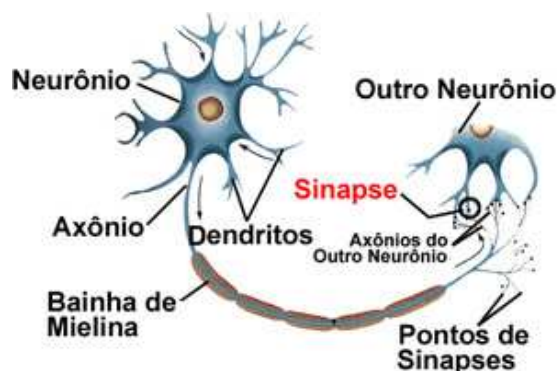
6.1.2 Mecanismos de comunicação entre os neurônios

Conforme visto, o foco da pesquisa em neurociência consiste na atividade cerebral. Neste contexto, este item tem por objetivo descrever um breve resumo explicativo da atividade dos neurônios no cérebro humano para uma melhor compreensão do sistema EEG, que será apresentado no próximo item.

A atividade cerebral é dada através da atividade de comunicação entre os neurônios, sendo denominada atividade neuronal. O neurônio corresponde a uma célula que compõe o sistema nervoso, sendo também conhecido como célula nervosa.

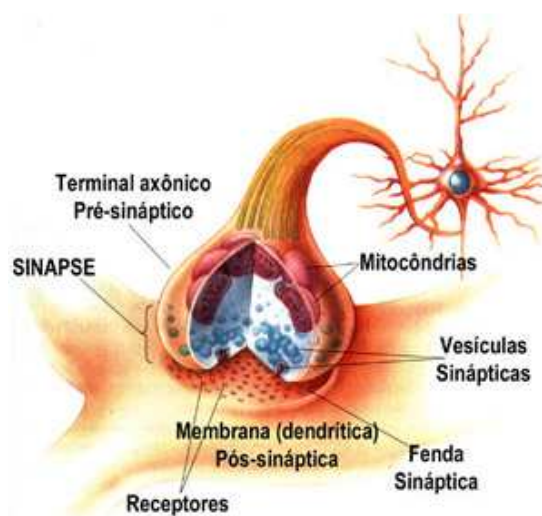
O neurônio é composto de um corpo celular e de finos prolongamentos denominados dendritos e axônios, conforme Figura 6.1. Os dendritos são prolongamentos curtos e ramificados, próximos ao corpo celular, que atuam como receptores de estímulos para o neurônio. Os prolongamentos dos axônios são mais longos que os dos dendritos e atuam como condutores dos impulsos nervosos. Na extremidade dos axônios ocorre o contato do neurônio com outros neurônios e/ou outras células para transmissão do impulso nervoso, a partir das ramificações denominadas botões terminais. A forma de comunicação entre neurônios é estabelecida por meio de estruturas denominadas sinapses nervosas, e que podem ser químicas ou elétricas.

Figura 6.1 – Comunicação entre neurônios



Fonte: <http://www.psiqweb.med.br/site/?area=NO/LerNoticia&idNoticia=290>

A sinapse química é uma forma de comunicação entre os neurônios ou entre os neurônios e células efetadoras, através dos neurotransmissores (NT), que atuam como mediadores químicos. Os NT são sintetizados pelos próprios neurônios e armazenados dentro de vesículas que estão concentradas no terminal axônico. A medida que os impulsos nervosos chegam a esses terminais, os NT são liberados pelas membranas pré-sináptica e pós-sináptica (ver Figura 6.2).

Figura 6.2 – Estrutura do neurônio

Fonte: <http://www.psiqweb.med.br/site/?area=NO/LerNoticia&idNoticia=290>

A sinapse elétrica é uma forma de comunicação que dispensa mediadores químicos, sendo a neurotransmissão estabelecida a partir da passagem direta de íons por meio das junções abertas ou comunicantes (*gap junctions*).

Os neurotransmissores ao serem liberados até a membrana pós-sináptica ligam-se reversivelmente às moléculas receptoras. Estas moléculas, por serem de natureza protéica, ligam-se especificamente ao seu mediador químico promovendo eventos elétricos. Conforme o tipo de NT, a interação causa uma mudança na condutância iônica da membrana pós-sináptica e um fluxo resultante de íons que pode levar a uma despolarização (entrada de cátions) ou hiperpolarização (saída de cátions ou entrada de ânions). Estas respostas elétricas da membrana pós-sináptica são chamadas de potenciais pós-sinápticos e propagam-se passivamente a distâncias bem curtas (NISHIDA, 2013).

6.1.3 Eletroencefalografia - EEG

A Eletroencefalografia (EEG) é a ciência da medição de padrões de ondas cerebrais produzidas pelos neurônios e sinapses do sistema nervoso central, em resposta a estímulos internos e externos, e gravados a partir do escalpo ou da superfície cortical (FABIANI et al., 2004; REDWOOD, 2011). A EEG vem sendo utilizada como uma ferramenta fundamental da neurologia clínica há mais de meio século. O desenvolvimento do eletroencefalograma em humanos pode ser atribuído a um único homem, o psiquiatra alemão Hans Berger (1873-1941), que iniciou as pesquisas com medições elétricas cerebrais nos campos da

neurociência e da psicologia, sendo estas publicadas em 1929 (MILLET, 2001; BALDWIN; COYNE; CHRISTENSEN, 2012).

Ao longo do tempo, EEG vem ganhando ampla aplicação clínica e experimental. Nas aplicações clínicas, esta é utilizada no diagnóstico e tratamento de tumores e derrames cerebrais, epilepsia, graves ferimentos na cabeça e distúrbios do sono. Por outro lado, a EEG pode também ser utilizada em várias aplicações experimentais para avaliação da fadiga, carga mental de trabalho e engajamento na tarefa (BALDWIN; COYNE; CHRISTENSEN, 2012).

Assim, em cada evento, comportamento ou sentimento, como por exemplo, estar imerso em um jogo de videogame ou ficar frustrado com um produto, o cérebro produz milhões de impulsos elétricos através dos neurônios, sendo captados por eletrodos posicionados diretamente no couro cabeludo. Estes sinais são amplificados e processados em medidas do estado emocional em tempo real e as reações podem ser visualmente representadas e mapeadas graficamente.

Desta forma, as ondas EEG podem ser medidas a partir da utilização de eletrodos fixados no escalpo e que são sensíveis às variações dos potenciais pós-sinápticos dos neurônios no córtex cerebral. O registro é realizado a partir da diferença variável no tempo de tensão entre um eletrodo ativo ligado ao escalpo e outro eletrodo de referência colocado em outra posição no escalpo ou no corpo (GEVINS; SMITH, 2007).

Cada eletrodo tem uma sensibilidade padrão de $7\mu\text{V}/\text{mm}$ e a média dos potenciais medidos na área próxima ao sensor é amplificada e combinada, para demonstrar uma atividade rítmica que é classificada nas frequências *Delta*, *Theta*, *Alpha*, *Beta* e *Gama*, conforme Tabela 6.1 (NUNEZ; SRINIVASAN, 2006).

Tabela 6.1 – Faixas e frequências do EEG.

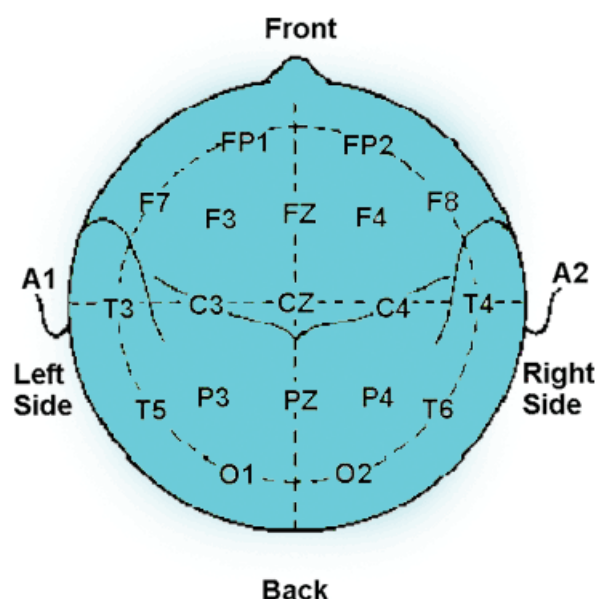
<i>Faixa</i>	<i>Frequência (Hz)</i>
Delta	1-4
Theta	4-7
Alpha	7-13
Beta	13-30
Gama	30+

Fonte: Nunez & Srinivasan (2006).

Para o registro das atividades sinápticas no escalpo, um número de colunas neurais deve ser ativado de forma síncrona. Em consequência da natureza condutora das estruturas e fluidos no cérebro, o registro EEG no escalpo é conhecido como o mais refletivo das estruturas diretamente abaixo do eletrodo de registro, mas por outro lado é também influenciado pelas atividades das estruturas adjacentes, podendo ser facilmente contaminado pelos batimentos cardíacos, movimentos dos olhos e atividades do músculo craniofacial (BALDWIN; COYNE; CHRISTENSEN, 2012).

Em muitas situações, os sinais EEG são gravados simultaneamente a partir de múltiplos eletrodos posicionados nos lóbulos frontal, parietal, occipital e temporal do cérebro, seguindo o sistema internacional 10-20 desenvolvido pelo Dr. Hebert Jasper na década de 1950, conforme ilustra a Figura 6.3 (NIEDERMEYER; DA SILVA, 2005; GEVINS; SMITH, 2007).

Figura 6.3 – Distribuição dos eletrodos de acordo com o Sistema Internacional 10-20 para EEG (Eletroencefalografia). As letras correspondem aos lóbulos frontal (F), temporal (T), parietal (P) e occipital (O). C representa Central (não há lóbulo central).



Fonte: <http://www.brainmaster.com/generalinfo/1020/1020.html>

De acordo com Gevins e Smith (2007), o EEG oferece uma grande vantagem em comparação a outras técnicas de neuroimagem como um método para monitoramento contínuo das funções cerebrais de longo período de tempo ou em ambientes que não sejam uma cama de hospital.

Conforme apontado anteriormente, diversas pesquisas são realizadas utilizando um equipamento profissional EEG em uma ampla gama de contextos e aplicações. No entanto, com o desenvolvimento de equipamentos mais baratos e fáceis de usar, utilizando o EEG como uma interface humano computador, uma série de aplicações tem se tornado mais plausível, conforme será descrito nos próximos itens deste capítulo.

Estes dispositivos disponíveis no mercado para o consumo a baixo custo contêm uma quantidade menor de sensores comparado aos equipamentos profissionais EEG, porém com qualidade de dados compatível (de MAN, 2014). No entanto, o mais importante é que estes dispositivos são fáceis de usar e podem ser aplicados em uma variedade de situações. A Neurosky²⁰ foi uma das primeiras empresas a desenvolver um dispositivo EEG de sensor seco aplicado a games, educação e pesquisas. Com base neste mesmo conceito, a empresa InteraXon²¹ desenvolveu o Muse, um dispositivo EEG utilizando seis sensores secos para 'gerenciar o stress e ajustar sua mente'. Com um número maior de sensores que os dois últimos apresentados, o dispositivo desenvolvido pela empresa Emotiv será descrito no item a seguir.

6.2 O Sistema Emotiv EPOC[©]

O Sistema Emotiv EPOC[©], cujo slogan consiste em "você pensa, consequentemente você pode", apresenta-se como um novo e revolucionário dispositivo pessoal baseado na Interface Cérebro Computador. Baseado nos mais recentes desenvolvimentos em neurotecnologia, o sistema está baseado em um *headset* Emotiv EPOC²² para gravar as medições EEG e um pacote de *software* que processa e analisa os dados.

O *headset* Emotiv EPOC realiza um escaneamento em tempo real dos sinais EEG e sua eficácia tem sido demonstrada em recentes publicações²³, como também sua eficiência foi demonstrada em uma reconhecida conferência de Sistemas de Processamento de Informação Neural²⁴.

Alguns projetos vêm sendo realizados utilizando o sistema Emotiv EPOC, dentre estes, muitos estudos estão voltados para promover acessibilidade a pessoas com deficiência. Por exemplo, a Universidade de Zaragoza na Espanha desenvolveu uma cadeira de rodas comandada através da captura de dados EEG. Nesta mesma direção, um grupo de pesquisadores da Federal Polytechnic School of Lousana na Suíça também criou um projeto

²⁰ <http://neurosky.com/>

²¹ <http://interaxon.ca/>

²² <http://www.emotiv.com>

²³ Publicações recentes sobre o Emotiv Epoc são disponibilizadas em: <http://www.emotiv.com/researchers/>

²⁴ <http://milab.imm.dtu.dk/nips2011demo>

para que usuários conduzissem a cadeira de rodas a partir dos sinais elétricos detectados pelo EEG, adicionando também a realidade aumentada ao conjunto de tecnologias envolvidas (REDER et al., 2014).

Para o estudo de caso desta tese foi utilizado o Emotiv EEG neuroheadset com processamento wireless (Figuras 6.4 e 6.5). O *headset* contém 14 canais de dados EEG, uma bateria de lítio recarregável de 12 horas, um giroscópio e utiliza uma chave USB para comunicar-se usando a banda 2.4 GHz. Os eletrodos são localizados nas posições AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4, conforme o Sistema Internacional 10-20, formando sete conjuntos de canais simétricos, conforme apresentado na Figura 6.6. Dois eletrodos localizados logo abaixo das orelhas do participante (CMS/DRL) são utilizados como referência, sendo um para o hemisfério esquerdo da cabeça e o outro para o direito.

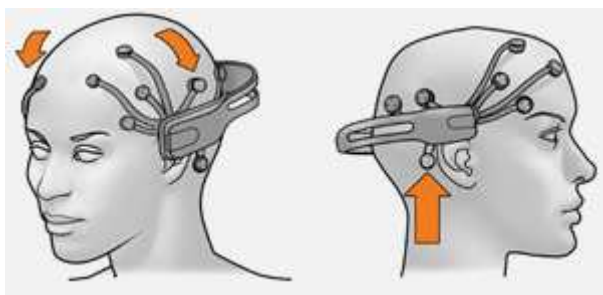
Os sinais analógicos dos canais EEG foram digitalizados a uma frequência de 2048 Hz e amostragem 128 Hz por canal, cujos dados são enviados para um computador via Bluetooth (BADCOCK et al., 2013; KHUSHABA et al., 2013). Uma chave USB é utilizada no computador para se comunicar com o *headset* usando uma banda 2.4GHz. Antes de posicionar o *headset* na cabeça do participante, todas as espumas de feltro dos sensores devem ser umedecidas com uma solução salina.

Figura 6.4 – Headset Emotiv EPOC.



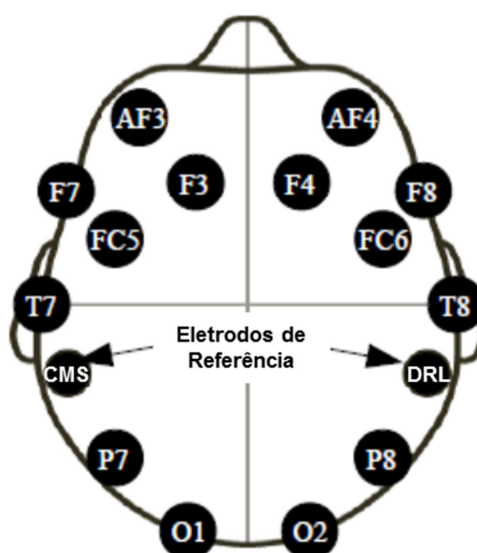
Fonte: <http://www.tomsguide.com/us/wowwee-rovio-spy-robot,news-6598.html>

Figura 6.5 – O headset Emotiv EPOC posicionado na cabeça e apresentado nas vistas frontal e lateral.



Fonte: <http://emotiv.com/eeg/setup.php>

Figura 6.6 – Disposição dos 14 eletrodos do Headset Emotiv EPOC para registro de dados EEG



Fonte: Esfahani & Sundararajan (2011)

O sistema Emotiv oferece seis diferentes pacotes de *software* SDK (Software Development Kit), que concedem o controle do *headset* para garantir que nenhum dado seja perdido, e podem conter até quatro programas diferentes (Quadro 6.1). Para o estudo desta tese foi utilizada a edição Education, incluindo o Painel de Controle Emotiv; o EmoComposer, um emulador para simular os sinais EEG; o EmoKey, uma ferramenta para mapear os vários eventos detectados pelo *headset*; o TestBench e um API (Application Programming Interface) atualizado para captura dos dados brutos de cada sensor individualmente.

Quadro 6.1 – Emotiv SDKs.

Edição SDK	Licença	Software incluso
Lite	Individual	Control Panel, EmoComposer, EmoKey
Developer	Individual	Control Panel, EmoComposer, EmoKey, Basic API
Research	Individual	Control Panel, EmoComposer, EmoKey, TestBench, Raw EEG data API
Enterprise	Empresas	Control Panel, EmoComposer, EmoKey, TestBench, Basic API
Enterprise Plus	Empresas	Control Panel, EmoComposer, EmoKey, TestBench, Raw EEG data API
Education	Institutos educacionais	Control Panel, EmoComposer, EmoKey, TestBench, Raw EEG data API

Fonte: <http://www.emotiv.com>

Nas seções seguintes, os dois principais aplicativos, Control Panel e TestBench, do sistema Emotiv serão apresentados.

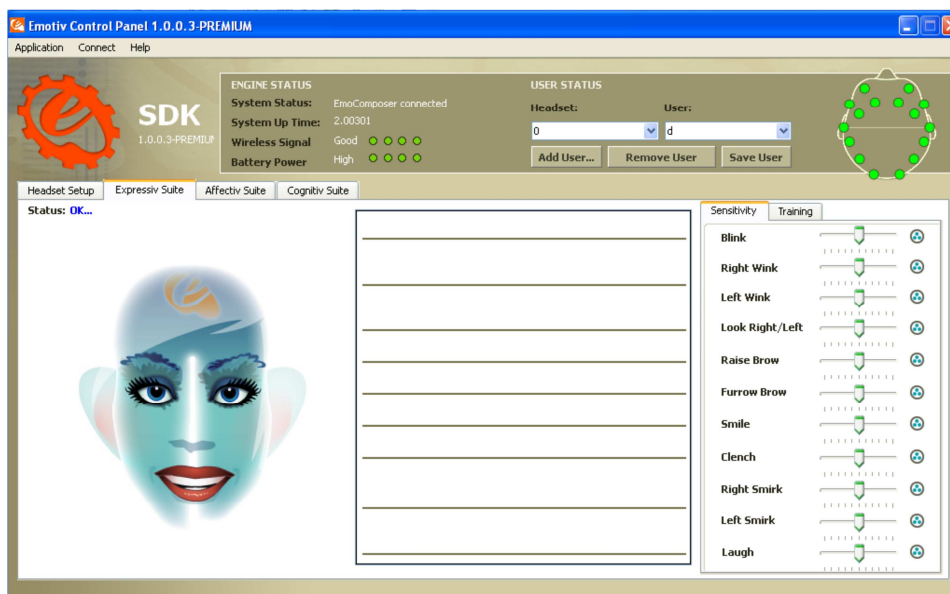
6.2.1 Control Panel

O Emotiv Control Panel corresponde a uma interface gráfica que funciona como porta de entrada para o uso do headset EPOC. O software supervisiona a conexão com o headset, pré-processa e classifica os sinais de entrada, gerando *feedback* para o usuário, e permite ao mesmo criar um perfil e treinar pensamentos e ações. O Control Panel inclui as suites Expressiv, Affectiv e Cognitiv, assim como um emulador de mouse que permite ao usuário controlar o mouse a partir dos movimentos com a cabeça utilizando o *headset*.

A Expressiv Suite é projetada para medir as expressões faciais com base na leitura EEG. Esta pode reconhecer 12 ações: piscar dos olhos, piscar o olho direito ou esquerdo, olhar para a direita/esquerda, levantar sobrancelha, franzir a testa, sorrir, sorrir para a

direita/esquerda e gargalhar. Esta ação fornece *feedback* combinando os sinais de entrada simulados na face de um avatar que imita as expressões do usuário (Figura 6.7).

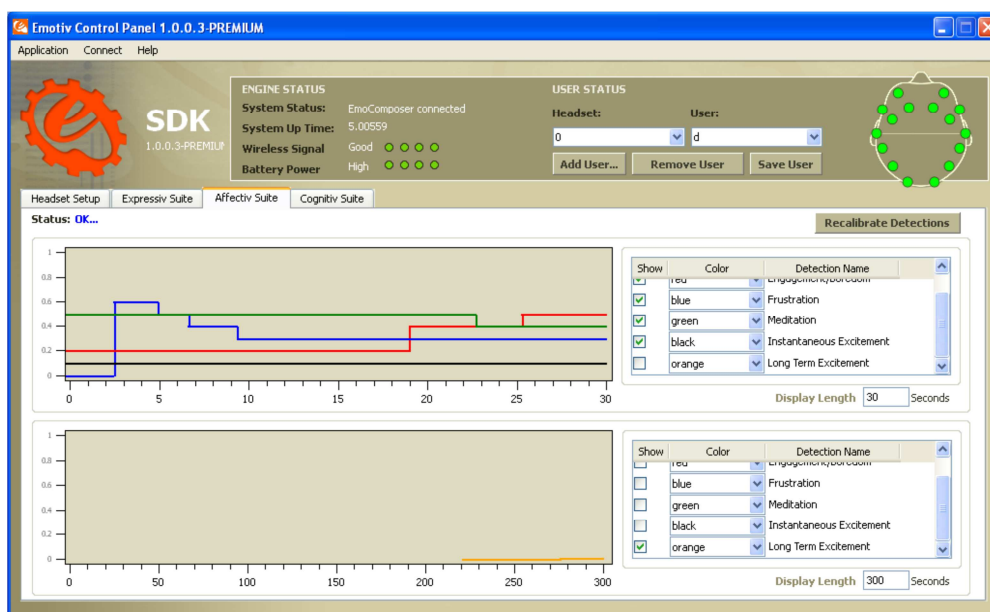
Figura 6.7 – Expressiv Suite



Fonte: <http://www.emotiv.com/>

Affectiv Suite monitora o estado emocional do usuário como: engajamento/tédio, frustração, meditação, emoção instantânea e emoção em longo prazo (Figura 6.8).

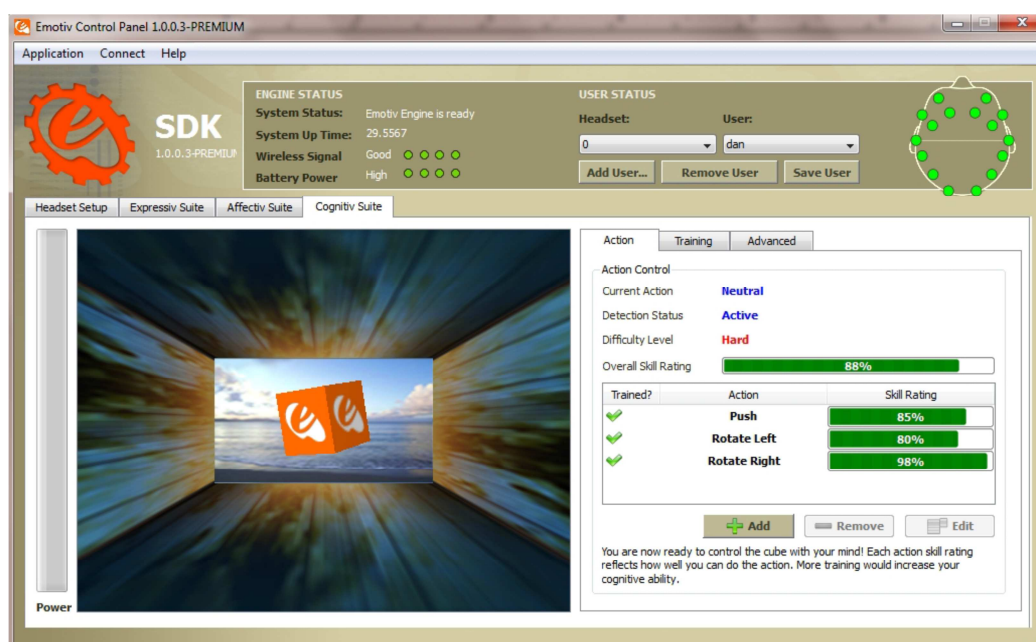
Figura 6.8 – Affectiv Suite.



Fonte: <http://www.emotiv.com/>

A Cognitiv Suite monitora e interpreta os pensamentos conscientes do usuário como: puxar, empurrar, levantar, baixar, esquerda, direita, rotacionar para esquerda/direita, girar sentido horário/anti-horário, girar para frente e para trás, desaparecer, assim como o estado neutro passivo. O *software* Emotiv proporciona as informações na forma de um cubo flutuante que responde aos pensamentos reconhecidos (Figura 6.9).

Figura 6.9 – Cognitiv Suite

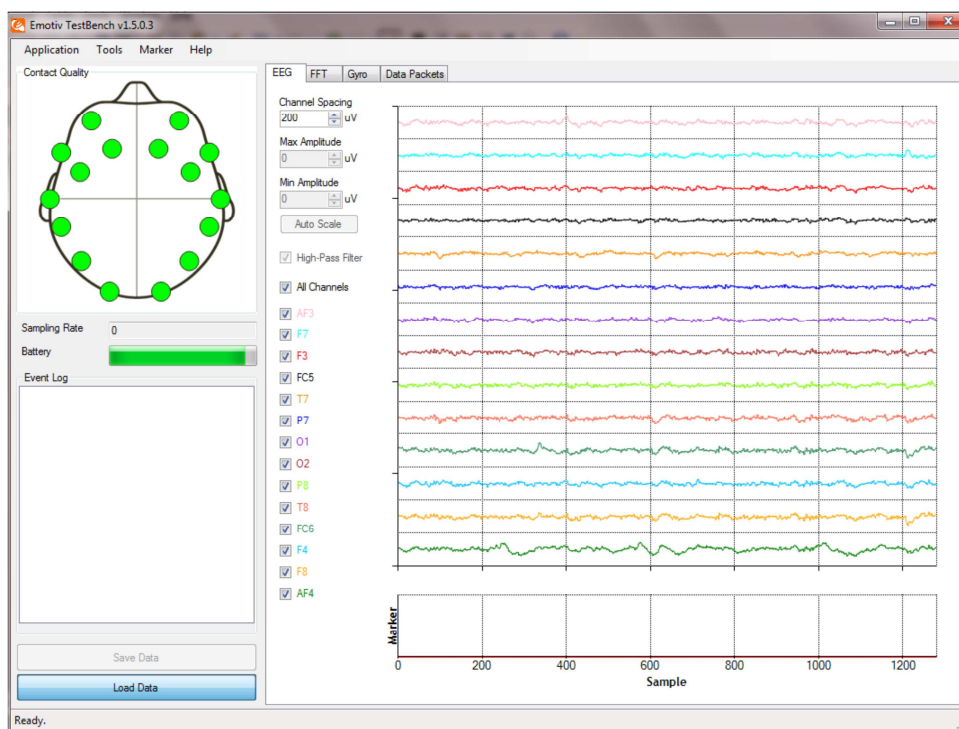


Fonte: <http://www.emotiv.com/>

6.2.2 TestBench

O *software* TestBench fornece uma visualização em tempo real do fluxo de dados do Emotiv headset. Este fornece um *feedback* sobre a qualidade de contato EEG de cada sensor, bem como os dados giroscópio, informações do pacote *wireless* e a vida útil da bateria (Figura 6.10). Além disso, o TestBench pode gravar, salvar e reproduzir os dados em European Data Format (.edf), como também converter os dados salvos em EDF para o formato Comma-separated Value (.csv).

Figura 6.10 – Medidas EEG em tempo real com o TestBench



Fonte: <http://www.emotiv.com/>

Em adição, o aplicativo pode demonstrar dados das bandas Delta, Teta, Alpha e Beta, ou uma banda personalizada definida pelo utilizador, seguindo as seguintes características²⁵:

- **Delta (0.5-4Hz)** – indica sono profundo, sossego e, inversamente, excitação ou agitação quando as ondas delta são suprimidas;
- **Teta (4-8Hz)** – Indica estado de meditação profunda, devaneios e tarefas automáticas;
- **Alfa (8-15Hz)** – indica precaução relaxante, estado de repouso e meditativo;
- **Beta (15-30Hz)** – Indica vigília, atenção, envolvimento mental e processamento consciente de informações.

²⁵ <http://www.emotiv.com/>

6.3 Eletroencefalografia aplicada ao design de produtos

Nos estudos de neuroergonomia, Parasuraman e Rizzo (2007), ressaltam a importância do EEG como uma ferramenta para pesquisas do desempenho das tarefas, tais como carga da tarefa, esforço mental, fadiga mental e nível de excitação. Os pesquisadores identificaram que as mudanças no desempenho das tarefas podem ser automaticamente detectadas e medidas utilizando algoritmos que combinam parâmetros do espectro de potência do EEG em funções multivariadas, correspondendo a um método eficaz para medir as variações da carga cognitiva.

Durante uma avaliação da usabilidade, os participantes podem fazer muito mais do que simplesmente completar uma tarefa e preencher um questionário, podem também sorrir, remexer na cadeira e tamborilar os dedos na mesa. Estes correspondem a alguns dos gestos que representam o comportamento do usuário e que podem ser importantes dados para a avaliação da usabilidade (TULLIS; ALBERT, 2008). Muitos recursos são utilizados para verificação da satisfação humana a partir do comportamento emocional, expressado por gestos verbais e não verbais. A forma do trato vocal, a mudança de tom e o comportamento no processo do discurso, como por exemplo, duração e pausa, são algumas das funcionalidades que vêm sendo usadas para aferir a emoção humana a partir dos sinais auditivos (SCHERER, 2003).

As expressões faciais correspondem a um comportamento não verbal e têm muito a revelar sobre a experiência do participante (TULLIS; ALBERT, 2008). A disposição de alguns pontos específicos na face é utilizada para encontrar uma correlação entre emoção e expressão facial (PANTIC; ROTHKRANTZ, 2000). No entanto, Esfahani e Sundararajan (2011), alertam para o fato de que a identificação da expressão facial está limitada à interação face a face e que nem sempre pode ser percebida pelo pesquisador.

Algumas pesquisas também interpretam a satisfação a partir de sinais fisiológicos como a frequência cardíaca e a temperatura periférica (ANTTONEN; SURAKKA, 2005; KIM; BANG; KIM, 2004; TULLIS; ALBERT, 2008). Apesar da possibilidade do uso dos recursos citados, a avaliação da satisfação do usuário ainda corresponde a um desafio pelo fato desta ser um estado interno e que não pode ser totalmente mensurado através do comportamento. Este fator desencadeou a ideia de utilizar os recursos da Eletroencefalografia para mensurar a satisfação do usuário em diversas situações, incluindo a usabilidade de produtos.

Conforme visto nos itens anteriores, as tarefas mentais ativam certas partes do cérebro e a Interface Cérebro Computador tem como objetivo detectar estas atividades a partir dos padrões EEG e relacioná-las com o estado emocional (ESFAHAN; SUNDARARAJAN,

2011). Coan e Allen (2004), a partir de uma revisão de literatura, comprovaram que a assimetria na atividade frontal EEG tem sido associada de forma consistente a constructos relacionados com a motivação e a emoção.

Neste âmbito, Esfahani e Sundararajan (2011), realizaram experimentos utilizando a coleta da atividade cerebral a partir de uma interface cérebro computador para estimar o nível de satisfação. Para tal, usuários utilizaram o *headset* EPOC para controlar os movimentos de um robô a partir da imaginação mental, sendo que o mesmo comando não era atendido como resposta pelo robô para que o nível de satisfação emocional do usuário fosse afetado e então mensurado. Como resultado, o experimento comprovou uma acurácia de 79,2% de detecção do nível de satisfação baseado no EEG.

Um número de estudos também vem sendo realizado na área de *marketing*, a fim de investigar as mudanças na atividade do cérebro enquanto participantes observavam comerciais de TV. Estes estudos indicaram que a quantidade de atividade cortical das áreas frontal e parietal era alta para os comerciais de TV que foram lembrados, em comparação com a atividade provocada pelos que foram esquecidos (OHME et al., 2010; ASTOLFI et al., 2008). A atividade da banda alpha foi observada nas regiões occipitais, assim como também foi observada a atividade teta na linha média e nas regiões corticais frontais para os comerciais mais lembrados.

Para testes de design utilizando EEG, principalmente para *websites*, dispositivos de rastreamento ocular (*eye-tracking*) também são utilizados de forma complementar. As informações fornecidas por um sistema de rastreamento ocular podem ser bastante úteis nos testes de usabilidade, pois permitem ao pesquisador saber para onde o participante está olhando em tempo real.

Nos estudos de Khushaba et al. (2013), o sistema *headset* emotiv foi utilizado em conjunto com um *eye-tracking* para análise das mudanças espectrais EEG em um contexto de simples escolha (decisão), projetado para medir características específicas na escolha do participante por produtos que mais lhe agradavam.

Conforme os estudos apresentados, pesquisas vêm sendo realizadas aplicando a neurociência ao design, mas ainda não proporcionaram estudos significativos na aplicação da EEG na avaliação da usabilidade. Em *neuromarketing*, a maioria das pesquisas tem coletado os dados EEG relativos à cognição, emoção e de preferências, enquanto que pesquisas em neuroergonomia têm coletado dados relativos às consequências da tarefa.

Neste panorama, uma grande oportunidade de pesquisa se apresenta no uso de métodos e tecnologias da interface cérebro computador para a avaliação da experiência e dos aspectos

emocionais do usuário, principalmente quanto aos estudos voltados para a usabilidade do produto com a abordagem EEG.

6.4 Considerações finais do capítulo

A aplicação da neurociência no design (*Neurodesign*), mais particularmente na avaliação da usabilidade, ainda está na fase da infância, mas oferece perspectivas futuras promissoras. O estado da arte atual em *neurodesign* está focado no conceito do design do produto pelo usuário e, até o momento, ferramentas biométricas são aplicadas comercialmente nas pesquisas de *marketing* para avaliar novos produtos. À medida que experiências com pesquisas em neurociência crescem, estas podem ser aplicadas mais objetivamente na construção de problemas mais complexos, que frequentemente são encontrados na usabilidade de produtos.

A partir dos exemplos de pesquisas descritos ao longo do capítulo, torna-se claro que a ciência do cérebro vem se tornando uma das principais prioridades da comunidade científica. Altos investimentos são aplicados para tornar esta tecnologia menos invasiva ao usuário e mais acessível aos pesquisadores de outras áreas que não a medicina, como por exemplo, o sistema Emotiv EPOC que vem sendo utilizado nas áreas de marketing e ergonomia.

No entanto, apesar da importância dos estudos sobre o funcionamento interno do cérebro humano para a vida cotidiana, a neurociência ainda tem uma pequena participação na maioria das atividades profissionais. Hevner et al. (2014), acrescentam que muitas das pesquisas que vêm sendo realizadas nesta área têm sido muito bem sucedidas na produção de uma grande quantidade de dados ‘neurocientíficos’, mas sem traduzi-los em conhecimento.

Contudo, compreendemos que, com a continuidade destas pesquisas muitas questões podem e devem ser respondidas pela neurociência, que vem desempenhando um papel significativo no avanço da compreensão do comportamento humano através do cérebro. Com o mesmo empenho, pesquisadores da área do design podem também se beneficiar do uso destas tecnologias emergentes.

O estudo de caso II, descrito no capítulo 8, tem como objetivo aplicar o conhecimento da neurociência como uma tecnologia emergente na avaliação da usabilidade, aplicando a eletroencefalografia na compreensão da satisfação do usuário na interface com o produto, utilizando o sistema Emotiv EPOC.

Capítulo 7

Estudo de Caso I: Ambiente Virtual e Protótipos

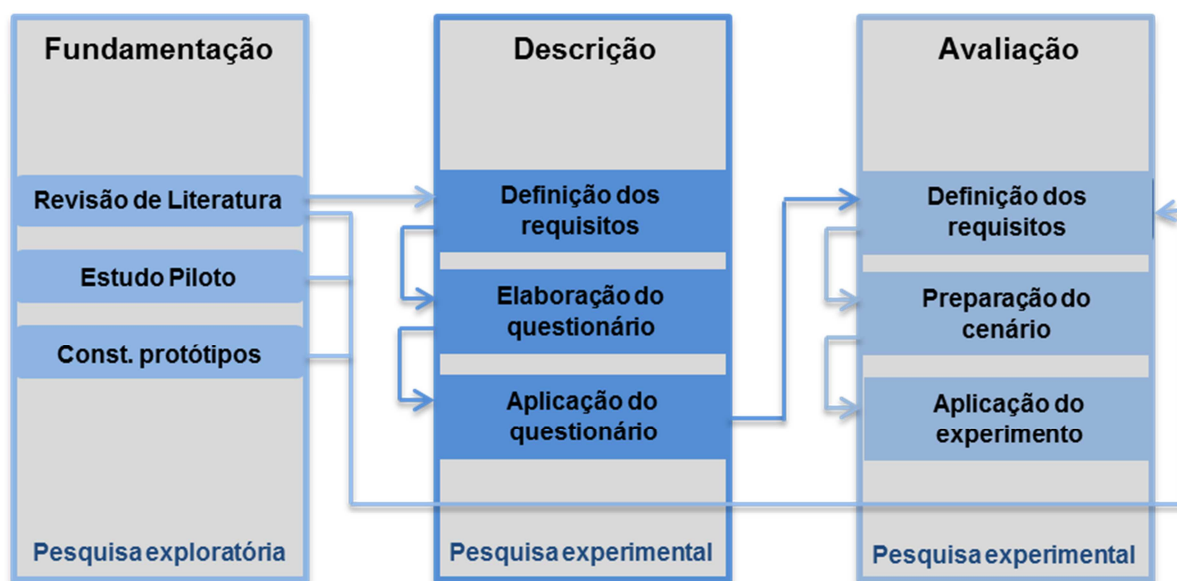
No capítulo 5 a Realidade Virtual foi abordada como uma ferramenta de auxílio ao design desde as primeiras fases do desenvolvimento de produtos. No capítulo 3 um estudo piloto foi descrito, utilizando a avaliação heurística no produto real, com o objetivo de testar o método de pesquisa e elaboração dos demais estudos de caso desta tese. O estudo de caso I descrito neste capítulo possui dois objetivos, um componente descritivo e outro avaliativo. O objetivo descritivo consiste em obter *insights* sobre o conhecimento dos designers e estudantes de design sobre os temas realidade virtual e protótipo virtual, abordado no capítulo 4, a partir da aplicação de um questionário. O segundo objetivo consistiu em avaliar a possibilidade de uma avaliação da usabilidade em ambiente virtual ainda na fase inicial do design de produtos. Para tal foi realizado um estudo comparativo entre protótipos físico e virtual.

O capítulo foi dividido em três tópicos principais. O primeiro descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento dos experimentos. O segundo tópico descreve o primeiro experimento realizado a partir de um questionário sobre Realidade Virtual e Prototipagem Virtual, e finalmente, o último tópico aborda o estudo experimental da avaliação da usabilidade em ambiente virtual com protótipos, seguido por um estudo comparativo.

7.1 Metodologia do estudo de caso I

O estudo de caso I foi desenvolvido em três fases: Fundamentação, Descrição e Avaliação, conforme representado na Figura 7.1.

Figura 7.1 – Distribuição das três fases do estudo de caso I.



Fonte: A autora

A primeira fase da pesquisa compreendeu a contextualização dos temas abordados com base na revisão de literatura dos capítulos anteriores, do teste piloto para a escolha do produto e a construção dos modelos de protótipos. Os conhecimentos gerados foram aplicados na construção dos experimentos realizados nos dois estudos de caso, o primeiro descritivo e o segundo avaliativo.

O primeiro estudo de caso consistiu na aplicação de um questionário com designers e estudantes da graduação em Design, com base em três objetivos principais. O primeiro foi ter acesso a visão de cada entrevistado sobre o seu conhecimento dos temas abordados; o segundo investigar a situação atual sobre o uso de protótipos virtuais e simulação em realidade virtual; e por fim verificar a opinião dos entrevistados sobre a aplicação das duas tecnologias.

O segundo estudo consistiu na realização de uma tarefa de análise com dois tipos de protótipos (um virtual e um físico) e a aplicação de um questionário de avaliação da experiência dos usuários e estudo comparativo entre os protótipos. O objetivo desta fase da pesquisa consistiu em verificar as seguintes questões:

- Os testes com protótipos virtuais podem auxiliar designers na avaliação da usabilidade?
- Os testes com protótipos virtuais permitem ao usuário ficar envolvido com a atividade de avaliação.

7.2 Questionário sobre RV e Prototipagem Virtual

O questionário teve como foco a abordagem de dois dos temas abordados nesta tese, a Realidade Virtual e a Prototipagem Virtual (vide apêndice C). Este foi elaborado consistindo em quatro partes: Informações importantes, dados do entrevistado, prototipagem e realidade virtual. A primeira parte teve como objetivo apresentar uma visão geral sobre o tema da pesquisa e o propósito do questionário. Na segunda parte foram solicitados dados dos participantes sobre a sua ocupação e onde atuam como designers. Com base nas respostas, os mesmos foram distribuídos em dois grupos: profissionais e estudantes.

Nas duas seções seguintes a maior parte das questões era no formato 'perguntas em aberto', visto que as respostas cobriam uma ampla gama e eram de difícil previsão. As perguntas abordaram questões sobre a experiência do design com o uso da prototipagem virtual e da realidade virtual. A fim de evitar que o questionário tomasse muito o tempo dos participantes, foram previstas apenas 12 questões concisas. Ao final do questionário foi prevista uma área para que os participantes pudessem escrever suas observações, sugestões, críticas e comentários, caso julgassem necessário.

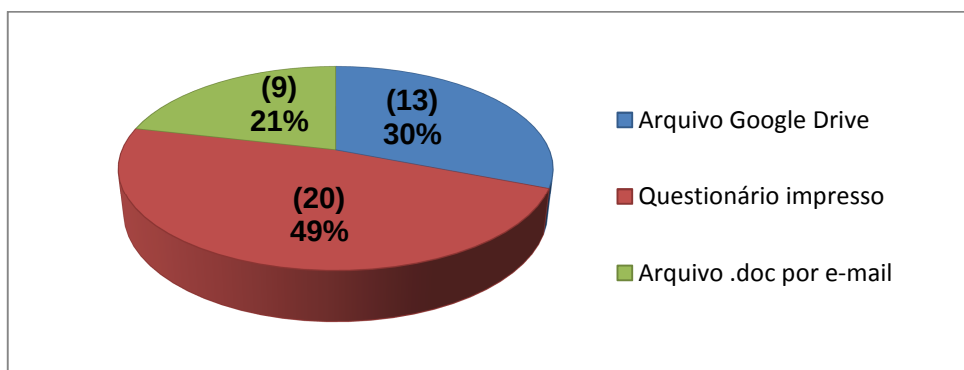
O questionário foi desenvolvido no *software* Microsoft Word (arquivo .doc) e enviado por *e-mail* para professores de designers e profissionais que atuam na área do design em todo o Brasil. Outro meio de divulgação consistiu em gerar um arquivo utilizando a plataforma Google Drive²⁶, que possibilitou a divulgação através dos sites de redes sociais LinkedInTM e FacebookTM. A escolha por estes meios de pesquisa foi motivada pelos estudos de Kim et al. (2011), no qual o ambiente de internet e tecnologias *web* podem ser considerados como uma excelente oportunidade para obter a voz dos diversos tipos de usuário em pouco tempo e com menor esforço.

Além disso, a pesquisa também foi realizada com um grupo de alunos da graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), utilizando tanto os recursos da internet, como também a aplicação do questionário em sala de aula de forma impressa. A

²⁶ <https://drive.google.com>

Figura 7.2 apresenta a distribuição em percentagem dos questionários respondidos a partir de cada meio de divulgação, no qual o valor entre parênteses corresponde ao número de questionários.

Figura 7.2 – Distribuição dos questionários respondidos de acordo com o meio de divulgação.



Fonte: A autora

O período da pesquisa ocorreu entre os meses de junho a novembro de 2013 e obteve o número de 42 participantes. O nome dos participantes foi omitido e utilizado apenas pelo pesquisador a fim de evitar duplicidade, visto que o questionário foi divulgado por diferentes meios. Os participantes alvos foram designers e estudantes da graduação em Design de diversas instituições, no entanto o questionário também foi aplicado com alunos da pós-graduação em Design que atuam em outras áreas. A razão por selecionar profissionais de outras áreas, mas que também atuam na área de design, foi que as respostas de diferentes ocupações podem apresentar diferentes perspectivas de observar o mesmo fato, e que pode proporcionar ao pesquisador uma gama maior de informações. O Quadro 7.1 apresenta a distribuição dos respondentes de acordo com as suas ocupações e localidade.

Quadro 7.1 – Classificação dos participantes de acordo com ocupação e localidade.

# participantes	Área profissional	Localidade
Estudantes da graduação de Design		
11		Pernambuco
Profissionais e professores de Design		
19		Pernambuco
2		Paraíba
1		Maranhão
1		Paraná
1		Santa Catarina
2		São Paulo
1		México
Profissionais de outras áreas		
2	Arquitetura	Pernambuco
1	Fisioterapia	Pernambuco
1	Planejamento	Pernambuco

Fonte: A autora

Apesar dos vários recursos de divulgação, apenas 42 questionários válidos foram respondidos. Provavelmente muitos dos designers convidados por *e-mail* e redes sociais não estavam interessados nas questões da pesquisa, e por esta razão não retornaram o questionário. Conforme observado no Quadro 7.1, a maior concentração de respondentes, no total de 80%, foram do estado de Pernambuco, sendo este resultado esperado pelo fato do pesquisador e orientador pertencerem a UFPE. Este fator foi útil para a avaliação dos meios de divulgação em futuras pesquisas. Por exemplo, as redes sociais disponíveis ainda estão limitadas a rede de conhecimento do usuário, neste caso o pesquisador, e alguns esforços são necessários para divulgar o questionário para diferentes redes a partir desta ferramenta.

7.2.1 Resultados do questionário

Na elaboração do questionário, para permitir uma lista de perguntas consistentes e sequenciais, as questões foram divididas em duas partes, sendo as questões de número 1 a 8 sobre prototipagem e as questões 9 a 12 sobre realidade virtual. No final do questionário foi adicionada uma seção para permitir que os entrevistados expressassem suas sugestões e comentários sobre a pesquisa. A maioria das perguntas tinha o formato aberto, sendo apenas cinco de múltipla escolha.

Os dados foram coletados conforme a natureza das perguntas. As perguntas de múltipla escolha foram tratadas através de estatística simples, a partir do cálculo de frequência, e nas perguntas abertas foi utilizada a análise de conteúdo. Todas as respostas obtidas com os questionários enviados pela internet e pelos respondidos de forma física foram tratadas em conjunto, visto que foi utilizado o mesmo formulário de questões. O conteúdo obtido foi representado a partir de gráficos e tabelas-síntese, conforme apresentado a seguir.

Parte 1: Prototipagem

Na primeira parte, as questões de 1 a 4 abordaram o conhecimento do respondente sobre a prototipagem virtual. Mais adiante, as questões 5 a 8 tiveram como objetivo encontrar a diferença entre o protótipo virtual e o físico, a partir de uma abordagem comparativa, ou seja, comparando as vantagens e desvantagens do uso de cada ferramenta. Os parágrafos a seguir apresentam os resultados do estudo e análise das respostas.

A primeira pergunta abordou o uso da prototipagem virtual na apresentação de projetos, e 15 dos respondentes apontaram que não utilizam este recurso. Os demais 27 respondentes afirmaram que sim, e foram solicitados a indicarem na segunda pergunta quais os tipos de prototipagem virtual utilizavam. Os respondentes indicaram que utilizam protótipos em duas e três dimensões para modelagem de produtos, construção de maquetes digitais e de cenários, indicando os softwares CAD, 3D SolidWorks, 3D-Revit, 3D Studio Max, Sketchup e Maya, como também os softwares 2D Photoshop e CorelDraw. As respostas da questão 2 mostraram que várias ferramentas de prototipagem são conhecidas e utilizadas para uma ampla gama de produtos, sendo apontado o uso em diversos produtos como: embalagens, sinalização, objetos de aprendizagem e livros digitais.

Dando continuidade a experiência dos respondentes com protótipos virtuais, a questão 3 solicitava que fossem indicadas situações de uso desta tecnologia. A Tabela 7.1 demonstra as várias possibilidades de uso dos protótipos virtuais apontadas e o número de respostas.

Tabela 7.1 – Respostas da questão 3.

	# respostas	Possibilidades de uso do PV
Apresentação	14	Apresentação do produto para o cliente
	10	Visualização do produto para análise
	1	Apresentação para a equipe de projeto
	1	Criação e apresentação de trabalhos acadêmicos
Verificação	6	Testes de usabilidade do produto
	1	Pesquisas com o consumidor
Modelagem	1	Modelagem do produto para Realidade Aumentada
	1	Para impressão em 3D
Manufatura	1	Simulação para cálculo de matérias e gastos de produção
	1	Construção das partes do produto para manufatura
	1	Detalhamento das configurações de projeto

Fonte: A autora

Para uma melhor compreensão da tabela acima, as respostas foram classificadas em quatro grupos: Apresentação, verificação, modelagem e manufatura. O grupo Apresentação, que obteve o maior número de respostas, apresenta o protótipo virtual como uma ferramenta utilizada na demonstração do produto. Este pode ser utilizado pelo designer para visualização do projeto, verificação de falhas e avaliação dos fatores estéticos e funcionais, como para apresentação do projeto ao cliente, opção que obteve o maior número de respostas. Neste contexto, o protótipo virtual poderia ser utilizado para apresentar o projeto ao cliente, exemplificando o seu uso e, principalmente, convencendo-o sobre a qualidade do projeto.

O segundo grupo mais apontado corresponde a Verificação, sendo o protótipo virtual utilizados nos testes de usabilidade, dando suporte ao que vem sendo apontado nos capítulos anteriores da revisão de literatura. Apesar de ter obtido um número menor de respostas, o protótipo virtual também pode ser uma importante ferramenta na fase de modelagem e detalhamento do projeto para a manufatura.

A seguinte resposta representa como o protótipo virtual vem sendo utilizado pela indústria:

“O produto é configurado em ambiente virtual em software com visualização 3D (Solidworks), onde são feitos testes e simulações de dimensões, formas, cores, materiais, montagens, inclinações, curvatura, etc...em seguida é feito o protótipo físico em tamanho real através do modelo desenhado em 3D por impressoras 3D ou CNCs que utilizam os dados cartesianos destes modelos e transformam em um modelo físico real com as mesmas características do virtual construído no software.”

Na questão seguinte, para uma análise comparativa com a pergunta anterior, foi solicitado aos avaliados responderem quais problemas e/ou limitações os mesmos têm encontrado no uso do protótipo virtual. A Tabela 7.2 apresenta o resultado das respostas obtidas.

Tabela 7.2 – Respostas da questão 4.

	# respostas	Problemas e/ou limitações do PV
Softwares 3D	5	Limitações no uso dos softwares
	4	Complexidade dos softwares
	3	Pouco conhecimento e/ou habilidade dos softwares
	2	Custo elevado dos softwares
Protótipo virtual	5	Pouca fidelidade comparada ao produto real
	4	Pouca interação entre usuário-produto
	1	Custo e tempo de desenvolvimento

Fonte: A autora

Conforme Tabela 7.2, os principais problemas estão ligados aos *softwares* utilizados para modelagem dos protótipos virtuais. Uma das limitações apontadas corresponde a dificuldade para modelagem de produtos de maior complexidade a partir de um *software 3D*, sendo necessário recorrer a mais de um, gerando dificuldades de importação/exportação de arquivos. Outro fator que limita o uso corresponde a pouca habilidade de muitos usuários ao utilizar o *software* devido a sua complexidade.

Com resultados semelhantes, a interação do protótipo virtual com o usuário sofre limitações quanto a pouca fidelidade dos materiais de acabamento e, principalmente, quanto às sensações táteis. Ou seja, o usuário precisa manusear o produto e sentir a sua textura, peso, volume, etc., sendo este fator, de acordo com os respondentes, insuficiente nos protótipos virtuais.

As questões 5 e 6 foram elaboradoras com o objetivo de uma análise comparativa entre os protótipos virtuais e físicos. A Tabela 7.3 apresenta as respostas para os protótipos virtuais e a Tabela 7.4 para os protótipos físicos.

Tabela 7.3 – Respostas da questão 5.

# respostas	Vantagens do PV
20	Custos menores de produção
19	Menor tempo de produção
11	Facilidade para alterações no protótipo
8	Evita desperdícios no descarte de materiais
5	Praticidade
4	Maior segurança ao usuário na simulação
3	Aplicado no estudo preliminar para ajustes e correções
2	Maior precisão
2	Facilidade no deslocamento
1	Testes para projetos de engenharia

Fonte: A autora

Tabela 7.4 – Respostas da questão 6.

# respostas	Vantagens do PF
12	Melhor interação física com o usuário
10	Melhor percepção física do produto
7	Aplicado na etapa final do projeto
3	Aplicado a produtos de maior complexidade
1	Análise da interação entre objetos
1	Quando se dispõe de recursos e tempo

Fonte: A autora

Os resultados das duas tabelas acima mostraram que a maioria dos entrevistados vem experimentando os benefícios e limitações do uso de protótipos virtuais e físicos. Em resumo às questões abordadas, a prototipagem virtual oferece maiores vantagens a prototipagem física nos primeiros estágios do projeto, a partir dos seguintes aspectos:

- Maior economia e menor desperdício;
- Tempo de execução;
- Facilidade de modificação;

Comparado ao protótipo virtual, o protótipo físico foi visto como mais vantajoso na etapa final do projeto, visando os últimos ajustes para a produção, com base nos seguintes aspectos:

- Melhor interação com o usuário por melhor explorar o sentido tátil;
- Fidelidade às dimensões reais do objeto (volume, forma, proporções e peso)

Os relatos dos usuários foram um dos principais objetivos deste estudo de caso e as considerações obtidas a partir das respostas a estas duas últimas questões foram bastante consistentes, e particularmente importantes para a compreensão da aplicação destas tecnologias. A seguir, com o propósito de resumir os benefícios de cada tecnologia, será descrita a resposta de um dos usuários às questões 5 e 6, que tratam respectivamente da análise comparativa entre os protótipos virtuais e físicos:

Questão 5: “Muito importante para a própria confecção do produto, para uma apresentação e visualização das suas características em primeira fase (mostrar o projeto para os empresários, investidores)... assim como, em relação a testes mecânicos feitos pela equipe de engenharia, como simulações de resistência de superfícies, impactos, resistência a temperaturas, fluxo de materiais, deformidades, etc...mas não exclui que o passo seguinte seja a prototipagem física.”

Questão 6: “Nunca por mais que se domine a modelagem em 3D se terá a mesma sensação que o produto traduz em seu tamanho real no estado físico. Esta sensação real do produto em dimensões, proporções, harmonia, textura, cor, funcionamento, nos dá uma garantia mais certa na execução do projeto, nos ajuda a enxergar possíveis erros e nos dá a chance de corrigi-los antes da confecção do produto.

As questões 7 e 8 abordaram a experiência do respondente quanto a necessidade de utilizar simultaneamente os dois tipos de prototipagem apresentados no questionário. As questões foram elaboradas no intuito de compreender a experiência de designers quanto a conversão rápida entre os dois protótipos e se existem outras formas de abordagem além das apontadas no capítulo 4.

As respostas demonstraram que 15 respondentes afirmaram ter usado protótipos virtuais e físicos em um mesmo experimento, enquanto que 22 respondentes não tiveram essa experiência, e 5 não responderam. Duas razões predominaram nas respostas quanto a situação em que os protótipos virtual e físico foram utilizados conjuntamente:

- Apresentação do modelo físico como complementar ao virtual, para validá-lo quanto aos aspectos de tocar e manipular;
- O protótipo físico é geralmente de baixa qualidade, utilizando materiais como a madeira, isopor e cartolina, para análise das características físicas do produto e o protótipo virtual é utilizado para análise estética.

A partir destas considerações, dois resultados foram identificados:

- Em algumas situações em que a prototipagem virtual ou física pode atender aos requisitos de testes de design de forma independente, utilizar os protótipos em conjunto pode não ser necessário.
- Em outras situações, a utilização simultânea dos dois tipos de protótipos é necessária, porém de forma complementar.

Parte 2: Realidade Virtual

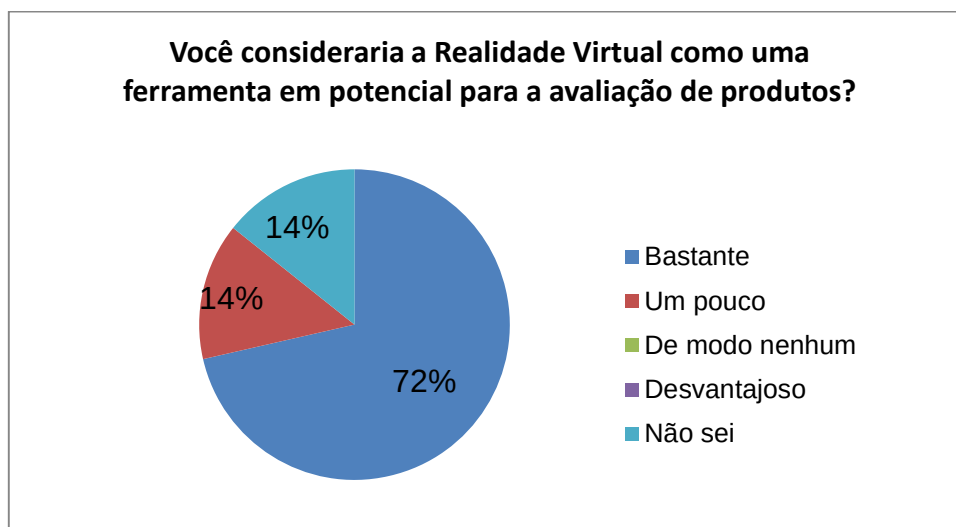
A segunda parte do questionário teve como objetivo explorar o conhecimento dos respondentes quanto à tecnologia RV descrita no capítulo 5. Inicialmente, na questão 9, um número de 35 respondentes afirmaram conhecer a Realidade Virtual e apenas 7 responderam não conhecer.

Na questão 10 foi perguntado se em alguma ocasião foram realizados testes com produtos utilizando a RV. Houve apenas 6 respostas afirmativas e as 36 restantes indicaram que os respondentes nunca utilizaram a RV com testes de produtos. Na questão 11, os respondentes relataram a sua experiência com a RV, sendo estas:

- a. Avaliação antropométrica e biomecânica de postos de trabalho em ambientes administrativos e ambientes de manufatura;
- b. Avaliação da proporção do produto com a mão humana utilizando a RA;
- c. Desenvolvimento de objetos de aprendizagem para o ensino da geometria utilizando a RA;
- d. Experiências com a RA;
- e. Contratou projeto terceirizado e apenas acompanhou as etapas;
- f. Simulação das instalações de uma universidade.

A última questão do questionário foi de múltipla escolha e tinha como objetivo investigar a opinião do respondente sobre o uso da RV como uma ferramenta em potencial para a avaliação de produtos. A Figura 7.3 apresenta o número de respostas obtidas para cada item.

Figura 7.3 – Gráfico com a quantidade de respostas para cada item sugerido da questão 12



Fonte: A autora

A partir das respostas obtidas nesta segunda parte, foi possível identificar que, apesar da maioria dos respondentes conhecerem a tecnologia da Realidade Virtual, esta não é ainda aplicada plenamente. Tal fator pode ser observado pela resposta dos poucos que responderam de forma afirmativa, porém utilizam a Realidade Aumentada, que corresponde a uma vertente mais simplificada da RV, ou contratam um serviço terceirizado. Apenas dois dos seis respondentes citaram uma experiência com simulação, mas não descreveram em detalhe como foi o experimento. Tal fator pode ser explicado pela pouca experiência tanto dos designers quanto dos usuários em ambientes virtuais, no que dificulta a interação dos mesmos à tecnologia da Realidade Virtual.

7.2.2 Resumo dos resultados do questionário

Apesar do questionário ter sido aplicado de forma predominante em uma localidade, ou seja, o estado de Pernambuco, o conteúdo abordado e a qualidade das respostas ajudaram significativamente no entendimento e desenvolvimento desta pesquisa. Os resultados obtidos apoiaram os questionamentos trazidos pela revisão de literatura dos capítulos 4 e 5, sendo estes apresentados nos parágrafos a seguir.

Cada tipo de prototipagem tem suas vantagens e limitações e a prototipagem virtual não irá substituir a física em sua totalidade. Em adição, foi reconhecida a necessidade de uma utilização simultânea dos dois tipos de tecnologia. No entanto, a utilização simultânea

somente é realizada de uma forma simples, sem a abordagem dos recursos tecnológicos proporcionados pelos sistemas da Realidade Virtual e Aumentada.

Além disso, a pesquisa forneceu evidências do conhecimento dos designers sobre o potencial das tecnologias de simulação em ambiente virtual, evidenciando a necessidade de pesquisas para que estas técnicas se tornem mais proveitosas no ciclo de design.

7.3 Estudo comparativo entre protótipos

Com base na revisão de literatura foi adquirido um conhecimento básico sobre testes de usabilidade com protótipos em um ambiente virtual. As limitações no uso das tecnologias de simulação em ambientes virtuais que foram apontadas no item anterior pelos designers, demonstram a necessidade de estudos práticos para avaliar possibilidades de aplicação destas tecnologias.

Considerando toda a informação coletada no estudo piloto sobre usabilidade, foi desenvolvido um teste de usabilidade para ser aplicado com usuários reais a partir de um estudo comparativo entre os protótipos virtual e físico.

Com base nas heurísticas estudadas no item 3.6, foi escolhido avaliar as configurações físicas do menu do rádio relógio selecionado para os experimentos desta tese. Como o foco principal do experimento consistia em investigar a possibilidade de avaliação do produto pelo usuário utilizando os dois tipos de protótipos, as questões foram direcionadas para que o usuário descrevesse a sua experiência com cada protótipo, e não necessariamente a sua opinião sobre as possíveis inadequações das configurações do menu.

Os testes físicos foram realizados no Laboratório do Departamento de Design da Universidade Federal de Pernambuco, no período de 19 de maio a 9 de junho de 2014.

Considerando que todos os sujeitos são de alguma forma potenciais consumidores de produtos, não houve restrições para a escolha dos participantes. O experimento foi realizado com 15 alunos da graduação do curso de design pertencentes a diversos períodos, que estavam cursando a disciplina Ergonomia e Usabilidade de Produtos e Sistemas. Os participantes foram identificados a partir de um número e a sua quantidade foi estipulada a partir dos estudos de Macefield (2009), descritos no item 3.4, no qual determinava um grupo de 8-25 participantes para obter resultados estatisticamente significativos. Por outro lado, a escolha por estudantes de design se deu por duas razões. Em primeiro lugar, como o experimento seria realizado em um laboratório do departamento de Design, isto facilitaria o deslocamento dos participantes. Em segundo lugar, a participação em testes de usabilidade

seria uma grande oportunidade de aprendizado para a disciplina de Usabilidade, no qual os alunos devem realizar um trabalho em equipe para avaliação da usabilidade de um produto.

7.3.1 Preparação do cenário

A pesquisa consistiu em realizar um estudo da usabilidade com protótipos ainda nos primeiros estágios do ciclo de design do produto e para tal, alguns aspectos precisaram ser considerados tanto no desenvolvimento do protótipo virtual quanto do físico.

O primeiro cenário consistiu no experimento com o protótipo virtual. Para tal, foi utilizado o modelo virtual do rádio relógio construído conforme as etapas descritas no item 4.4.2. Na construção do modelo as características estéticas foram evidenciadas para enfatizar os benefícios do protótipo virtual na avaliação pelo usuário, ou seja, conforme a revisão de literatura e os resultados do questionário do item anterior, o protótipo virtual oferece maiores vantagens na avaliação estética quando comparado ao protótipo físico.

Para a interação com o usuário em ambiente virtual, foi utilizado o *software* eDrawing²⁷, conforme Figura 7.4. A escolha pelo *software* se deu em razão da facilidade de importar o arquivo do protótipo virtual gerado no *software* SolidWorks, como também possuir um aplicativo para iPad, que consistiu no dispositivo de *hardware* utilizado.

Figura 7.4 – Protótipo virtual do rádio relógio visualizado na tela do iPad a partir do software eDrawings

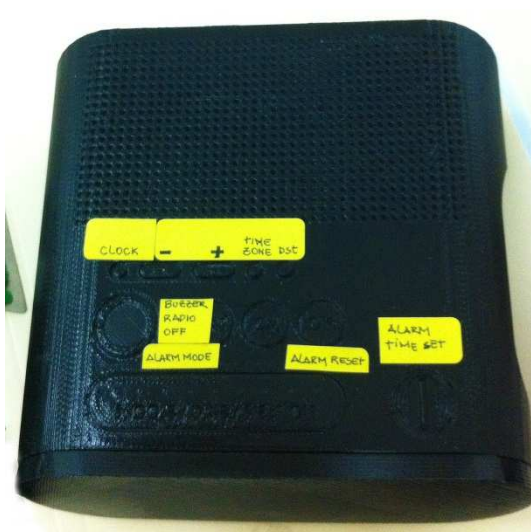


Fonte: A autora

²⁷ <http://www.edrawingsviewer.com/>

O segundo cenário consistiu no experimento com o protótipo físico. Conforme descrito no item 4.4.3, o modelo físico do rádio relógio foi desenvolvido a partir do modelo virtual adotado neste estudo, utilizando a tecnologia da prototipagem rápida, e com as mesmas características. No entanto, o modelo impresso não possuía as indicações das funções de cada botão, conforme o modelo virtual. Desta forma, foram colocadas etiquetas indicativas para que os usuários pudessem identificar as funções de cada botão, conforme Figura 7.5.

Figura 7.5 – Protótipo físico com as etiquetas indicativas dos botões do menu



Fonte: A autora

Durante todo o experimento, os participantes responderam a um questionário (ver apêndice D). Na primeira parte do questionário, foram coletados dados referentes ao participante, a partir de questões abertas, e a sua experiência anterior com rádio relógio e testes com protótipos virtuais, a partir de questões de múltipla escolha Sim/Não. Nenhum dado pessoal que identificasse a identidade do participante foi coletado.

Na segunda parte, o cenário das tarefas a serem realizadas foi descrito, com instruções para que as tarefas fossem realizadas com cada protótipo. A terceira parte corresponde a avaliação da experiência do usuário com os protótipos virtual e físico. Primeiramente o usuário avaliou o protótipo virtual e respondeu as quatro questões referentes ao mesmo. Somente ao finalizar esta etapa, o protótipo físico era apresentado para também ser avaliado da mesma forma que o virtual.

As questões relacionadas a cada protótipo foram elaboradas de forma similar, com base no método de dados auto-relatados. De acordo com Tullis & Albert (2008), Os dados auto-relatados proporcionam importantes informações sobre a percepção do sistema pelo usuário e sua interação com o mesmo. A um nível emocional, os dados podem até mesmo demonstrar algo sobre a forma como os usuários se sentem sobre o sistema.

Ainda segundo Tullis & Albert (2008), as duas melhores fases para a coleta de dados auto-relatados nos testes de usabilidade são no final de cada tarefa e ao final da sessão completa, sendo a escala de avaliação a forma mais eficiente de captura dos dados. Com base neste conceito, as três primeiras questões de cada sessão (1, 2, 3, 5, 6 e 7) foram elaboradas com base na escala Likert e escala de diferencial semântico.

Um item típico na escala Likert corresponde a uma afirmação na qual os entrevistados avaliam o seu nível de concordância. A afirmação pode ser positiva ou negativa, e para tal é usualmente utilizada uma escala de cinco pontos com as seguintes opções: discordo plenamente, discordo, não concordo e não discordo, concordo e concordo totalmente. Alguns pesquisadores preferem diminuir as opções intermediárias e apenas rotulam as duas extremidades, ou pontos de ancoragem. Desta forma, a escala Likert expressa graus de concordância com uma afirmação e utiliza um número ímpar de opções de respostas, permitindo uma resposta neutra (TULLIS & ALBERT, 2008).

De forma similar, a técnica de escala diferencial semântica envolve a apresentação de pares de adjetivos bipolares, ou opostos em cada extremidade, conforme os termos difícil/fácil e visualização pobre/clara das questões 1, 2, 5 e 6.

Conforme Tullis & Albert (2008), rápidas avaliações imediatamente após cada tarefa utilizando a escala de avaliação, pode ajudar a identificar parte das interfaces que são particularmente problemáticas. No entanto, com mais profundidade, as perguntas abertas no final da sessão podem fornecer uma avaliação global eficaz. Desta forma, a última questão relacionada a experiência com o protótipo era de forma aberta, permitindo ao participante tecer seus comentários ou recomendações.

Ao finalizar as duas análises, o usuário era convidado a responder a quarta etapa que correspondia a um estudo comparativo dos dois protótipos. As duas questões desta sessão foram de múltipla escolha e os participantes só poderiam escolher uma das alternativas.

Por fim, os participantes foram convidados a avaliar sobre os procedimentos adotados no teste a partir de uma escala de diferencial semântico, com as extremidades difícil/fácil de seguir, como também tecerem seus comentários e sugestões de forma aberta.

7.3.2 Processo do experimento

O experimento foi iniciado após o cenário da pesquisa ter sido concluído. O horário foi previamente agendado com os participantes conforme a disponibilidade de cada um. Para evitar a troca de informações entre os participantes acerca da investigação, fato que poderia interferir no estudo, estes eram chamados em sala de aula no momento exato do teste. Esta função foi desempenhada por um integrante da equipe do Laboratório de Usabilidade.

Cada participante foi recebido pelo moderador, no caso o pesquisador, que explicava os procedimentos a serem realizados no teste. Logo após, o participante era convidado a ler o termo de consentimento em meio eletrônico (iPad), conforme apêndice E. Se o participante concordasse em participar, o experimento prosseguia da seguinte forma:

1. O participante preenchia a primeira parte do questionário com seus dados.
2. O moderador entregava o iPad e apresentava o protótipo virtual. O participante poderia analisar o protótipo livremente.
3. Após análise, o participante seguia o passo-a-passo das seguintes tarefas: 1. Ajuste da hora; 2. Ajuste do alarme e 3. Desligar o alarme. O protótipo era analisado a partir da simulação em ambiente virtual das tarefas sugeridas.
4. Ao concluir as tarefas, o participante preenchia as questões referentes ao protótipo virtual.
5. O mesmo procedimento era aplicado com o protótipo físico.
6. Ao concluir o experimento com os dois protótipos, o participante respondia as duas perguntas referentes a comparação entre protótipos, e por fim, a avaliação pós-teste.

Para realização do experimento, os participantes levaram em média 10 minutos para concluir todas as etapas propostas. A Figura 7.6 ilustra o cenário do experimento como foi realizado.

Figura 7.6 – Cenário do estudo comparativo com protótipos.



Fonte: A autora

7.3.3 Resultados do experimento

Conforme já mencionado, todos os participantes eram estudantes da graduação em Design da UFPE e cursavam entre o 2º e o 8º período. A idade variava entre 18 e 28 anos e nove (9) dos participantes pertenciam ao gênero feminino, enquanto que seis (6) pertenciam ao gênero masculino.

No item sobre a experiência do usuário em já ter utilizado um rádio relógio anteriormente, dez (10) responderam que sim e apenas cinco (5) responderam que não. Na pergunta seguinte relacionada a experiência com testes com protótipos virtuais, apenas cinco (5) responderam que sim e os outros dez (10) responderam que não. Apesar dos resultados coincidirem, as respostas dos participantes não foram coincidentes, ou seja, nem todos que tiveram experiência com um rádio relógio também tiveram experiência com um protótipo virtual. Desta forma, o critério para separação entre os grupos de usuários foi a partir de sua experiência com protótipos virtuais, foco principal deste estudo.

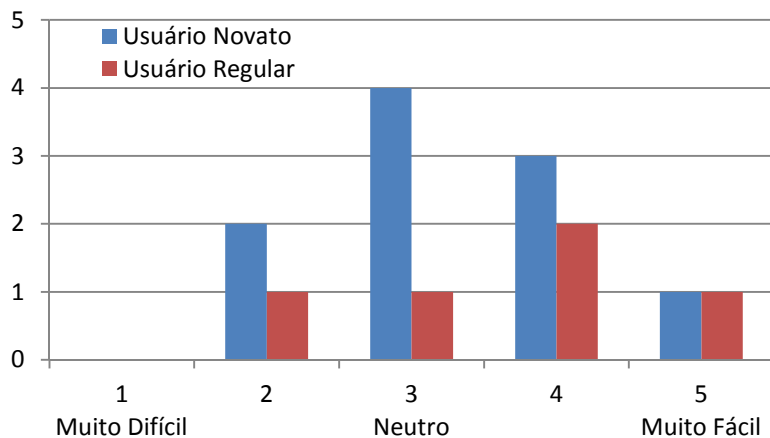
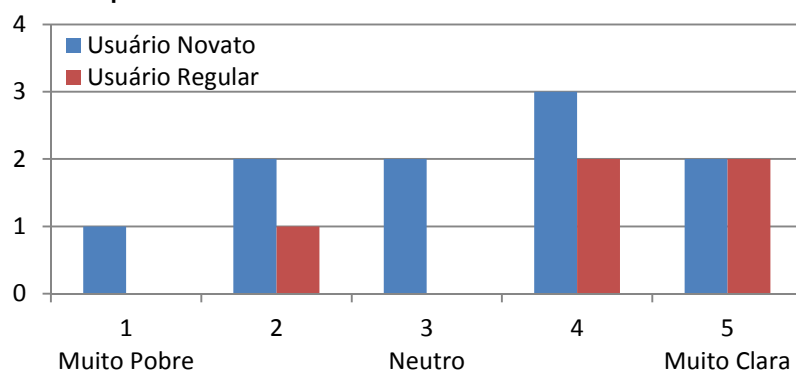
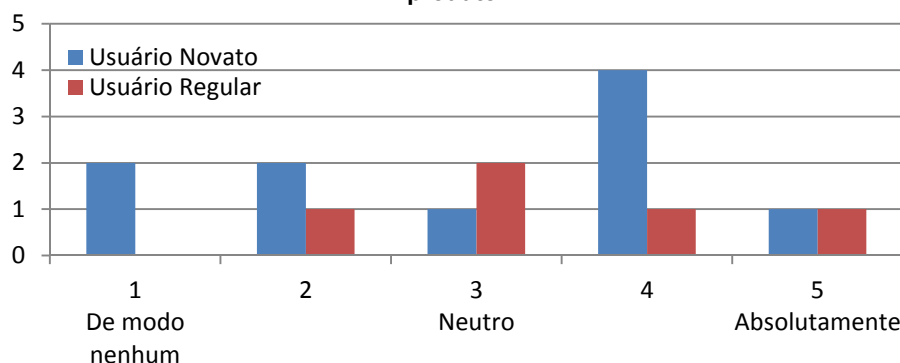
Os participantes foram então divididos em dois grupos: o grupo dos usuários novatos, aqueles que nunca realizaram um teste com protótipo virtual, e o grupo dos usuários regulares, aqueles que já utilizaram um protótipo virtual (ver item 3.6.1). A Tabela 7.5 apresenta a relação entre as características dos usuários e os dois grupos de usuários.

Tabela 7.5 – Relação das características quanto aos grupos de usuários.

Grupos	# usuário	Idade do usuário	Período na graduação
Usuários Novatos	01	23 anos	5º Período
	02	21 anos	7º Período
	04	22 anos	7º Período
	05	22 anos	6º Período
	06	28 anos	5º Período
	07	26 anos	2º Período
	08	19 anos	2º Período
	10	22 anos	8º Período
	11	22 anos	5º Período
	12	18 anos	2º Período
Usuários Regulares	03	22 anos	6º Período
	09	19 anos	5º Período
	13	20 anos	4º Período
	14	21 anos	5º Período
	15	22 anos	8º Período

Fonte: A autora

Conforme apontado anteriormente, o protótipo virtual foi o primeiro avaliado e, logo após realizar as tarefas sugeridas, os participantes responderam a quatro perguntas do questionário. As duas primeiras abordavam a sua experiência com o experimento, a terceira questão abordava a opinião do usuário quanto a eficiência da experiência do uso do protótipo virtual, e por último, o usuário foi convidado a deixar seus comentários ou recomendações sobre o experimento. A Figura 7.7 demonstra os gráficos com os resultados das três primeiras perguntas de acordo com os dois grupos de usuários.

Figura 7.7 – Resultados das questões 1, 2 e 3 sobre o protótipo virtual**Questão 1: Como você se sentiu usando o modelo virtual do rádio relógio?****Questão 2: O que você achou da visibilidade do modelo virtual do rádio relógio?****Questão 3: Você acredita que o experimento com o protótipo virtual foi eficiente na avaliação do produto?**

Fonte: A autora

Conforme os resultados apresentados, a experiência com o protótipo virtual para o grupo de usuários regulares foi mais fácil do que para os usuários novatos, que optaram na sua maioria pela posição neutra. Neste contexto, podemos identificar uma tendência do usuário novato a não ter parâmetros suficientes para opinar, pois ainda não está familiarizado com o ambiente virtual.

Quanto ao aspecto visibilidade, os resultados foram positivos e indicaram que os usuários conseguiram visualizar o objeto de forma clara. Por fim, os resultados do último gráfico demonstram que os participantes não se sentiram seguros em afirmar que o protótipo virtual foi eficiente na avaliação, apesar da maioria ter escolhido o nível quatro da escala. Ao analisar o grupo de usuários novatos separadamente, este fator se evidencia, reforçando a hipótese identificada no primeiro gráfico da questão 1.

Na última questão, os usuários foram bastante participativos deixando seus comentários sobre a sua impressão do experimento, no qual foram apontados os seguintes aspectos.

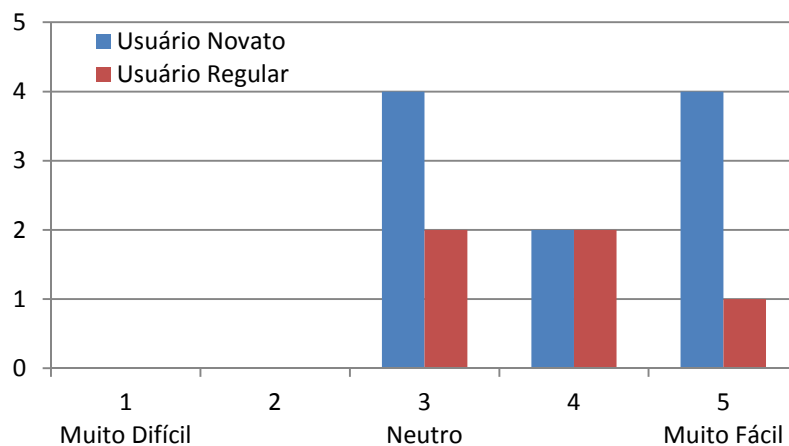
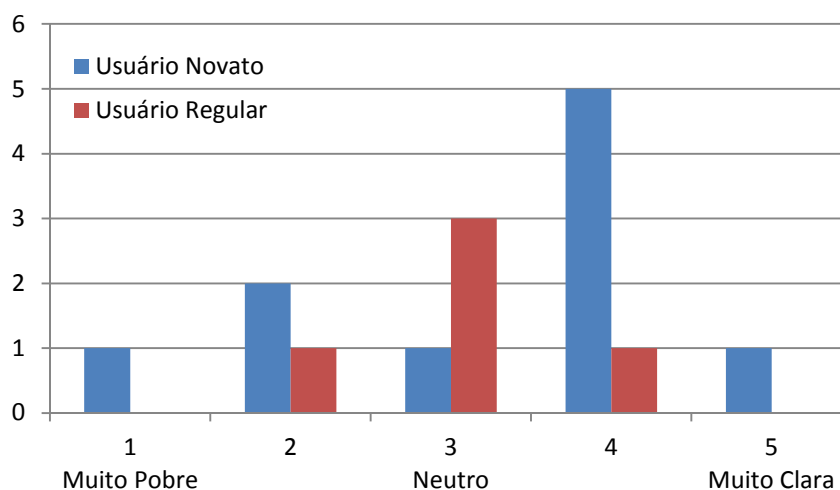
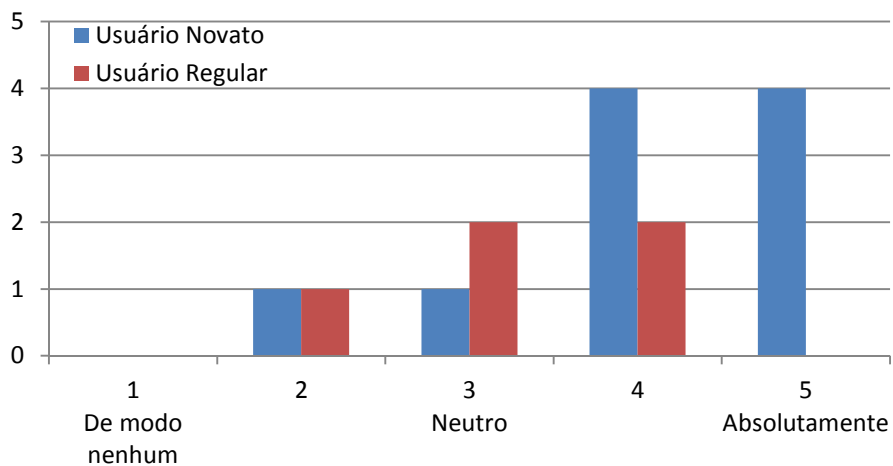
O grupo de usuários novatos descreveram problemas de usabilidade encontrados na realização das tarefas sugeridas, sendo estes:

- Dificuldades de encontrar os botões;
- Dificuldades de compreensão do funcionamento dos botões;
- Alguns dos botões são muito pequenos.

O grupo de usuários regular argumentaram a necessidade de um protótipo funcional e com opções de *feedback* para melhorar a interatividade. Provavelmente, por já ter experiência com o uso de protótipos virtuais, os participantes deste grupo sentiram a necessidade de um experimento mais aprofundado, ao contrário dos usuários novatos que se preocuparam apenas em avaliar as questões de usabilidade das configurações do menu, em conformidade com o sugerido no estudo.

No que refere a apresentação do protótipo, os dois grupos apontaram a dificuldade de visualização dos textos indicativos dos botões em consequência da falta de contraste com a cor preta do volume.

Dando prosseguimento ao experimento, o protótipo físico foi avaliado conforme os mesmos procedimentos do protótipo virtual. A Figura 7.8 demonstra os gráficos com os resultados de acordo com os dois grupos de usuários.

Figura 7.8 – Resultados das questões 5, 6 e 7 sobre o protótipo físico.**Questão 5: Como você se sentiu usando o modelo físico do rádio relógio?****Questão 6: O que você achou da aparência do modelo físico do rádio relógio?****Questão 7: Você acredita que o experimento com o protótipo virtual foi eficiente na avaliação do produto?**

Fonte: A autora

No primeiro gráfico sobre a experiência com o protótipo físico, os resultados apresentaram que os participantes estavam seguros em opinar pela facilidade de uso do modelo, ao contrário do que foi observado com o protótipo virtual. Tal fator pode ser explicado pelo fato do protótipo físico representar uma tecnologia bastante consolidada no design de produtos. Este fator é reforçado pela análise dos resultados da questão 7, na qual os participantes responderam com confiança, e em sua maioria, os níveis quatro e cinco da escala.

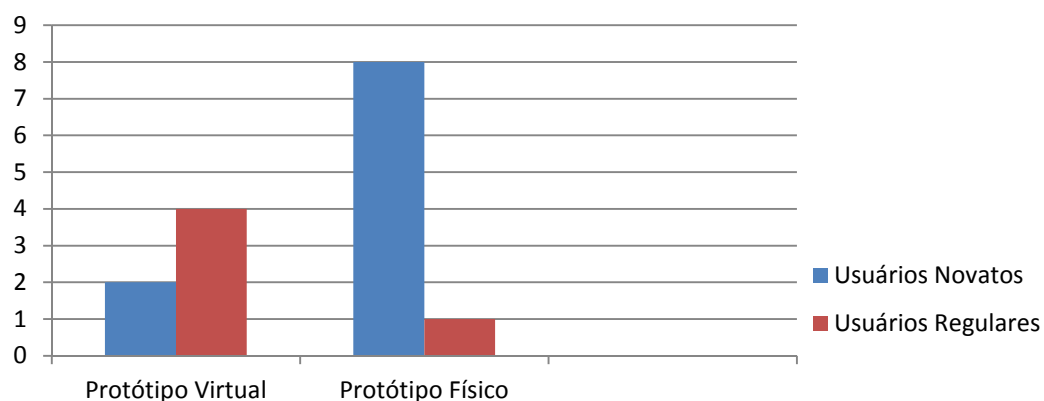
Da mesma forma como ocorreu com o protótipo virtual, o quesito visibilidade do protótipo físico também foi avaliado de forma positiva, com algumas restrições que foram indicadas na questão 8, conforme os aspectos a seguir.

Quanto a aparência do protótipo, os dois grupos apontaram que a cor preta e a pintura com brilho dificultaram a visualização dos botões. No grupo de usuários regulares, um dos participantes apontou que a aparência do protótipo físico não era tão boa quanto a do virtual, mas sentir as texturas permitiu uma melhor percepção do volume. Este fator foi complementado por outro participante do mesmo grupo, ao afirmar que sentiu maior segurança sobre a atividade realizada com o protótipo físico. A mesma avaliação foi realizada pelo grupo de usuários novatos. Os participantes indicaram que o protótipo físico fornece uma melhor dimensão do produto, sendo mais fácil realizar as tarefas e perceber que usava os botões corretamente.

Quanto as dificuldades encontradas na realização das tarefas sugeridas, um participante de cada grupo de usuários acrescentou que os botões CLOCK/TIME ZONE/DST são muito pequenos e próximos aos botões de ajuste +/-, dificultando a realização da tarefa de ajuste da hora. Estas duas respostas reforçam o pressuposto da avaliação com o protótipo físico permitir uma melhor compreensão da escala real do artefato, como também complementa a identificação dos problemas de usabilidade identificados anteriormente com o protótipo virtual.

Ao concluir o experimento com os dois protótipos, os participantes foram convidados a realizar uma análise comparativa. Na questão 9, os participantes indicaram qual dos dois protótipos foi mais eficiente na avaliação sugerida na pesquisa. Conforme ilustra a Figura 7.9, nove dos quinze participantes indicaram o protótipo físico como o mais adequado.

Figura 7.9 – Resultado da comparação entre protótipos quanto a eficiência na avaliação sugerida na pesquisa.



Fonte: A autora

No entanto, é importante considerar que no grupo de usuários regulares a escolha pelo protótipo virtual prevaleceu. Provavelmente, a falta de experiência dos usuários novatos com o ambiente virtual pode ter influenciado na escolha pelo protótipo físico, enquanto que com os usuários regulares este fator não ocorreu.

Na questão seguinte, os participantes indicaram a razão pela preferência de sua escolha. Para facilitar a análise dos resultados, apenas uma das respostas poderia ser escolhida, sendo esta a que mais predominou na escolha. A última opção permitia ao usuário acrescentar outra possibilidade de resposta.

No grupo de usuários novatos, a escolha pelo protótipo físico foi motivada pelos seguintes fatores, seguidos pelo número de participantes em parênteses: Facilidade para desempenhar a tarefa (3); Fácil compreensão do design (4) e Interessante (1). Por outro lado, os que optaram pelo protótipo virtual foram motivados pelos fatores: Fácil compreensão do design (1) e Interessante (1).

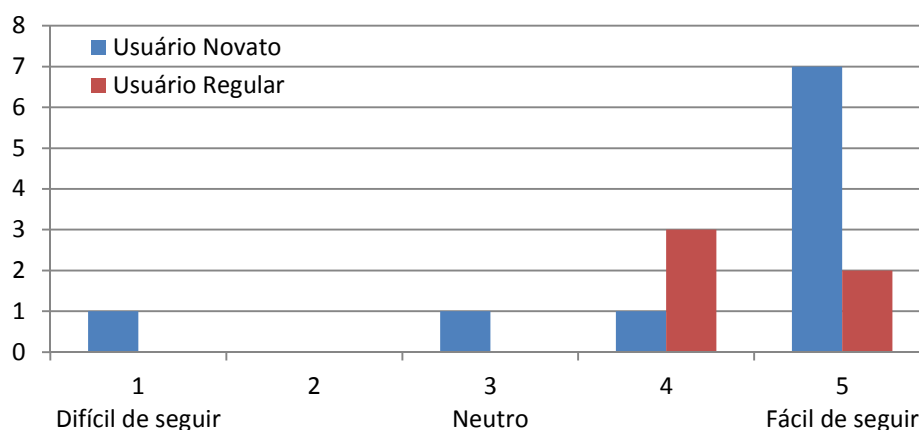
No grupo de usuários regulares, a escolha pelo protótipo virtual foi motivada pelos fatores: Facilidade para desempenhar a tarefa (1); Fácil compreensão do design (2) e Outras: Possibilidade de anexar mais elementos que no físico (1), como por exemplo, o *display* digital. O único usuário que optou pelo protótipo físico foi motivado pela facilidade de desempenhar a tarefa. Ao analisar as respostas desta questão, foram identificados dois importantes fatores:

- A experiência prévia do usuário com o ambiente virtual permitiu uma melhor compreensão do design do protótipo virtual, inclusive sugerindo outras possibilidades de avaliação da usabilidade, conforme a indicação para avaliar o *display*.
- O usuário que ainda não está habituado ao ambiente virtual, sente maior segurança quando consegue manusear o produto e avaliar as suas configurações a partir de um produto físico.

Contudo, a observação dos resultados sob a perspectiva da experiência do usuário com o ambiente virtual, não descarta a hipótese levantada tanto na revisão de literatura como nos resultados do questionário, da qual o protótipo físico oferece maior vantagem na interação com o usuário e melhor fidelidade às dimensões reais do objeto.

Por fim, na avaliação pós-teste, os participantes avaliaram os procedimentos do teste. Os resultados apontaram que os mesmos não tiveram dificuldades em acompanhar as etapas da pesquisa. A Figura 7.10 apresenta os resultados obtidos.

Figura 7.10 – Resultados da avaliação pós-teste.



Fonte: A autora

7.3.4 Resumo dos resultados do experimento

Com base nas respostas dos participantes, foi possível identificar a viabilidade e utilidade da simulação em ambiente virtual, utilizando a tecnologia da realidade virtual não imersiva ainda nas primeiras fases de desenvolvimento do produto. O experimento trouxe propostas de utilização de recursos acessíveis ao designer, por representar uma fase de estudo que requer investimentos a baixo custo.

O experimento realizado com os estudantes da graduação de Design teve uma importância fundamental para traçar um panorama mais integral sobre o uso das tecnologias abordadas, pois que, além de serem usuários em potencial do produto, também trouxeram o conhecimento da área do Design para contribuir na avaliação dos recursos utilizados no experimento. Como por exemplo, podemos citar as contribuições quanto ao acabamento do protótipo físico e os problemas de contraste dos textos indicativos dos botões.

Conforme descrição dos resultados, apesar dos recursos de avaliação estar limitados a uma plataforma iPad, os participantes conseguiram interagir com o protótipo virtual e apontar alguns dos problemas de usabilidade do rádio relógio, respondendo às duas questões apontadas no subcapítulo 7.1. Provavelmente, se os testes fossem realizados em um ambiente virtual imersivo, os resultados mostrariam outra interação mais abrangente entre o produto e os usuários.

Por fim, com base nos resultados, os testes com protótipos virtuais podem ser utilizados pelo designer como uma ferramenta em potencial para a avaliação da usabilidade, pois permitem ao usuário ficar envolvido com a atividade de avaliação e gerar conhecimento significativo para a atividade de design do produto.

7.4 Considerações finais do capítulo

O conhecimento adquirido com o estudo piloto e a elaboração dos protótipos nos capítulos anteriores foram fundamentais para a elaboração dos procedimentos dos estudos de caso descritos neste capítulo. O primeiro estudo consistiu de um questionário elaborado para investigar a situação atual da aplicação das tecnologias de prototipagem virtual e realidade virtual. O segundo estudo, com base nos resultados do primeiro, buscou colocar em prática uma análise da usabilidade em ambiente virtual, a partir de um estudo comparativo entre protótipos.

Os resultados obtidos a partir dos dois experimentos contribuíram de forma valiosa para a consolidação das tecnologias abordadas até o momento na revisão de literatura desta tese. Com base no que foi abordado neste capítulo, podemos destacar como pontos principais:

1. Tanto o protótipo virtual como o físico possuem vantagens e limitações na avaliação da usabilidade e que os dois tipos de tecnologia têm um importante papel para o design de produtos, não apresentando até o momento, a necessidade de a prototipagem virtual substituir completamente a física.
2. A simulação em ambiente virtual pelo fato de ser uma tecnologia emergente ainda não foi explorada de forma abrangente. A pouca experiência, ou mesmo nenhuma, de muitos dos participantes dos experimentos realizados indicam a necessidade de se intensificar as pesquisas nesta área.

A partir da experiência adquirida com os dois estudos realizados neste capítulo, um estudo complementar para a avaliação da usabilidade foi idealizado, inserindo mais uma tecnologia de suporte ao design, conforme o próximo capítulo 8.

Capítulo 8

Estudo de Caso II: EEG e Teste de Usabilidade

Ao realizar uma determinada tarefa com um produto, duas questões principais são feitas pelo usuário: O que fazer com o produto e como fazer isto?

A decisão do que fazer com o produto é definida pelo próprio usuário, enquanto que a forma como a tarefa será realizada é definida pelo desenvolvedor do aplicativo. E assim, para desenvolver a tarefa, o usuário busca seus recursos mentais de acordo com o grau de dificuldade requerido, como por exemplo, recursos da memória e da aprendizagem. Ao analisar as respostas desta experiência de uso, é possível compreender a interação do usuário com o produto.

Conforme apontado ao longo desta tese, o entendimento do *feedback* do usuário com produtos é uma área de especial interesse de grandes empresas. O *Neuromarketing* surge como uma recente área de pesquisa para avaliar a escolha do consumidor a partir do sofisticado sistema de medição oferecido pela Eletroencefalografia (EEG), conforme descrito no capítulo 6. A EEG, conforme definida no item 6.1.3, corresponde a uma ferramenta prática capaz de medir em tempo real os sinais transmitidos pelos neurônios durante a atividade cerebral.

No campo do design de produtos, para uma melhor compreensão da experiência do usuário, bem como do esforço cognitivo da atividade com o produto, também foram descritas no capítulo 6 as pesquisas em *Neurodesign*. O estudo de caso II descrito neste capítulo tem como objetivo avaliar a aplicação da Eletroencefalografia na avaliação da usabilidade a partir do sistema Emotiv EPOC, apresentado no subcapítulo 6.2. O uso deste sistema na avaliação de produtos corresponde a um campo de pesquisa recente e com poucos estudos desenvolvidos.

O capítulo foi dividido em três tópicos principais. O primeiro descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento do experimento. O segundo tópico descreve como o experimento foi planejado, e finalmente, o último tópico descreve os resultados do estudo realizado.

8.1 Metodologia do estudo de caso II

O estudo de caso II foi desenvolvido com base no método sugerido por Kwahk e Ham (2002), descrito no capítulo 2, subcapítulo 2.4, de acordo com as etapas apresentadas a seguir.

Na primeira etapa foram estabelecidos os objetivos da avaliação da usabilidade a partir da investigação da interação do usuário com um protótipo virtual e dois produtos físicos. Para tal, sessões de testes em laboratório foram conduzidas simulando um produto ainda nos primeiros estágios do design, como nos testes formativos de um protótipo em desenvolvimento, como também o produto já finalizado, como nos testes sumativos.

Este estudo propõe aplicar o sistema Emotiv EPOC para fornecer aos designers/avaliadores informações sobre a interação do usuário com o produto, contribuindo com os dados obtidos através de questionários durante uma avaliação da usabilidade tradicional. Para tal, os dados EEG demonstrados pelo sistema Emotiv foram comparados com os resultados relatados pelos usuários, a partir de um questionário de satisfação de uso do produto. Como resultado, a pesquisa pretendeu fornecer um método direcionado para quantificar a interação usuário-produto.

A segunda etapa corresponde ao estabelecimento das variáveis do contexto, a fim de definir as condições dos testes de usabilidade. As variáveis foram definidas em uma lista considerando as questões referentes à experiência do usuário e frequência de uso como uma constante controlada, e o gênero e idade do usuário como uma constante aleatória.

Na terceira parte foram detalhadas as características da interface dos produtos a serem avaliados, assim como as duas ferramentas de avaliação, os questionários e o sistema EEG Emotiv. Em paralelo, a quarta parte correspondeu à escolha das dimensões da usabilidade e ao método de avaliação.

Ao finalizar as etapas acima, os objetivos e procedimentos da pesquisa foram submetidos ao Conselho de Ética da Universidade Central Florida, conforme Anexo A. Os testes com usuários só foram realizados após o recebimento do documento de aprovação.

As demais etapas consistiram em selecionar e preparar o local onde os testes foram realizados e todo o aparato de *hardware* e *software* para coleta de dados, assim como conduzir a avaliação da usabilidade com os usuários e por fim a descrição dos resultados.

8.2 Planejamento do Teste de Usabilidade

A partir dos objetivos apontados no subcapítulo anterior, os procedimentos do estudo de campo foram estabelecidos conforme descrição a seguir.

8.2.1 Variáveis do Contexto

O local do experimento foi o edifício de Engenharia II da Universidade Central Florida, em Orlando, Estados Unidos. Os testes foram realizados em um ambiente controlado no Laboratório de Interação Humano-Computador, sala 315-B, o qual foi projetado especificamente para estudos de usabilidade (ver Figura 8.1).

Figura 8.1 – Laboratório de Interação Humano Computador da Universidade Central Florida.



Fonte: A autora

Os testes com os usuários foram realizados no período de 10 a 19 de julho de 2013. Não houveram restrições em relação à escolha dos participantes, mas em virtude do convite ter sido realizado por professores da pós-graduação da própria universidade, a maioria dos participantes eram estudantes de doutorado das engenharias mecânica, elétrica e de sistemas.

Os alunos foram convidados pessoalmente tanto pelos professores como pelo pesquisador durante o período de aula. Foi disponibilizado um contato do pesquisador pelo e-mail da universidade para os interessados, que agendaram um horário para os testes de acordo com a sua disponibilidade.

O número de participantes, no total de quinze (15), seguiu o estabelecido no Estudo de Caso I do capítulo 7, atendendo às seguintes características:

- Ter idade a partir de 18 anos;
- Não ter experiência anterior com nenhum dos modelos de rádio relógio utilizado nos testes.

A pesquisa consistiu em realizar um estudo da usabilidade a partir de dois cenários, uma avaliação com um protótipo digital e uma comparação entre dois modelos do produto real, conforme descrição a seguir.

Cenário 1: Completando uma operação com o protótipo virtual

Muitos estudos de usabilidade são realizados com o objetivo de verificar se as operações foram realizadas de forma adequada. O objetivo desta análise consistiu em verificar como o usuário utiliza as configurações de programação de um rádio relógio.

O experimento foi realizado com o modelo virtual do rádio relógio construído conforme as etapas descritas no item 4.4.3 do capítulo 4. Na construção do modelo as características funcionais foram evidenciadas para permitir a realização das tarefas de ajuste da hora e do alarme pelo usuário.

Para a interação do protótipo com o usuário em ambiente virtual foi utilizado o padrão web HTML para visualização do modelo na tela do monitor e os ajustes do relógio foram realizados a partir de um mouse.

Cenário 2: Comparação de produtos

Para conhecer diferentes produtos ou lançamentos, muitos estudos de usabilidade baseiam-se na análise comparativa entre produtos similares. Neste contexto, alguns produtos necessitam maximizar a eficiência, enquanto outros tentam criar uma excepcional experiência com o usuário.

O segundo cenário consistiu no experimento com os dois modelos de rádio relógio utilizados no estudo piloto descrito no capítulo 3, subcapítulo 3.6. A indicação da marca e do modelo dos produtos foi omitida para não interferir na avaliação pelo participante. Para tal, o modelo GPX C222B passou a ser denominado Produto A e o Sony ICF-C218 Produto B (ver Figura 8.2). Os procedimentos dos testes com os dois produtos seguiram os mesmos passos dos testes realizados com o protótipo virtual.

Figura 8.2 – Modelos do rádio relógio utilizados no cenário 2.



Fonte: A autora

A operação tanto com o protótipo virtual como com os modelos reais do rádio relógio foi realizada a partir da realização do cumprimento de três tarefas básicas: Tarefa 1 - Ajuste da hora do relógio; Tarefa 2 – Ajuste da hora do alarme e Tarefa 3 – Parar e cancelar o alarme.

Por fim, os três produtos foram comparados a partir dos dados coletados pelo questionário e pelo sistema EEG, fornecendo parâmetros numéricos para avaliação da satisfação do usuário.

8.2.2 Instrumentos e Medidas

O questionário foi o instrumento utilizado para avaliação da usabilidade. Durante o experimento, os participantes responderam a três questionários. O primeiro questionário foi denominado de Questionário Pré-teste (ver Apêndice F), e teve como objetivo coletar informações demográficas dos participantes a partir de questões abertas, e a sua experiência anterior com um radio-relógio a partir de questões de múltipla escolha. Não foi coletado nenhum dado pessoal que revelasse a identidade do participante.

O segundo questionário, denominado de Questionário Durante o Teste, consistiu em um formulário individual para cada produto, ou seja, produto A, produto B e protótipo virtual. As duas primeiras seções do questionário foram iguais para todos os produtos. A primeira seção correspondeu à avaliação da aparência do produto e a segunda seção à avaliação da satisfação do usuário quanto ao desenvolvimento das tarefas (ver Apêndice G). No formulário do protótipo virtual foi acrescida uma seção referente à avaliação sobre o modelo virtual do radio-relógio (ver Apêndice H).

Seguindo os mesmos procedimentos do estudo de caso I, as questões relacionadas à experiência do usuário com cada produto foram elaboradas com base no método de dados auto relatados, utilizando a escala Likert e a escala de diferencial semântico.

A escala utilizada consistiu em cinco pontos com as seguintes opções: discordo totalmente, discordo, neutro, concordo e concordo totalmente. A escala diferencial semântica foi utilizada apenas na última questão do questionário do protótipo virtual, utilizando os termos muito difícil/fácil e muito pobre/claro. Ao lado de cada escala também foi colocada a opção nenhuma das respostas.

Conforme Tullis & Albert (2008), rápidas avaliações imediatamente após cada tarefa utilizando a escala de avaliação, podem ajudar a identificar partes das interfaces que são particularmente problemáticas. No entanto, com mais profundidade, as perguntas abertas no final da sessão podem fornecer uma avaliação global eficaz. Desta forma, a última questão relacionada à experiência com o protótipo era de forma aberta, permitindo ao participante tecer seus comentários ou recomendações.

Ao finalizar as análises com os dois produtos e o protótipo, o participante era convidado a responder a terceira etapa do experimento, que correspondia ao questionário pós-teste. As duas seções continham questões de múltipla escolha abertas e foram divididas em avaliação sobre os procedimentos do teste e avaliação sobre a experiência com o *headset* EEG Emotiv (ver Apêndice I). Por fim, foi destinada uma área opcional para comentários e sugestões de forma aberta.

Conforme apontado anteriormente, nos questionários durante o teste foram coletados dados de auto relato sobre o desempenho e a satisfação do participante com o produto. Para tal foi coletado o grau de satisfação do usuário quanto ao seu desempenho com o produto, como também a sua satisfação com o produto. Conforme apontado no subcapítulo 2.3, capítulo 2, a satisfação corresponde a uma medida subjetiva que reflete opiniões e experiências baseadas na percepção do usuário.

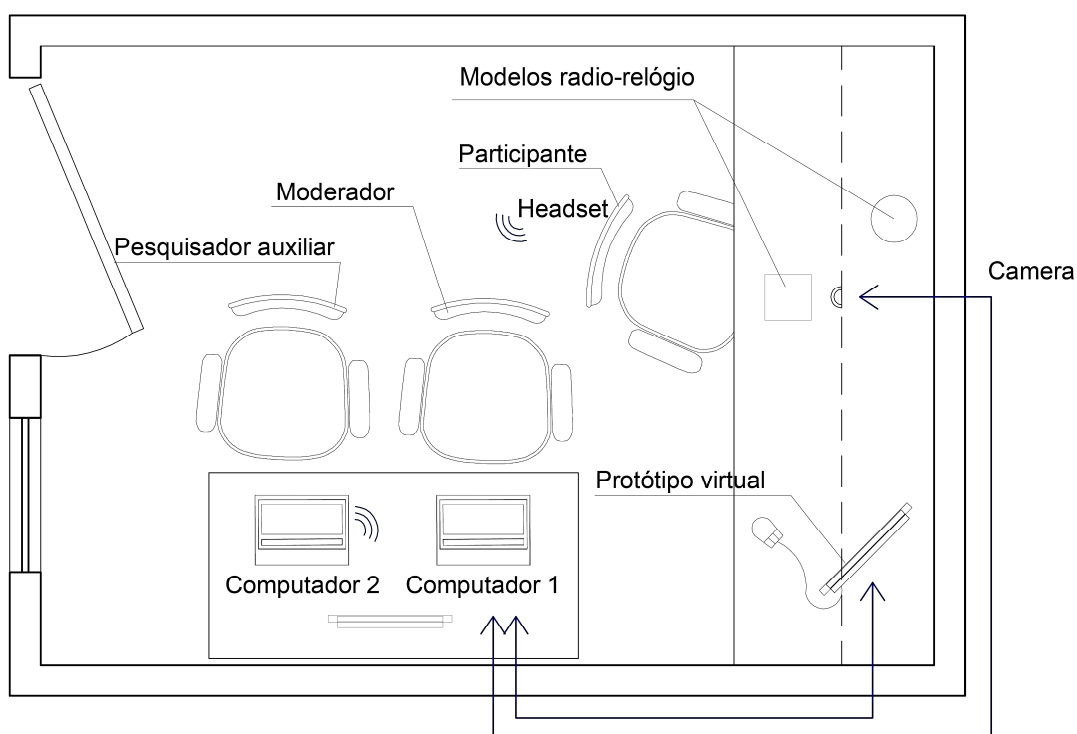
Com o objetivo de complementar ou mesmo validar os dados coletados pelo questionário, a experiência do participante foi medida a partir do sistema EEG Emotiv. Conforme especificações descritas no capítulo 6, as medidas tiveram como referência a frequência Beta (15-30Hz).

8.2.3 Montagem do sistema

Durante o experimento com o usuário, o presente pesquisador atuou como moderador, cuja função consistiu em explicar os procedimentos do teste para os participantes. Para auxiliar na coleta de dados, houve a participação de um pesquisador da universidade Central Florida. Assim, durante o experimento, ambos os pesquisadores estavam presentes no laboratório. Para não interferir nos resultados, durante toda a fase de execução da tarefa com os produtos e protótipo, não foi permitida nenhuma interação entre os participantes e os pesquisadores.

O protótipo virtual e os dois modelos de radio-relógio foram montados simultaneamente no laboratório. A Figura 8.3 ilustra como os elementos envolvidos no sistema foram posicionados no ambiente e conectados entre si.

Figura 8.3 – Planta baixa do Laboratório de Interação Humano-Computador da Universidade Central Florida



Fonte: A autora

Conforme a Figura 8.3, no espaço do laboratório foram posicionadas duas bancadas, uma destinada ao usuário e a outra ao pesquisador moderador e um pesquisador responsável pelo registro dos dados. Na bancada do usuário foram posicionados os dois modelos físicos do radio-relógio, uma câmera para registro do uso dos mesmos e um monitor com o mouse

para visualização do protótipo virtual. Na bancada dos pesquisadores foram posicionados os dois computadores para a coleta de dados. O computador 1 foi monitorado pelo pesquisador moderador, que ficou responsável pelos *softwares* do protótipo virtual e de registro da câmera. O computador 2 foi monitorado pelo pesquisador de registro, que ficou responsável pelo sistema EEG.

As atividades do usuário durante os testes com o protótipo virtual foram gravadas no computador 1 a partir da captura de tela do *software* Camtasia Screen Recorder and Video Editor da empresa TechSmith. As atividades com os produtos A e B foram capturadas e gravadas pelo mesmo *software* a partir de uma câmera de vídeo. O ajuste do *headset* EEG, assim como os sinais enviados pelo mesmo foram capturados e gravados no computador 2, utilizando o *software* Emotiv EPOC Control Panel – 10.0.5.

8.2.4 Processo do experimento

O processo do experimento foi iniciado quando o cenário da pesquisa estava concluído. Antes de iniciar o experimento com os usuários, o pesquisador realizou um breve estudo piloto com a própria equipe a fim de testar os equipamentos. Neste intervalo, foram agendados horários com os participantes através de e-mail, conforme disponibilidade dos mesmos. Os horários foram marcados sempre com um intervalo de 15 minutos para configuração dos equipamentos.

Cada participante foi recebido pelo moderador, no caso o pesquisador, que dava as boas vindas e explicava os procedimentos a serem realizados no teste. Em seguida, o participante recebia o termo de consentimento, conforme Apêndice J. O participante ao concordar em realizar o teste era questionado pelo moderador se ainda tinha alguma dúvida.

A segunda etapa consistiu em colocar o *headset* Emotiv no participante. Cada vez que o equipamento é utilizado, se faz necessário umedecer a espuma que cobre o eletrodo com uma solução salina, a mesma utilizada para limpeza das lentes de contato. O *headset* funciona à bateria e antes de iniciar o experimento era verificado se havia carga suficiente e as condições do sinal *wireless*.

O *headset* era colocado de forma cuidadosa na cabeça do participante e após era feito seu acionamento. Ao emitir o sinal, o pesquisador 2 verificava no *software* TestBench se todos os sinais dos eletrodos estavam na cor verde, indicando que a qualidade do sinal está adequada. Em alguns dos participantes, principalmente os que tinham um volume de cabelo maior, o ajuste dos eletrodos no escalpo tornou-se mais demorado.

Com o *headset* devidamente ajustado, os participantes iniciavam o teste preenchendo o questionário pré-teste. O teste com o protótipo e produtos A e B iniciava com apenas um dos modelos sendo apresentado ao participante, conforme ordem apresentada no Quadro 8.1. Apenas após conclusão das tarefas com o primeiro modelo e preenchimento do questionário, o segundo modelo era introduzido. O tempo total do experimento para concluir as etapas de preenchimento dos questionários e testes com o protótipo e produtos levava em média 23 minutos.

Quadro 8.1 – Ordem de uso do protótipo e dos produtos por participante.

Participante	Teste 1	Teste 2	Teste 3
1	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
2	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
3	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
4	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
5	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
6	Protótipo	Radio-relógio B	Radio-relógio A
7	Protótipo	Radio-relógio B	Radio-relógio A
8	Protótipo	Radio-relógio B	Radio-relógio A
9	Protótipo	Radio-relógio B	Radio-relógio A
10	Protótipo	Radio-relógio B	Radio-relógio A
11	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
12	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
13	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
14	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B
15	Protótipo	Radio-relógio A	Radio-relógio B

Fonte: A autora

8.2.5 Software para coleta dos dados EEG (EEGLAB)

Os dados EEG, conforme descrito no item 6.2.2 do capítulo 6, são gravados com a extensão *‘.edf’* e precisam ser processados para a interpretação dos resultados.

O EEGLAB corresponde a uma ferramenta Matlab para o processamento contínuo de eventos relacionados ao EEG, MEG e outros dados eletrofisiológicos, utilizando a análise de componentes independentes (ICA), análise de tempo/frequência e outros métodos, incluindo artefatos de rejeição. Desenvolvido pela primeira vez em Matlab 6.1 para Linux, EEGLAB funciona nas versões Matlab 6 (R13) e Matlab 7 (R14) em Linux ou Unix, Windows e Mac

OS (Matlab v6 ou o atual recomendado Matlab v7). EEGLAB oferece uma grande variedade de métodos para visualizar e modelar a dinâmica de eventos relacionados ao cérebro²⁸.

Para o processamento dos dados desta pesquisa, as seguintes etapas foram seguidas:

1. Importar o arquivo EEG (.edf) dos dados gravados durante os testes com o usuário, com frequência de amostragem 128 Hz para os canais AF3 F7 F3 FC5 T7 P7 O1 O2 P8 T8 FC6 F4 F8 AF4 e traduzidos para os canais 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 (*Channel list*).

Exemplo: *File → Import data → From EDF files*

2. Configurar a localização do canal de conversão para o *headset* EMOTIV 16 canais de acordo com o padrão universal EEG de 64 canais.

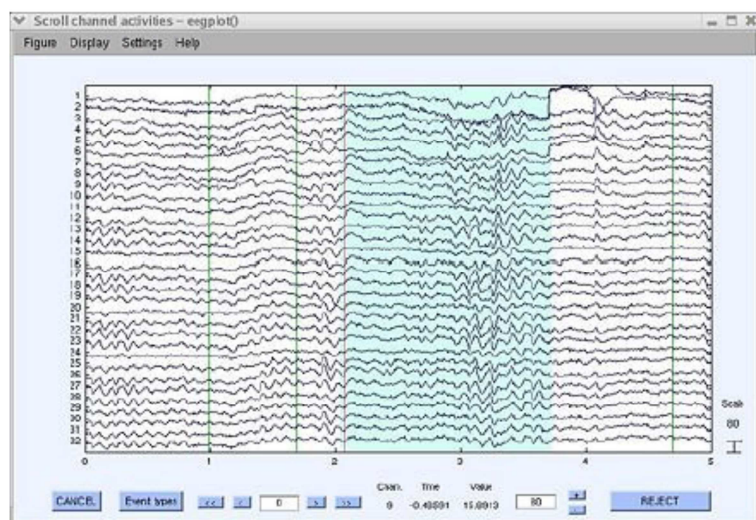
Exemplo: *Edit → Channel Locations → Read locations → Autodetect custom programmed loc.ced file format*

3. Selecionar a opção *Tools* e *Remove baseline* para remoção de um valor basal médio de cada epoch. Esta opção é útil quando as diferenças das linhas bases entre os dados do epoch (por exemplo os decorrentes de desvios de baixa frequência ou artefatos) estão presentes. Estas linhas bases não são necessariamente interpretáveis, mas se forem incluídas poderão distorcer a análise de dados.
4. Filtrar os dados EEG usando *Tools → Filter the data → Basic FIR filter → acrescentar 1(Hz) para Lower edge frequency* e pressione *OK*.
5. Executar a opção *Tools → Run ICA*. Os filtros de análise independente dos componentes são escolhidos para produzir os sinais máximos temporariamente independentes.
6. Explorar o conjunto de dados EEG utilizando o modo *Scroll* para remover os artefatos que representam áreas de ruído utilizando a opção *reject* (Figura 8.4).

Exemplo: *Plot → Channel dat (Scroll)*

²⁸ <http://sccn.ucsd.edu/wiki/EEGLAB>

Figura 8.4 – Exemplo da ferramenta Scroll para remoção das áreas de ruído.



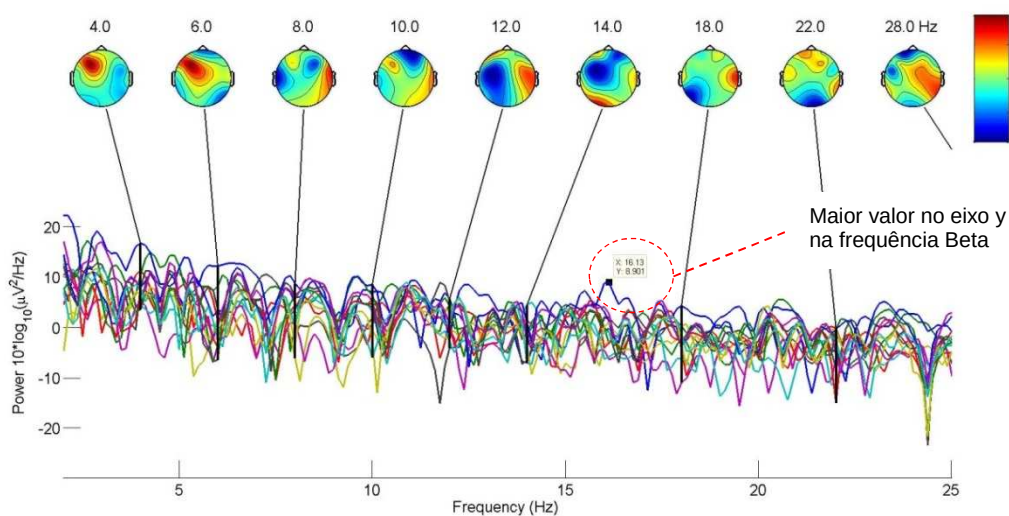
Fonte: A autora

7. O software oferece diferentes opções de impressão dos mapas dos componentes em 2D e 3D, conforme os seguintes exemplos:

Exemplo 1: *Plot → Channel spectra and maps → Frequencies to plot as scalp maps (Hz)* - para selecionar as frequências (4 6 8 10 12 14 18 22 28), com especial interesse nas ondas *Beta* associadas na frequência 14-30Hz, retratando entusiasmo, empenho e intensa concentração mental (ver resultados no Apêndice H).

A Figura 8.5 apresenta o resultado do mapa por participante dos dados EEG, dos quais foi obtido o resultado máximo por participante no eixo 'y' e frequência Beta.

Figura 8.5 – Exemplo do mapa com dados EEG por participante



Fonte: A autora

8.3 Resultados do experimento

Com base nos dados coletados na seção 1 do questionário pré-teste, os participantes tinham em média 28 anos, desvio padrão 5,71 e coeficiente de variação 19,8%, sendo nove (9) do gênero masculino e seis (6) do gênero feminino.

Sobre a experiência do participante em testes de usabilidade, apresentada na terceira questão, todos responderam que nunca haviam participado. No item sobre a iniciativa do usuário em ler o manual de instruções antes de utilizar o produto, cinco (5) responderam que lêem o manual e dez (10) responderam que não lêem o manual.

Na seção 2, na questão relacionada ao hábito de despertar dos participantes, dez (10) responderam que acordam regularmente no mesmo horário e cinco (5) acordam em horários irregulares. Todos afirmaram o uso de um dispositivo para despertar, escolhendo a opção de alarme do celular (*mobile device alarm*). Apenas dois (2) indicaram também o despertador (*alarm clock*).

A última questão abordava a experiência do participante quanto ao uso do produto radio-relógio digital. Onze (11) dos participantes responderam que já utilizaram um radio-relógio e os outros quatro (4) responderam que nunca usaram. Os resultados demonstraram que a maioria dos participantes pertence ao grupo de usuários regulares. Contudo, como estes usuários afirmaram não usar este tipo de dispositivo regularmente, foi preferível classificá-los também como usuários novatos.

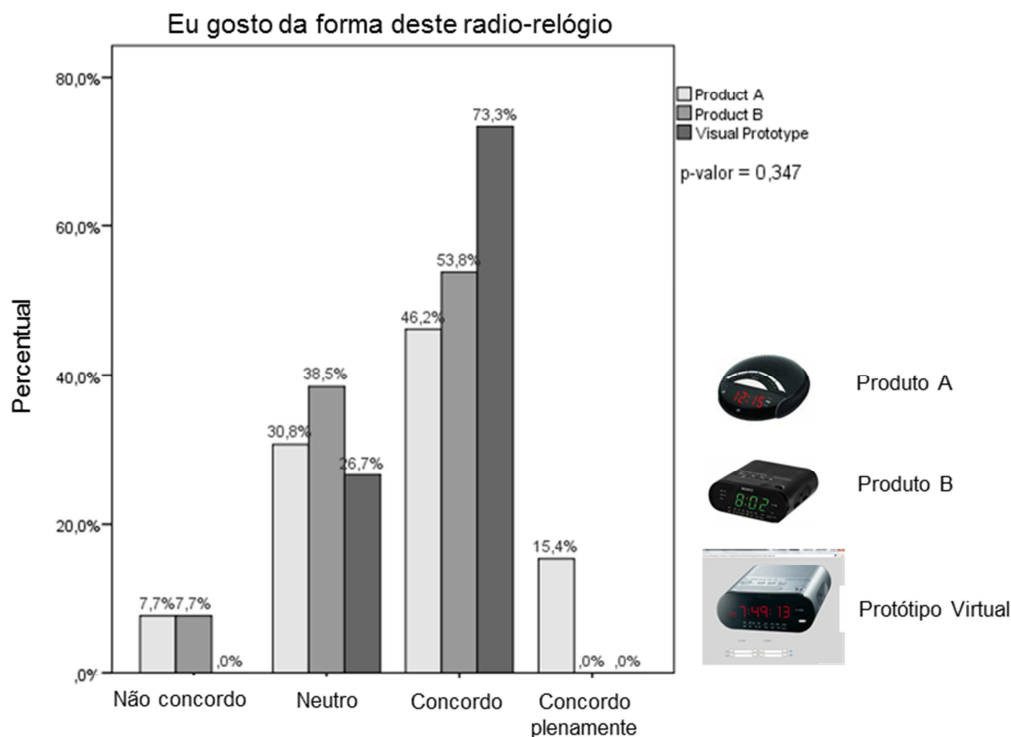
8.3.1 Resultados do Questionário Durante o Teste

Durante o teste com o produto os participantes foram convidados a preencher um questionário. A seção 3 correspondia à avaliação da aparência visual, na qual o participante analisava atentamente a forma do produto e em seguida respondia a duas questões. A primeira questão apresentada ao participante indagava sobre o conhecimento prévio de uso dos modelos de radio-relógio utilizados no teste. Para esta questão todos os participantes responderam que nunca haviam usado estes modelos de radio-relógio.

A questão seguinte abordava a opinião do usuário sobre a forma do produto. Para esta questão, como também para as questões seguintes, foi utilizada a escala Likert. A partir da análise das respostas obtidas, foi possível entender as diferenças e as similaridades presentes nas respostas de cada questão, assim como foi realizado o teste Qui-Quadrado de independência, por se tratar do teste mais indicado para a comparação de duas variáveis categóricas (o tipo de produto e as respostas de acordo com a escala Likert).

A Figura 8.6 apresenta o resultado das respostas por participante dos dois modelos do radio-relógio e do modelo virtual.

Figura 8.6 – Gráfico dos resultados da questão 3 - aparência visual.

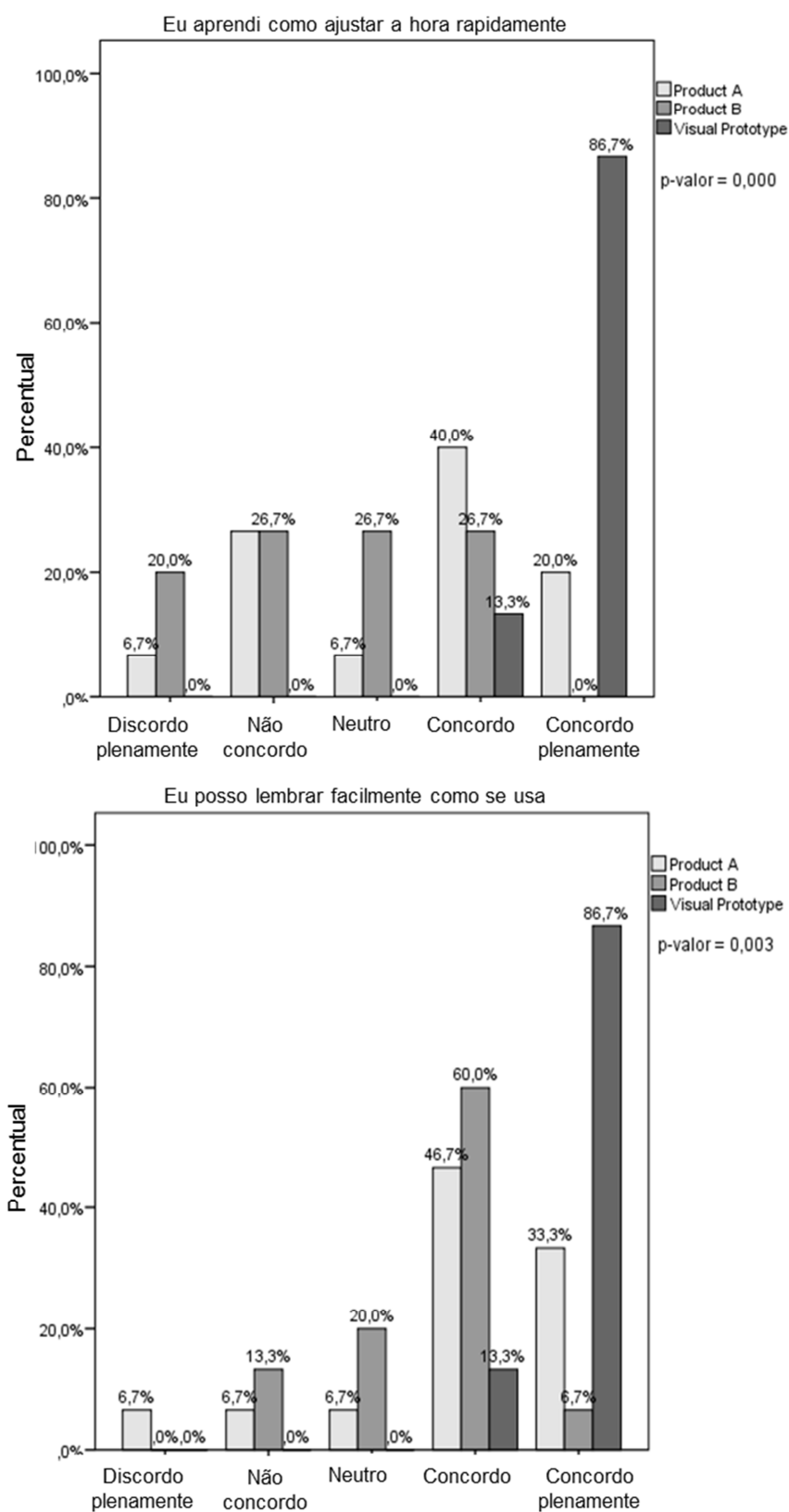


Fonte: A autora

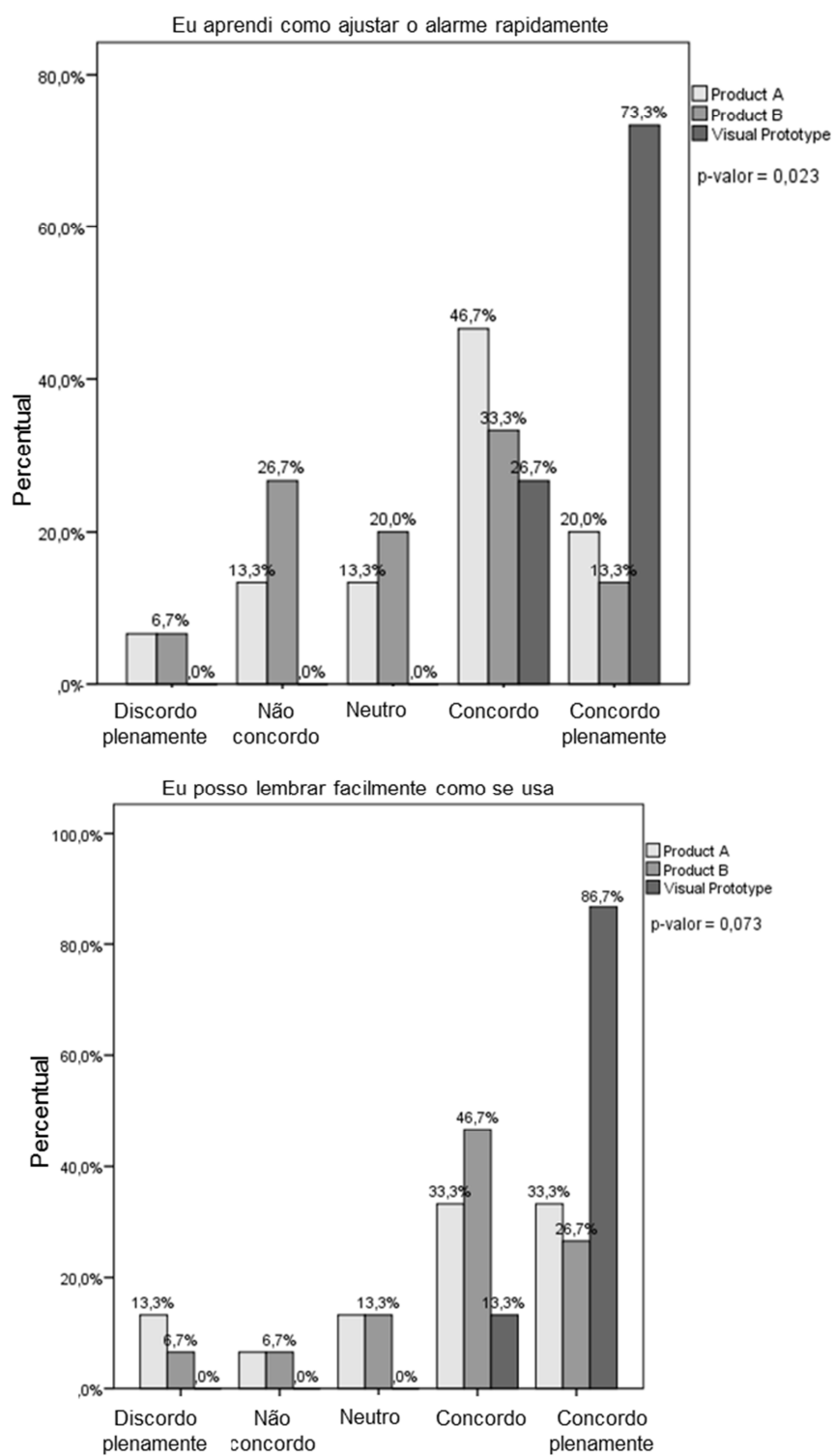
Conforme o percentual dos resultados da Figura 8.6, referente a variável “aparência visual”, o produto A obteve resultado mais satisfatório que o produto B, obtendo um total de 61,6% das respostas nas opções concordo e concordo plenamente em relação a 53,8% do produto B. No outro cenário, a forma do modelo virtual foi considerada a mais satisfatória, obtendo um percentual de 73,3% na opção concordo. De acordo com o teste Qui Quadrado ($p\text{-valor } 0.347 > 0.05$), a opinião do usuário em relação a forma do produto é independente do tipo de produto, ou seja, a opinião é a mesma para cada produto.

Na seção 4, os participantes foram convidados a realizar três tarefas com o modelo e, ao finalizar cada uma, respondia a duas questões relacionadas à facilidade de uso. Para análise dos resultados, foi obtido um percentual das respostas para cada tarefa, conforme figuras a seguir.

Figura 8.7 – Gráfico dos resultados sobre a Tarefa1: Ajuste da hora.

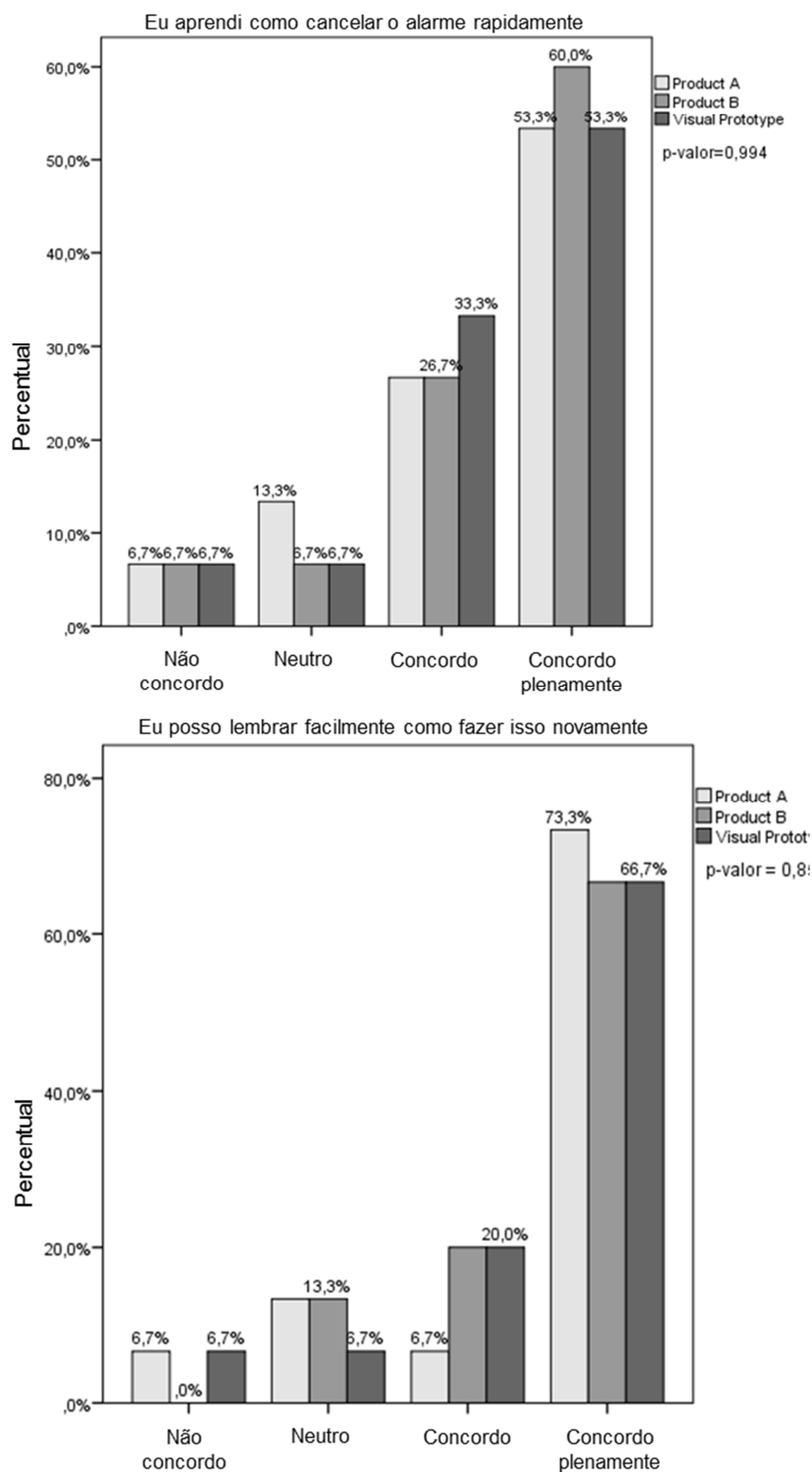


Fonte: A autora

Figura 8.8 – Gráfico dos resultados sobre a Tarefa 2: Ajuste do alarme.

Fonte: A autora

Figura 8.9 – Gráfico dos resultados sobre a Tarefa 3: Parar e cancelar o alarme.



Fonte: A autora

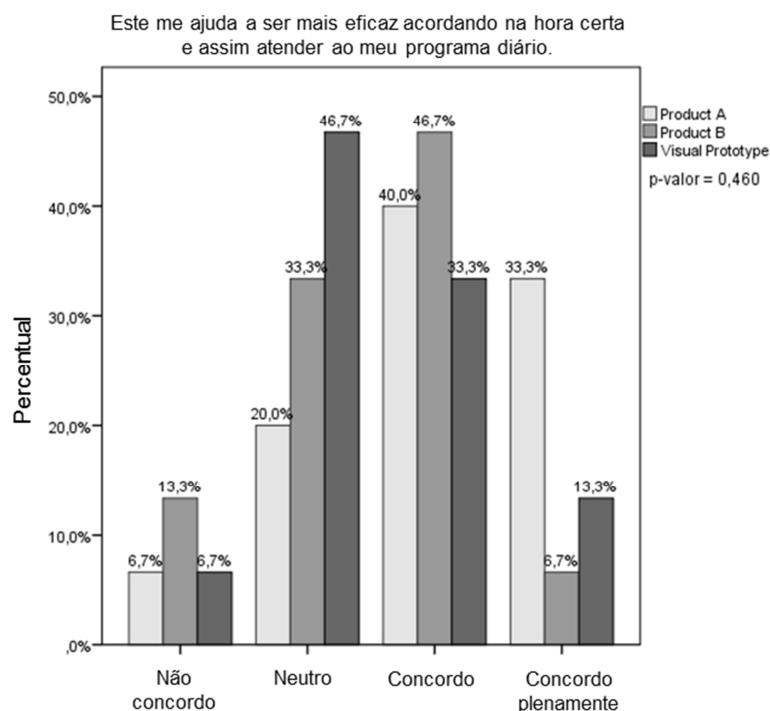
De acordo com os gráficos da Figura 8.7, o protótipo virtual obteve o percentual mais satisfatório entre os participantes. Na análise comparativa entre os produtos A e B, o ajuste da hora do radio-relógio A foi considerado como mais fácil de aprender e de lembrar do que o ajuste do radio-relógio B pela maioria dos participantes. É importante observar que 46,7% do total das respostas entre discordo e discordo plenamente, indicaram que a tarefa de ajuste da hora com o produto B não foi fácil de aprender em comparação ao total de 33,4% do produto A.

Nos gráficos da Figura 8.8, o percentual de satisfação dos participantes com o protótipo virtual é semelhante ao da tarefa anterior. Nos produtos A e B, a satisfação com a tarefa de ajuste do alarme foi melhor avaliada pelos participantes em comparação com a tarefa anterior. O produto A obteve 66,7% das respostas entre concordo e concordo plenamente que ajustar o alarme é fácil de aprender, e 60% das respostas entre concordo e concordo plenamente que ajustar a hora é fácil de aprender, enquanto que o produto B obteve 46,6% das respostas para o ajuste do alarme e 26,7% para o ajuste da hora.

Com base nas Figuras 8.7 e 8.8, o teste Qui Quadrado (p -valor 0.000 e $0.023 < 0.05$), a opinião do usuário em relação as tarefas realizadas não é independente do tipo de produto, ou seja, dependendo do tipo de produto ocorrem diferentes respostas para as questões.

Na tarefa 3, cujos resultados são apresentados nos gráficos da Figura 8.9, os participantes avaliaram de forma satisfatória os três produtos. O produto A obteve 80% das respostas entre concordo e concordo plenamente que cancelar o alarme é fácil de aprender, o produto B obteve 86,7% e o protótipo virtual obteve 86,6%. Este fator pode também ser observado no teste Qui Quadrado (p -valor $0.994 > 0.05$), cuja opinião do usuário em relação a tarefa de cancelar o alarme do produto independe do tipo de produto, ou seja, a opinião foi a mesma para os três tipos avaliados.

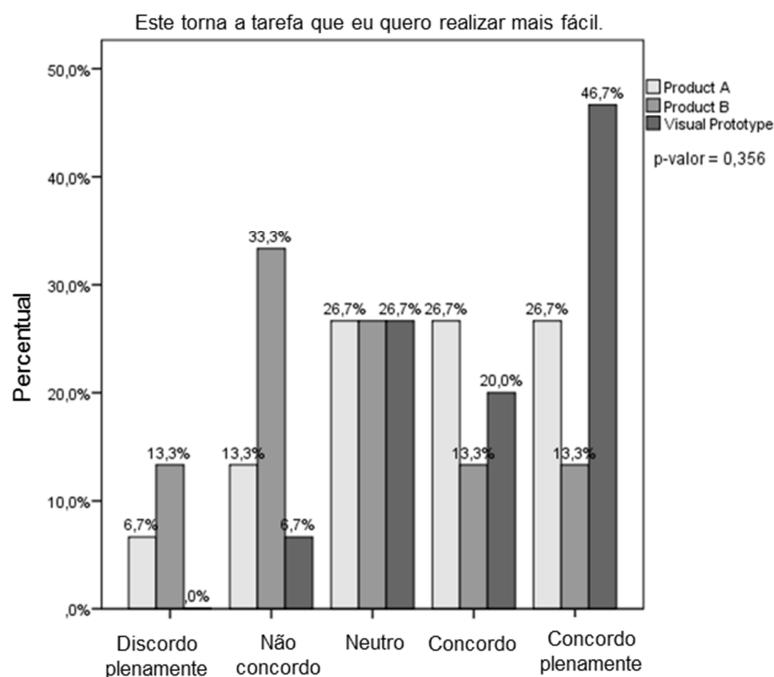
Na última parte do questionário, os participantes responderam a sete questões referentes à usabilidade do modelo que estava sendo avaliado, cujos gráficos com o percentual das respostas são apresentados individualmente a seguir.

Figura 8.10 – Gráfico da questão 1 sobre usabilidade.

Fonte: A autora

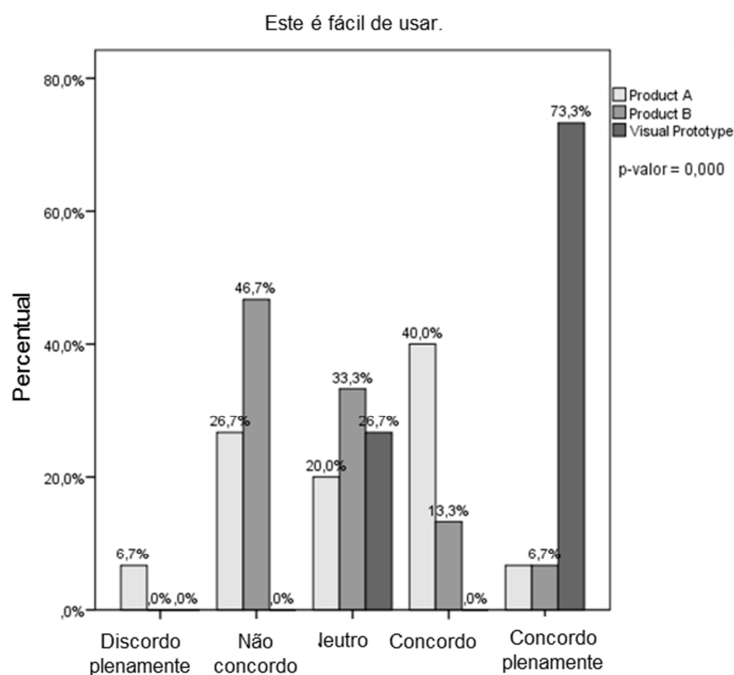
Com base no percentual das respostas apresentadas na Figura 8.10, os participantes indicaram confiar nos produtos apresentados quanto ao papel de acordá-los na hora certa, cujo teste Qui Quadrado ($p\text{-valor } 0.460 > 0.05$), apresenta opinião semelhante do usuário independente do tipo de produto. No entanto, o produto A foi melhor avaliado com 73,3% das respostas entre concordo e concordo plenamente, seguido pelo produto B com 53,4%. O protótipo virtual neste quesito obteve o menor desempenho, 46,6% das respostas entre concordo e concordo plenamente e 46,7% optaram pela posição neutra.

Na pergunta seguinte, conforme Figura 8.11, os participantes reforçaram a insatisfação com o produto B quanto a facilidade do uso, sendo 26,6% das respostas entre concordo e concordo plenamente e 46,6% das respostas entre não concordo e discordo plenamente, assim como a satisfação quanto a facilidade de uso do protótipo virtual, com 66,7% das respostas entre concordo e concordo plenamente.

Figura 8.11 – Gráfico da questão 2 sobre usabilidade

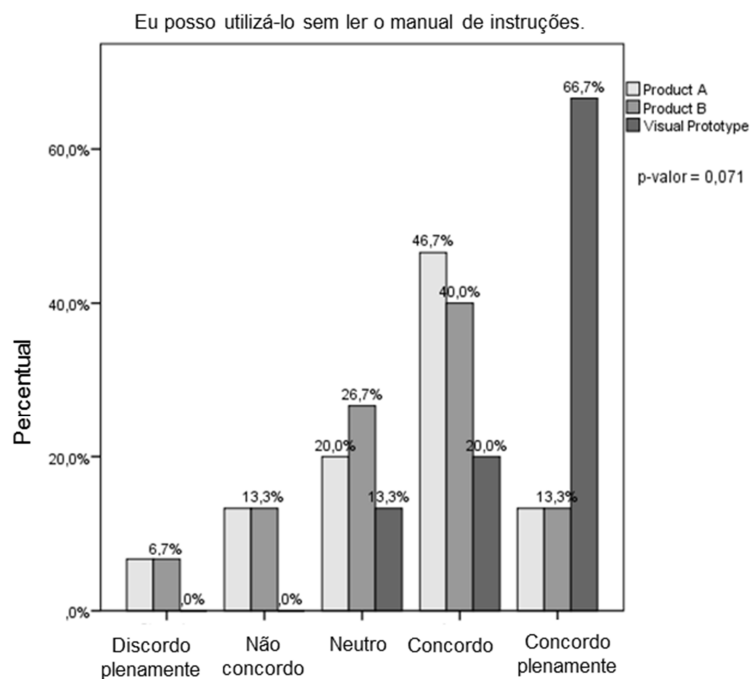
Fonte: A autora

Na Figura 8.12, conforme o teste Qui Quadrado ($p\text{-valor } 0.000 < 0.05$), a opinião do usuário em relação a facilidade de uso do produto não é independente, sendo o protótipo virtual melhor avaliado com 73,3% das respostas entre concordo e concordo plenamente. O produto B obteve avaliação menos satisfatória com 46,7% das respostas entre não concordo e discordo plenamente.

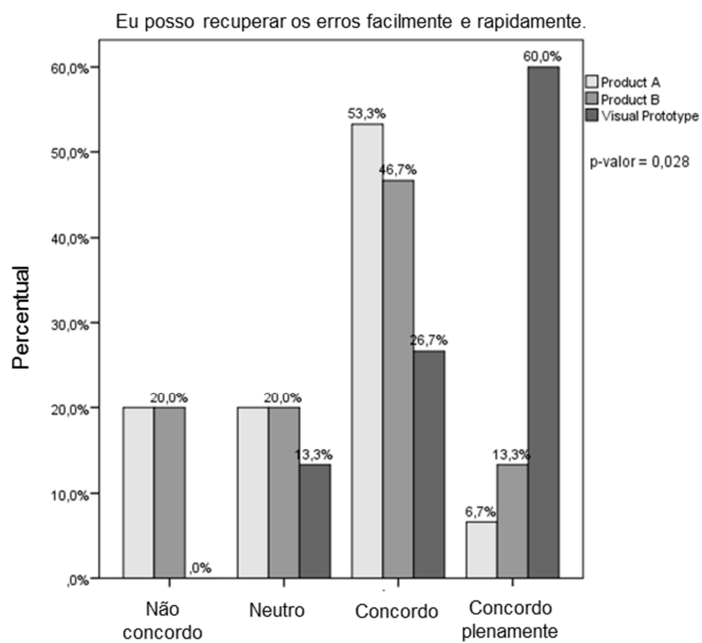
Figura 8.12 – Gráfico da questão 3 sobre usabilidade

Fonte: A autora

Com base nas respostas apresentadas na Figura 8.13, como também a partir do teste Qui Quadrado ($p\text{-valor } 0.071 > 0.05$), a opinião dos participantes é semelhante quanto ao uso do manual de instruções, independente do tipo de produto. Na questão referente a possibilidade de recuperar erros facilmente, conforme a Figuras 8.14, os três produtos foram avaliados de forma positiva com maior percentual entre as opções concordo e concordo plenamente.

Figura 8.13 – Gráfico da questão 4 sobre usabilidade.

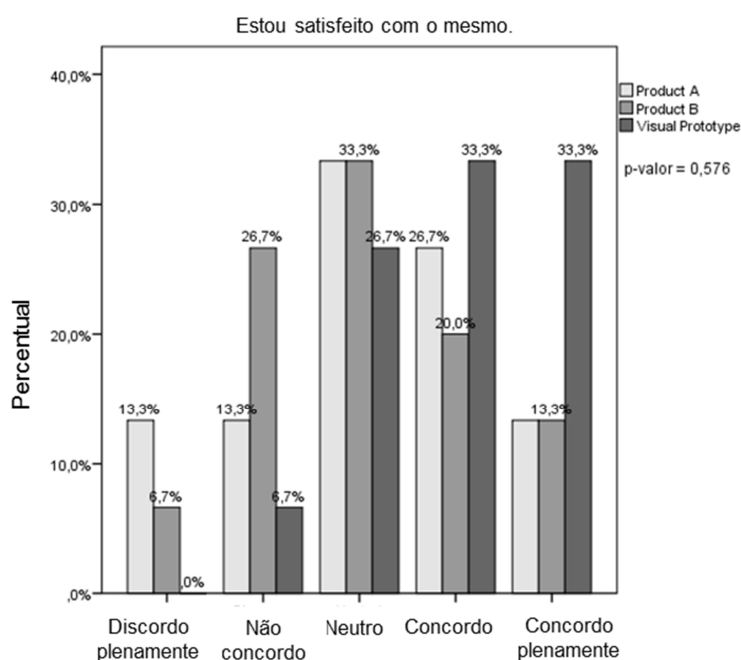
Fonte: A autora

Figura 8.14 – Gráfico da questão 5 sobre usabilidade.

Fonte: A autora

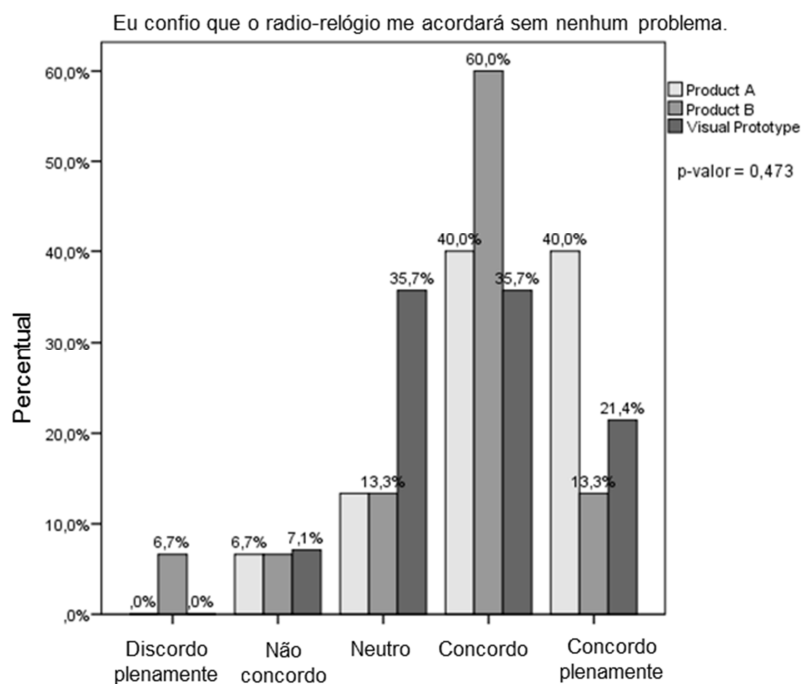
A Figura 8.15 apresenta os resultados da opinião do usuário quanto a sua satisfação com o produto. O protótipo virtual obteve maior percentual (66,6%) das respostas entre concordo e concordo plenamente em comparação ao produto A (40%) e o produto B (33,3%). É importante ressaltar que o produto B obteve um percentual maior (33,4%) de insatisfação nas respostas entre não concordo e discordo plenamente.

Figura 8.15 – Gráfico da questão 6 sobre usabilidade.



Fonte: A autora

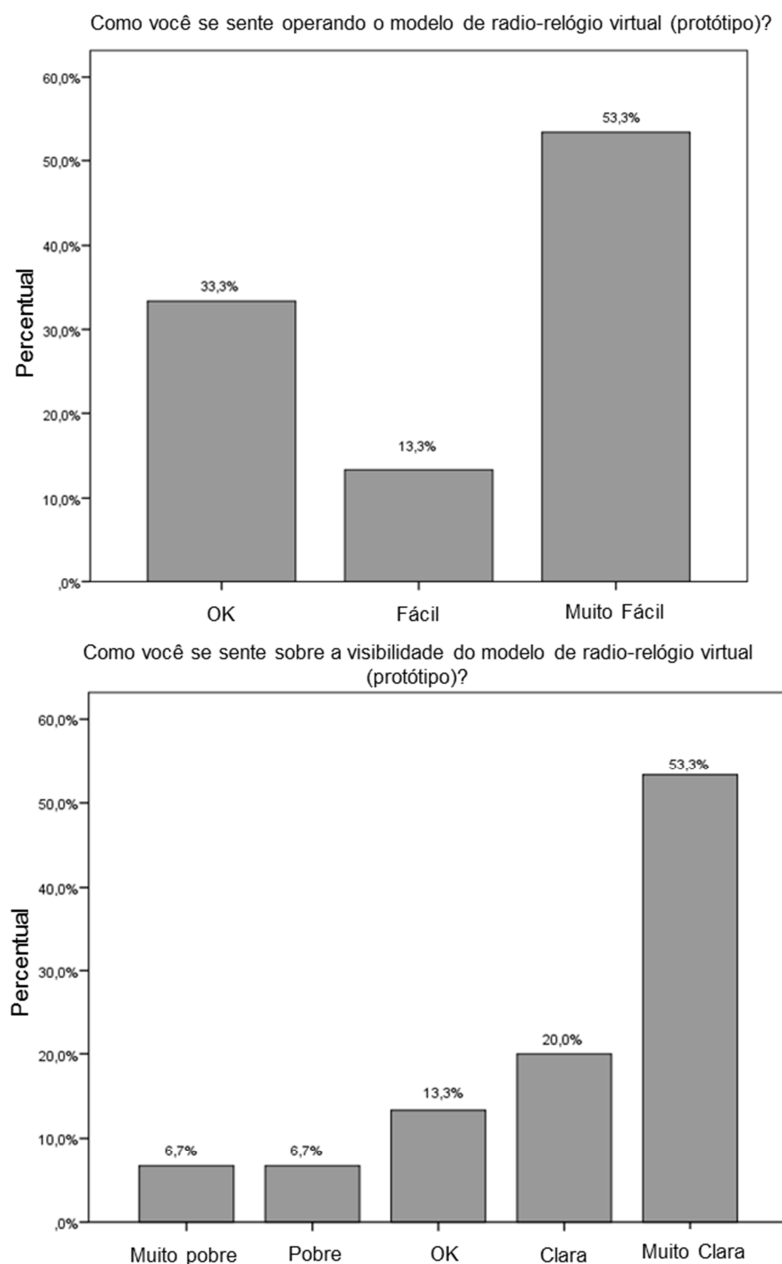
A última pergunta questionava sobre o grau de confiança do usuário com o produto, cujo teste Qui Quadrado ($p\text{-valor } 0.473 > 0.05$), apresentou a opinião do participante independente do tipo de produto, ou seja, a opinião foi a mesma para os três tipos avaliados. Conforme os resultados apresentados na Figura 8.16, o produto A obteve maior percentual (80%) das respostas entre concordo e concordo plenamente, seguido pelo produto B (73,3%) e pelo protótipo virtual (57,1%).

Figura 8.16 – Gráfico da questão 7 sobre usabilidade

Fonte: A autora

Por fim, no questionário do protótipo virtual foi acrescida a seção 5 com duas questões complementares sobre a opinião do usuário durante a utilização do produto (ver Apêndice H). Com base nos resultados apresentados na Figura 8.17, a maioria dos respondentes (66,6%) afirmou que o modelo virtual era fácil de usar escolhendo as opções fácil e muito fácil da escala Likert. A visibilidade do protótipo na tela virtual também foi avaliada de forma positiva com percentual de 73,3% das respostas entre clara e muito clara.

Figura 8.17 – Gráfico da seção 5 do questionário durante o teste - protótipo virtual.



Fonte: A autora

Com base nos comentários descritos pelos participantes no final do questionário sobre o protótipo virtual, os seguintes aspectos foram apontados:

- Ausência de um dispositivo para evitar que o usuário volte a dormir após desligar o alarme;
- Indicar no menu a informação se o sistema de hora adotado foi 12 ou 24 horas, como por exemplo, foi adotado o horário 13:30 ou 1:30pm;

- A opção de um click a cada mudança de número poderia ser substituído pelo click constante para ajuste do horário.

Dando prosseguimento ao experimento, os dados EEG foram avaliados conforme procedimentos descritos no item 8.2.5 e mapa de dados EEG, conforme Apêndice H. Os valores foram baseados na maior intensidade registrada na frequência Beta (15-30Hz), correspondendo ao valor indicado no eixo y ($\mu V^2/Hz$). A Tabela 8.2 apresenta os dados obtidos por cada participante e o valor médio da intensidade, indicando o envolvimento do usuário na realização das tarefas com os modelos de radio-relógio.

Tabela 8.1 – Tabela dos dados EEG.

Participante	Produto A		Produto B		Protótipo Virtual	
	Freq. X	Int. Y	Freq. X	Int. Y	Freq. X	Int. Y
1	23.75	14.7	24.38	16.64	22.13	11.48
2	15.63	15.09	21.5	11.72	23.75	20.38
3	16	4.16	16.25	6.38	22.13	7.762
4	20.5	6.446	15.88	6.585	21.25	7.226
5	20.38	9.017	22.63	9.117	20.38	16.57
6	17.25	3.485	17.75	3.494	19.5	1.668
7	16.88	5.632	17.5	5.658	16.13	8.901
8	22.38	3.888	18.63	3.974	16.75	9.629
9	17.25	6.73	17.75	6.099	17.13	7.876
10	16.5	10.03	20.25	16.71	15.75	8.622
11	24.5	7.161	16	5.205	18	5.614
12	20.63	11.79	19.63	9.473	21.25	11.58
13	15.75	8.896	22.13	3.399	18.25	5.302
14	16.63	15.65	24.25	16.4	15.88	22.34
15	16	7.307	15.5	6.318	22.13	8.49
Indicador do envolvimento do usuário na tarefa	8.665467		8.478133		10.22933	

Fonte: A autora

De acordo com a Tabela 8.1, os valores apresentados na coluna 'Freq. X' representam a frequência medida em Hz, e foram apenas considerados para indicar que os valores da intensidade na coluna 'Y' foram obtidos a partir da frequência Beta, que indica vigília, atenção, envolvimento mental e processamento consciente de informações (conforme item 6.2.2).

8.3.2 Análise dos resultados

Com base nos resultados apresentados no item anterior, cada modelo de produto avaliado no experimento será analisado individualmente e por fim comparados entre si. Os valores relativos a intensidade (Y) apresentados na Tabela 8.1 foram inicialmente testados quanto as medidas descritivas para cada produto separadamente, conforme Tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Medidas descritivas dos valores Y para os produtos A, B e o protótipo virtual.

	Média	Desvio-Padrão	IC 95%	CV(%)	Mediana	Mínimo	Máximo	Range
Prod. A	8,66547	4,055145	[6,42 ; 10,9]	46,79661	7,307	3,485	15,650	12,165
Prod. B	8,47813	4,758067	[5,84 ; 11,11]	56,12163	6,380	3,399	16,710	13,311
Protótipo Virtual	10,22933	5,609639	[7,12 ; 13,34]	54,83876	8,622	1,668	22,340	20,672

Fonte: A autora

De acordo com a tabela acima percebe-se que os valores de cada produto não são homogêneos, ou seja, apresentam dispersão moderada, sendo os valores do produto B mais dispersos (cerca de 56% no Coeficiente de Variação). Segundo Field (2009), em consequência da não homogeneidade a média passa a não ser uma medida representativa, devendo então considerar a mediana. A partir dos valores da mediana, é possível perceber que o protótipo virtual apresenta um valor maior em comparação aos produtos A e B.

Considerando que os valores 'Y' para os produtos A, B e o protótipo virtual foram produzidos pelos mesmos indivíduos, existem três grupos dependentes a serem comparados. Ao observar os valores da Tabela 8.3, o protótipo virtual obteve valores acima dos produtos A e B, sendo 25% dos indivíduos com valor menor que 7,22600 e 75% com valor abaixo de 11,58000.

Tabela 8.3 – Percentis dos valores 'Y' para cada produto.

Produto	N	Percentiles		
		25 th	50th (Median)	75 th
Int. y Produto A	15	5,63200	7,30700	11,79000
Int. y Produto B	15	5,20500	6,38000	11,72000
Int. y Prot. Virtual	15	7,22600	8,62200	11,58000

Fonte: A autora

Para comparar os três grupos, se faz necessário a aplicação do teste de normalidade para a escolha do método de comparação mais adequado (paramétrico ou não paramétrico), conforme apresentado na Tabela 8.4.

Tabela 8.4– Teste de normalidade dos valores ‘Y’ para os três produtos.

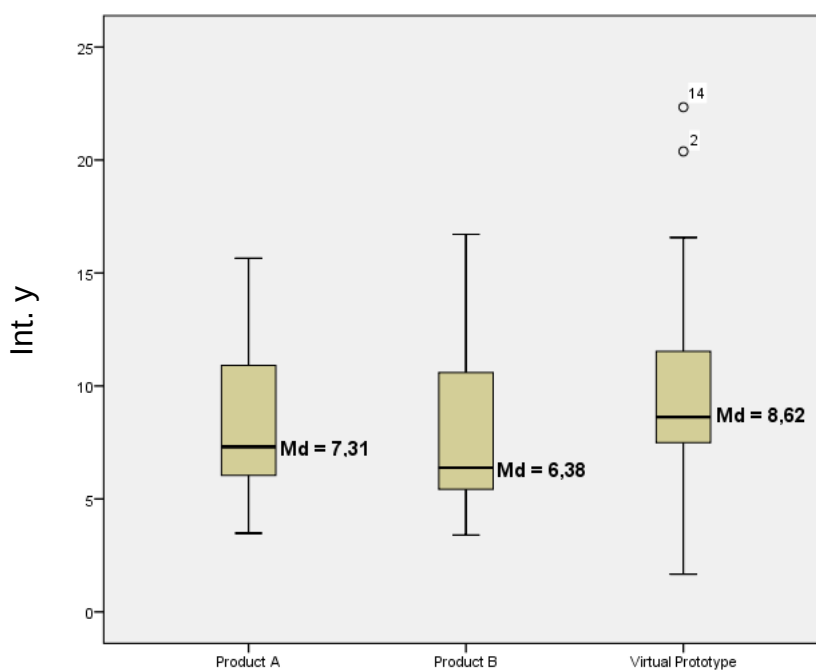
Produto	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Y_ Produto A	,165	15	,200*	,915	15	,162
Y_ Produto B	,255	15	,010	,840	15	,013
Y Prot. Virtual	,209	15	,076	,895	15	,080

Fonte: A autora

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Com base na tabela acima, o $p\text{-valor} < 0.05$ nos testes Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov para o produto B demonstra que os valores não são normalmente distribuídos. Esta não normalidade torna a média um valor não adequado para a comparação dos grupos, sendo mais indicado a mediana conforme Figura 8.18.

Figura 8.18 – BoxPlot dos valores Y para os produtos A, B e PV.

Fonte: A autora

O gráfico da figura acima demonstra que os grupos apresentam dispersão próxima e medianas não muito diferentes. Observa-se também dois participantes atípicos (Participantes 2 e 14) do protótipo virtual, com valores bem acima dos demais.

Desta forma, como não houve normalidade nos três grupos, a comparação conjunta dos valores 'Y' foi realizada a partir do Teste de Friedman, que corresponde a um teste não paramétrico de comparação de mais de dois grupos dependentes (FIELD, 2009).

A Figura 8.19 apresenta o resultado do Teste Friedman indicando não haver diferenças significativas entre os valores 'Y' dos três produtos (p -valor > 0.05).

Figura 8.19 – Resultado do Teste Friedman para os valores Int. y.

Hypothesis Test Summary				
	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distributions of A_Y, B_Y and Prot_Y are the same.	Related-Samples Friedman's Two-Way Analysis of Variance by Ranks	,165	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

Fonte: A autora

Uma análise mais detalhada foi realizada a partir de comparações par a par, conforme Tabela 8.5.

Tabela 8.5– Resultados do teste par a par.

Sig. (2-tailed)		
Pair 1	Prod. A_Y – Prod. B_Y	0,865 (Wilcoxon Test)
Pair 2	Prod. B_Y – Prot. Virtual_Y	0,078 (Wilcoxon Test)
Pair 3	Prot. Virtual_Y – Prod. A_Y	0,117 (Paired T test)

Fonte: A autora

Conforme tabela acima, os valores 'Y' para os produtos A e B não diferem significativamente quanto ao nível de significância 5%, assim como para o produto B e o protótipo virtual. No estudo comparativo entre o produto A e o protótipo virtual também não houve diferenças significativas entre os valores 'Y'.

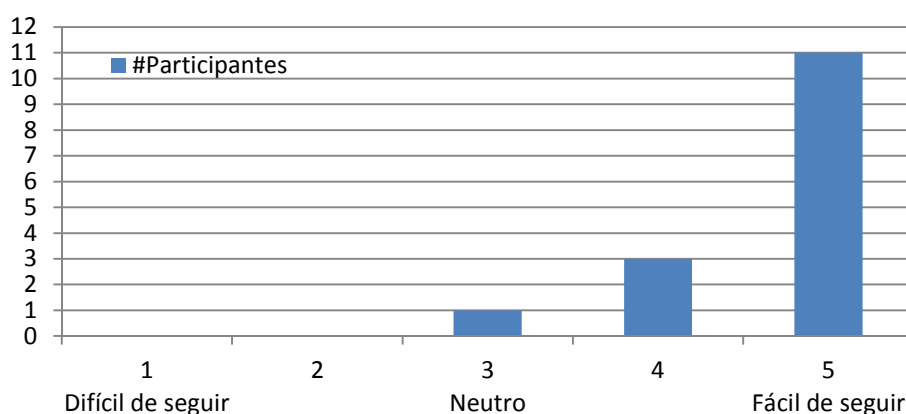
Ao avaliar os resultados, podemos concluir que não houve diferenças dos valores 'Y' para os diferentes produtos, sendo o aumento percebido do envolvimento cognitivo medido através da intensidade EEG (Y) do protótipo virtual estar associado a preferência dos participantes pelo mesmo. Desta forma, ao comparar os três modelos, o maior índice da

usabilidade percebida a partir dos questionários e do envolvimento do usuário na utilização do produto foi apresentado pelo protótipo virtual. Ao analisar os valores a partir de um cenário comparativo entre os produtos A e B, a usabilidade e o envolvimento do usuário foram melhor avaliados pelos participantes com o produto A, validando os dados apontados no questionário.

8.3.3 Resultados do questionário Pós-teste

Ao concluir a tarefa com os modelos, os participantes respondiam ao questionário pós-teste. Na primeira questão da seção 6, os participantes avaliaram os procedimentos do teste, cujo resultado apontou que estes não encontraram dificuldades em acompanhar as etapas da pesquisa, conforme resultados indicados na Figura 8.20.

Figura 8.20 – Resultado da avaliação dos participantes sobre os procedimentos do experimento.



Fonte: A autora

Por fim, na seção 7, os participantes avaliaram o *headset* Emotiv. A maioria, no total de treze (13), responderam que o dispositivo não apresentou nenhum tipo de desconforto durante os testes. Os outros dois participantes que responderam a opção 'sim' apontaram os seguintes problemas:

- O dispositivo é bom, mas sentiu que ficou um pouco apertado. Acredita que com o uso prolongado pode vir a gerar dor de cabeça.

- O participante sentiu uma corrente elétrica próxima à testa, local onde o eletrodo tocava a pele e não o cabelo.

Apesar do pequeno desconforto apontado pelos dois usuários, a experiência com o sistema EEG Emotiv foi registrada como bastante positiva. Conforme descrição dos participantes, no início, quando o *headset* foi posicionado na cabeça, eles sentiram a presença do mesmo, mas com o tempo esta presença foi esquecida. De forma geral, o dispositivo foi avaliado pelos participantes como leve e confortável.

8.4 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo, um experimento foi realizado utilizando um sistema EEG *wireless*, disponível comercialmente, a fim de investigar as atividades cerebrais do usuário durante a utilização de um produto de consumo. As frequências cerebrais obtidas durante a atividade do usuário com o produto foram gravadas pelo *software* Emotiv TestBench e posteriormente interpretadas pelo *software* EEGLAB.

Ao estudar a relação entre as atividades cerebrais dos participantes e o desenvolvimento das tarefas com os modelos propostos na pesquisa, vários pontos importantes surgiram, entre eles podemos destacar:

- O uso da frequência *Beta* (14-30Hz), que representa entusiasmo, empenho e intensa concentração mental, para avaliação da satisfação do usuário com o produto nos testes de usabilidade;
- Definição de parâmetros quantitativos da satisfação do usuário com o produto representados pela maior intensidade na frequência *Beta* (valor 'Y').

Com base nos procedimentos de pesquisa adotados, os resultados do experimento comprovaram a possibilidade de aplicação da tecnologia EEG na avaliação da usabilidade a partir de um estudo comparativo entre produtos, cujos resultados contribuirão para futuras pesquisas em *Neurodesign*, que provavelmente surgirão após esta tese.

A análise demonstrou que os valores da frequência máxima (Intensidade Y), obtidos durante as atividades realizadas pelos participantes, não apresentaram diferenças nos três produtos avaliados. No estudo comparativo entre os produtos, o maior valor da mediana da frequência entre os participantes comparado com os resultados do questionário, demonstrou um maior envolvimento do usuário com o produto e, conseqüentemente, uma satisfação do mesmo quanto a usabilidade (Prod. A 7,307; Prod. B 6,380 e Prot. Virtual 8,622).

No entanto, os dados avaliados não podem ser considerados conclusivos por duas razões principais. Primeiramente, devido ao pequeno grupo de participantes da pesquisa, os dados estatísticos não foram significantes para comprovar a eficiência dos valores da frequência EEG comparados com os resultados dos questionários. Outra razão corresponde ao fato desta tecnologia fazer parte de um novo conceito, não sendo encontrado na literatura nenhum estudo similar que pudesse ser utilizado como referência para os dados encontrados neste estudo de caso.

Capítulo 9

Conclusões e Recomendações

Neste capítulo final, uma avaliação das principais descobertas desta pesquisa será realizada. Inicialmente os pontos mais importantes da pesquisa bibliográfica e dos estudos de campo serão revistos. Lições significativas foram aprendidas a partir dos estudos de caso com protótipos, ambiente virtual e EEG na avaliação da usabilidade de produtos de consumo. Estas lições foram brevemente revistas e as conclusões do estudo são apresentadas na segunda parte deste capítulo. Por fim, o capítulo é concluído com as recomendações para trabalhos futuros.

9.1 Revisão das principais descobertas da pesquisa

O ponto de partida desta pesquisa foi o de identificar ferramentas tecnológicas de suporte ao design de produtos durante a avaliação da usabilidade. A revisão de literatura e os estudos de campo promoveram respostas que validaram o uso destas ferramentas identificadas. A importância destas respostas para o principal objetivo da pesquisa que é o de investigar o potencial destas tecnologias na avaliação da usabilidade para o designer de produto, conforme item 1.2.3, será brevemente discutida neste subcapítulo, assim como algumas limitações encontradas pelo pesquisador.

9.1.1 A revisão de literatura

Na primeira parte da tese, as questões analisadas na revisão de literatura dos capítulos 1, 2 e 3 estão relacionadas com o tema principal da tese que é a usabilidade, suas abordagens, dimensões, modelos e métodos. O conteúdo investigado nesta parte atendeu ao primeiro objetivo da tese apontado no item 1.2.3, no qual foram descritos importantes achados sobre como a avaliação da usabilidade vem sendo abordada no desenvolvimento de produtos de consumo.

Inicialmente a revisão de literatura no capítulo 2 apresentou um conceito de usabilidade associado a produtos de consumo, como também relacionou esta área da pesquisa à ergonomia pelo fato de seguirem um mesmo princípio no entendimento da interface humano-produto. Dando continuidade ao tema, as pesquisas sobre usabilidade existentes foram sintetizadas e organizadas com base em um conjunto de fatores contextuais de

medidas e modelos de usabilidade, proporcionando uma base de dados a pesquisadores e especialistas envolvidos na avaliação e testes da usabilidade de produtos de consumo, enfatizando a importância do tema a fim de proporcionar uma melhor interface usuário-produto.

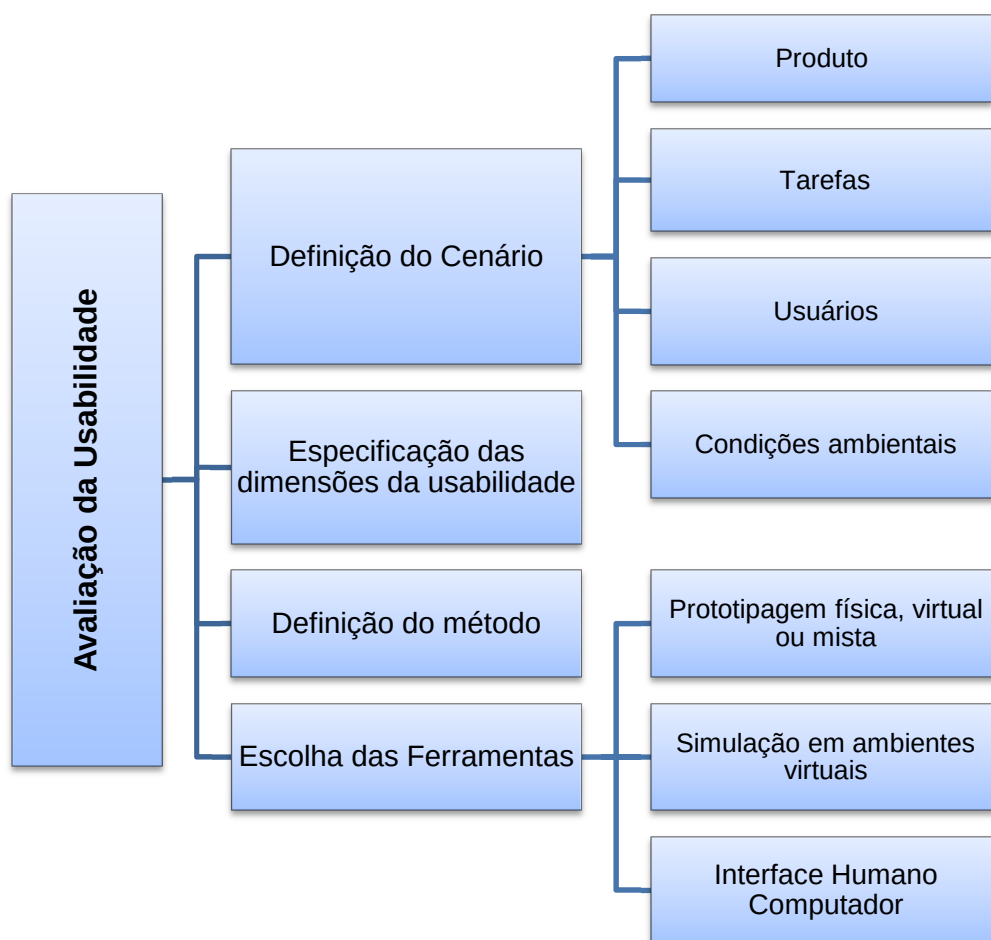
No capítulo 3, modelos de Sistema de Desenvolvimento do Produto foram abordados para compreensão do papel da usabilidade neste processo, enfatizando a importância da avaliação da usabilidade desde as primeiras etapas do processo de design. Métodos e ferramentas utilizados pelo designer na avaliação da usabilidade também foram apontados e revisados a fim de serem utilizados nos estudos de caso da terceira parte da tese.

A partir de um estudo aprofundado sobre o tema, no qual foram pesquisados publicações *peer-reviewed Journals* e livros, a avaliação da usabilidade foi entendida como um procedimento essencial no desenvolvimento de produtos de consumo. Para o planejamento e realização da avaliação da usabilidade, uma série de fatores deve ser considerada, envolvendo o processo de avaliação, o produto, o usuário, a atividade e as características do contexto de uso.

Comumente, acredita-se que os problemas da usabilidade são identificados por uma única pessoa, o especialista em usabilidade, que então precisa comunicar este conhecimento aos demais membros da equipe de design. No entanto, a partir dos conceitos abordados nos capítulos 2 e 3, foi possível tratar as questões de usabilidade de forma facilitada, identificando cinco processos essenciais que podem ser facilmente aplicados pelos designers durante o desenvolvimento do produto, conforme seguem.

1. Definição do modelo de usabilidade
2. Definição do cenário
3. Especificação das dimensões da usabilidade
4. Definição do método
5. Escolha das ferramentas

Os processos seguem um curso linear, conforme representado na Figura 9.1, sendo as atividades correspondentes a cada etapa discutidas nos parágrafos seguintes.

Figura 9.1 – Processo para Avaliação da Usabilidade.

Fonte: A autora

A avaliação da usabilidade inicia a partir da escolha de um modelo conceptual para coordenar as demais fases da avaliação. Os modelos relacionados a produtos de consumo descritos no capítulo 2 item 2.4, auxiliam ao avaliador definir em que fase do ciclo de design a avaliação está sendo realizada e quais são os objetivos do teste.

A segunda fase compreende a construção de um cenário, que corresponde a uma etapa preparatória na qual os demais procedimentos devem basear-se. O cenário é definido a partir das informações do produto, da tarefa a ser realizada, dos usuários e das condições ambientais.

Na terceira fase, as dimensões da usabilidade são determinadas de acordo com os objetivos traçados nas fases anteriores. Estas dimensões foram descritas no capítulo 2 item 2.3, e são direcionadas a partir de um entendimento das necessidades do usuário durante a utilização do produto.

A escolha do método para conduzir os procedimentos da pesquisa de campo deve ser realizada na quarta fase do processo. Vários métodos foram abordados no capítulo 3, sendo estes consolidados por profissionais e pesquisadores da usabilidade, e que serviram como base para a elaboração dos estudos de caso desta pesquisa.

Por fim, ferramentas são escolhidas como mediadoras na comunicação entre o usuário e o produto. Ou seja, estas possibilitam que os usuários visualizem o produto e o avaliem durante os testes de usabilidade. Novas ferramentas vêm sendo desenvolvidas a partir de tecnologias emergentes, sendo as principais descobertas nesta área descritas no item a seguir.

Em conclusão, considerando as pesquisas apontadas nesta primeira parte da revisão de literatura, a seguinte questão da pesquisa foi respondida:

Como a avaliação da usabilidade vem sendo abordada no desenvolvimento de produtos de consumo? (ver item 1.2.3)

Desta forma, esperamos contribuir, motivando novas pesquisas na área, em busca do aprimoramento dos conceitos e métodos existentes.

9.1.2 As tecnologias emergentes

A segunda parte da tese correspondeu à revisão de literatura das tecnologias emergentes e como estas podem ser aplicadas à usabilidade, correspondendo ao segundo objetivo da tese apontado no item 1.2.3, e respondendo a seguinte questão:

Quais recursos tecnológicos vêm sendo utilizados na prática da avaliação da usabilidade de produtos de consumo?

No campo do design, o termo protótipo significa um tipo específico de objeto utilizado durante os estágios do processo de design, para o estudo, treino e testes da funcionalidade do produto. Ao longo do capítulo 4, foram apresentadas técnicas de prototipagem que permitem o uso do protótipo como uma ferramenta importante para a avaliação da interface humano-produto e coleta do *feedback* do usuário. Neste sentido, o protótipo corresponde ao meio pelo qual o designer aprende, descobre, gera e aperfeiçoa o projeto de um produto sendo, portanto, um facilitador do pensar o projeto durante todas as fases de criação.

Neste panorama, o protótipo virtual foi reconhecido nesta tese como uma ferramenta útil na avaliação de produtos, sendo tal afirmação embasada por diversos autores, tais como, Wang (2002), Bruno & Muzzupappa (2010), Kim et al. (2011b), em particular na avaliação da usabilidade, por oferecer maiores benefícios quando comparados a práticas e metodologias

tradicionalmente utilizadas (Bordegoni et al., 2009). Adicionalmente, foram apresentados alguns estudos, tais como o de Bordegoni, Ferrise e Cugini (2012) e Barbieri et al. (2013), que demonstraram a eficiência, flexibilidade e segurança para resolver problemas relacionados à usabilidade de produtos.

Recentemente, a avaliação de protótipos em ambiente virtual vem sendo gradativamente aplicada na indústria durante o desenvolvimento de produtos, conforme apresentado no item 4.2 do capítulo 4. O uso de tecnologias como a realidade virtual e aumentada permitem a integração de usuários e os membros da equipe de projeto no processo de design a partir de uma abordagem de design participativo (THALEN; VAN DER VOORT, 2012).

As revisões do design de produtos pela equipe de projeto dependem de uma discussão crítica que tem o objetivo de descobrir e resolver falhas antes da manufatura e montagem, sendo o emprego desta análise em ambientes virtuais um importante recurso para facilitar a redução de tempo e maior eficiência na concepção de um novo produto ou *redesign*, e consequentemente, uma melhor aceitação no mercado. Mais especificamente, no capítulo 5 foram apontadas outras vantagens, sendo estas:

- Os esforços para reformulação do produto podem ser reduzidos, visto que os projetos podem ser analisados e modificados rapidamente, assim como novas melhorias podem ser efetuadas de forma mais eficiente.
- Os protótipos físicos podem ser eliminados, ou pelo menos reduzidos, visto que a análise e os testes com produtos podem ser realizados em ambiente virtual.
- A qualidade do projeto e a confiabilidade podem ser melhoradas a partir de uma análise mais eficiente pela equipe de projeto dos conceitos de design, a partir de uma linguagem mais compreensível às diferentes capacidades.
- Maior ênfase pode ser aplicada para a fabricação do produto, ainda nas primeiras fases do ciclo de design, minimizando os custos de fabricação.

Neste panorama, as tecnologias da realidade virtual e aumentada (RVA) e protótipos virtuais (PV), podem ser aplicados durante as diversas fases do ciclo de desenvolvimento do produto (ver Figura 3.4 do capítulo 3), ajudando a superar muitos dos desafios apontados ao longo da tese, com base nos dois pontos a seguir:

1. Superando as distâncias entre as equipes de projeto

No desenvolvimento de produtos convencional, é comum que as diversas especialidades funcionais sejam separadas dentro da organização. Os designers responsáveis pela criação do produto normalmente não têm informações suficientes sobre as necessidades de fabricação e montagem, e consequentemente, não se

preocupam com as consequências de suas decisões de projeto. Isto acarreta que, muitas vezes, o projeto seja devolvido à mesa da equipe de designers para reformulação, resultando em desperdício de tempo e atrasos.

As tecnologias RVA/PV permitem que os processos de fabricação e montagem de produtos possam ser considerados e avaliados ainda na fase do Design Preliminar, a partir da facilidade de diálogo entre as equipes em um ambiente virtual. Grandes indústrias como as automotivas e aeroespaciais já perceberam as vantagens destas tecnologias na redução significativa dos atrasos e dos custos do projeto, conforme exemplos apresentados no artigo da revista Eureka Magazine (EUREKA, 2013).

2. Superando as diferenças temporais e de distância

Na atualidade, com a globalização dos mercados, a coordenação das atividades de projeto em diferentes partes do mundo e, conseqüentemente, em diferentes fusos horários, tornou-se uma atividade corriqueira. A partir deste recurso, as empresas de manufatura adquiriram amplo acesso a mercados de materiais mais baratos e habilidades especializadas em diferentes regiões e países. As tecnologias RPA/PV podem preencher estas lacunas temporais, permitindo o envio de dados utilizando os recursos da internet.

Outro fator corresponde à possibilidade de criação de um ambiente virtual colaborativo, no qual os designers que estão fisicamente separados possam compartilhar dados do projeto, decisões de design, processos de fabricação, planos de montagem, etc, simultaneamente com as demais equipes, ou mesmo em momentos distintos.

A terceira tecnologia emergente apontada correspondeu aos recentes estudos da Neurociência utilizando o sistema de medidas da eletroencefalografia (EEG). A revisão de literatura descrita no capítulo 6 apontou um extenso campo de pesquisa a ser explorado na área do *neuropsychology*, aplicando os recursos EEG para o estudo da usabilidade de produtos a partir da Interface Cérebro Computador.

Pesquisas em *neuropsychology* vêm aumentando significativamente a partir do desenvolvimento de um dispositivo menos invasivo e disponível comercialmente, o sistema Emotiv EPOC. Estudos realizados nas áreas de marketing e ergonomia foram identificados ao longo do capítulo, porém, nenhum estudo significativo foi encontrado utilizando os dados EEG na avaliação da usabilidade, o que motivou o experimento desenvolvido no capítulo 8 desta tese.

Em conclusão, as abordagens realizadas nesta parte da tese trouxeram conhecimento sobre como as tecnologias emergentes disponíveis para o designer podem favorecer a avaliação da usabilidade, sendo uma importante contribuição para profissionais e pesquisadores, que podem utilizar os diferentes métodos e ferramentas apontados nas suas atividades do dia-a-dia. Desta forma, a seguinte questão foi investigada:

Como as novas ferramentas contribuem ou dificultam na avaliação da usabilidade de produtos e como as variáveis são relacionadas? (ver item 1.2.3)

9.1.3 Os estudos de campo

Em conformidade com o terceiro objetivo apontado no item 1.2.3, vários estudos de campo foram realizados a fim de avaliar a aplicação das tecnologias emergentes na avaliação da usabilidade, demonstrando como as mesmas estão relacionadas entre si. Como resultado, várias lições foram aprendidas a partir dos experimentos realizados com os especialistas, designers e estudantes.

De acordo com o apontado por Meister e Enderwick (2002) no capítulo 2, item 2.2.1, os estudos de caso realizados abordaram duas diferentes experiências com os usuários. Primeiramente, os especialistas e designers foram abordados como provedores de informações e trouxeram respostas sobre a sua visão a respeito do uso dos métodos de pesquisa e das tecnologias emergentes na avaliação da usabilidade. Em um segundo cenário, os estudantes da graduação e da pós-graduação foram utilizados como sujeitos nos testes de usabilidade, contribuindo na avaliação das tecnologias emergentes aplicadas à usabilidade.

O primeiro estudo de campo descrito no capítulo 3 correspondeu a um estudo piloto que possibilitou ao pesquisador conhecer os dois modelos de produtos utilizados na pesquisa e escolher um deles como modelo para elaboração dos protótipos. O experimento também proporcionou ao pesquisador escolher os métodos de pesquisa dos dois estudos de campo seguintes com base nos comentários e sugestões dos especialistas.

No capítulo 7 foram desenvolvidos dois estudos de caso, um descritivo e outro avaliativo. O primeiro estudo consistiu na aplicação de um questionário abordando o conhecimento dos designers e estudantes da graduação em Design sobre protótipos virtuais e simulação em RV. Os resultados evidenciaram a necessidade de pesquisas que avaliassem o potencial da aplicação das tecnologias de simulação em ambiente virtual.

O segundo estudo de caso analisou a viabilidade do uso do protótipo virtual e físico na avaliação da usabilidade do radio-relógio, destacando as vantagens e desvantagens no uso de cada modelo. Conforme levantado na revisão de literatura, o uso da prototipagem física foi apontado como um processo caro e demorado quando comparado ao uso da prototipagem virtual. No entanto, com base neste estudo de caso desenvolvido, conclui-se que o protótipo virtual ainda não oferece condições de substituir totalmente o protótipo físico quando a usabilidade do produto é avaliada. Ao realizar os testes com usuários reais, percebeu-se que o protótipo virtual ainda não é capaz de fornecer o *feedback* sensorial necessário para a avaliação do produto.

Com base nos estudos de caso do capítulo 7 e na revisão de literatura, conclui-se que a viabilidade do protótipo virtual para avaliação da usabilidade do produto dependerá da maturidade do modelo aplicado. Em geral, o protótipo virtual pode ser mais bem avaliado nos primeiros estágios do design de produtos, por oferecer maior flexibilidade de mudanças e menor tempo de execução, de acordo com a primeira hipótese levantada no item 1.2.2. Por outro lado, o protótipo físico tem um melhor desempenho na avaliação das questões mais tangíveis e na compreensão da escala do produto. Estes resultados mostraram que, atualmente, nenhum dos modelos de protótipos utilizados é melhor em detrimento dos outros, sendo, portanto, o uso de uma abordagem complementar um fator a ser considerado em futuros estudos, como solução para lidar com as deficiências encontradas nos protótipos virtual e físico.

Os resultados da revisão de literatura sobre as tecnologias emergentes e os estudos de caso descritos acima, foram fortes indicadores da necessidade de intensificar os estudos sobre protótipos complementares de forma simultânea, conforme os estudos de Liu (2011), como também de protótipos interativos, conforme os estudos de Ferrise, Bordegoni e Cugini (2013) e Bruno et al. (2010).

No capítulo 8 foi desenvolvido um estudo de campo aplicando a tecnologia EEG nos testes de usabilidade. O estudo consistiu em avaliar a satisfação do usuário quanto a usabilidade dos modelos apresentados a partir de dois cenários. O primeiro cenário consistiu em avaliar a usabilidade de um protótipo virtual funcional, e o segundo, consistiu em realizar um estudo comparativo entre dois produtos reais.

Para tal, um sistema comercial EEG que utiliza os recursos *wireless* foi utilizado na investigação das atividades cerebrais dos usuários enquanto desenvolviam três tarefas com os dois rádios-relógios e um protótipo virtual. O experimento realizado consistiu em um estudo pioneiro para pesquisas em *Neurodesign*, incentivando o início de uma nova linha de pesquisa na pós-graduação em Design.

Apesar da pequena amostra de usuários, como é próprio do enfoque qualitativo, os dados apresentados permitiram comprovar a possibilidade de aplicação da tecnologia emergente EEG na análise comparativa da usabilidade entre produtos de consumo, conforme segunda hipótese levantada no item 1.2.2. No entanto, os resultados apresentados no estudo de caso possuem aspectos intrínsecos e particularidades que poderão não repetir-se em contextos similares.

Os dados EEG colhidos em campo e transformados graficamente pelo EEGLAB poderiam gerar outros desenvolvimentos aqui não abordados, dada a riqueza que contém. Desta forma, esperamos que os desdobramentos que possam ser gerados a partir deste estudo, extrapolem as limitações aqui encontradas por se tratar de uma tese de doutoramento, cujo processo acadêmico regula e define as ações.

9.1.4 Lacunas identificadas

Neste item serão descritos os desapontamentos identificados pelo autor em relação ao seu trabalho realizado na tese.

No estudo de caso do capítulo 7 relativo ao questionário aplicado a designers, somente foi possível investigar o conhecimento destes profissionais sobre prototipagem e realidade virtual pelo que os mesmos relataram. No entanto, geralmente o que as pessoas dizem não representa exatamente o que de fato realizam em suas atividades, não havendo sido possível investigar este fator devido aos poucos recursos que foram disponibilizados para um estudo de campo em escritórios de design. Outro problema encontrado neste mesmo estudo está relacionado ao fato de que poucos usuários responderam aos questionários enviados, sobretudo os que não pertencem ao estado de Pernambuco.

Na elaboração do ambiente virtual para simulação dos estudos com o protótipo virtual, outras limitações também foram encontradas. O laboratório com equipamentos para simulação em RV não foi concluído em tempo para a realização dos experimentos desta tese em um ambiente imersivo. Por esta razão, a visualização e manipulação do protótipo virtual no Estudo de Caso I limitou-se apenas ao uso do dispositivo iPad.

No Estudo de Caso II, o número de quinze participantes não correspondeu ao ideal para uma análise estatística mais adequada dos dados EEG. Provavelmente este estudo teria melhores resultados se também fosse realizado na UFPE.

9.2 Conclusões

O que faz um produto de sucesso? Este é um questionamento refletido regularmente pelo designer. Muitas vezes, esta questão pode ser respondida simplesmente por um atributo do design, como por exemplo, o mais barato, o mais confiável ou o mais rápido, sendo estes mensurados apenas por uma análise empírica direta. Contudo, ao projetar para pessoas, estes atributos, entre outras medidas da usabilidade, tornam-se imprecisos dependendo do público alvo.

Por outro lado, termos como 'uso amigável', 'uso intuitivo' e 'experiência do usuário' possuem algum senso quando analisados superficialmente, porém uma vez examinados mais de perto, tornam-se insatisfatórios como requisitos do design. Por exemplo, não existe uma definição universal aceitável para uso amigável ou design intuitivo e, conseqüentemente, não há uma abordagem clara de como mensurá-la. A partir da revisão de literatura realizada nesta tese, diferentes abordagens foram demonstradas como uma "melhor prática" para projetar para pessoas, sendo o design centrado no usuário a mais confiável para gerar um design usável, intuitivo e de uso amigável.

Neste contexto, a concepção de produtos consiste no principal desafio da profissão do designer, que é o grande responsável pela criação dos bens de consumo de uma sociedade. Conforme o constante desenvolvimento da humanidade, as tarefas para concepção do produto, os custos e os prazos também aumentam em sua complexidade. Nesta conjuntura, a sociedade vem evoluindo para uma visão mais holística e orientada para a criação de ambientes mais sustentáveis quanto ao uso e reciclagem dos produtos de consumo. Estas novas tendências sociais vêm contribuindo para uma constante busca por melhores métodos e ferramentas de apoio na concepção de produtos.

As tecnologias emergentes, conforme descritas ao longo da tese, tornaram-se ferramentas indispensáveis na concepção de produtos até o momento. Designers, assim como toda a equipe de projeto, vêm utilizando estes recursos na tomada de decisões e controle dos processos nas fases de planejamento, desenvolvimento, produção e distribuição em busca de uma melhor qualidade do produto, redução de custos e prazos.

Os que endossam o design centrado no usuário a partir da participação direta do mesmo, assim como os que fazem uso de personas como referência do público alvo, encontram nas tecnologias da prototipagem virtual, da realidade virtual e aumentada, assim como da neurociência, uma série de potencialidades para atender a tais necessidades.

Contudo, com base na revisão de literatura realizada, esta realidade apontada nos dois últimos parágrafos ainda é pouco explorada por pesquisadores no Brasil. Os resultados

obtidos a partir dos questionários com profissionais e estudantes da graduação e pós-graduação em Design também enfatizaram esta questão. Neste panorama, pesquisas aplicando tecnologias emergentes no estudo da usabilidade de produtos precisam ser intensificadas. O próximo subcapítulo aponta algumas das muitas possibilidades que podem ser exploradas nas pesquisas em Design do Produto.

9.3 Indicação para estudos futuros

Conforme Lewis (2014), a comunidade praticante da usabilidade tem uma dívida para com aqueles que fizeram o esforço de compartilhar suas pesquisas. No desenvolvimento desta tese, esta contribuição é evidente a partir do grande número citado de publicações em *journals* e anais de congressos, tanto nacionais como internacionais, e importantes livros publicados.

No intuito de incentivar esta prática na comunidade científica, nesta seção serão apresentadas sugestões para futuros estudos. Em geral, pode ser apontado que as ferramentas advindas das novas tecnologias, conforme identificadas nesta tese, devem incentivar a idealização de estudos mais focados em cada área de atuação, a partir da pesquisa experimental nos diversos estágios do design de produtos.

Estudo de caso ‘ao vivo’

Em pesquisas futuras, que visam identificar o impacto dos problemas de usabilidade, recomendamos um projeto de pesquisa voltado ao desenvolvimento de um produto em tempo real, no qual, os métodos e ferramentas propostos nesta tese, ou seja, prototipagem virtual, simulação em ambiente virtual e EEG, sejam aplicados em uma situação real de desenvolvimento do produto.

Os estudos complementares em usabilidade descritos no capítulo 2, tais como prazer, aceitação do consumidor ou como as pessoas irão usar, comprar ou desfrutar de um produto, também devem ser considerados como um importante campo de pesquisa do design. Neste âmbito, a experiência do usuário pode ser avaliada associando o sistema Emotiv EPOC a ambientes virtuais simulados.

Integração entre protótipos

Os resultados do estudo comparativo entre protótipos, apesar de esclarecerem as vantagens e desvantagens do uso destas tecnologias, ainda apontam a necessidade de mais pesquisas com a aplicação em diversos modelos de produtos, analisando a interação com o usuário em diversas situações de uso. Há também muitas questões que precisam ser

esclarecidas com o uso da prototipagem mista, apontando para a necessidade de pesquisas futuras que combinem as características mais adequadas dos protótipos físicos e virtuais neste contexto.

Ambientes virtuais colaborativos

O Ambiente virtual colaborativo é composto por multiusuários que utilizam um ambiente virtual para comunicação, colaboração e coordenação. Estudos da usabilidade nesta área podem ser realizados aplicando as tecnologias emergentes apontadas nesta tese. Para compreensão do estado da arte dos ambientes virtuais colaborativos, recomendamos o livro editado por Wang e Tsai (2011).

Em adição, os recursos da internet e da intranet permitem a comunicação atualizada e precisa de informações do produto através de textos, imagens bi/tridimensionais, desenhos e multimídia, possibilitando a comunicação entre a equipe de design e usuários de produtos de forma rápida e vencendo as distâncias físicas. Seguindo os estudos de Kim et al. (2011a), a internet pode ser utilizada como uma alternativa para a avaliação de protótipos em ambientes virtuais por usuários em um ambiente colaborativo, integrando os diversos agentes da equipe de design.

REFERÊNCIAS

- Abran, A.; Khelifi, A.; Suryan, W. and Seffah, A. 2003. Consolidating the ISO Usability Models. *Proceedings of 11th International Software Quality Management Conference and the 8th Annual INSPIRE Conference*.
- Acosta, G.; Morales, K.; Lagos, D.; Ortiz, M. 2011. Addressing Human Factors and Ergonomics in Design Process, Product Life Cycle, and Innovation: Trends in Consumer Product Design. In: Karwowski, W.; Soares, M and Stanton, N. (eds) *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques*. CRC Press, 133-154.
- Ahram, T.; Karwowski, W. & Amaba, B. 2011. Collaborative system engineering and social-networking approach to design and modelling of smarter products. *Behaviour & Information Technology* 30 (1): 13-26.
- Ahram, T.; Karwowski, W. & Soares, M. 2011. Smart products user-centered systems engineering. In: Karwowski, W., Soares, M.M. e Stanton, N. *Handbook of human factors and ergonomics in consumer product design: methods and techniques*. Boca Raton, CRC Press.
- Ahram, Tareq; Karwowski, Waldemar. & Falcão, Christianne. 2015. Applications of Systems Engineering for Testing and Evaluation: A Human Systems Integration Perspective. In: Boehm-Davis, Deborah A., Durso, Frank, & Lee, John D. (eds.). *APA Handbook of Human Systems Integration*. APA handbooks in psychology. Washington, DC: American Psychological Association. pp. 101-111. <http://dx.doi.org/10.1037/14528-007>.
- Alcoforado, Manoel Guedes. 2007. Comunicação intermediada por protótipos. *Dissertação (mestrado)* Universidade Federal de Pernambuco. CAC. Design.
- Anttonen, J. & Surakka, V. 2005. Emotions and Heart Rate while Sitting on a Chair. *Proceedings of ACM SIGCHI Conference on Human factors in computer system*. Portland, Oregon, USA. p.491-499.
- Arthur, K. 2000. Effects of Field of View on Performance with Head-Mounted Displays. Ph.D. dissertation. Dept. Computer Science, University of North Carolina, Chapel Hill.
- Astolfi, L.; Fallani, F.; Cincotti, F.; Mattia, D.; Bianchi, L.; Marciari, M. et al. 2008. Neural basis for brain responses to TV commercials: A high-resolution EEG study. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 27(6): 522–531.
- Aziz, F. & Mousavi, M. 2009. A Review of Haptic Feedback in Virtual Reality for Manufacturing Industry. *Journal of Mechanical Engineering* ME 40 (1).
- Azuma, R. A Survey of Augmented Reality. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, August 1997: 355-385.
- Backx, H. B. 1994. O modelo no projeto de produto: uma proposta para classificação de modelos tridimensionais. *Estudos em Design* 2 (1): 81-86.
- Badcock, N et al. 2013. Validation of the Emotiv EPOC EEG gaming system for measuring research quality auditory ERPs. *PeerJ* 1 (e38): 1-17. DOI 10.7717/peerj.38
- Baldwin, C.; Coyne, J. & Christensen, J. 2012. Electroencephalographic Metrics of Workload and Learner Engagement. In: Magdalena Fafrowicz, Tadeusz Marek, Waldemar karwowski, Dylan Schmorow (Eds.). *Neuroadaptive Systems: Theory and Applications*. CRC Press. p.183-201.
- Barbieri, L.; Angilica, A.; Bruno, F.; Muzzupappa, M. 2013. Mixed prototyping with configurable physical archetype for usability evaluation of product interfaces. *Computers in Industry* 64: 310-323.

- Barfield, W. & Nash, E. B. 2006. Virtual Environments. In: W. Karwowski (Ed.). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. 2nd Edition. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group.
- Barnum, Carol. 2011. Usability testing essentials: ready, set ... test! . Burlington: Elsevier.
- Bauersfeld, P.; Bennet, J. & Lynch, G. 1992. Striking a balance. *Proceedings of the Conference of Human Computer of Interaction (CHI'92)*, Monterey, CA, USA.
- Baxter, M. 1998. *Projeto do produto: Guia prático para o desenvolvimento de novos produtos*. Tradução de Itiro Iida. São Paulo: Edgard Blucher.
- Beaudouin-Lafon, M. & Mackay, W. 2003. Prototyping Tools and Techniques. In A. Sears & J. Jacko (Eds.). *The Human-Computer Interaction Handbook: fundamentals, evolving technologies and emerging applications*. Lawrence Erlbaum Associates. 2003. P. 1006-1031
- Bellgran, M. & Säfsten, K. 2010. *Production Development: Design and Operation of Production Systems*. Springer-Verlag, London.
- Bennes, L.; Bazzaro, F. & Sagot, J. 2012. Virtual Reality as a Support Tool for Ergonomic - Style Convergence. *Proceedings of Virtual Reality International Conference (VRIC 2012)*, Laval: France (2012). DOI: 10.1145/2331714.2331742.
- Berkley, J. 2003. Haptic Devices. White Paper disponível em: <http://www.hitl.washington.edu/people/turness/courses/inde543/READINGS-03/BERKLEY/White%20Paper%20-%20Haptic%20Devices.pdf>. Acesso em agosto/2013.
- Bevan N. 1995. Measuring usability as quality of use. *Journal of Software Quality*, Issue 4, pp115-140.
- Bevan, N. & Macleod, M. 1994. Usability Measurement in Context. *Behaviour and Information Technology* 13(1-2): 132-145.
- Bevan, N.; Barnum, C.; Cockton, G.; Nielsen, J.; Spool, J.M. & Wixon, D.R. 2003. The "magic number 5": Is it enough for web testing? *CHI Extended Abstracts 2003*, p. 698-699.
- Bimber, O. & Raskar, R. 2005. *Spatial Augmented Reality Merging Real and Virtual Worlds*. Wellesley: A K Peters.
- Binnard, M. 1999. *Design by Composition for Rapid Prototyping*. Kluwer Academic Press, Boston Massachusetts.
- Bochenek, G. & Ragusa, J. 1998. Study results: the use of virtual environments for product design, in: *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Hyatt Regency La Jolla, San Diego, California, USA, 11–14 October.
- Bordegoni, M & Ferrise, F. 2013. Designing interaction with consumer products in a multisensory virtual reality environment. *Virtual and Physical Prototyping*, 8 (1): 51-64.
- Bordegoni, M & Ferrise, F. & Cugini, U. 2012. Development of Virtual Prototypes Based on Visuo/Tactile Interaction for the Preliminary Evaluation of Consumer Products Usage (Chapter 15). In A. Chakrabarti (ed.). *CIRP Design 2012*, Springer-Verlag London, p. 149-158.
- Bordegoni, M.; Cugini, U.; Caruso, G.; Polistina, S. 2009. Mixed prototyping for product assessment: a reference framework. *International Journal on Interactive Design and manufacturing*, 3: 177-187. DOI: 10.1007/s12008-009-0073-9.
- Bordegoni, M.; Ferrise, F.; Lizaranzu, J. 2011. *The use of interactive Virtual Prototypes for products specification in the concept design phase*. *Virtual Reality Conference (VR) Proceedings IEEE*, pp.197-198.
- Boud, A. C.; Baber, C. & Steiner, S. J. 2000. Virtual Reality: A Tool for Assembly? *Presence* 9 (5): 486-496.
- Bowman, D.; Kruijff, E.; LaViola Jr, J.; Poupyrev, I. 2005. *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Boston, MA: Addison-Wesley.
- Brunner, C. et al. 2014. BNCI Horizon 2020 – Towards a Roadmap for Brain/Neural Computer Interaction. In: C. Stephanidis & M. Antona (Eds.) *UAHCI/HCI/2014*, Part I, LNCS 8513. Switzerland: Springer International Publishing. p. 475-486.

- Bruno, F.; Cosco, F.; Angilica, A.; Muzzupappa, M. 2010. Mixed prototyping for products usability evaluation. *Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. August 15-18. Montreal, Quebec, Canada.
- Bruno, Fabio & Muzzupappa, Maurizio. 2010. Product interface design: A participatory approach based on virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies* 68: 254 – 269.
- Burdea, G. & Coiffet, P. 2003. *Virtual Reality Technology*. 2ed. New Jersey: Jonh Wiley & Sons.
- Burdea, Grigore. 2000. *Haptics Issues in Virtual Environment. Proceedings of Computer Graphics International*. p. 295-302.
- Butler, K. A. 1996. Usability engineering turns 10. *Interactions* 3 (1): 58 - 75.
- Campbell, R.; Gibson, I. & Gao, Z. 2004. A comparative study of virtual prototyping and physical prototyping. *International Journal of Manufacturing Technology and Management* 4(6): 503-522.
- Carroll, J. M. 2000. Five reasons for scenario based design. *Interacting with Computers* 13(1): 43-60.
- Cawood, S. & Fiala, M. 2007. *Augmented Reality: A practical Guide*. The Pragmatic Bookshelf, Dallas.
- Cebulla, A. 2013. Projection-Based Augmented Reality. *Proceedings of Distributed Systems Seminar FS2013*. Disponível em: <https://www.vs.inf.ethz.ch/edu/FS2013/DS/>. Acesso em Fev./2014.
- Chamorro-Koc, M.; Popovic, V.; Emmison, M. 2009. Human experience and product usability: Principles to assist the design of user-product interactions. *Applied Ergonomics* (40), 648-656.
- Chang, K.; Silva, J. & Bryant, I. 1999. Concurrent Design and Manufacturing for Mechanical Systems. *Concurrent Engineering* 7 (4), p. 290-308. doi: 10.1177/1063293X9900700403.
- Charlotte & Fiell, P. 2003. *Industrial Design A-Z*. TASCHEN, KOLN.
- Clithero, J.; Tankersley, D. & Huettel, S. 2008. Foundations of neuroeconomics: From philosophy to practice. *PLoS Biology* 6(11): 2348-2353.
- Coan, J. A. & Allen, J. 2004. Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological Psychology* 67 (2004): 7-49.
- Craig, A.; Sherman, W. & Will, J. 2009. *Developing virtual reality applications: Foundations of effective design*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann.
- Cushman, W. H. & Rosenberg, D. J. 1991. *Human factors in product design*. Elsevier, Amsterdam.
- Cybis, W. & Betiol, A. H.; Faust, Richard. 2010. *Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações*. 2ed. São Paulo, Novatec.
- Dani, T. H. & Gadh, R. 1997. Creation of concept shape designs via a virtual reality interface. *Computer-Aided Design* 29 (8): 555-563.
- Daniellou, F. 2008. Des connaissances construites pour l'action. *In Colloque international de Clinique de l'activité*. 30-31 mai 2008. Paris: CNAM.
- Das, S. & Cook, D. 2006. Designing smart environments: A paradigm based on learning and prediction. In R. Shorey, A. Ananda, M.C. Chan, and W.T Ooi (Eds.). *Mobile, Wireless, and Sensor Networks: Technology, Applications, and Future Directions*. Chichester: Wiley, p. 337–58.
- Davies, R. 2004. Adapting Virtual Reality for the Participatory Design of Work Environments. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 13(1): 1-33.
- DeFanti, T. et al. 2011. The future of the CAVE. *Central European Journal of Engineering*, 1(1): 13-37. doi: 10.2478/s13531-010-0002-5.
- Dejean, P. & Wagstaff. 2012. Users/consumers differences regarding ergonomics and design theory and practice. *Work* 41: 3641-3645.
- den Buurman, R. 1997. User-centred design of smart products. *Ergonomics* 40(10): 1159-1169.

- den Ouden, E.; Yuan, L.; Sonnemans, P. & Brombacher, A. 2006. Quality and Reliability Problems from a Consumer's Perspective: an Increasing Problem Overlooked by Businesses?. *Quality and Reliability Engineering International* 22 (7): 821-838.
- Dinka, D., & Lundberg, J. 2006. Identity and role - A qualitative case study of cooperative scenario building. *International Journal Human-Computer Studies* 64(10): 1049-1060.
- Dolz, Jose. 2012. Markerless Augmented Reality. Publicado em: May 17th, 2012. Disponível em: <http://www.arlab.com/blog/markerless-augmented-reality/>.
- Dul, J.; Bruder, R; Buckle, P.; Carayon, P.; Falzon, P.; Marras, W.; Wilson, J. & van der Doelen, B. 2012. A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics* 55(4): 377-395.
- Eason K. D. 1984. Towards the experimental study of usability. *Behavior and Information Technology*, 3(2): 133-143.
- Esfahani, E. & Sundararajan, V. 2011. Using Brain-Computer Interfaces to detect human satisfaction in Human-Robot Interaction. *International Journal of Humanoid Robotics* 08(01): 87-101. DOI: 10.1142/S0219843611002356.
- Eureka. 2013. Reality. *Eureka Magazine*. July, 2013: 20-22. Disponível em: www.eurekamagazine.co.uk. Acesso em Agosto/2013.
- Fabiani, G.; McFarland, D.; Wolpaw, J.; Pfurtscheller, G. 2004. Conversion of EEG activity into cursor movement by a brain-computer interface (BCI). *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 12(3):331-338. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15473195>. Acesso em: Agosto/2013.
- Falcão, Christianne & Soares Marcelo. 2012. Ergonomics, Usability and Virtual Reality: a review applied to consumer product. In: Rebelo, F. e Soares, M.M. *Advances in usability evaluation*. Part II. Boca Raton, CRC Press, p. 297-306.
- Falcão, Christianne & Soares, Marcelo. 2013. Application of Virtual Reality Technologies in Consumer Product Usability. In: Aaron Marcus (Ed.). *Design, User Experience, and Usability. Web, Mobile, and Product Design*. 1ed. Berlin: Springer-Verlag, 2013, v.12, p. 342-351. DOI 978-3-642-39253-5.
- Faulkner, L. 2003. Beyond the five-user assumption: Benefits of increased sample sizes in usability testing. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 35(3): 379-383.
- Faust, F.; Ferreira, M. G.; Roepke, G; Catecati, T; Araujo, F; Gonçalves, D. 2011. Uso da Realidade Aumentada na avaliação da usabilidade de produtos eletrônicos. In VI Congresso Internacional de Pesquisa em Design, CIPED. Lisboa, Portugal.
- Ferrise, F.; Bordegoni, M & Cugini, U. 2013. Interactive Virtual Prototypes for Testing the Interaction with new Products. *Computer-Aided Design & Applications* 10 (3): 515-525.
- Ferrise, F.; Bordegoni, M & Graziosi, S. 2013. A method for Designing Users' Experience with Industrial Products based on a Multimodal Environment and Mixed Prototypes. *Computer-Aided Design & Applications* 10 (3): 461-474.
- Fetz, E. 1969. Operant Conditioning of Cortical Unit Activity. *Science* 163 (28): 955-958. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/cgi/rapidpdf/163/3870/955.pdf>. Acesso em: Agosto/2013.
- Field, A. 2009. *Discovering Statistics Using SPSS*. 3 ed. Lodon: Sage.
- Fisher, A.; Mavroidis, C.; Bar-Cohen, Y. and Melli-Huber, J. 2003. Haptic Devices for Virtual Reality, Telepresence and Human-Assistive Robotics. In Bar-Cohen, Y. & Breazeal, C. *Biologically inspired intelligent robots*. Washington, SPIE.
- Forlizzi, J. & Battarbee, K. 2004. Understanding experience in interactive systems. *Proceedings Conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques*. Vienna, Austria, ACM Press.
- Fortineau, E.; Arnaud, S. & Nahon, S. 2013. Simulations immersives en réalité virtuelle: une innovation technologique au service de l'intervention ergonomique?. *Proceedings of SELF*

2013 - 48ème Congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française. 28-30 August 2013: Paris, Panthéon - Sorbonne.

- French, M. 1999. *Conceptual Design for Engineers*. 3rd ed. Springer, London.
- Gao, Z.; Wang, Jiehua; Jiang, Z. 2012. Haptic perception evaluation for the virtual prototyping of elastic hand-held product designs. *Virtual and Physical Prototyping*, 7(2): 117-128.
- Garland, K. 2006. Interviews. In W. Karwowski (Ed.). *Internacional Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. USA: Taylor & Francis,
- Gebhardt, A. 2003. *Rapid Prototyping*. Ohio: Hanser.
- Gevins, A. & Smith, M. 2007. Electroencephalography (EEG) in Neuroergonomics. In: R. Parasuraman & M. Rizzo (Eds.). *Neuroergonomics: The Brain at Work*. Oxford University Press, USA.
- Gil, A. C. 1996. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Gilson, S. & Glennerster, A. 2012. High Fidelity Immersive Virtual Reality. In Xin-Xing Tang (Ed.) *Virtual Reality - Human Computer Interaction*. INTECH. P. 41-58. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/50655>. Acesso em: Abril/2013.
- Göbel, Matthias. 2011. Empathy Meets Engineering: Implanting the User's Perspective into a Systematic Design Process. In: W. Karwowski, M. Soares and N. Stanton (Eds.). *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques*. CRC Press, 161-175.
- Gomes Filho, João. 2006. *Design do objeto: bases conceituais*. São Paulo: Escrituras Editora.
- Gould, J. D. & Lewis, C. 1985. Designing for usability: key principles and what designers think. *Communications of the ACM* 28 (3): 300-311.
- Green, W. & Jordan, P. (eds.) 2002. *Pleasure with products: Beyond Usability*. Taylor & Francis: London.
- Greenberger, Saul. 1998. Prototyping for Design and Evaluation. CPSC. California. Disponível em: <http://grouplab.cpsc.ucalgary.ca/saul/681/1998/prototyping/survey.html#complowmed>. Acesso em Agosto/2013.
- Grimm, T. A. 2005. Virtual Versus Physical: Will Computer-Generated Virtual Prototypes Obsolete Rapid Prototyping. *Time-Compression Technologies*, Vol. 13 (No.2).
- Grote, K.; Beyer, C.; Birke, C.; Tenbusch, A. 2001. Advances in integrating rapid prototyping and three-dimensional digitizing into design methodology and product development process. *Society for Design and Process Science* 5(2): 13-22.
- Guerlesquin, G.; Mahdjoub, M.; Bazzaro, F.; Sagot, J. 2012. Virtual reality as a multidisciplinary convergence tool in the product design process. *The Open Cybernetics & Systemics Journal*. Disponível em: [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/sci/pdfs/HFA101DF.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/sci/pdfs/HFA101DF.pdf). Acesso em: Janeiro/2013.
- Gutierrez, M.; Vexo, F. & Thalmann, D. 2008. *Stepping into Virtual Reality*. London: Springer-Verlag.
- Han, S. H., Yun, M.H., Kwahk, J. & Hong, S.W. 2001. Usability of consumer electronic products. *International Journal of Industrial Ergonomics* 28: 143-151.
- Han, X. & Wan, H. 2010. A framework for Virtual Hand Haptic Interaction. In Z. Pan et al. (Eds.). *Transactions on Edutainment IV*, LNCS 6250. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 229-240.
- Hannon, Charles. 2012. You Already Know How to Use It. Design Patterns. Disponível em: <http://www.smashingmagazine.com/2012/09/25/you-already-know-how-to-use-it/>. Acesso em: Julho/2013.
- Hayward, V.; Astley, O.; Cruz-Hernandez, M.; Grant, D.; Robles-De-La-Torre, G. 2004. Haptic interfaces and devices. *Sensor Review* 24 (1), p. 16-29. doi: 10.1108/02602280410515770.
- Helander, M.G. & Tham, M.P. 2003. Hedonomics - Affective Human Factors Design. *Ergonomics* 46 (13): 1269 - 1272.

- Hertzum, M & Jacobsen, N. E. 2001. The Evaluator Effect: A Chilling Fact about Usability Evaluation Methods. *International Journal of Human-Computer Interaction* 13: 421-443.
- Heurística. 2013. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Heur%C3%ADstica&oldid=35442256>>. Acesso em maio/2013.
- Hevner, A. R.; Davis, C.; Collins, R. W.; Gill, T. G. 2014. A neurodesign model for IS research. *Informing Science: the International Journal of an Emerging Transdiscipline* 17: 103-132.
- Hirschman, E. & Holbrook, M. 1982. Hedonic Consumption: Emerging concepts, methods and propositions. *Journal of Marketing* 46: 92-101.
- Holloway, R. 1997. Analysis for Augmented Reality. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*, August 1997: 413-432.
- Hornbaek, K. 2006. Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *International Journal of Human-Computer Studies* 64 (2): 79-102.
- Houaiss, A. 2010. *Minidicionário Houaiss da língua portuguesa*. 4ed. rev. e aumentada. Rio de Janeiro: Objetiva.
- Hu, Bo; Liang Ma; Weizhang; Salvendy, G.; Chablat, D.; Bennis, F. 2011. Predicting real-world ergonomic measurements by simulation in a virtual environment. *Internacional Journal of Industrial Ergonomics* 41: 64-71.
- Hunter, T. A. 1992. Design of consumer products. In R. W. Houserman (Ed.). *Engineering Design for Safety*. New York: McGraw-Hill, 104-5.
- Iida, Itiro. 2005. *Ergonomia: projeto e produção*. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blucher.
- ISO 13407. 1999. Human-centred design processes for interactive systems. Geneva, Switzerland. International Organization for Standardization.
- ISO 20282-1. 2006. Ease of operation of everyday products -- Part 1: Design requirements for context of use and user characteristics. International Organization for Standardization.
- ISO 9241-11. 1998. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). Part 11: Guidance on usability. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization.
- Jacob, R; Girouard, A; Hirshfield, L.; Horn, M.; Shaer, O.; Solovey, E.; Zigelbaum, J. 2008. Reality-Based Interaction: A framework for Post-WIMP Interfaces. Proceedings of the 26th annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI'08, Florence, Italy.
- Jamshidi, J.; Mileham, A. & Owen, W. 2006. A CAD modelling system automation for Reverse Engineering applications. Digital Enterprise Technology. Disponível em: http://ltdi.est.ips.pt/det2006/papers/Physical/f87_PH2.pdf. Acesso em Agosto/2013.
- Jimeno, A. & Puerta, A. 2007. State of the art of the virtual reality applied to design and manufacturing processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 33: 866-874. DOI 10.1007/s00170-006-0534-2.
- Jordan, P. 2000. *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. Taylor & Francis: London.
- Jordan, P. W. 2006. Usability and Product Design. In: Karwowski, W (ed). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. 2nd Edition. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group.
- Jordan, P.W. 1998. *An introduction to usability*. London: Taylor & Francis.
- Kahman, R. & Henze, L. 1999. Usability Testing under Time-Pressure in Design Practice. In Green, W.S. and Jordan, P.W. (Eds.). *Human Factors in Product Design: Current Practice and Future Trends*. Taylor & Francis, pp. 113-123.
- Kahman, R. & Henze, L. 2002. Mapping the User- Product Relationship (in Product Design). In Green, W.S. and Jordan, P.W. (Eds.). *Pleasure with Products: Beyond Usability*. Taylor and Francis: London.
- Kahn, K. B. 2001. *Product Planning Essentials*. Sage Publications, Inc. Thousand Oaks.

- Karwowski, W. 2005. Ergonomics and Human Factors: The Paradigms for Science, Engineering, Design, technology, and Management of Human – Compatible Systems. *Ergonomics* 48(5): 436-463.
- Karwowski, W. 2006. In: Salvendy, G. *Handbook of Human Factors and Ergonomics* 3ed. New Jersey, USA, John Wiley and Son.
- Karwowski, W., Soares, M. and Stanton, N., eds, 2011. Human Factors and Ergonomics in Consumer Products. Boca Raton: CRC Press.
- Keates, S. & Looms P. O. 2014. The Role of Simulation in Designing for Universal Access. In: C. Stephanidis and M. Antona (Eds.). *UAHCI/HCI2014. Part. I, LNCS 8513*. Switzerland: Springer International Publishing. pp. 54-63.
- Kelley, T. 2001. *The Art of Innovation: Lessons in Creativity from IDEO, America's Leading Design Firm*. Doubleday, New York.
- Khushaba, R.; Wise, C.; Kodagoda, S.; Louviere, J.; Kahn, B.; Townsend, C. 2013. Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking. *Expert Systems with Applications* 40 (2013): 3803-3812.
- Kim, C.; Lee, C.; Lehto, M.; Yun, M. 2011a. Evaluation of customer impressions using virtual prototypes in the internet environment. *International Journal of Industrial Ergonomics* 41 (2011): 118-127.
- Kim, C.; Lee, C.; Lehto, M.; Yun, M. 2011b. Effective evaluation of user impressions using virtual product prototyping. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 21 (1): 1-13.
- Kim, J. & Han, H. 2008. A methodology for developing a usability index of consumer electronic products. *International Journal of Industrial Ergonomics* 38: 333-345.
- Kim, K.; Bang, S. & Kim, S. 2004. Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals. *Medical & Biological Engineering & Computing* 42: 419-427.
- Kim, M. J. & Maher, M. L. 2008. The impact of tangible user interface on spatial cognition during collaborative design. *Design Studies* 29 (3): 222-253.
- Kirkland, L. 2012. Using Neuroscience to inform your UX Strategy and Design. Disponível em: <http://www.uxmatters.com/mt/archives/2012/07/using-neuroscience-to-inform-your-ux-strategy-and-design.php>. Acesso em Janeiro/2014.
- Kirner, C. & Siscoutto, A. 2007. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: C. Kirner; R. Siscoutto (Eds.). *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*. Porto Alegre: SBC. p. 2-21.
- Kirner, C. & Tori, R. 2006. Fundamentos de Realidade Aumentada. In: R. Tori; C. Kirner; R. Siscoutto (Eds.). *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: SBC. p. 22-38.
- Kováč, Jozef; Rudy, V.; Mares, A.; Kovác, J.; Malega, P. 2012. Integrated Designing of Production Systems on the Physical and Virtual Modelling Base. *Acta Mechanica Slovaca* 16 (1): 30 - 41.
- Krishnan, V. & Ulrich, K. T. 2001. Product Development Decisions: A Review of the Literature. *Management Science* 47 (1): 1-21.
- Krug, Steve. 2000. *Don't make me think! A common sense approach to web usability*. Indiana-Polis: New Riders Press.
- Kumin, L.; Lazar, J.; Feng, J.; Wentz, B.; Ekedebe, N. 2012. A Usability Evaluation of Workplace-Related Task on a Multi-Touch Tablet Computer by Adults with Down Syndrome. *Journal of Usability Studies* 7(4): 118-142.
- Kvan, T. 2000. Collaborative design: what is it? *Automation in construction* 9, 4 (2000): 409–415.
- Kwahk, J. & Han, S. H. 2002. A methodology for evaluating the usability of audiovisual consumer electronic products. *Applied Ergonomics* 33: 419-431.

- Lancaster, J. 2012. A confusing User Interface and poor usability are killing Ford's Quality Ratings. Disponível em: <http://usabilitygeek.com/jd-power-poor-usability-ford-quality-ratings/>. Acesso em Maio/2013.
- Lawson, B. 2005. *How designers think, fourth edition: the design process demystified*, 4th ed. Architectural Press, Amsterdam.
- Lecuyer, A.; Coquillart, S.; Kheddar, A.; Richard, P. and Coiffet, P. 2000. Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?. *IEEE International Conference on Virtual Reality*, New Brunswick, NJ, USA, pp. 83-90.
- Lee, N.; Broderick, A. & Chamberlain, L. 2007. What is 'neuromarketing'? A discussion and agenda for future research. *International Journal of Psychophysiology* 63 (2007): 199-204.
- Lee, S.; Chen, T.; Kim, J.; Kim, G.; Han, S.; Pan, Z. 2004. Affective property evaluation of virtual product designs. *Proceedings of IEEE Virtual Reality 2004*, p. 207- 292.
- Lehto, M. & Buck, J. 2008. *Introduction to Human Factors and Ergonomics for Engineers*. New York: Taylor & Francis Group. ISBN: 978-0-8058-5308-7.
- Leventhal, L.; Barnes, J. 2008. *Usability Engineering: Process, Products and Examples*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Lewis, J. R. 2006. Sample sizes for usability tests: mostly math, not magic. *Interactions* XIII (6): 29-33.
- Lewis, James. 2014. Usability: Lessons Learnd ... and Yet to Be Learned. *International Journal of Human-Computer Interaction* 30 (9): 663-684. DOI: 10.1080/10447318.2014.930311.
- Liu, Bingjian. 2011. Integration of physical and virtual prototyping. PhD Thesis. Loughborough University.
- Liu, X.; Dodds, G.; McCartney, J. and Hinds, B. K. 2004. Virtual Design Works – Designing 3D CAD Models via Haptic Interaction. *Computer-Aided Design* 36(12): 1129-1140.
- Löbach, Bernd. 2000. *Design Industrial*. Edgard Blucher.
- de Man, J. 2014. Analysing Emotional Video Using Consumer EEG Hardware. In: : M. Kurosu (Ed.). *Human-Computer Interaction. Part II, HCI2014, LNCS 8511*. Switzerland: Springer International Publishing. p. 729-738.
- Macefield, Ritch. 2009. How to specify the participant group size for usability studies: A practitioner's guide. *Journal of Usability Studies* 5 (1), November 2009: 34-45.
- Machado, Liliane. 2007. Dispositivos Hápticos para Interfaces de Realidade Virtual e Aumentada. In: Claudio Kirner; Robson Siscoutto (Eds.). *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*. Editora SBC, Porto Alegre.
- Maciel, A.; Sarni, S.; Buchwalder, O.; Boulic, R. and Thalmann, D. 2004. Multi-finger haptic rendering of deformable objects. *Proceedings of Eurographics Symposium on Virtual Environments*, 8-9 June 2004, Grenoble, France.
- Mack, Z. & Sharples, S. 2009. The importance of usability in product choice: A mobile phone case study. *Ergonomics* 52 (12): 1514-1528.
- Madan, Christopher. 2010. Neuromarketing: The next step in market research? *Eureka* 1 (1): 34-42.
- Maguire, M. 2001a. Context of Use within Usability Activities. *International journal of Human-Computer Studies*, 55(4): 453-483.
- Maguire, M. 2001b. Methods to support human-centred design. *International Journal Human-Computer Studies* 55: 587-634. doi: 10.1006/ijhc.2001.0503.
- Maguire, M., 2004. *Does usability = attractiveness?* In: D. McDonagh, P. Hekkert, J. van Erp, and D. Gyi, eds. *Design and emotion*. London: Taylor & Francis Group, 303–307.
- Mahdjoub, M.; Monticolo, D.; Gomes, S., Sagot, J. 2010. A collaborative Design for Usability approach supported by Virtual Reality and a Multi-agent System embedded in a PLM environment. *Computer-Aided Design* 42: 402-413.

- March, A. 1994. Usability - the new dimension of product design. *Harvard Business Review* 72 (5), 144-149.
- Marconi, M. & Lakatos, E. 2010. *Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas.
- Markopoulos, P.; Read, J.; MacFarlane, S. & Höysniemi, J. 2008. *Evaluating Children's Interactive Products: Principles and Practices for Interaction Designers*. Burlington, MA: Morgan Kaufmann.
- Meister, David; Enderwick, Thomas P. 2002. *Human Factors in system design, development and testing*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Merino, G.; Teixeira, C.; Schoenardie, R.; Merino, A.; Gontijo, L. 2012. Usability in Product Design - The importance and need for systematic assessment models in product development - USA-Design Model (U-D). *Work* 41: 1045-1052.
- Miles, M. B. & Huberman, A. M. 1994. *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*. Thousand Oaks, Sage Publications.
- Millet, David. 2001. Hans Berger: From Psychic Energy to the EEG. *Perspectives in Biology and Medicine*, 44 (4): 522-542.
- Mills, Stella. 2006. Heuristic Evaluation. . In: Karwowski, W (ed). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. 2nd Edition. Boca Raton, FL, Taylor & Francis Group.
- Minderhoud, S. & Fraser, P. 2005. Shifting paradigms of product development in fast and dynamic markets. *Reliability Engineering & System Safety* 88(2): 127-135.
- Molich, R. & Dumas, J. 2008. Comparative usability evaluation (CUE-4). *Behaviour & Information Technology* 27 (3): 263-281.
- Molich, R., Bachmann, K., Biesterfeldt, J., & Quesenbery, W. 2010. "Five users will find 85% of the usability problems" - and other myths about usability testing. Proceedings of the Usability Professional's Association – International Conference 2010, In press.
- Molich, Rolf. 2010. A critique of "How to specify the participant group size for usability studies: A practitioner's guide" by Macefield. *Journal of Usability Studies* 5 (3): 124-128.
- Molich, Rolf. 2013. CUE – Comparative Usability Evaluation. Disponível em: <http://www.dialogdesign.dk/CUE.html>. Acesso em Maio/2013.
- Moody, D. 2002. Empirical Research Methods. Monash University. Disponível em: <http://www.itu.dk/~oladjones/semester%203/advanced%20it%20mgt%20and%20software%20engineering/project/materials/what%20is%20empirical%20research1.pdf>. Acesso em Abril/2013.
- Moreau, G.; Fuchs, P.; Stergiopoulos. 2004. Applications of Virtual Reality in the manufacturing industry: from design review to ergonomic studies. *Mecanique & Industries* 5: 171-179. DOI: 10.1051/meca:2004018.
- Mullen, Tony. 2011. Prototyping Augmented Reality. John Wiley & Sons, Indianapolis, Indiana. ISBN: 978-1-118-03663-1.
- Nesbitt, Abble. 2013. Virtual Prototyping. *Appliance Design*. May, 2013. Disponível em: <http://www.appliancedesign.com/articles/93590-virtual-prototyping>. Acesso em Maio/2013.
- Niedermeyer, E. & da Silva, F. L. 2005. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, Fifth Edition. Lippincott Williams & Wilkins. pp 140.
- Nielsen, J. 2009. Kindle 2 Usability Review. Jakob Nielsen's Alertbox. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/kindle-2-usability-review/>. Acesso em abril/2013.
- Nielsen, Jakob. 1993. *Usability Engineering*. Boston: Academic Press.
- Nielsen, Jakob. 1995a. How to Conduct a Heuristic Evaluation. Jakob Nielsen's Alertbox: January 1, 1995. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>. Acesso em Abril/2013.

- Nielsen, Jakob. 1995b. 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Jakob Nielsen's Alertbox: January 1, 1995. Disponível em <http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Acesso em Abril/2013.
- Nielsen, Jakob. 2000. Why you only need to test with 5 users. Jakob Nielsen's Alertbox: March 19, 2000. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>. Acesso em Abril/2013.
- Nielsen, Jakob. 2006. Quantitative Studies: How many users to test?. Jakob Nielsen's Alertbox: June 26, 2006. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/quantitative-studies-how-many-users/>. Acesso em Abril/2013.
- Nielsen, Jakob. 2012. Usability 101: Introduction to Usability. Jakob Nielsen's Alertbox: January 4, 2012. Disponível em: <http://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. Acesso em Maio/2013.
- Nikolakis, G.; Tzovaras, D.; Moustakidis, S.; Strintzis, M. 2004. CyberGrasp and PHANTOM Integration: Enhanced Haptic Access for Visually Impaired Users. *Proceedings of the SPECOM 2004 9th Conference Speech and Computer*. St. Petersburg, Russia.
- Nishida, S. 2013. Mecanismos de comunicação entre neurônios e dos neurônios com os órgãos efetuidores. Apostila do curso de Fisiologia. Departamento de Fisiologia da Unesp-Botucatu. São Paulo.
- Norman, Donald A. 1999. *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. Cambridge, Massachusetts: MIT.
- Norman, Donald A. 2006. *O design do dia-a-dia*. Rio de Janeiro: Rocco.
- Nunez, P. L. & Srinivasan, R. 2006. *Electric Fields of the Brain: The Neurophysics of EEG* 2ed. Oxford University Press, USA.
- Oakley, I.; McGee, M.; Brewster, S. and Gray, P. 2000. Putting the Feel in 'Look and Feel'. In Press, A. (ed). *Proceeding of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computer System*. The Netherlands, pp. 415-422.
- Ohme, R.; Reykowska, D.; Wiener, D.; Choromanska, A. 2010. Application of frontal EEG asymmetry to advertising research. *Journal of Economic Psychology* 31(5): 785–793.
- Otto, K. & Wood, K. 2001. *Product Design - Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- Overbeeke, C.J.; Djadjadiningrat, T.; Hummels, C. And Wensveen, S. 2002. Beauty in usability: Forget about ease of use!. In: W.S. Green and P.W. Jordan (Eds.). *Pleasure with products: Beyond usability*. London: Taylor & Francis, 9–17.
- Pantic, M. & Rothkrantz, L. 2000. Automatic Analysis of Facial Expressions: The State of the Art. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 22 (12): 1424-1445.
- Parasuraman, R. & Rizzo, M. 2007. *Neuroergonomics: The Brain at Work*. Oxford University Press, USA.
- Parasuraman, Raja. 2003. Neuroergonomics: research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 4 (1-2): 5-20.
- Park K.S. and Lim C.H. 1999. A structured methodology for comparative evaluation of user interface designs using usability criteria and measures. *International Journal of Industrial Ergonomics* 23: 379 - 389.
- Plassmann, H.; Ramsoy, T. & Milosavljevic, M. 2012. Branding the brain: A critical review and outlook. *Journal of Consumer Psychology* 22(1): 18-36.
- Pratt, M. J. 1995. Virtual prototypes and product models in mechanical engineering. In J. Rix; S. Hass & J. Teixeira (Eds.). *Virtual Prototyping - Virtual Environments and the Product Design Process*. Chapman and Hall, London. p. 113-128.
- Preece, J.; Rogers Y. & Sharp H. 2002. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. John Wiley & Sons Inc. ISBN 0-471-49278-7.

- Press, M; Cooper, R. 2009. *El diseño como experiencia. El papel del diseño y los diseñadores en el Siglo XXI*. Spanish edition. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Quesenberry, Whitney. 2003. The Five Dimensions of Usability. In: Michael Albers and Beth Mazur (Eds.). *Content and Complexity: Information Design in Technical Communication*. Erlbaum. Disponível em <http://www.wq usability.com/articles/getting-started.html>. Acesso: Dezembro/2012.
- Raita, E. & Oulasvirta, A. 2011. Too good to be bad: Favorable product expectations boost subjective usability ratings. *Interacting with Computers* 23: 363-371.
- Ramanath, H. & Chua, C. 2006. Application of rapid prototyping and computational fluid dynamics in the development of water flow regulating valves. *Int J manuf Technol* 30: 828-835. DOI 10.1007/s00170-005-0119-5.
- Razak, F.; Hafit, H.; Sedi, N.; Zubaidi, N.; Haron, H. 2010. Usability testing with children: Laboratory vs field studies. *International Conference on User Science and Engineering (i-USER)*, pp.104-109.
- Rebelo, F.; Duarte, E.; Noriega, P.; Soares, M. 2011. Virtual Reality in Consumer Product Design: Methods and Applications. In: W. Karwowski, M. Soares and N. Stanton (Eds.) *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques*. Vol. I, CRC Press, 381-402.
- Rebelo, F.; Noriega, P.; Duarte, E. & Soares, M. 2012. Using Virtual Reality to Assess User Experience. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. doi:10.1177/0018720812465006.
- Reder, E.; Martins, A.; Ferreira, V.; Kalil, F. 2014. Neural Interface Emotiv EPOC and Arduino: Brain-Computer interaction in a Proof of Concept. In: M. Kurosu (Ed.). *Human-Computer Interaction. Part II, HCI2014, LNCS 8511*. Switzerland: Springer International Publishing. p. 612-623.
- Redwood, G. 2011. Neuroscience and the online purchase. *Internet Retailing* 5(4), May/2011. Disponível em www.internetretailing.net. Acesso em maio/2013.
- Rodrigues, H. F. 2011. Aplicando Sistemas Hápticos em Serious Games: Um jogo para a Educação em Higiene Bucal. *Dissertação (Mestrado)* - UFPB/CCEN. João Pessoa: 156fl.
- Rogers, Y.; Sharp, H. & Preece, J. 2002. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. New Delphi: Wiley India.
- Romero, M.; Costa, F.; Andreoni, G.; Mazzola, M.; Vargas, J.; Conenna, L. 2009. Proactive ergonomics in refrigerator concept development. In: Kurosu M. (ed). *Human centered design. Lecture notes in computer science*, vol 5619. Springer, Berlin, p. 627-634.
- Rosenbaum, S. 1989. Usability Evaluations Versus Usability Testing: When and Why?. *IEEE Transactions on Professional Communication*. Vol. 32, nº4.
- Rosenbaum, S.; Rohn, J. & Humburg, J. 2000. A toolkit for strategic usability: results from workshops, panels, and surveys. *Proceeding of Conference on Human Factors in Computing Systems: CHI 2000* (New York: ACM Press), pp. 337 – 344.
- Rubin, J. & Chisnell, D. 2008. *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design and Conduct Effective Tests*. Wiley Publishing Inc, Indianapolis.
- Sabou, M.; Kantorovitch, J.; Nikolov, A.; Tokmakoff, A.; Zhou, X.; Motta, E. 2009. Position paper on realizing smart products: Challenges for semantic web technologies. Report by Knowledge Media Institute. Disponível em: <http://people.kmi.open.ac.uk/marta/papers/ssn2009.pdf>. Acesso Junho/2013.
- Sadasivan, S.; Stringfellow, P. and Gramopadhye. 2009. Virtual Reality Training to Improve Human Performance. In: V. Duffy (Ed.). *Handbook of Digital Human Modeling: Research for applied ergonomics and human factors engineering*. Taylor & francis Group. p. 44.1-44.21.
- Sáenz, L. M. 2008. En el proceso de diseño: alternativa metodológica para la concepción de productos. *Iconofacto* 4 (5): 170-182.
- Sáenz, T. & Capote, E. 2002. *Ciência, inovação e gestão tecnológica*. Brasília: CNI/IEL/SENAI.

- Saggio, G. & Ferrari, M. 2012. New Trends in Virtual Reality Visualization of 3D Scenarios. In: Xin-Xing Tang (Ed.) *Virtual Reality - Human Computer Interaction*. INTECH. p. 3-20. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/46407>. Acesso em Abril/2013.
- Sauro, Jeff. 2006. Quantifying Usability. *Interactions* (november-december 2006): i/20-21.
- Sauro, Jeff. 2006. Waits & Measures: Quantifying Usability. Guest Editor of the ACM Interactions Special Edition Volume 13, Issue 6 November-December.
- Sauro, Jeff. 2010. Why you only need to test with five users (explained). Disponível em: <http://www.measuringusability.com/five-users.php#many>. Acesso em Maio/2013.
- Scherer, K. 2003. Vocal communication of emotion: A review of research paradigms. *Speech Communication* 40 (2003): 227-256.
- Schrans, C. 2014. Augmented Reality in Design: Thinking about Hybrid Forms of Virtual and Physical Space in Design. In: A. Marcus (Ed.). *DUXU 2014, Part II, LNCS 8518*. Switzerland: Springer International Publishing. pp. 624-635.
- Schulze, L. J. H. 2011. Design, Usability and Maintainability of Consumer Products. In: W. Karwowski, M. Soares and N. Stanton (eds.) *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques*. CRC Press, 177-222.
- Sensics. 2013. Technology. Disponível em: <http://sensics.com/additional-products/technology/>. Acesso em Agosto/2013.
- Seva, R.; Gosiaco, K.; Santos, M. C.; Pangilinan, D. 2011. Product design enhancement using apparent usability and affective quality. *Applied Ergonomics* 42: 511-517.
- Shackel, B. 1984. The concept of usability. In Bennett, J.; Case, D.; Sandelin, J. & Smith, M. (Eds.). *Visual display terminals: usability issues and health concerns*. Englewood Cliffs, NJ. 45-87.
- Shackel, B. 1991. Usability – Context, framework, definition, design and evaluation. In Shackel, B and Richardson, S. (Eds.). *Human Factors for Informatics Usability*. Cambridge University Press, 21-38.
- Sharan, D.; Ajeesh P.; Rameshkumar, R; Mathankumar, M; Jorpin, P. ; Manjula M. 2012. Virtual Reality based therapy for post-operative rehabilitation of children with cerebral palsy. *Work* 41: 3612 -15.
- Shen, Y.; Ong, S. K. & Nee, A. Y. C. 2010. Augmented reality for collaborative product design and development. *Design Studies* 31(2010): 118-145.
- Sherman, W. & Craig, A. 2003. Understanding Virtual Reality: Interface, application and design. Elsevier Science, USA.
- Shin, J.; Joo, J.; Choi, I.; Han, S.; Cho, H. 2000. A Prototype Virtual Reality System Through IDEF Modeling for Product Configuration and Analysis. *International Journal of Industrial Engineering* 7(1), 15-25.
- Siegenthaler, E.; Wurtz, P. & Groner, R. 2010. Improving the Usability of E-Book Readers. *Journal of Usability Studies* 6(1): 25-38.
- Silva, C. & Lourenção, P. 2005. Influence of Virtual Reality in the management of new product development. *Product: Management & Development* 3(1): 17-21. Instituto de Gestão e Desenvolvimento do Produto.
- Simmonds, Lindsay. 2012. Learning About Physical Prototyping for Interaction Design. Disponível em: <http://www.lindsaysimmonds.com/2012/08/physical-prototyping-for-interaction-design/>. Acesso em julho/2013.
- Sisca, S.; Morgan, G. & Subrin, K. 2008. Virtual and Real Testing of Products. In: D. Talabã & A. Amditis (eds.). *Product Engineering: Tools and Methods Based on Virtual Reality*. Springer Science + Business Media, p. 449-460.
- Slater, M. 1999. Measuring Presence: A response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire. *Presence*, 8 (5): 560-565.

- Soares, Marcelo M. 1998. Translating user needs into product design for disabled people: a study of wheelchairs. Tese (Doutorado). Loughborough University, Inglaterra.
- Soares, Marcelo M. 2004. *Técnicas e ferramentas para a intervenção ergonomizadora*. Apostila do 4º curso de especialização em ergonomia. Recife: UFPE.
- Soares, Marcelo M. 2005. Ergonomics and design: a user-centred design method. *Ergonomics AS: Journal of the Ergonomics Society of South Africa* 17(2):31-41. ISSN. 10102728.
- Soares, Marcelo M. 2011. Ergonomia e Design: Uma interação a ser intensificada. *Anais do VI Congresso Internacional de Pesquisa em Design*. Lisboa, Portugal.
- Soares, Marcelo M. 2012. Translating user needs into product design for the disabled: na ergonomic approach. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 13(1): 92-120.
- Soares, Marcelo M.; Falcão, Christianne S.; Ahran, Tareq. 2013. Novas Tecnologias e suas aplicações no Design de Sistemas Educacionais. In: M. Menezes; M. Moura (Org.) Rumos da pesquisa no design contemporâneo: Relação tecnologia x humanidades (e-book). São Paulo: Estação das Letras e Cores. p. 258-283. ISBN. 978-85-60166-80-0.
- Stamm, B. V. 2008. *Managing Innovation, Design and Creativity* 2nd. ed. John Wiley & Sons Ltd, UK.
- Stanney, K.; Mollaghasemi, M.; Reeves, L.; Breaux, R.; Graeber, D. 2003. Usability engineering of virtual environments (VEs): identifying multiple criteria that drive effective VE system design. *Int. J. Human-Computer Studies* 58 (2003): 447-481.
- Stark, R.; Israel, J.; Wohler, T. 2010. Towards hybrid modelling environments—merging desktop-cad and virtual reality-technologies. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 59, 1 (2010): 179 - 182.
- Staton, N & Baber, C. 1996. Factors affecting the selection of methods and techniques prior to conducting a usability evaluation. In P. Jordan et al (eds). *usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis.
- Stoica, A.; Fiotakis, G.; Simarro, J.; Muñoz, H.; Avouris, N.; Dimitriadis, Y. 2005. Usability evaluation of handheld devices: A case study for a museum application. *Proceedings PCI 2005*.
- Szafir, Daniel J. 2010. Non-Invasive BCI through EEG. Senior Honors Thesis. Boston College Computer Science Department. EUA. Disponível em: https://www.bc.edu/content/dam/files/schools/cas_sites/cs/local/bach/2010/10DanSzafir.pdf. Acesso em: Agosto/2013.
- Teistler, M. 2006. Explore in 3D: a new virtual image navigation tool. SPIED Newsroom, August 2006. DOI: 10.1117/2.1200607.0222. Disponível em: Thalen, J. & van der Voort, M. 2012. Facilitating User Involvement in Product Design Through Virtual Reality. In Xin-Xing Tang (Ed.) *Virtual Reality - Human Computer Interaction*. INTECH. p. 105-124. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/48602>. Acesso em Abril/2013.
- Thalen, J. & van der Voort, M. 2012. Facilitating User Involvement in Product Design Through Virtual Reality. In Xin-Xing Tang (Ed.) *Virtual Reality - Human Computer Interaction*. INTECH. p. 105-124. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/48602>. Acesso em Abril/2013.
- Thalmann, Daniel. 1997. Introduction to Virtual Environments. *Proceedings of The International Conference on Multimedia Modeling*. <http://vrlab.epfl.ch/~thalmann/VR/Intro.pdf>. Acesso em Janeiro/2010.
- Tideman, M; van der Voort, M.C & van Houten, F. 2006. Haptic virtual prototyping for design and assessment of gear-shifts. In: ElMaraghy, H. A.; ElMaraghy, W. H. (eds.) *Advances in Design*. Springer: Berlin. p. 461-472.
- Tideman, M; van der Voort, M.C & van Houten, F. 2008. A New Product Design Method Based on Virtual Reality, Gaming and Scenarios. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 2 (4): 195–205.<http://spie.org/x8741.xml>. Acesso em Agosto/2013.
- Tractinsky, N.; Katz, A. & Goh, T. 2000. What is beautiful is usable. *Interacting with Computers* 13(2): 127-145.

- Trivedi, M. & Khanum, M. 2012. Role of Context in Usability Evaluations: A Review. *Advanced Computing: An International Journal*, vol. 3 (2): 69-78.
- Tullis, Tom; Albert, Bill. 2008. *Measuring the user experience: collecting, analyzing and presenting usability metrics*. USA: Elsevier Inc.
- Turner, C.; Lewis, J. & Nielsen, J. 2006. Determining Usability Test Sample Size. In: W. Karwowsky (ed.). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. CRC Press. Boca Raton, FL. p. 3084-3088.
- Twiss, B.C. 1987. *Managing Technological Innovation* 3rd ed. Longman.
- Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008. *Product design and development*. New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Uva, A. E.; Cristiano, S.; Fiorentino, M.; Monno, G. 2010. Distributed design review using tangible augmented technical drawings. *Computer-Aided Design* 42 (2010): 364-372.
- van Kuijk, J.; Christiaans, H; Kanis, H.; Eijk, D. van. 2006. Usability in the Development of Consumer Electronics: Issues and Actors. *Proceedings of 16th World Congress on Ergonomics*, Maastricht, The Netherlands.
- van Kuijk, J; Preijde, E.; Toet, E.; Kanis, H. 2009. Expected versus experienced usability: what you see is not always what you get. *Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics IEA 2009*. Beijing, China.
- van Kuijk, Jasper. 2010. Managing Product usability: How companies deal with usability in the development of electronic consumer products. PhD thesis. Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering. The Netherlands.
- Venkatraman, V.; Clithero, J.; Fitzsimons, G.; Huettel, S. 2012. New scanner data for brand marketers: How neuroscience can help better understand differences in brand preferences. *Journal of Consumer Psychology* 22 (2012): 134-153.
- Vom Brocke, J.; Riedl, R. & Leger, P. 2012. Application strategies for neuroscience in information systems design science research. *Journal of Computer Information Systems* 52 (4): 1-13.
- Vredenburg, K.; Isensee, S. & Righi, C. 2002. *User-Centered Design: An Integrated Approach*. Prentice-Hall PTR: New Jersey, USA. ISBN 0-13-091295-6.
- Wang, G. 2002. Definition and review of virtual prototyping. *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 2 (3): 232-236. doi: 10.1115/1.1526508.
- Wang, J. & Lu, W. F. 2009. Development of a Haptic Modeling and Simulation System for Handheld Product Design and Evaluation. *Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences & Computer and Information in Engineering Conference*. San Diego. 2009.
- Wang, X. & Tsai, J. J. (Eds.) 2011. *Collaborative Design in Virtual Environments*. Springer. DOI 10.1007/978-94-007-0605-7.
- Ward, Stephen J. 2011. User Research by Designers. In: Karwowski, W; Soares, M and Stanton, N. (eds) *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Uses and Applications*. CRC Press, 127-141.
- Wessber, J. et al. 2000. Real-time prediction of hand trajectory by ensembles of cortical neurons in primates. *Nature* 408 (6810):361-365.
- Whitman, L.; Jorgensen, M.; Hathiyari, K. & Malzahn, D. 2004. Virtual reality: Its usefulness for ergonomic analysis. In R. Ingalls, M. Rossetti, J. Smith and B. Peters (eds.). *2004 Winter Simulation Conference*. Washington: Winter Simulation Conference, p.1740-45.
- Witmer, B. & Singer, M. 1998. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence*, 7(3): 225-240.
- Wohlers, T. & Grimm, T. 2003. Is CNC Machining Really Better than RP? Time-compression Technologies. Disponível em: <http://www.tagrimm.com/publications/perspectives-jan2003.html>. Acesso em Janeiro/2014.

- Wolpaw, J. R. & Winter Wolpaw, E. 2012. Brain-computer interfaces: something new under the sun. In: J. R. Wolpaw & E. Winter Wolpaw, (Eds.) *Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice*. Oxford University Press. p. 3-12.
- Woolrych, A. & Cockton, G. 2001. Why and when five test users aren't enough. In J. Vanderdonckt, A. Blandford, & A. Derycke (Eds.). *Proceedings of IHM-HCI 2001 Conference: Vol. 2*. Toulouse, France: Cépadèus. 105- 108.
- Ye, J. & Campbell, R. 2006. An investigation into the implementation of virtual reality technologies in support of conceptual design. *Design Studies* 27 (1): 77-97.
- Ye, J.; Badiyani, S.; Raja, V.; Schlegel, T. 2007. Applications of Virtual Reality in Product Design Evaluation. In: J. Jacko (ed.). *Human-Computer Interaction Part IV*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 1190-1199.
- Yin, R. K. 2009. *Case Study Research: Design and Methods*. Thousand Oaks, California, USA: SAGE publications, Inc.
- Zachmann, Gabriel. 1998. VR-Techniques for Industrial Applications, Chapter 1. In: Fan Dai (ed.) *Virtual Reality for Industrial Applications*. Springer. pp. 13-38.
- Zapata, Luz M. S. 2011. Integration of Ergonomics in the Design Process: Conceptual, Methodological, and Practical Foundations. In: Karwowski, W; Soares, M and Stanton, N. (eds) *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design: Methods and Techniques*. CRC Press, 155-175.
- Zhong, Y.; Yuan, X.; Ma, W.; Shirinzadeh, B. 2009. A Constraint-Based Methodology for Product Design with Virtual Reality. *Intelligent Automation and Soft Computing* 15 (X): 1-15.
- Zimmermann, P. 2008. Virtual Reality Aided Design: A Survey of the Use of VR in Automotive Industry. In: D. Talabă & A. Amditis (eds.). *Product Engineering: Tools and Methods Based on Virtual Reality*. Springer Science + Business Media. pp. 277-296.
- Zorriassatine, F.; Wykes, C.; Parkin, R.; Gindy, N. 2003. A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 217 (4): 513-530. doi: 10.1243/095440503321628189.

Apêndice A | Avaliação da usabilidade por especialista

Avaliação da usabilidade por especialistas

Esta pesquisa corresponde a um estudo piloto e tem como objetivo verificar se os métodos utilizados podem ajudar avaliadores especializados a encontrarem problemas de usabilidade com testes em produtos.

Sua participação é muito importante! Obrigado.

Local: _____ Data: ____/____/2013
Hora de início do teste: _____ Hora do término: _____

DADOS DO ESPECIALISTA

Nome: _____

Atuação como pesquisador: _____ Instituição: _____

Você já participou de algum teste de usabilidade? ☐ Sim ☐ Não

Se afirmativo, como foi sua experiência?

Poderia compartilhar sua experiência com a temática usabilidade?

DADOS DO PRODUTO

Você já utilizou algum rádio relógio anteriormente? ☐ Sim ☐ Não

Como um consumidor quais atributos você considera importante em um rádio relógio digital?

Quais seriam os critérios principais na escolha de um rádio relógio digital? Por favor liste até três itens.

(1)

(2)

(3)

AVALIAÇÃO PERCURSO COGNITIVO (COGNITIVE WALKTHROUGH)

Muito obrigada por disponibilizar seu tempo em participar deste teste. Sua participação proporcionará um importante feedback sobre a sua experiência utilizando o produto.

Você já utilizou o método cognitive walkthrough? ☐ Sim ☐ Não

Se afirmativo, como foi sua experiência?

Nesta fase da avaliação o convidamos a explorar este produto realizando as tarefas listadas abaixo:

Antes de iniciar o teste:

- ☐ Por favor verifique se o transformador está acoplado na tomada, este equipamento possui voltagem 110v.
- ☐ Examinar o manual de instruções contendo os procedimentos para realização das tarefas da fase seguinte.

Tarefas:

1. Ajuste da hora.
 - ☐ Selecionar a zona para 'Eastern Time Zone'
 - ☐ Ajustar o relógio para a hora e data local
2. Ajuste do alarme
 - ☐ Ajustar o modo alarme para 'sirene'
 - ☐ Ajustar o alarme para 5 minutos após a hora local.

Enquanto aguarda o alarme tocar por favor realize a próxima tarefas.
3. Utilizar o rádio
 - ☐ Selecione a estação de rádio de sua preferência
 - ☐ Ajuste o volume
 - ☐ Desligar o alarme
4. Programar o modo 'sleep' para 10 minutos após horário local.

Enquanto aguarda a programação 'sleep' ser acionada por favor responda às seguintes questões.

Você concorda que este método auxilia o avaliador a ficar envolvido com a execução da tarefa?

- ☐ Bastante
- ☐ Um pouco
- ☐ De modo nenhum
- ☐ Desvantajoso

Você teria algum outro comentário ou recomendação sobre a experiência com o método?

AVALIAÇÃO HEURÍSTICA

Você já utilizou o método avaliação heurística?

☐ Sim

☐ Não

Se afirmativo, como foi sua experiência?

Após conhecer bem como o produto funciona, nesta fase da avaliação o convidamos a descrever as suas considerações de acordo com as dez heurísticas listadas abaixo:

Produto



Configurações do menu

Heurísticas

Comentários

1. Feedback

O menu indica ao usuário o que está acontecendo?
Os sinais são compreensíveis?

2. Correspondência e reconhecimento

As opções de menu são visíveis ao usuário?
As informações mais importantes são facilmente visualizadas?
A linguagem utilizada é adequada (familiar)?
As informações aparecem em uma ordem natural e lógica?

3. Saídas claramente indicadas

O sistema permite ao usuário cancelar uma função?
O sistema permite ao usuário sair de uma função indesejada facilmente?

4. Prevenção de erros

O sistema prevê mensagens de erros?
As mensagens de erro sugerem um solução para ajudar o usuário resolver o problema?

5. Estética e design minimalista

O menu contém informações irrelevantes?
O tipo e tamanho da fonte estão adequados?



Configurações físicas

Heurísticas

Comentários

6. Clareza visual

Os botões de acionamento estão dispostos de forma a serem facilmente encontrados sem causar confusão ou má interpretação durante a realização da tarefa?

Os botões que representam as principais funções são facilmente visualizados e acessados pelo usuário?

O produto fornece sugestões quanto a sua funcionalidade e método de operação?



Tarefa

Heurísticas

Comentários

7. Consistência

As tarefas semelhantes são realizadas de forma semelhante? usuário?

O produto fornece sugestões quanto a sua funcionalidade e método de operação?

8. Compatibilidade

A realização de cada tarefa é compatível com o conhecimento do usuário a partir de outros produtos similares?

9. Ajuda e documentação

As informações contidas no manual de instruções são fáceis de entender?

Os passos para execução das tarefas estão adequados às necessidades dos usuários?

É fácil encontrar soluções para problemas específicos?



Usuário

Heurísticas

Comentários

10. Recursos do usuário

A configuração do produto leva em consideração os recursos físicos do usuário?

As configurações do menu levam em consideração a demanda cognitiva do usuário?

O rádio relógio, assim como muitos produtos de consumo, possui em sua interface funções de hardware e software. Para atender a este requisito, as heurísticas propostas por Nielsen (1993) para softwares foram combinadas com os princípios propostos por Jordan (1998) para produtos, resultando nas 10 heurísticas para avaliação da usabilidade do produto abordadas nesta pesquisa.

Você acrescentaria ou eliminaria alguma heurística?

Você concorda que este método auxilia ao avaliador ficar envolvido com a execução da tarefa?

- ☐ Bastante
- ☐ Um pouco
- ☐ De modo nenhum
- ☐ Desvantajoso

Você teria algum outro comentário ou recomendação sobre a experiência com o método?

Observações, sugestões, críticas, justificativas e comentários, se necessário:

Agradecemos pela sua atenção.

Apêndice B | Código de programação do PVII

Parte I – Código de programação do Display

```

<title>Prototype Radio Alarm Clock</title>
<meta name="description" content="digital alarm clock.">
<meta name="keywords" content="clock radio,alarm clock radio">
<link rel="canonical" href="radio/">
<meta property="og:image" content="radio/clockradio.png">
<meta name="robots" content="index, follow">
<meta name="revisit-after" content="2 days">
<meta name="copyright" content="Copyright &copy; 2013 SkyHawk">
<meta name="publisher" content="User SkyHawk X">
<meta name="Author" content="Web Developer">
<meta name="rating" content="general">
<meta name="distribution" content="Global">
<meta name="resource-type" content="document">
<meta name="owns" content="Christianne Falcao">
<link rel="shortcut icon" href="favicon.ico">
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/onlineclock.css" tppabs="radio/css/onlineclock.css">
<style type="text/css">
body {
    background-color: #D6D6D6;
    background-image: url(../sonytest.png);
    background-repeat: no-repeat;
}
</style>
<script language="JavaScript" src="javascript/onlineclock.js" tppabs="radio/javascript/onlineclock.js"
type="text/javascript"></script>
<script type="text/javascript">
_uacct = "UA-477189-6";
_udn="radio/onlineclock.net";
urchinTracker();
</script>
</head>
<body onLoad="show3();removeUnderline(1);removeUnderline2(5)" text="#666666" id="theBody">
<table width="100%" border="0" cellspacing="0" cellpadding="0">
<tr>
<td width="50%" valign="top">
<div id="qm0" class="qmmc" style="z-index: 11; float: left;">

</div>
<!-- Create Menu Settings: (Menu ID, Is Vertical, Show Timer, Hide Timer, On Click (options: 'all' * 'all-always-open' *
'main' * 'lev2'), Right to Left, Horizontal Subs, Flush Left, Flush Top) -->
<script type="text/javascript">qm_create(0,false,0,500,false,false,false,false,false);</script><!--[END-QM0]-->
<a href="javascript:void(0);" onClick="changeImageSize(36,50,18,50);removeUnderline(0);" class="sizeLink" title="Small"
id="lsmall">Small</a> | <a href="javascript:void(0);" onClick="changeImageSize(72,100,36,100);removeUnderline(1);"
class="sizeLink" title="Medium" id="lmedium">Medium</a> | <a href="javascript:void(0);"
onClick="changeImageSize(144,200,36,100);removeUnderline(2);" class="sizeLink" title="Large" id="llarge">Large</a> |
<a href="javascript:void(0);" onClick="changeImageSize(180,250,36,100);removeUnderline(3);" class="sizeLink" title="X-
Large" id="lxlarge">X-Large</a>
</td>
<td width="50%" align="right" valign="top">
<a href="javascript:void(0);" onClick="changeBackground('blue');removeUnderline2(4);" class="sizeLink" title="Blue"
id="lblue">Blue</a> | <a href="javascript:void(0);" onClick="changeBackground('black');removeUnderline2(5);"
class="sizeLink" title="Black" id="lblack">Black</a> | <a href="javascript:void(0);"
onClick="changeBackground('silver');removeUnderline2(6);" class="sizeLink" title="Silver" id="lsilver">Silver</a> | <a
href="javascript:void(0);" onClick="changeBackground('#006400');removeUnderline2(7);" class="sizeLink" title="Green"
id="lgreen">Green</a> | <a href="javascript:void(0);" onClick="changeBackground('orange');removeUnderline2(8);"
class="sizeLink" title="Orange" id="lorange">Orange</a>
</td>
</tr>
</table>
<!-- start: centering table -->
<table align="center" width="100%" height="100%" cellspacing="0" cellpadding="0" border="0">
<tr>

```



```

style="text-align: right;">18</option><option value="19" style="text-align: right;">19</option><option value="20"
style="text-align: right;">20</option><option value="21" style="text-align: right;">21</option><option value="22"
style="text-align: right;">22</option><option value="23" style="text-align: right;">23</option><option value="24"
style="text-align: right;">24</option><option value="25" style="text-align: right;">25</option><option value="26"
style="text-align: right;">26</option><option value="27" style="text-align: right;">27</option><option value="28"
style="text-align: right;">28</option><option value="29" style="text-align: right;">29</option><option value="30"
style="text-align: right;">30</option><option value="31" style="text-align: right;">31</option><option value="32"
style="text-align: right;">32</option><option value="33" style="text-align: right;">33</option><option value="34"
style="text-align: right;">34</option><option value="35" style="text-align: right;">35</option><option value="36"
style="text-align: right;">36</option><option value="37" style="text-align: right;">37</option><option value="38"
style="text-align: right;">38</option><option value="39" style="text-align: right;">39</option><option value="40"
style="text-align: right;">40</option><option value="41" style="text-align: right;">41</option><option value="42"
style="text-align: right;">42</option><option value="43" style="text-align: right;">43</option><option value="44"
style="text-align: right;">44</option><option value="45" style="text-align: right;">45</option><option value="46"
style="text-align: right;">46</option><option value="47" style="text-align: right;">47</option><option value="48"
style="text-align: right;">48</option><option value="49" style="text-align: right;">49</option><option value="50"
style="text-align: right;">50</option><option value="51" style="text-align: right;">51</option><option value="52"
style="text-align: right;">52</option><option value="53" style="text-align: right;">53</option><option value="54"
style="text-align: right;">54</option><option value="55" style="text-align: right;">55</option><option value="56"
style="text-align: right;">56</option><option value="57" style="text-align: right;">57</option><option value="58"
style="text-align: right;">58</option><option value="59" style="text-align: right;">59</option></select>
<INPUT TYPE="HIDDEN" NAME="mode" value="alarm" CHECKED></form></td>
</tr>
</table>
<!-- end: alarm table -->
<br clear="all">
<iframe src="/includes/-genre=.htm" tppabs="radio/includes/?genre=" name="radioframe" id="radioframe" width="100%"
height="275" marginwidth="0" marginheight="0" hspace="0" vspace="0" align="middle" frameborder="0"
allowtransparency="true">Please switch to a browser which supports frames.</iframe>
<span style="margin-top:0px; margin-bottom:0px;"><font class="sizeLink">Usability Testing Prototype Clock Radio Alarm
Settings</font></span></td>
</tr>
<tr>
<td align="center" valign="bottom">
<!-- FOOTER START -->
<!-- AddThis Button BEGIN -->
<div class="addthis_toolbox addthis_default_style" style="width:400px;margin-top:0px;margin-right:auto;margin-
bottom:3px;margin-left:auto;"> <a class="addthis_button_google_plusone" g:plusone:size="medium"></a> <a
class="addthis_button_facebook_like" fb:like:layout="button_count"></a> <a class="addthis_button_tweet"></a> <a
class="addthis_counter addthis_pill_style"></a> </div>
<script type="text/javascript">var addthis_config = {"data_track_clickback":true};</script>
<script type="text/javascript" src="http://s7.addthis.com/js/250/addthis_widget.js#pubid=onlineclock"
tppabs="http://s7.addthis.com/js/250/addthis_widget.js#pubid=onlineclock"></script>
<br>
</td>
</tr>
</table>
<!-- end: content table -->
</td>
<!-- end: centering table -->
</BODY>
</HTML>

```


Apêndice C | **Questionário Realidade Virtual e Prototipagem**

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a realidade virtual como uma potencial ferramenta na avaliação de produtos e está sendo desenvolvida pelo Laboratório de Realidade Virtual da Pós-graduação em Design da UFPE.

Sua participação é muito importante! Obrigado.

Local:

Data: ____/____/2013

INFORMAÇÕES IMPORTANTES

Nesta investigação um protótipo virtual, ou protótipo digital, é definido como uma simulação em computador de um produto físico e que pode ser apresentado, analisado e testado durante o design do produto. A construção e testes de um protótipo virtual é denominada de prototipagem virtual. Um protótipo físico é definido como um modelo construído com material físico, tais como madeira, metal, resina, etc., com as mesmas propriedades do produto em estudo. A construção e testes de um protótipo físico é denominada prototipagem física.

A realidade virtual corresponde a uma tecnologia representada por simulações em computador que permite ao participante ter a sensação de estar imerso ou mentalmente presente na simulação, ou no mundo virtual. No design de produtos a realidade virtual pode ser aplicada em praticamente todas as fases de desenvolvimento do produto, principalmente na fase de prototipagem. Segundo alguns estudos, a RV permite aos designers e engenheiros de projeto visualizar, analisar, otimizar e implementar produtos, oferecendo subsídios ao desenvolvimento do projeto com eficiência e eficácia desde os primeiros estágios (ex. design de concepção) até todo o ciclo de vida do produto, em várias etapas de imersão, definidas em função dos requisitos do projeto.

DADOS DO ENTREVISTADO

Nome:

Atuação como profissional:

Empresa:

E-mail (opcional):

PROTOTIPAGEM

Para responder as perguntas a seguir, por favor tomar como base a sua experiência profissional.

1. Você utiliza prototipagem virtual para apresentação de projetos? ☐ Sim ☐ Não

2. Se afirmativo, quais os tipos de prototipagem virtual que são utilizados?

3. Em que situações é utilizada a prototipagem virtual? (Por exemplo, apresentação do produto ao cliente, para aplicar testes de usabilidade, etc.)

4. Quais problemas e/ou limitações você tem encontrado ao utilizar a prototipagem virtual?

5. Na sua opinião, quais seriam as principais vantagens em utilizar a prototipagem virtual comparada com a prototipagem física?

6. Em que situações você considera o uso da prototipagem física mais vantajoso em relação à prototipagem virtual?

7. Em alguma ocasião foi necessário utilizar protótipos físicos e virtuais simultaneamente?

☐ Sim

☐ Não

8. Se afirmativo, poderia descrever essa experiência?

REALIDADE VIRTUAL

9. Você conhece a tecnologia Realidade Virtual?

☐ Sim

☐ Não

10. Em alguma ocasião você realizou testes de produtos utilizando a realidade virtual?

☐ Sim

☐ Não

11. Se afirmativo, poderia descrever essa experiência?

12. Você consideraria a Realidade Virtual como uma ferramenta em potencial para a avaliação de produtos?

☐ Bastante

☐ Um pouco

☐ De modo nenhum

☐ Desvantajoso

Observações, sugestões, críticas, justificativas e comentários, se necessário:

Para qualquer esclarecimento por favor entrar em contato com a pesquisadora Christianne Falcão a partir do e-mail christiannevas@hotmail.com.

Agradecemos pela sua atenção.

Apêndice D | **Questionário estudo comparativo com protótipos**

EXPERIMENTO COM O USUÁRIO

Esta pesquisa tem como objetivo verificar o método de avaliação da usabilidade com protótipos ainda nos primeiros estágios do ciclo de design do produto. Nesta pesquisa, estaremos testando as configurações de menu de um rádio relógio a partir do desempenho de duas tarefas. Estes aspectos serão avaliados em paralelo com os protótipos virtual e físico.

O objetivo deste estudo consiste em encontrar:

1. Se os testes com protótipos virtuais podem auxiliar designers na avaliação da usabilidade.
2. Se os testes com protótipos virtuais permitem ao usuário ficar envolvido com a atividade de avaliação.

Obrigada pela sua participação.

Esta área destina-se ao pesquisador:

Número do participante:

Data: ____/____/2014

Hora de início do teste:

Hora do término:

DADOS DO PARTICIPANTE

Idade: _____

Gênero: ☐ Masculino ☐ Feminino

Período da graduação em design: _____

Experiência:

Você já utilizou algum rádio relógio anteriormente?

☐ Sim

☐ Não

Você já fez algum teste com protótipos virtuais?

☐ Sim

☐ Não

SOBRE O PROTÓTIPO FÍSICO

								NA
5. Como você se sentiu usando o modelo físico do rádio relógio?	Muito difícil	☐	☐	☐	☐	☐	Muito fácil	☐
6. O que você achou da aparência do modelo físico do rádio relógio?	Muito pobre	☐	☐	☐	☐	☐	Muito clara	☐
7. Você acredita que o experimento com o protótipo físico foi eficiente na avaliação do produto?	De modo nenhum	☐	☐	☐	☐	☐	Absolutamente	☐

8. Você teria algum comentário ou recomendação sobre a experiência com o protótipo físico?

COMPARAÇÃO ENTRE PROTÓTIPOS

9. Qual dos protótipos você acha que foi mais eficiente para a avaliação sugerida nesta pesquisa?

☐ Protótipo Virtual

☐ Protótipo Físico

10. Qual a razão para a sua escolha?

☐ Facilidade para desempenhar a tarefa

☐ Fácil compreensão do design

☐ Interessante

☐ Outras: _____

AValiação Pós-Teste

								NA
O que você achou do procedimento deste teste?	Difícil de seguir	☐	☐	☐	☐	☐	Fácil de seguir	☐

Comentários e sugestões (opcional):

.....

.....

.....

Agradecemos pela sua atenção.

Apêndice E | **Consentimento Livre e Esclarecido** **Estudo de Caso I**

Avaliação da Usabilidade com Protótipos

Consentimento Livre e Esclarecido

Investigador principal: Christianne Falcão

Orientador: Prof. Marcelo Soares

Local: Departamento de Design da UFPE

Introdução: As pesquisas na Pós-Graduação em Design da UFPE abordam diversos temas relacionados ao Design e para tal precisamos da colaboração dos alunos que concordam em participar desta experiência. Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa que inclui cerca de 20 participantes na UFPE. Para participar é necessário que você tenha idade acima de 18 anos.

O pesquisador principal desta pesquisa é a aluna do Doutorado em Design Christianne Falcão e o tema abordado consiste em uma avaliação da usabilidade com protótipos.

O que você precisa saber sobre a pesquisa:

- Alguém vai explicar a pesquisa para você.
- A participação em uma pesquisa é feita de forma voluntária.
- Se vai participar ou não cabe a você decidir.
- Você pode optar por não participar da pesquisa.
- Você pode concordar em participar agora e depois mudar de ideia.
- Suas decisões não serão usadas contra você.
- Sinta-se livre para fazer todas as perguntas que desejar antes de decidir.

Objetivo do estudo: Avaliar as interações do usuário ao utilizar um protótipo físico e outro virtual de um rádio relógio, semelhante ao utilizado no cotidiano.

O que você vai realizar durante o estudo: Primeiramente todo o experimento será explicado de forma verbal pelo pesquisador. Em seguida, você será solicitado a simular três tarefas com cada um dos protótipos. Tarefa 1: ajuste da hora, Tarefa 2: ajuste do alarme e Tarefa 3: desligar o alarme. Após os testes você será solicitado a responder a algumas perguntas em um questionário. Leve o tempo que for necessário para realizar as tarefas de acordo com o seu ritmo. Você também não é obrigado a responder todas as perguntas ou completar todas as tarefas, como também pode interromper o teste a qualquer momento.

Local: Laboratório de Ergonomia - ERGOLAB.

Tempo necessário: Prevemos para este estudo um tempo não superior a 30 minutos.

Riscos: Não há riscos previsíveis ou desconfortos ao participar deste experimento.

Benefícios: Não é previsto qualquer benefício para os participantes. No entanto, esta corresponde a uma oportunidade de aprendizado para estudantes de design sobre avaliação da usabilidade.

Compensação ou pagamento: Não haverá nenhum tipo de pagamento ou compensação extra por fazer parte deste estudo.

Pesquisa anônima: As informações que você der durante o experimento ficarão anônimas até mesmo para os membros da equipe de pesquisa.

Contato para perguntas sobre a pesquisa ou para relatar um problema: Se você tiver alguma dúvida ou reclamações, fale com: Christianne Falcão, (81) 79016677 ou pelo e-mail: christiannefalcao.arq@gmail.com

Desistência:

Você está livre para desistir de participar do experimento a qualquer momento e por qualquer razão sem nenhuma penalidade.

Apêndice F | **Questionário Pré-teste** **Estudo de Caso II**

PRE-TEST QUESTIONNAIRE

This research represents a pilot study and aims to verify the use of Emotiv EEG headset to collect product related usability evaluation.

Thank you for your participation.

This section will be completed by researcher

Participant number:

Date: ____/____/2013

Start time:

Completion time:

Section 1 and 2 to be completed by Participant before testing

1. PARTICIPANT DEMOGRAPHIC INFORMATION

1. Age: _____

2. Gender: ☐ Male ☐ Female

3. Have you ever attended any usability testing? ☐ Yes ☐ No

4. If your answer was yes, please tell us about your experience?

5. When you buy a new alarm clock, do you read the instructions manual that comes with it?

☐ Yes ☐ No

2. ABOUT THE ALARM CLOCK

6. When do you wake-up in the morning:

☐ Regularly at the same time

☐ Irregular times

7. Which of devices do you usually use to wake-up?

☐ Alarm clock

☐ Digital radio alarm clock

☐ Mobile Device alarm

☐ None

☐ Other: _____

8. Have you ever used a digital radio alarm clock before? ☐ Yes ☐ No

Apêndice G | **Questionário Durante o Teste - Produto Estudo de Caso II**

Section 3, 4 to be completed by Participant during the test as requested by researcher

DURING TEST QUESTIONNAIRE - PHYSICAL PRODUCT

3. VISUAL APPEAL EVALUATION

Please take a moment to analyze the alarm clock before starting the tasks.

When you are done, please answer the following questions:

Have you have used this same alarm clock before? ☐ Yes ☐ No

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I like the shape of this alarm clock	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

4. TASK SCENARIOS

At this stage of the assessment you are invited to explore the alarm clock performing the two tasks listed below: After concluding each task, please answer questions about it. If you find it difficult to complete the task, please ask the mediator to the alarm clock manual.

Task 1: Setting the clock time.

☐ Set the clock to **6:30 AM**

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I learned how to set the clock quickly	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I easily remember how to use it	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

Task 2: Setting the alarm or wake up time

☐ Set the Alarm to wake you up at **6:35 AM**.

While waiting for alarm to ring please answer the following:

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I learned how to use the alarm quickly	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I easily remember how to use it	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

Task 3: STOP and Cancel the alarm

After you cancel the alarm please answer the following:

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I learned how to cancel the alarm quickly	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I easily remember how to do this again	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

The questions below address the alarm clock usability

		Disagree	Neutral	Agree	NA		
It helps me be more effective wake up on time and to meet my daily schedule	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
It makes the task I want to accomplish easier to get done.	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
It is easy to use	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I can use it without written instructions	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I can recover from mistakes quickly and easily	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I am satisfied with it	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I trust that the alarm clock to wake me without any problems	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
		Disagree	Neutral	Agree	NA		

Apêndice H | **Questionário Durante o Teste | Protótipo Virtual Estudo de Caso II**

Section 3, 4, 5 to be completed by Participant during the test as requested by researcher

DURING TEST QUESTIONNAIRE - VIRTUAL PRODUCT

3. VISUAL APPEAL EVALUATION

Please take a moment to analyze the alarm clock before starting the tasks.

When you are done, please answer the following questions:

Have you have used this same alarm clock before? ☐ Yes ☐ No

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I like the shape of this alarm clock	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

4. TASK SCENARIOS

At this stage of the assessment you are invited to explore the alarm clock performing the two tasks listed below: After concluding each task, please answer questions about it. If you find it difficult to complete the task, please ask the mediator to the alarm clock manual.

Task 1: Setting the clock time.

☐ Set the clock to **6:30 AM**

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I learned how to set the clock quickly	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I easily remember how to use it	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

Task 2: Setting the alarm or wake up time

☐ Set the Alarm to wake you up at **6:35 AM**.

While waiting for alarm to ring please answer the following:

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I learned how to use the alarm quickly	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I easily remember how to use it	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

Task 3: STOP and Cancel the alarm

After you cancel the alarm please answer the following:

			Disagree	Neutral	Agree			NA
I learned how to cancel the alarm quickly	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I easily remember how to do this again	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐

The questions below address the alarm clock usability

			Disagree	Neutral	Agree			NA
It helps me be more effective wake up on time and to meet my daily schedule	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
It makes the task I want to accomplish easier to get done.	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
It is easy to use	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I can use it without written instructions	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I can recover from mistakes quickly and easily	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I am satisfied with it	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
I trust that the alarm clock to wake me without any problems	Strongly disagree	☐	☐	☐	☐	☐	Strongly agree	☐
			Disagree	Neutral	Agree			NA

5. About the virtual alarm clock model

				Ok				NA
How do you feel of operating the virtual alarm clock model	Very difficult	☐	☐	☐	☐	☐	Very easy	☐
How do you feel about the visibility of the virtual alarm clock model	Very poor	☐	☐	☐	☐	☐	Very clear	☐

Please describe your experience using the alarm clock?

Apêndice I |

Questionário Pós-Teste Estudo de Caso II

Section 6, 7 to be completed by Participant AFTER the test as requested by researcher

POST-TEST QUESTIONNAIRE

6. About the test procedure

				Ok				NA
You think this test procedure	Difficult to follow	☐	☐	☐	☐	☐	Easy to follow	☐

Do you have any feedback about your experience?

7. About the EEG Emotiv headset

1. During the test session did you feel any type of discomfort when using the EEG Emotiv headset?

☐ Yes ☐ No

2. Could you tell us about your experience with the EEG Emotiv?

Comments or suggestions (optional):

.....

.....

.....

Thank you.

If you have any questions please send us an email to christianne@ucf.edu

Apêndice J | **Consentimento Livre e Esclarecido Estudo de Caso II**



Usability Assessment of User Satisfaction in Product Design

Informed Consent

Principal Investigator(s): Dr.Tareq Ahram, PhD

Co-Investigator(s): Ms. Christianne Vasconcelos

Investigational Site(s): IASE - UCF (<http://www.iase.ucf.edu>)

Introduction: Researchers at the University of Central Florida (UCF) study many topics. To do this we need the help of people who agree to take part in a research study. You are being invited to take part in a research study which will include about 20 people at UCF. You have been asked to take part in this research study because you are engineering student from IEMS department. You must be 18 years of age or older to be included in the research study.

The person doing this research is Dr.Tareq Ahram, PhD of the Institute for Advanced Systems Engineering and Ms.Christianne Vasconcelos, a reseach visitor at the department of Industrial Engineering & Management Systems.

What you should know about a research study:

- Someone will explain this research study to you.
- A research study is something you volunteer for.
- Whether or not you take part is up to you.
- You should take part in this study only because you want to.
- You can choose not to take part in the research study.
- You can agree to take part now and later change your mind.
- Whatever you decide it will not be held against you.
- Feel free to ask all the questions you want before you decide.

Purpose of the research study: to evaluate product usability and user interactions and feedback response variations of participants while using a physical and a digital radio alarm clock similar to everyday consumer product , and for participants to describe how they

perceive both interactions. An experimental design and subjective research will be conducted to obtain data from the activities of the Emotiv® neuroheadset to evaluate product usability.

What you will be asked to do in the study: You will be asked to read this informed consent document and complete a pre-test questionnaire. Participant then will have the headset Emotiv® adjusted or calibrated to ensure quality measurements.

You will be asked to complete three tasks using a digital radio alarm. Task 1: set the time, Task 2: set the alarm and Task 3: reset the alarm. You will be asked to answer few questions during the test. Take your time to perform tasks according to your will and you do not have to answer every question or complete every task. After completing the tasks you will be asked to complete a post-test questionnaire. When finished the test session is complete. You can skip any question or tasks or decide to stop the test at any time.

Location: Engineering II 315 human computer interaction laboratory.

Time required: We expect that you will be in this research study for approximately 40 minutes or less.

Risks: There are no reasonably foreseeable risks or discomforts involved in taking part in this study. The Emotiv EEG device is very light and fits perfectly to user's head shape and doesn't interfere with user movement, the headset is widely used in gaming platforms and robot control by many students and scholars.

Benefits:

We cannot promise any benefits to you or others from your taking part in this research. However, possible benefits include a great opportunity for learning usability evaluation topic.

Compensation or payment:

There is no payment or extra credit for taking part in this study. Each participant will be compensated with a complementary T-Shirt, even if he/she can not attend all stages.

Anonymous research: This study is anonymous. That means that no one, not even members of the research team, will know that the information you gave came from you.

Study contact for questions about the study or to report a problem: If you have questions, concerns, or complaints, or think the research has hurt you, talk to: Christianne Vasconcelos, Research at Institute for Advanced Systems Engineering, by email at: christianne@ucf.edu

IRB contact about your rights in the study or to report a complaint: Research at the University of Central Florida involving human participants is carried out under the oversight of the Institutional Review Board (UCF IRB). This research has been reviewed and approved by the IRB. For information about the rights of people who take part in research, please contact: Institutional Review Board, University of Central Florida, Office of Research & Commercialization, 12201 Research Parkway, Suite 501, Orlando, FL 32826-3246 or by telephone at (407) 823-2901. You may also talk to them for any of the following:

- Your questions, concerns, or complaints are not being answered by the research team.
- You cannot reach the research team.
- You want to talk to someone besides the research team.
- You want to get information or provide input about this research.

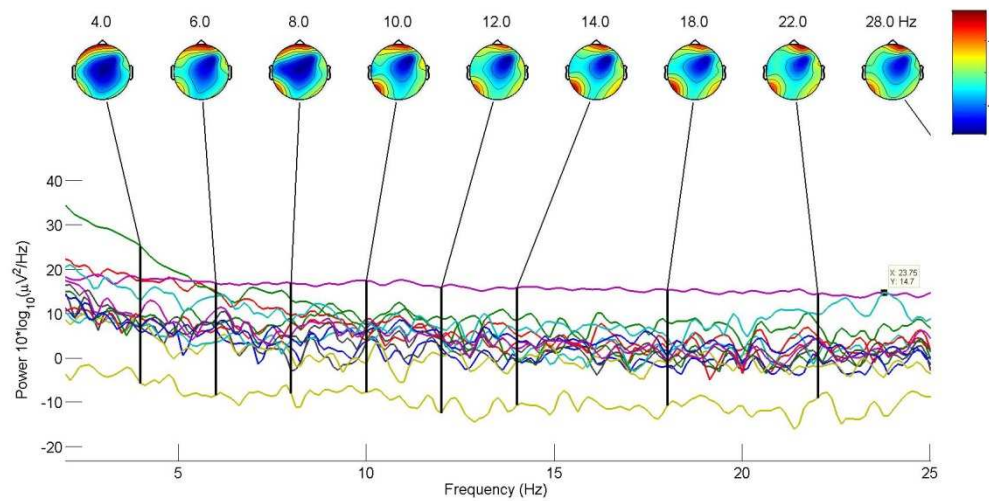
Withdrawing from the study:

You are free to withdraw from this study at any time for any reason without penalty.

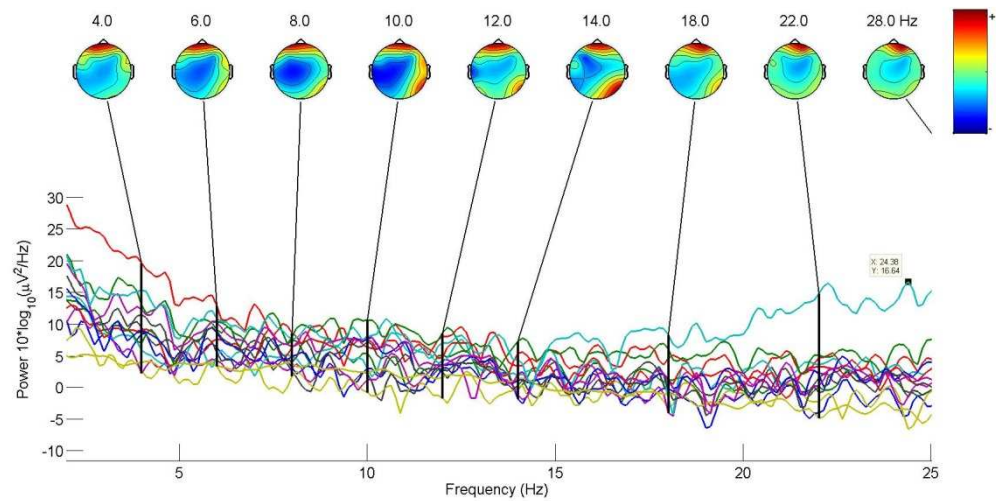
Apêndice H |

Mapa de dados EEG dos participantes
Estudo de Caso II

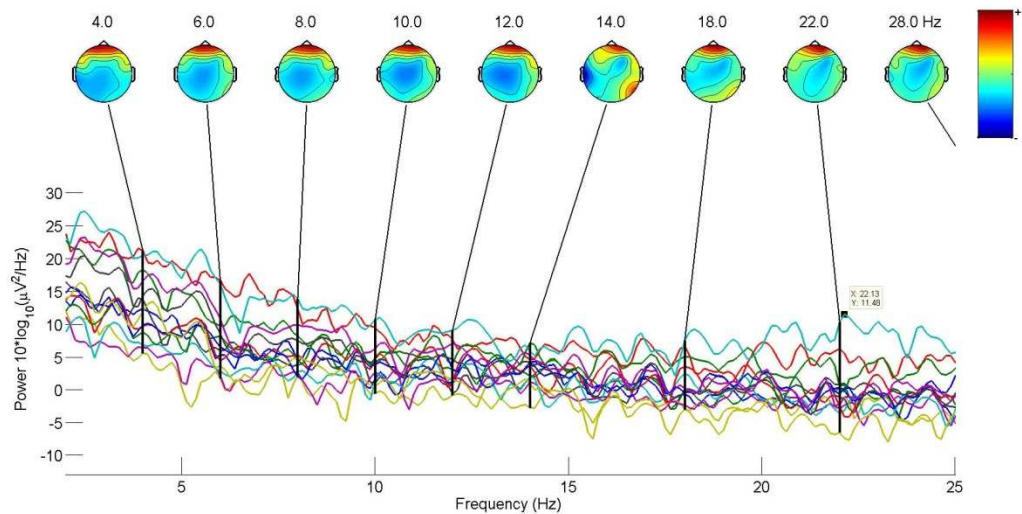
PARTICIPANTE 1



Produto A

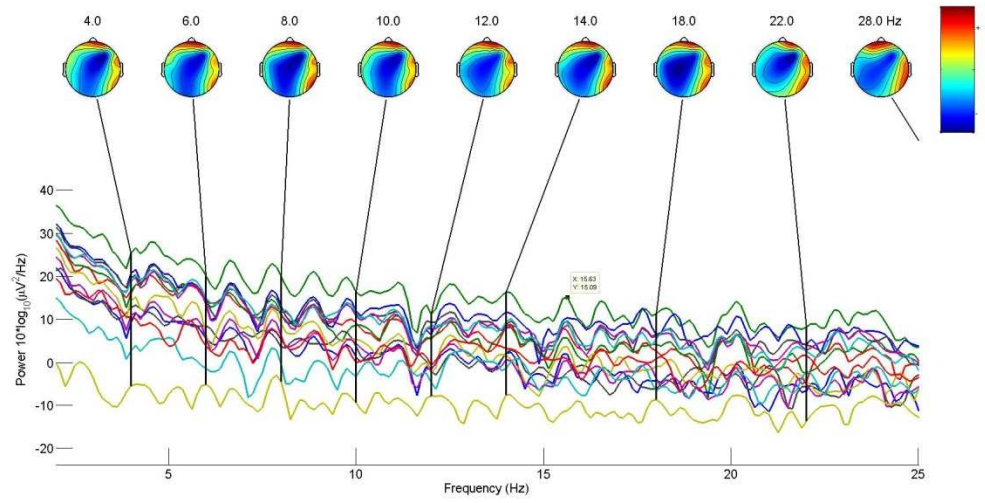


Produto B

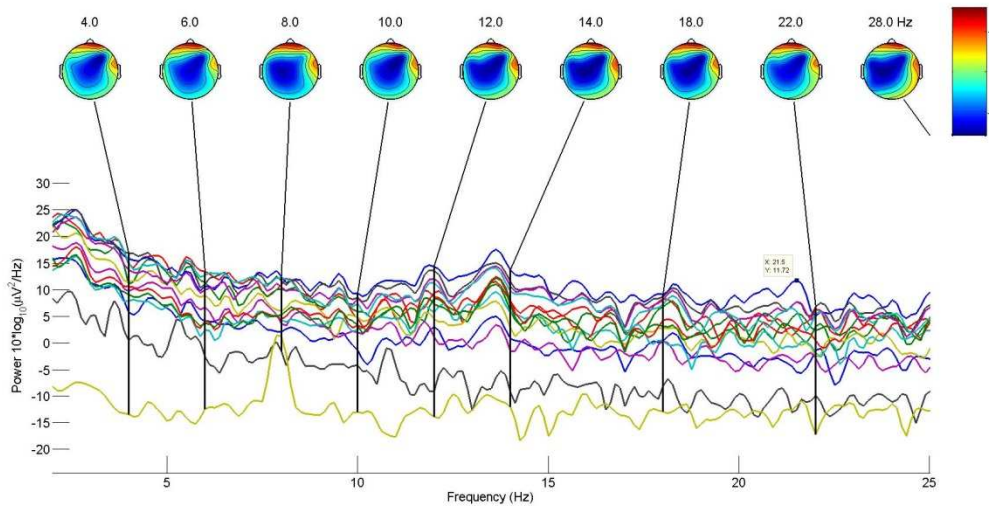


Protótipo Virtual

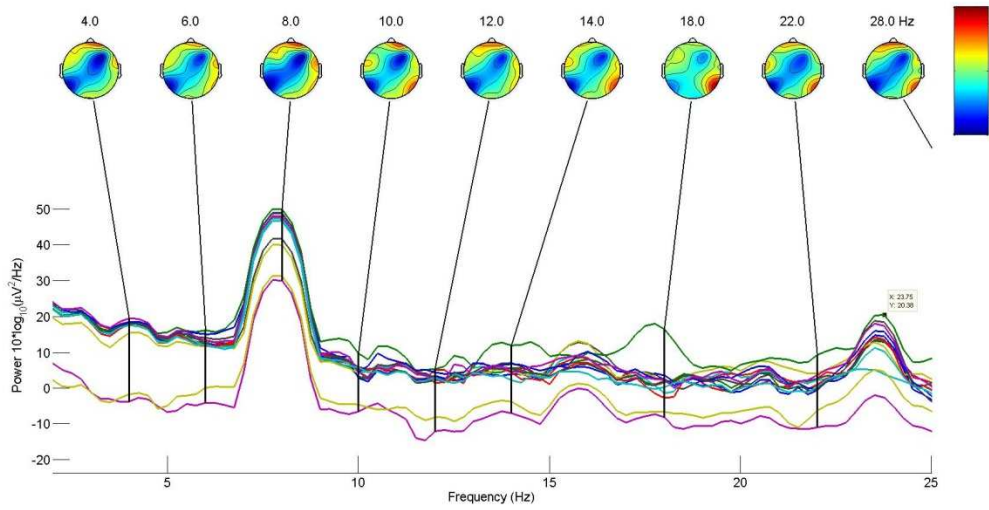
PARTICIPANTE 2



Produto A

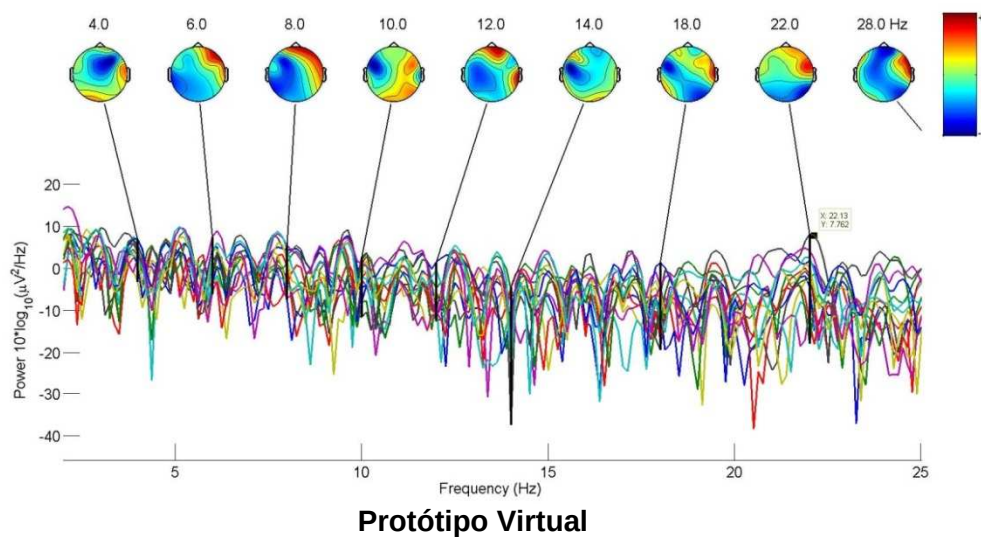
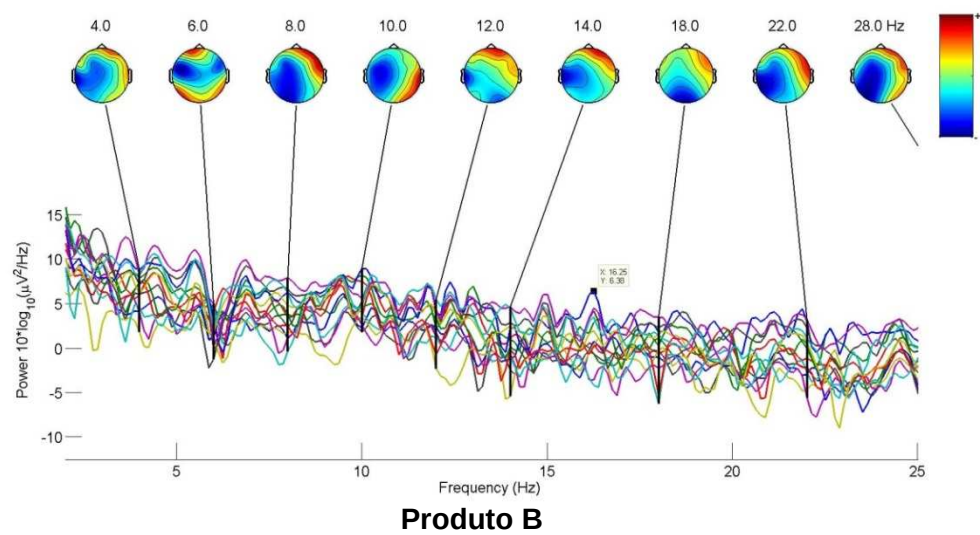
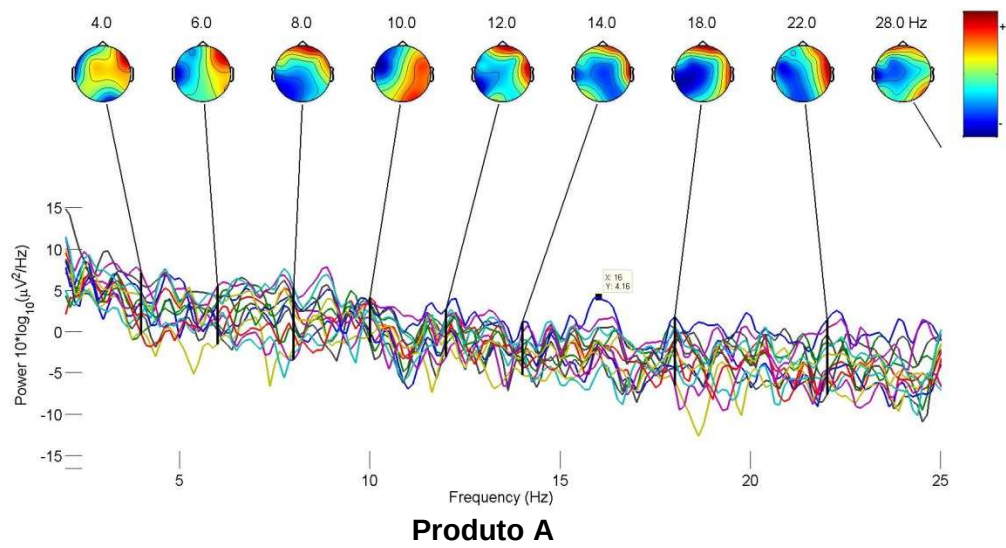


Produto B

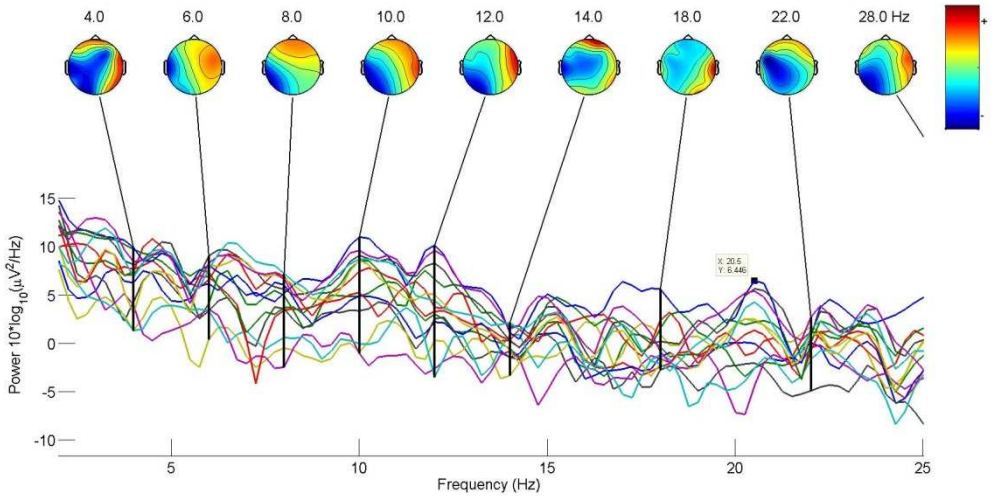


Protótipo Virtual

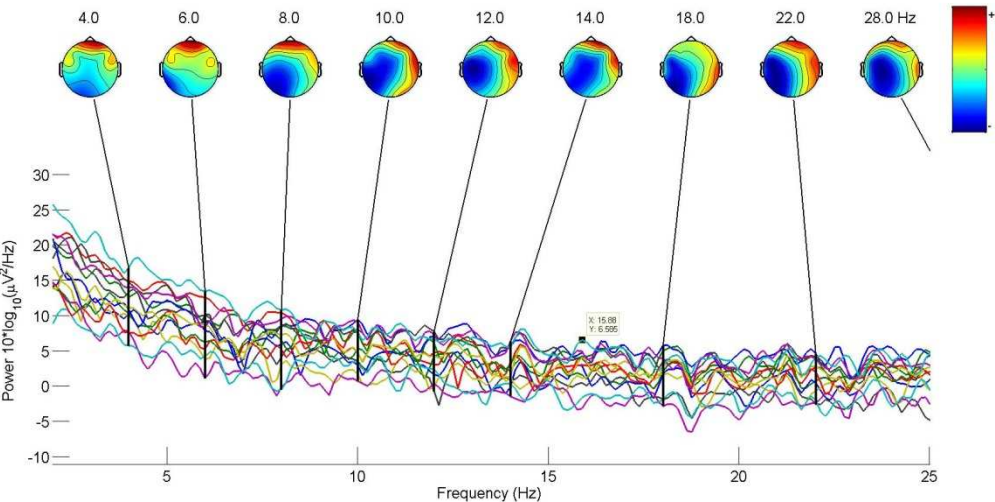
PARTICIPANTE 3



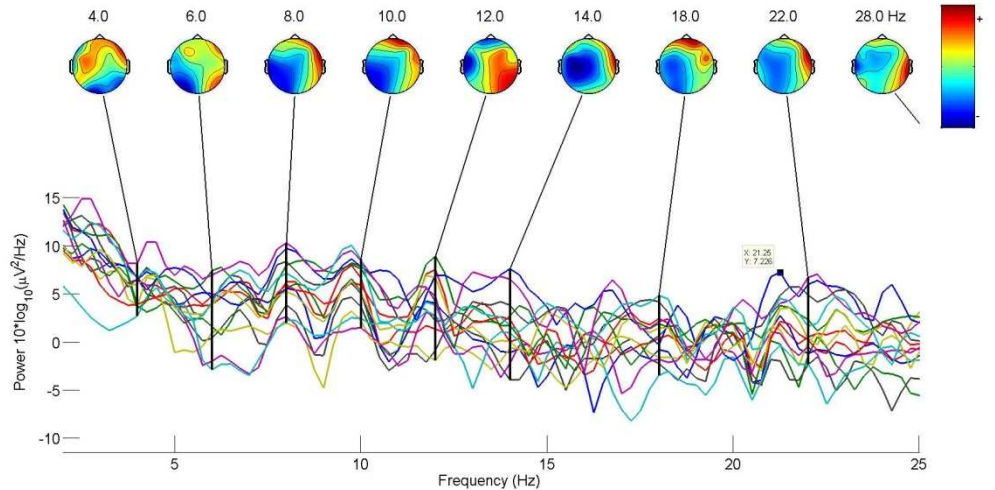
PARTICIPANTE 4



Produto A

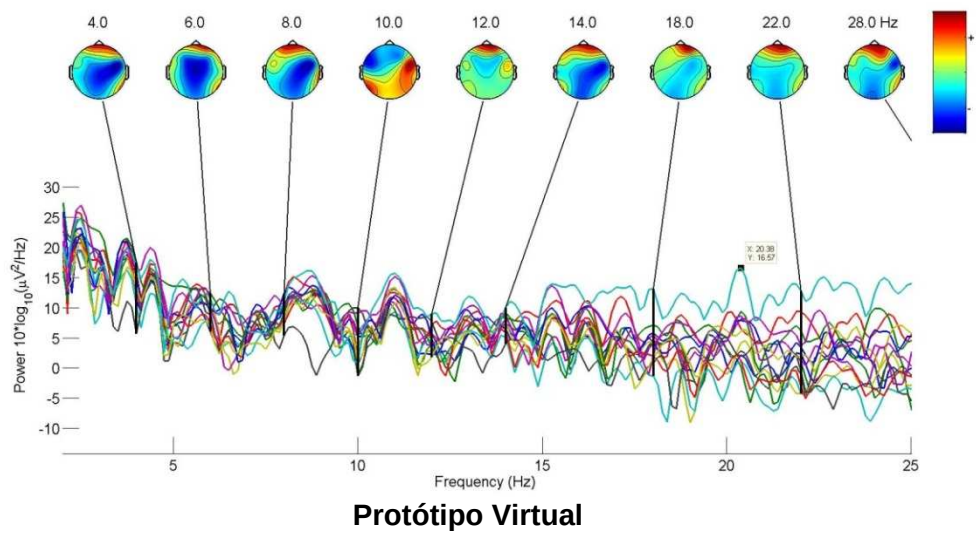
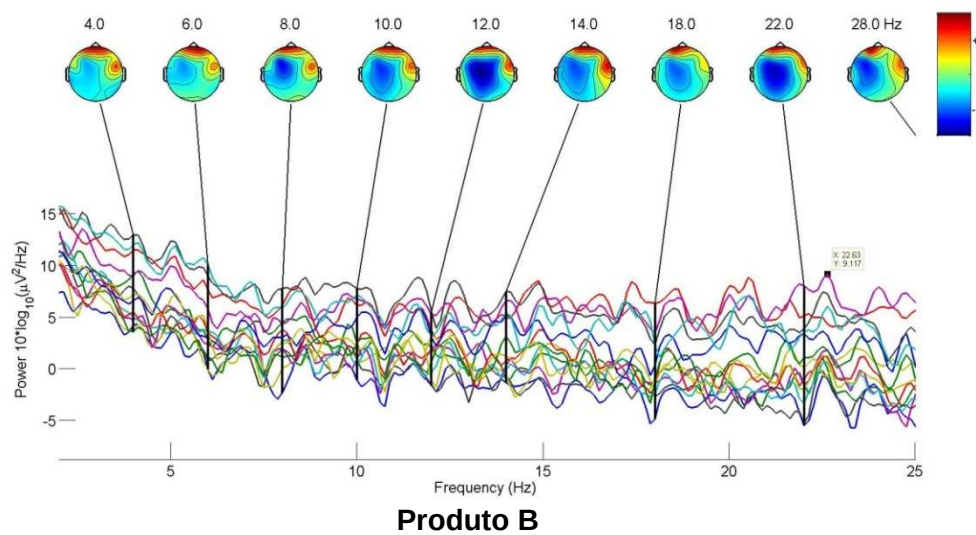
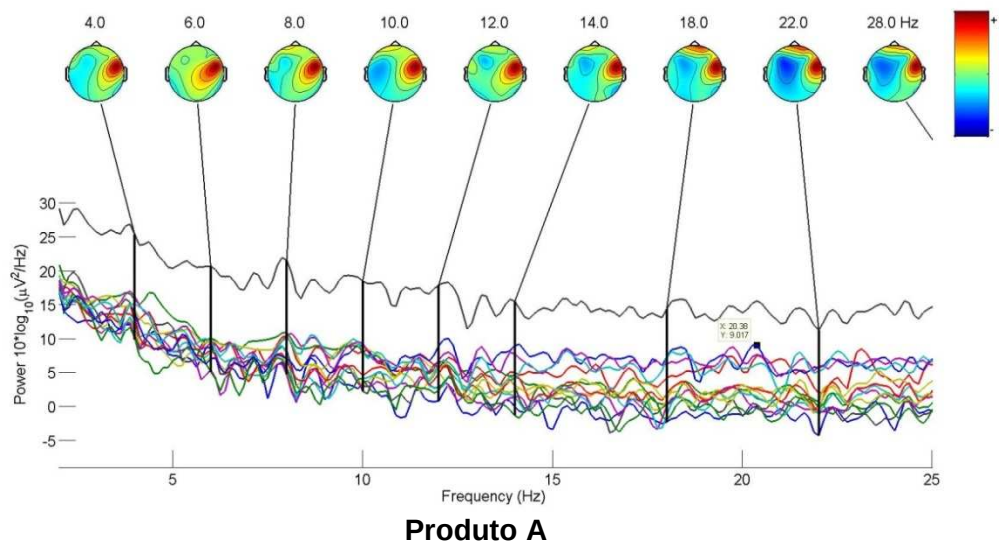


Produto B

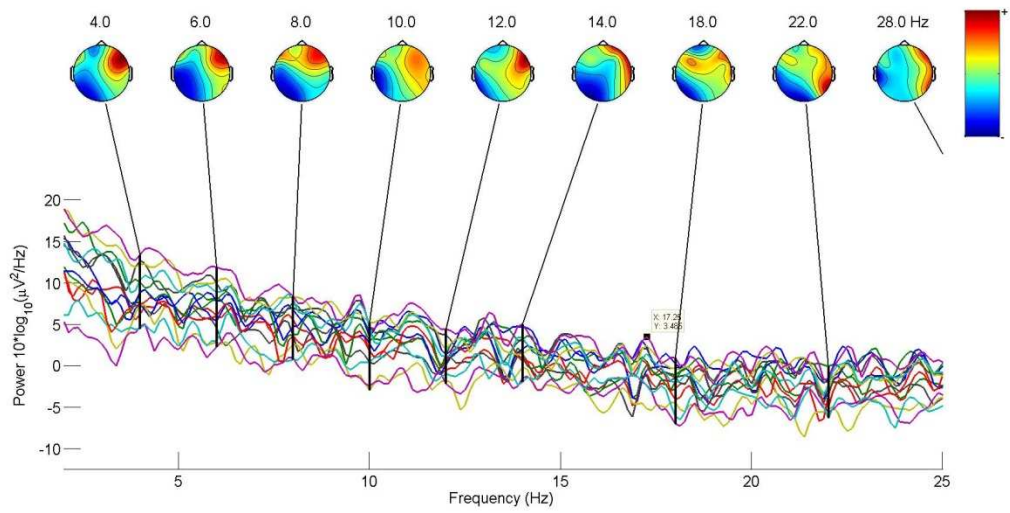


Protótipo Virtual

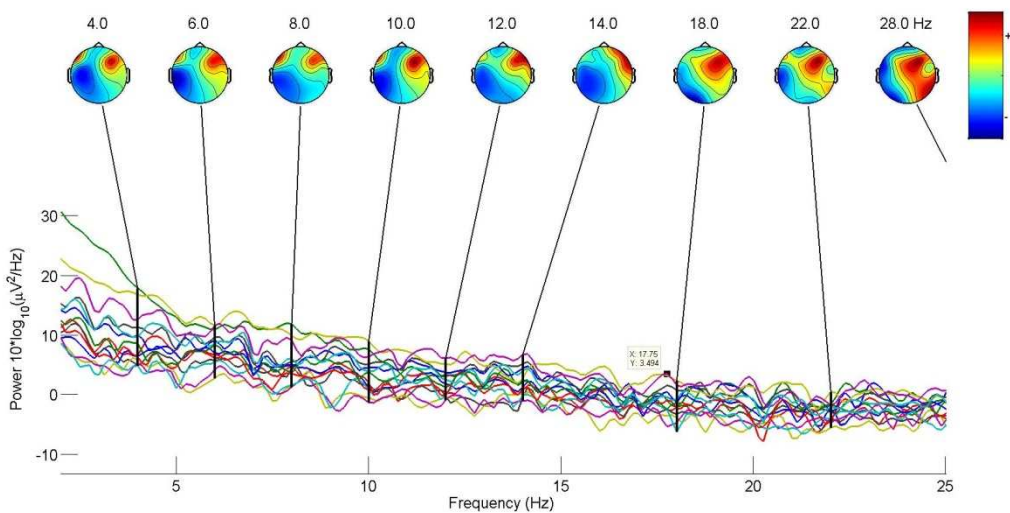
PARTICIPANTE 5



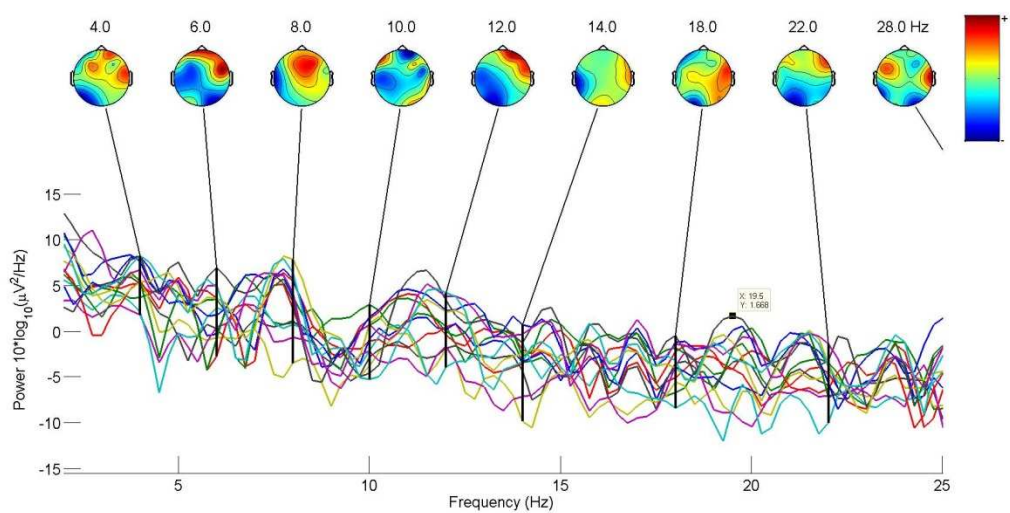
PARTICIPANTE 6



Produto A

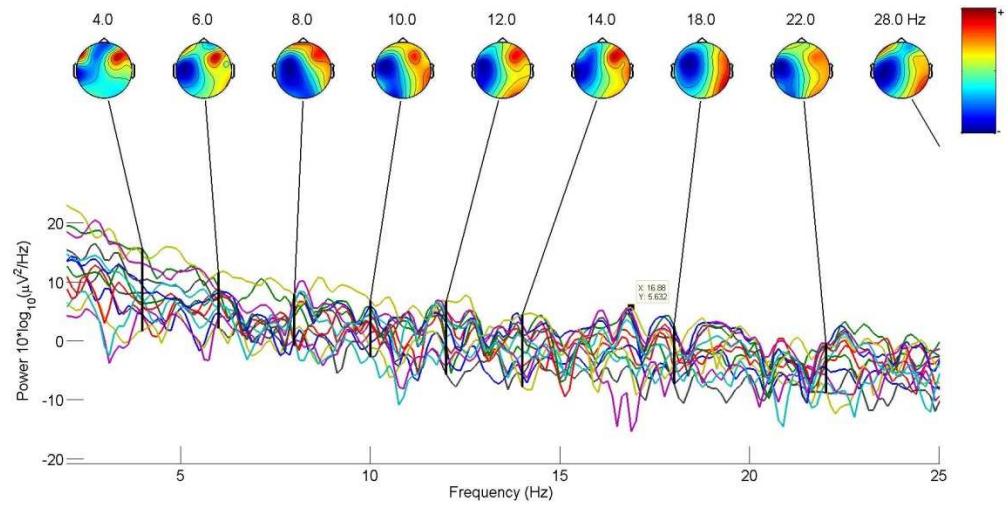


Produto B

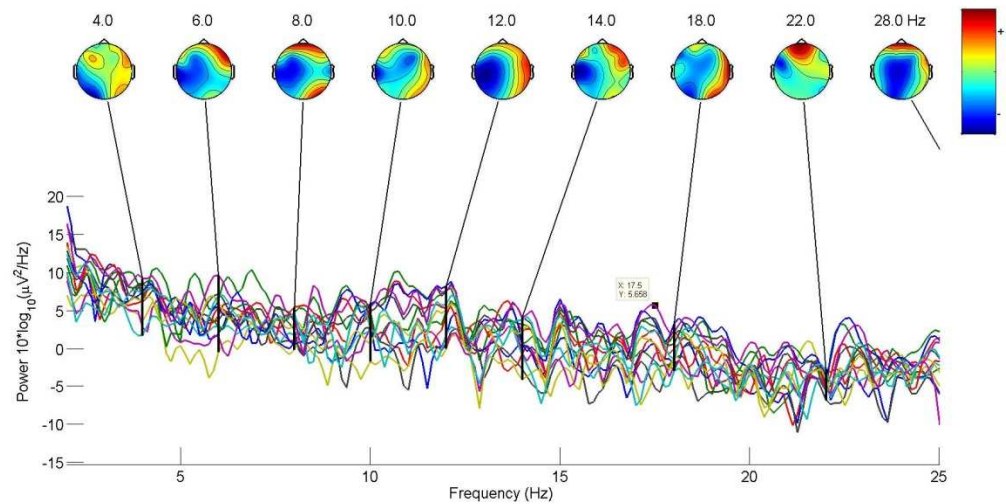


Protótipo Virtual

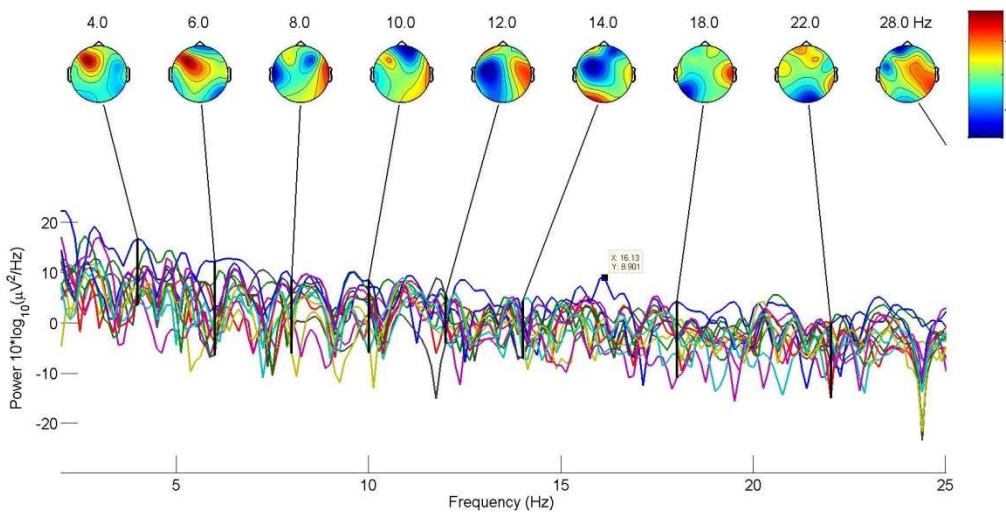
PARTICIPANTE 7



Produto A

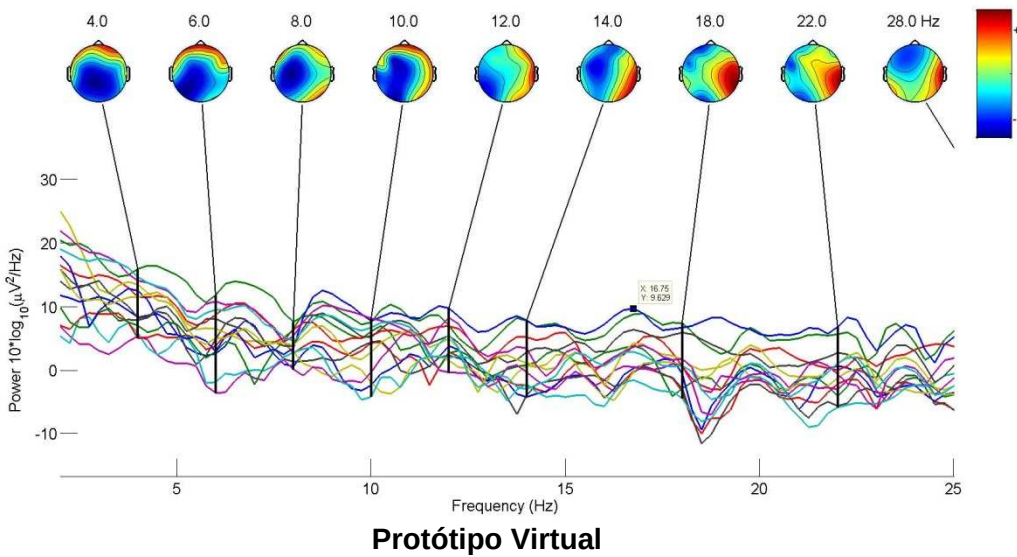
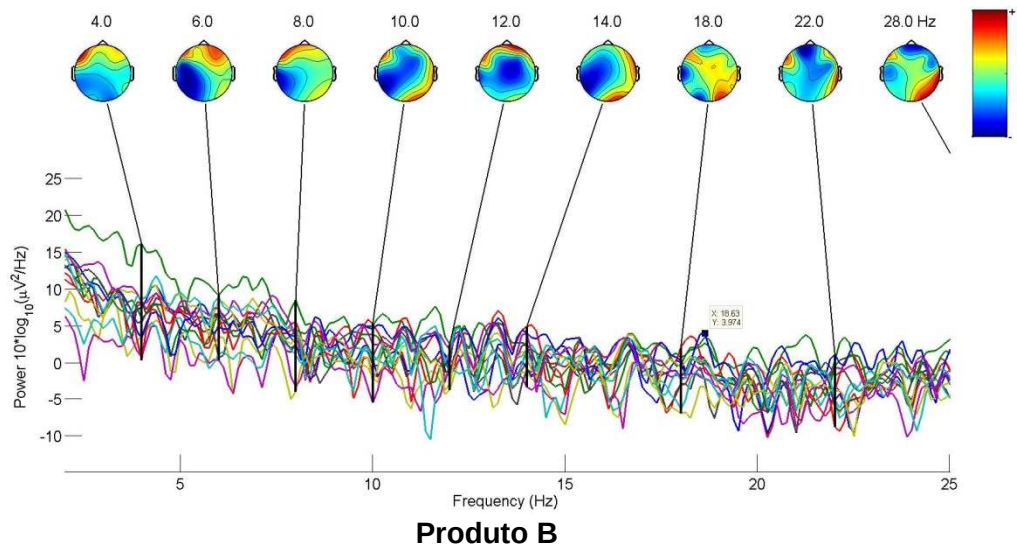
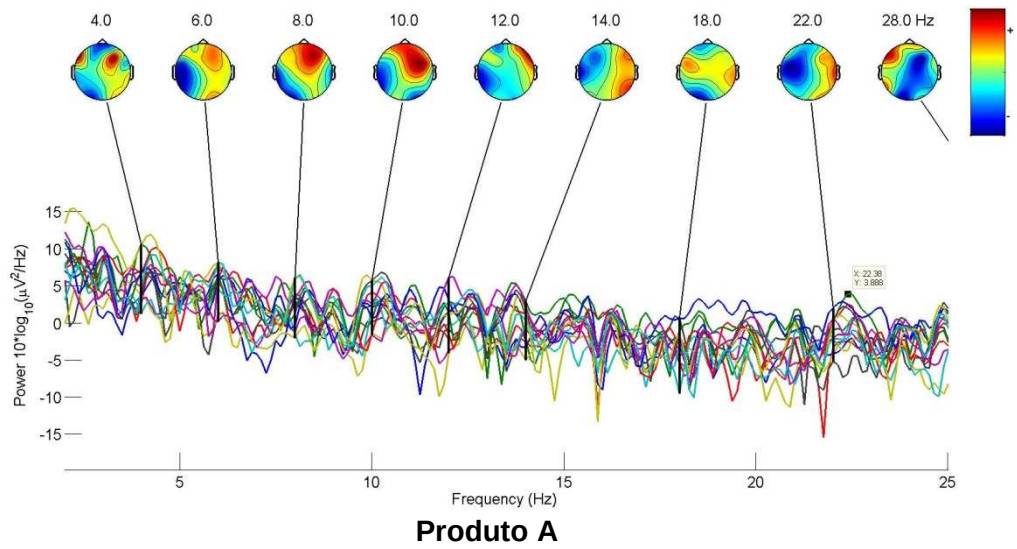


Produto B

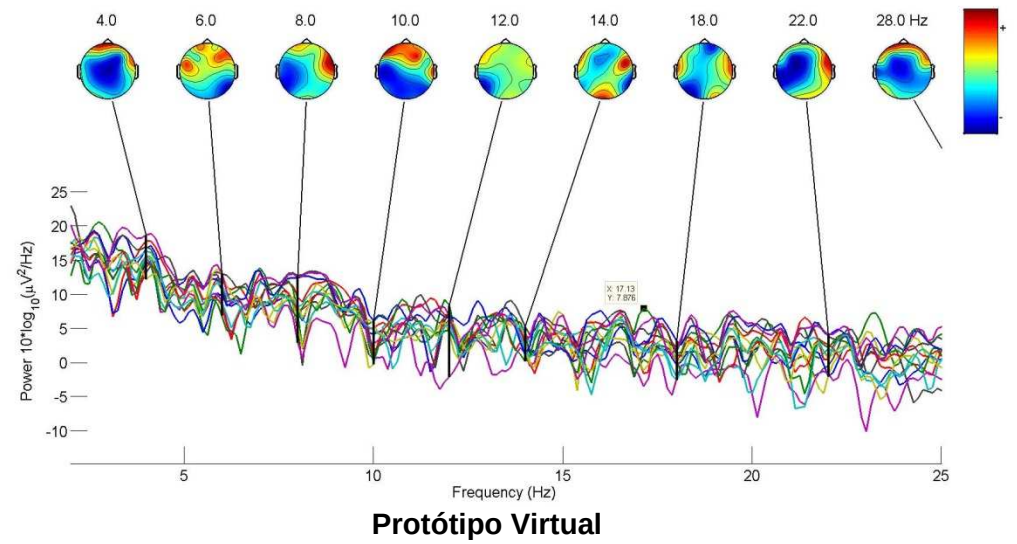
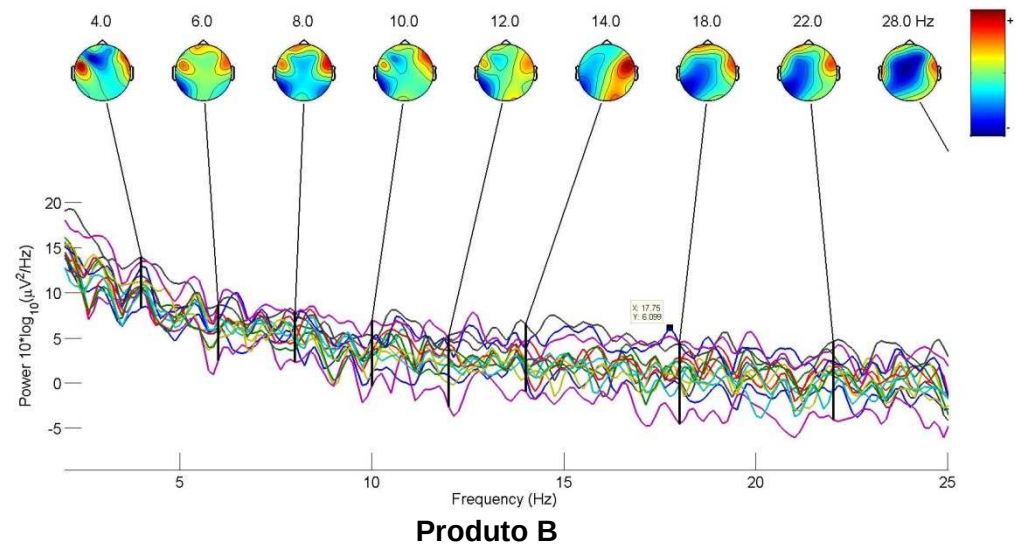
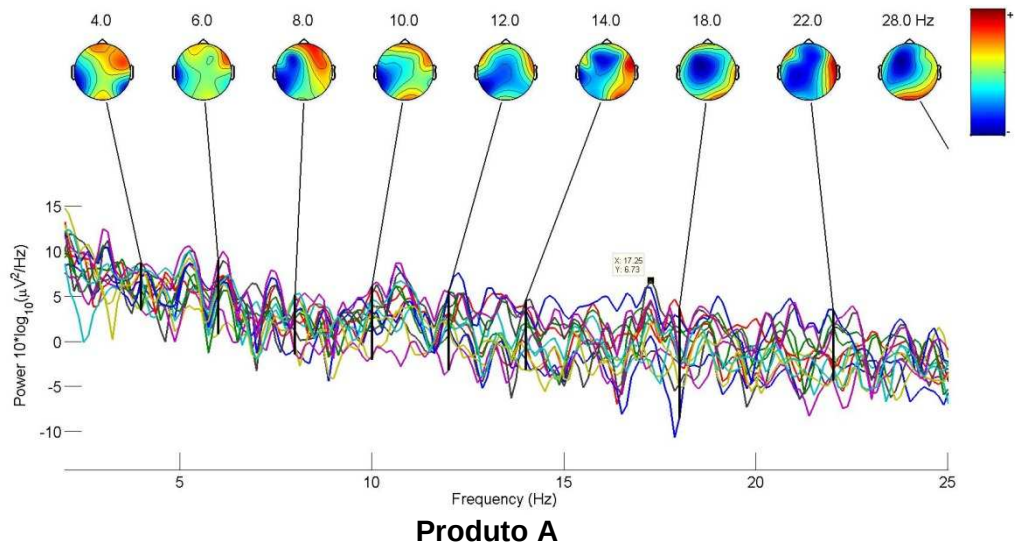


Protótipo Virtual

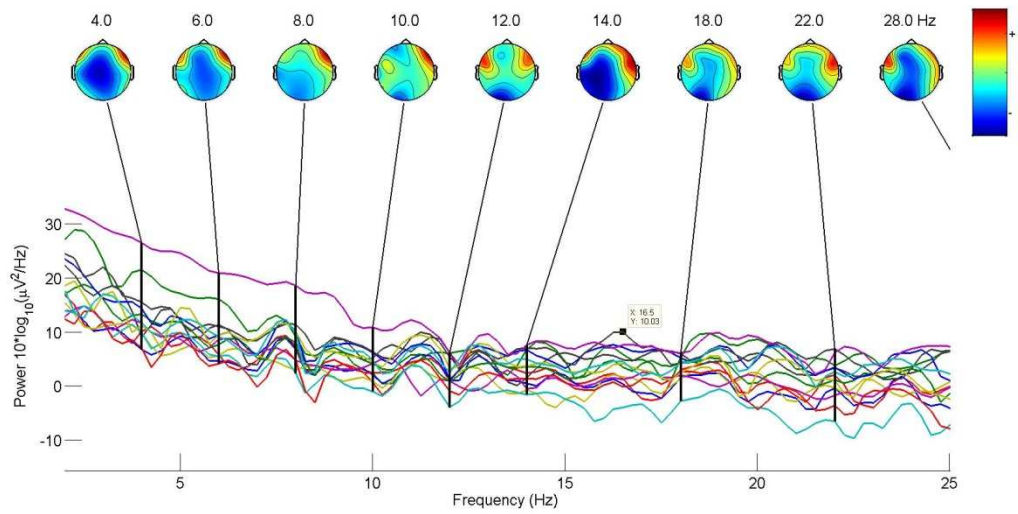
PARTICIPANTE 8



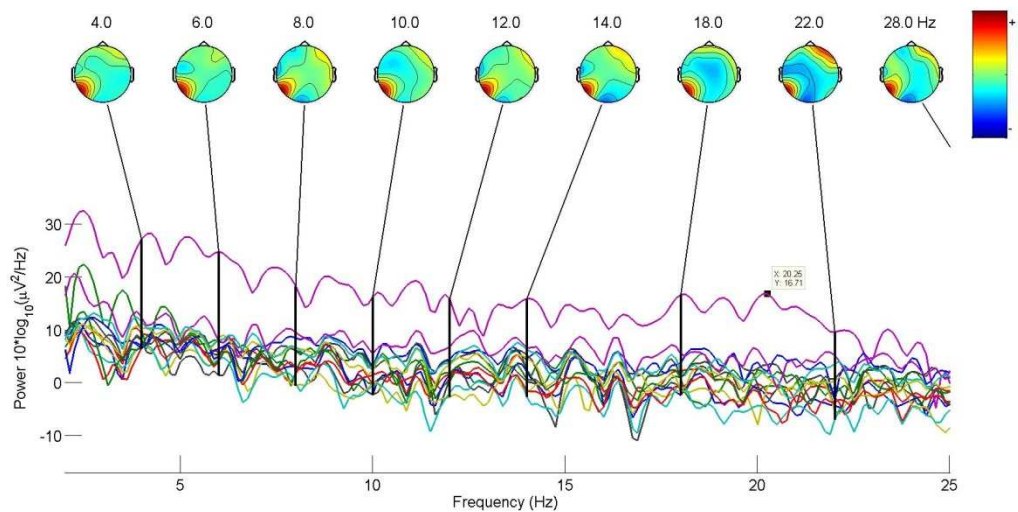
PARTICIPANTE 9



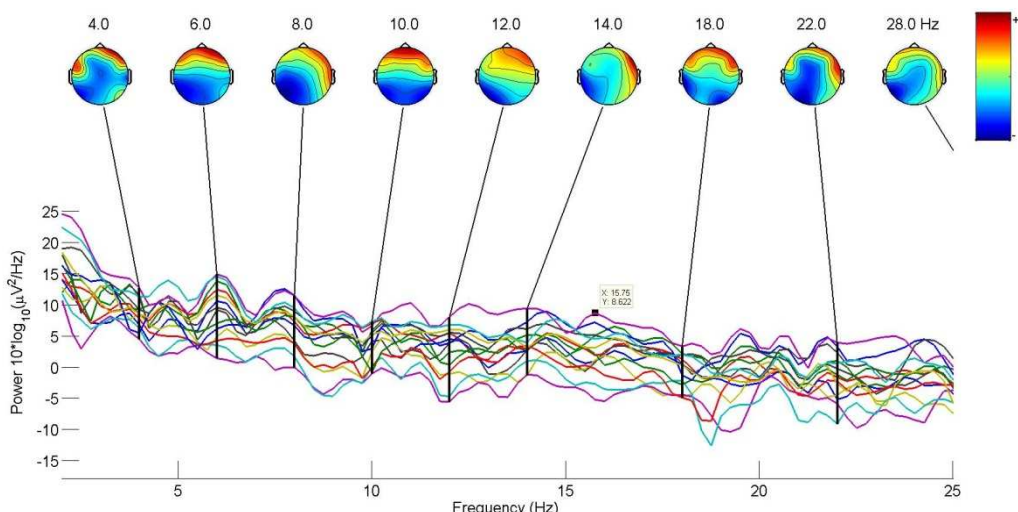
PARTICIPANTE 10



Produto A

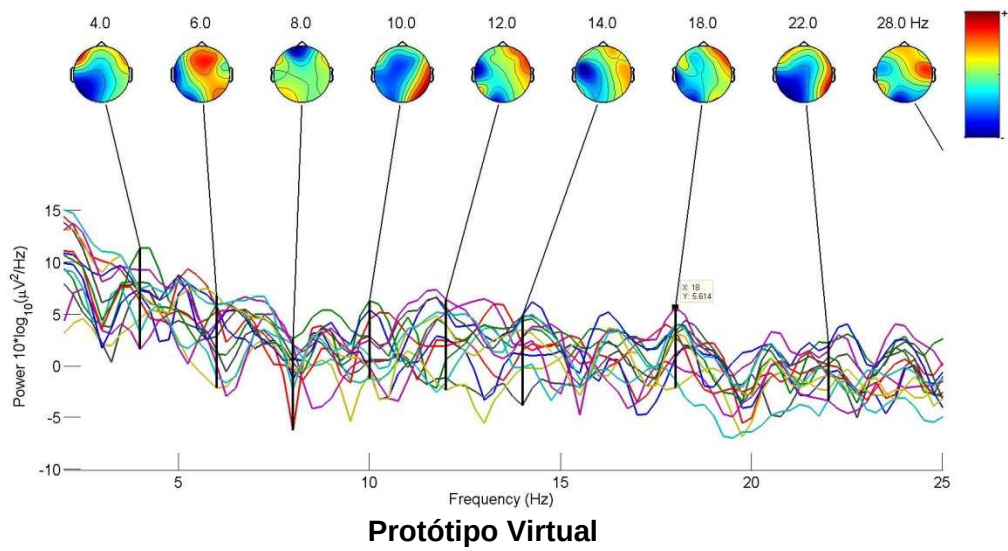
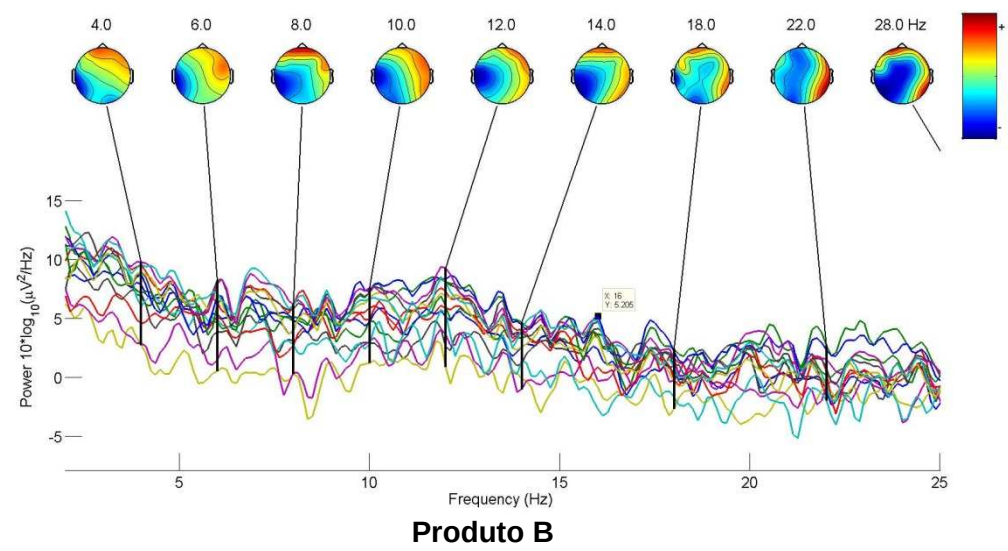
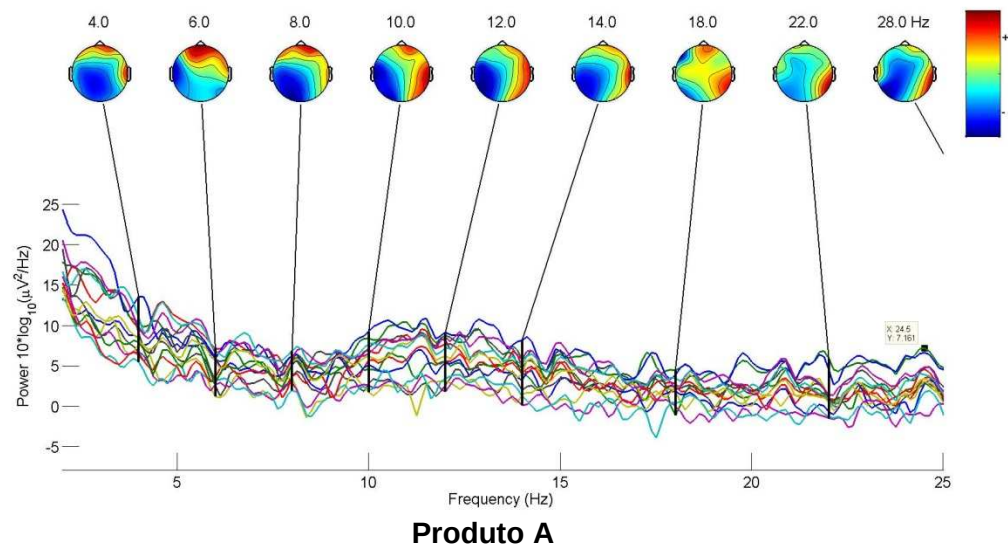


Produto B

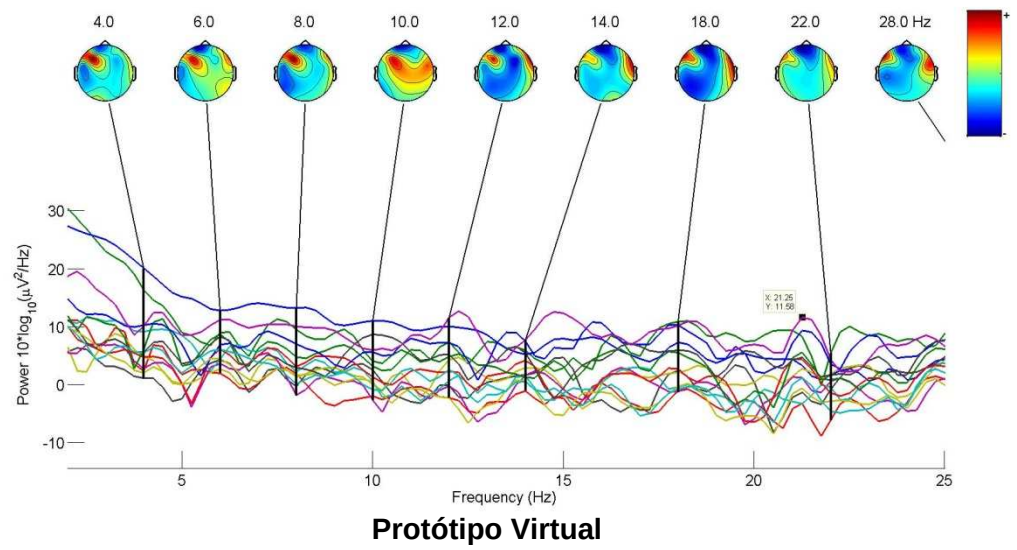
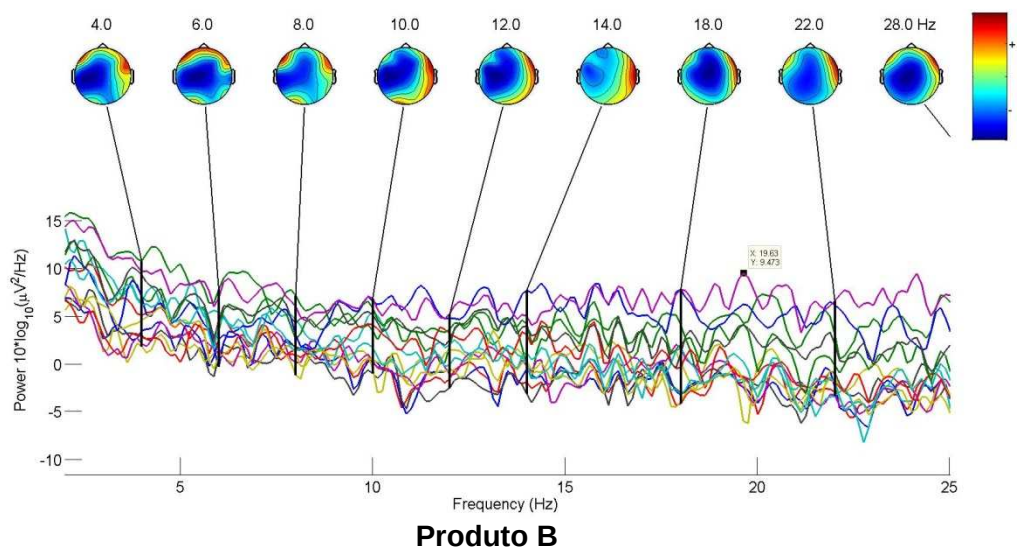
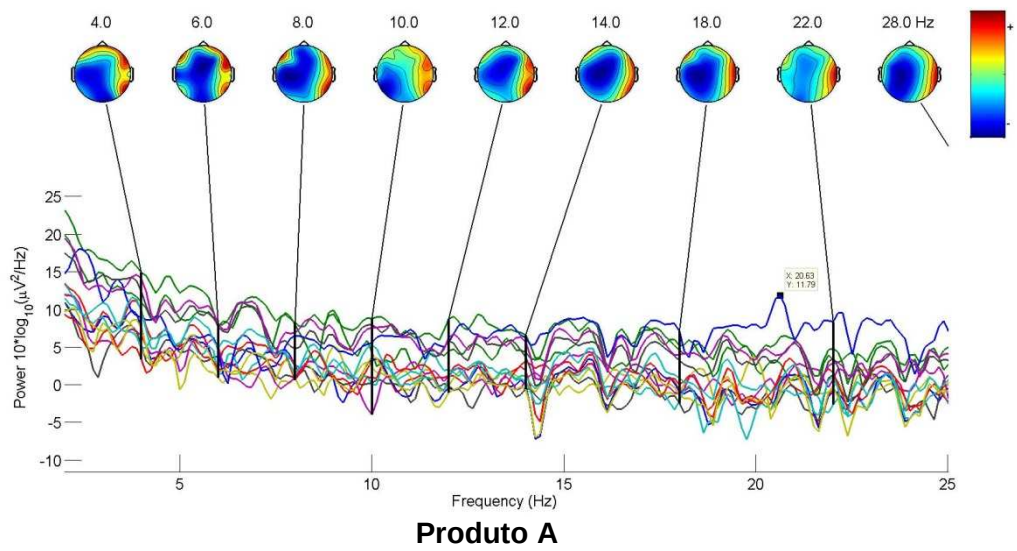


Protótipo Virtual

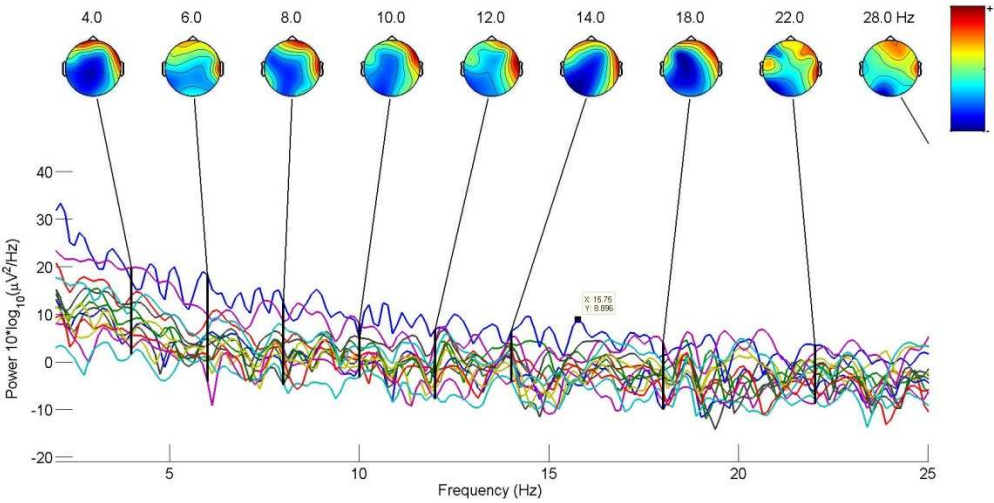
PARTICIPANTE 11



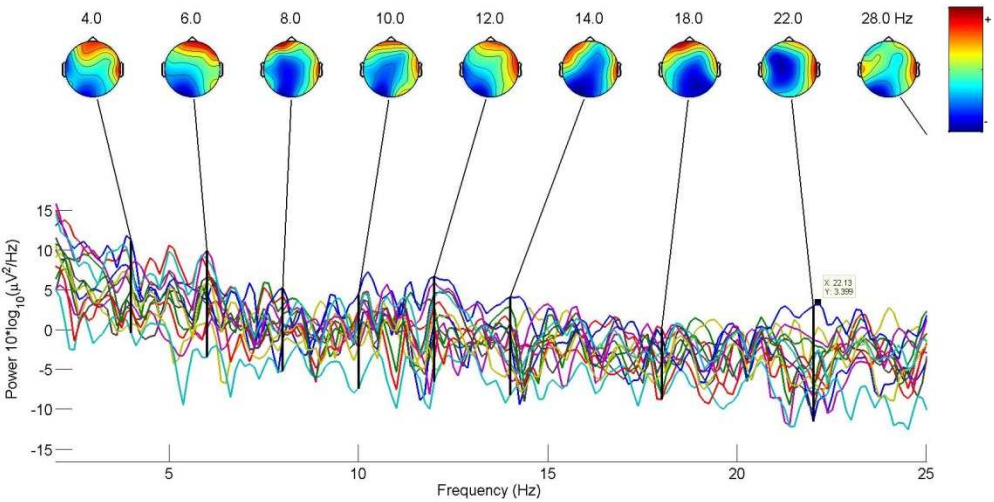
PARTICIPANTE 12



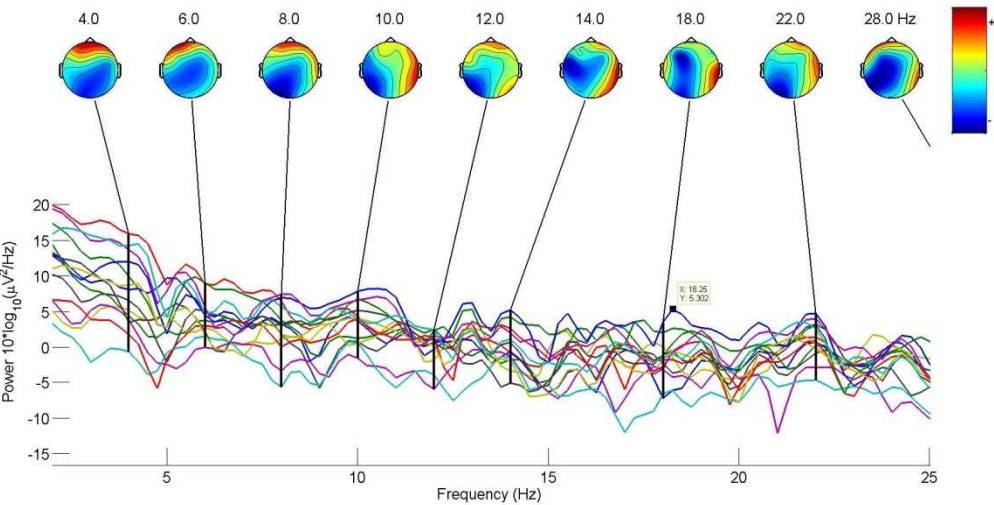
PARTICIPANTE 13



Produto A

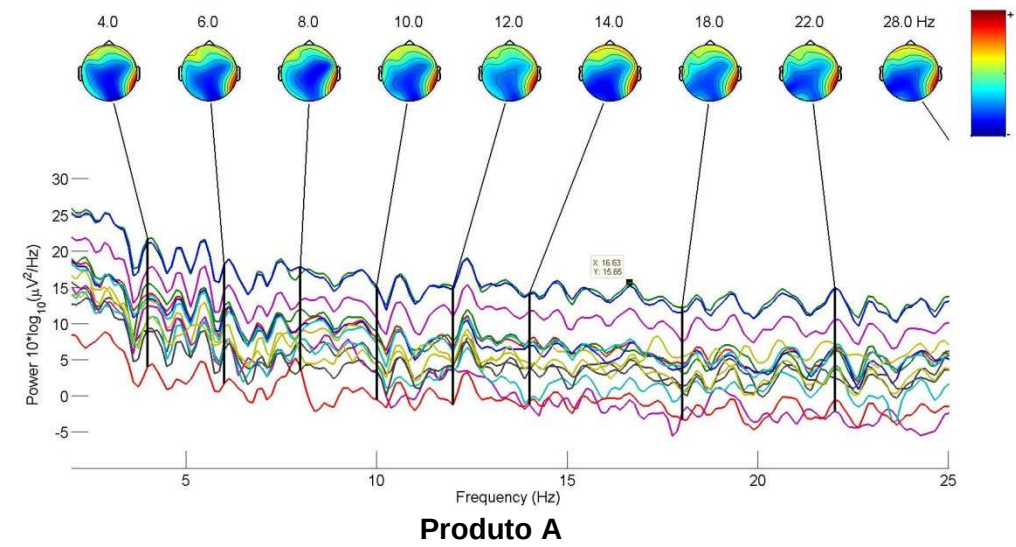


Produto B

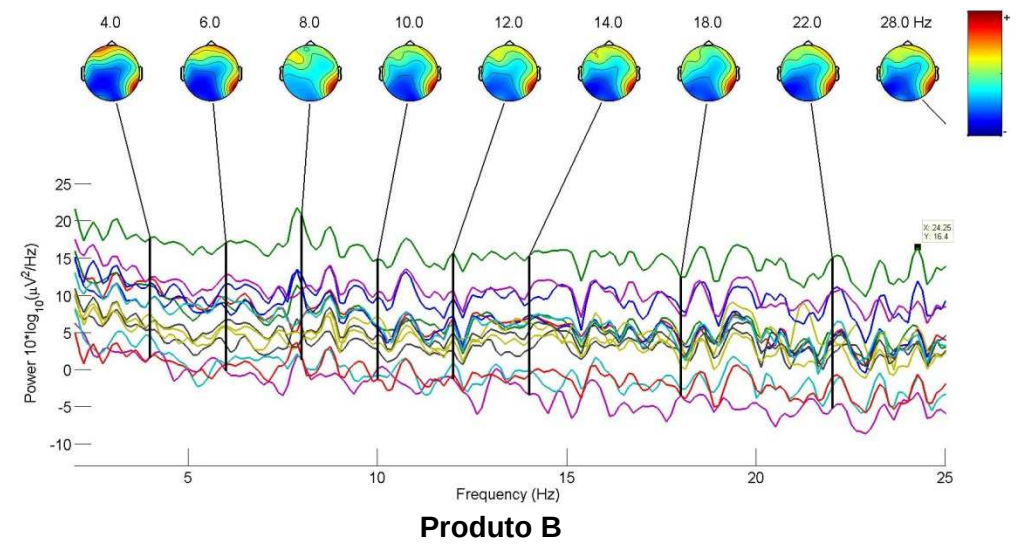


Protótipo Virtual

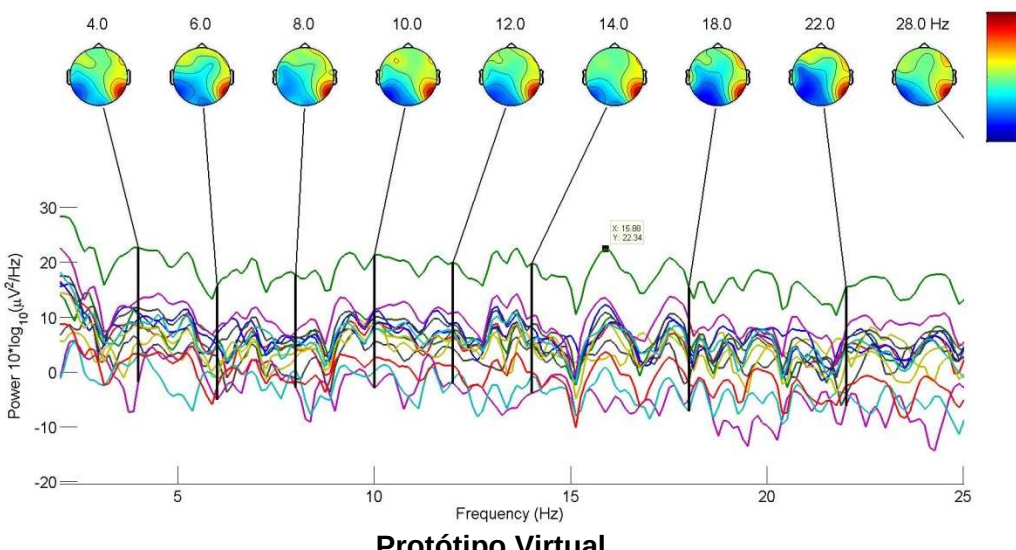
PARTICIPANTE 14



Produto A

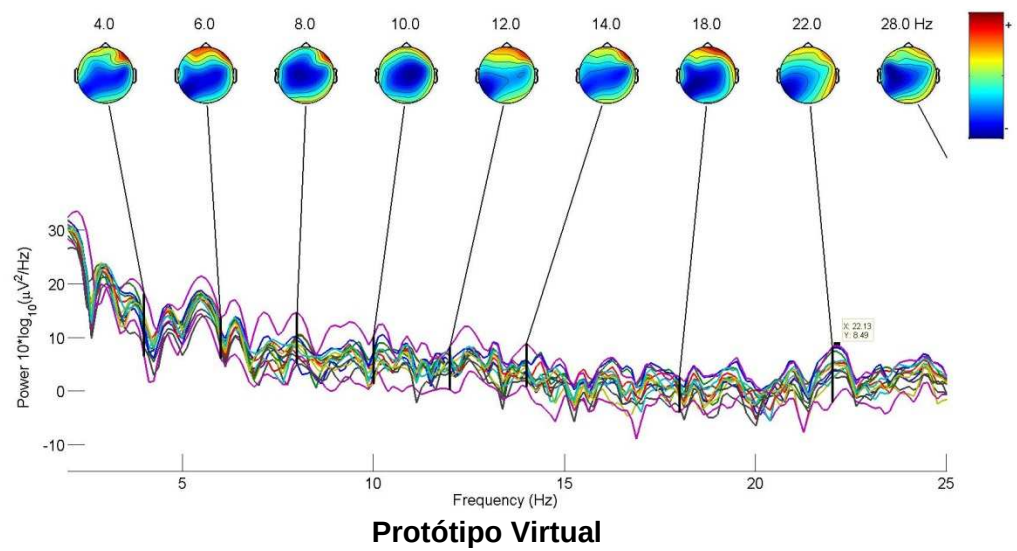
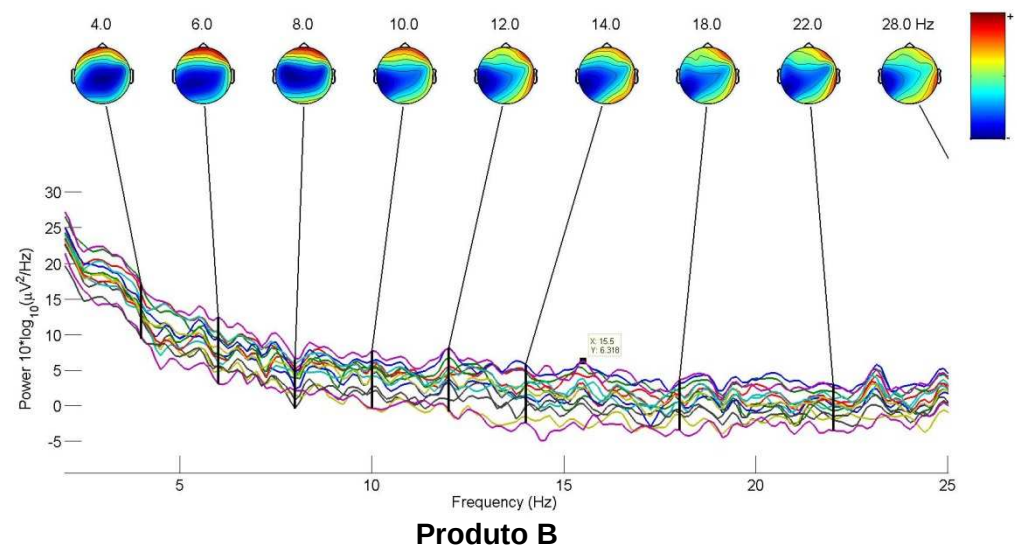
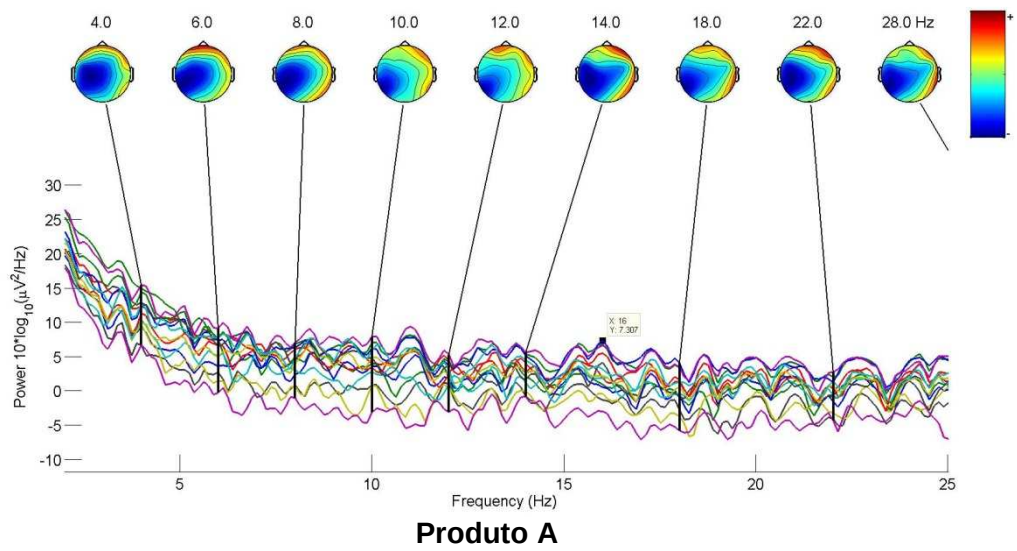


Produto B



Protótipo Virtual

PARTICIPANTE 15



Anexo A | **Aprovação do Conselho de Ética da University Central Florida**



University of Central Florida Institutional Review Board
Office of Research & Commercialization
12201 Research Parkway, Suite 501
Orlando, Florida 32826-3246
Telephone: 407-823-2901 or 407-882-2276
www.research.ucf.edu/compliance/irb.html

Approval of Human Research

From: UCF Institutional Review Board #1
FWA00000351, IRB00001138

To: Tareq Z. Ahram and Co-PI: Christianne Vasconcelos

Date: July 01, 2013

Dear Researcher:

On 7/1/2013 the IRB approved the following human participant research until 6/30/2014 inclusive:

Type of Review:	Submission Correction for UCF Initial Review Submission Form Expedited Review
Project Title:	Usability Assessment of User Satisfaction in Product Design
Investigator:	Tareq Z. Ahram
IRB Number:	SBE-13-09459
Funding Agency:	
Grant Title:	
Research ID:	N/A.

The scientific merit of the research was considered during the IRB review. The Continuing Review Application must be submitted 30 days prior to the expiration date for studies that were previously expedited, and 60 days prior to the expiration date for research that was previously reviewed at a convened meeting. Do not make changes to the study (i.e., protocol, methodology, consent form, personnel, site, etc.) before obtaining IRB approval. A Modification Form cannot be used to extend the approval period of a study. All forms may be completed and submitted online at <https://iris.research.ucf.edu>.

If continuing review approval is not granted before the expiration date of 6/30/2014, approval of this research expires on that date. When you have completed your research, please submit a Study Closure request in iRIS so that IRB records will be accurate.

Use of the approved, stamped consent document(s) is required. The new form supersedes all previous versions, which are now invalid for further use. Only approved investigators (or other approved key study personnel) may solicit consent for research participation. Participants or their representatives must receive a copy of the consent form(s).

In the conduct of this research, you are responsible to follow the requirements of the Investigator Manual.

On behalf of Sophia Dziegielewski, Ph.D., L.C.S.W., UCF IRB Chair, this letter is signed by:

Signature applied by Patria Davis on 07/01/2013 02:39:38 PM EDT

IRB Coordinator