

Glauco de Sousa e Silva

Sinestesia em Interfaces de Usuário:
Modelando o Design da Interação através
dos Sentidos Humanos

João Pessoa
2015

Glauco de Sousa e Silva

Sinestesia em Interfaces de Usuário: Modelando o Design da Interação através dos Sentidos Humanos

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação de Informática
do Centro de Informática da Universidade
Federal da Paraíba, como requisito neces-
sário para obtenção do título de mestre em
informática.

Orientadora: Tatiana Aires Tavares

João Pessoa
2015

S586s Silva, Glauco de Sousa.
Sinestesia em interfaces de usuário: modelando o design da
interação através dos sentidos humanos / Glauco de Sousa e
Silva.- João Pessoa, 2015.
102f. : il.
Orientadora: Tatiana Aires Tavares
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CI
1. Informática. 2. Sistemas computacionais -
desenvolvimento. 3. Interação humana - computador. 4. Design
da interação. 5. Sinestesia.

UFPB/BC

CDU: 004(043)

Glauco de Sousa e Silva

Sinestesia em Interfaces de Usuário: Modelando o Design da Interação através dos Sentidos Humanos

88 páginas

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Informática.

1. Interação Humano Computador
2. Design da interação
3. Sinestesia

Universidade de Federal da Paraíba. Centro de Informática. Departamento de Informática.

Comissão Julgadora:

Prof^ª. Dr^ª.
Daniela Francisco Brauner

Prof. Dr.
Tiago Maritan Ugulino de Araujo

Prof^ª. Dr^ª.
Yuska Paola Costa Aguiar

Prof^ª. Dr^ª.
Tatiana Aires Tavares

"There is no knowledge that is not power".

— Mortal Kombat III title screen, Nintendo

Agradecimentos

Expresso por meio deste a minha gratidão a todos que ajudaram de alguma forma a realizar este trabalho, em especial:

Aos meus pais, Antônio e Socorro, e irmão, Douglas, por sempre me apoiarem e me darem a força e conhecimento necessários para superar todos os obstáculos.

A todos meus outros familiares que me ajudaram durante esta etapa.

Aos grandes amigos Ana Paula, Anna Medeiros, Arnaldo Gualberto, Hugo Oliveira, Igor Malheiros, José Ivan, Rafael de Castro, Raul Felipe, Victor Monteiro, Yuri Gil, por desempenharem papéis tão maiores que meros companheiros de trabalho e estudo.

À minha orientadora Professora Doutora Tatiana Aires Tavares durante inúmeras discussões profissionais e conversas amigáveis, mostrou-se uma verdadeira tutora, orientando não só para o trabalho, mas também para a vida em muitos aspectos.

A todos os outros professores que ministraram aulas no meu curso de Graduação e Mestrado, pela paciência e sapiência com as quais trataram a mim e aos meus colegas de turma nesses árduos cinco anos e meio de luta.

A todos os meus colegas de turma e de laboratórios, por desenvolverem comigo relacionamentos de ajuda múltipla desde o início.

Resumo

Hoje em dia, um dos pontos chave para o desenvolvimento de sistemas computacionais é a solução para a interação com o usuário. Interfaces gráficas de usuário, manipulação direta, realidade virtual e interfaces de usuário tangíveis são exemplos dessa evolução. Então, a busca por novas formas de interação que permitam modelos de interação que consigam despertar a atração do usuário é uma área de constante estudo. Neste sentido, propõe-se o uso da sinestesia como uma abordagem para a interface de usuário. Sinestesia é um sentimento único resultante de respostas mútuas de diferentes tipos de sentidos humanos que podem aumentar a habilidade humana de reconhecer informações. Esta habilidade rara permite que pessoas possam ouvir cores, sentir o sabor de sons, entre outras misturas de sentidos. A partir de uma análise de trabalhos correlatos sobre a sinestesia em sistemas computacionais, foi possível estabelecer que existe uma falta de um processo para o desing de interfaces com características sinestésicas mais generalista e testes com usuários reais. Desta forma foi desenvolvido um processo que se adapta as características sinestésicas da interface e validado através do desenvolvimento de uma aplicação, o Genius Vibe. Os resultados mostraram que o modelo de processo se adaptou bem ao desing da interface e através de testes com usuários reais percebeu-se que a sinestesia fez com que a interface fosse mais atrativa.

Palavras-chave: interação humano computador, desing da interação, sinestesia

Abstract

Today, one of the key points for the development of computer systems is the solution for user interaction. Graphical user interfaces, direct manipulation, virtual reality and tangible user interfaces are examples of this evolution. So, the search for new forms of interaction that allows interaction models that can arouse attraction on the user, is an area of constant study. So, the use of synesthesia is proposed as an approach to the user interface. Synaesthesia is the unique feeling resulting from the mutual responses of different kinds of human senses thus can enhance human ability to cognize information. This rare ability allows people to hear colors, taste sounds, among other mixtures of senses. From an analysis of related work on synesthesia in computer systems, it was possible to establish that there is a lack of a process for desing interfaces with more general synesthetic features and testing the applications with real users. Thus a method was developed which adapts to the synesthetic interface features and validated by developing an application, the Genius Vibe. The results showed that the process model has adapted well to the desing of the interface and through testing with real users was realized that synesthesia caused more attractiveness in the interface.

Keywords: human computer interaction, interaction desing, synesthesia

Lista de Figuras

2.1	Círculo vermelho.	5
2.2	Espectro eletromagnético da luz. Fonte: Schiffman (2001).	7
2.3	Sistema visual. (a) Componentes do olho humano. (b) O caminho percorrido pelo estímulo luminoso do olho ao cérebro. Fonte: Schiffman (2001).	8
2.4	Sistema auditivo e caminho do impulso sonoro até o cérebro. Fonte: Hennenman (2013).	9
2.5	Tipos de receptores cutâneos. Fonte: Nishida (2015).	12
2.6	Regiões cerebrais.	13
2.7	Esquema da língua e suas divisões por sabor.	14
2.8	Organização do sistema olfativo.	15
2.9	Teste de Genuidade para verificar se um indivíduo possui ou não a sinestesia grafema $\rightarrow$ cor.	19
2.10	Regiões cerebrais afetadas pela sinestesia cor-número. Fonte: Ramachandran e Hubbard (2001).	21
2.11	Efeito Kiki-Bouba.	21
2.12	<i>Radical Atoms</i> . Fonte: Ishii et al. (2012).	24
2.13	Exemplos de GUI's. Em (a) um exemplo de Interface de Linha de Comando e em (b) a evolução em Interface Gráfica de Usuário.	25

2.14	Exemplos de TUIs. O Topobo, um sistema de montagem construtiva e com memória cinética. Fonte: Raffle et al. (2004)	26
2.15	Interação com <i>Radical Atoms</i> . Fonte: Ishii et al. (2012).	27
2.16	Evolução do design de interação e os sentidos.	28
3.1	Idealização do sistema proposto por Foner (1999).	31
3.2	Sistema proposto por Plouznikoff et al. (2005). Em (a) exibe como o usuário veste o sistema; em (b) um exemplo do primeiro experimento e (c) o segundo experimento realizado.	32
3.3	Processo de incorporação da sinestesia proposto por Xiaochen et al. (2009).	35
3.4	Synsynart, ambiente de apreciação artística de pinturas sinestésicas - (Tavares et al., 2013).	36
3.5	Análise quantitativa dos resultados em relação a Ferramenta/Aplicação, modelos e avaliação com usuário.	40
3.6	Análise quantitativa dos resultados em relação aos tipos de sinestesia.	40
4.1	Ciclo de melhoria contínua da metodologia do trabalho.	43
4.2	Modelo do Usuário proposto por Batista et al. (2008).	45
4.3	Modelo do Domínio proposto por Batista et al. (2008).	46
4.4	Modelo da Apresentação proposto por Batista et al. (2008).	48
5.1	Jogo Genius da Brinquedos Estrela.	51
5.2	Grau escolar.	53
5.3	Facilidade em usar tablet ou celular.	53
5.4	Tipos de uso do celular ou <i>tablet</i>	54
5.5	Porcentagem de pessoas que conhecem o jogo Genius	54
5.6	Modelo de Usuário	55
5.7	Problemas de visão relatados pelos usuários	56
5.8	Cores que incomodam ao olhar	56

5.9	Porcentagem de usuários que conhecem a sinestesia	57
5.10	Tipos de sinestesia que os usuários possuem	57
5.11	Vibração como incômodo	58
5.12	Modelo dos Sentidos	59
5.13	Modelo de apresentação da primeira tela	60
5.14	Modelo de apresentação da segunda tela	60
5.15	Modelo de apresentação da terceira tela	61
5.16	Modelo de apresentação da quarta tela	61
5.17	Caixa de som JBL utilizada para realizar as vibrações	62
5.18	Relação entre as cores e as vibrações do tipo dente de serra	64
5.19	Relação entre as cores e as vibrações do tipo senoidal	64
5.20	Relação entre as cores e as vibrações do tipo quadrática	65
5.21	Relação entre as cores e as vibrações do tipo triangular	65
5.22	Interface do Genius Vibe	66
5.23	Teste com usuário real	69
6.1	Pares de palavras gerados pelo <i>AttrakDiff</i>	72
6.2	Média dos resultados do <i>AttrakDiff</i>	73
6.3	Análise em relação as características hedônicas e pragmáticas da aplicação	73

Lista de Tabelas

2.1	Tipos de sinestesia Fonte: Day (2015).	18
3.1	Análise comparativa dos trabalhos relacionados.	39
5.1	Idade dos participantes.	52

Glossário

ATT Atratividade

GUI Interface Gráfica de Usuário

HQ-I Identidade

HQ-S Estímulo

IHC Interface Homem Computador

PQ Pragmatismo

TUI Interface Tangível de Usuário

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	3
1.2	Estrutura da Dissertação	3
2	Dos Sentidos Humanos à Percepção da Interação	4
2.1	Percepção, Sentidos e Sensações	4
2.2	Sinestesia	16
2.3	Design da Interação	22
3	Sinestesia em Interfaces de Usuário	30
3.1	Foner (1999)	30
3.2	Plouznikoff et al. (2005)	31
3.3	Chun-ok (2002)	33
3.4	Xiaochen et al. (2009)	33
3.5	Tavares et al. (2013)	35
3.6	Agrawal et al. (2015)	37
3.7	San Pedro (2013)	37
3.8	Análise Comparativa	38
4	Sinestesia e Design da Interação	42
4.1	Processo de Design para Sinestesia	42

4.1.1	Fase 1: Análise	44
4.1.2	Fase 2: Conceito	46
4.1.3	Fase 3: Desenvolvimento e Prototipagem	47
4.1.4	Fase 4: Teste	48
5	Cenário de Uso	50
5.1	Fase de Análise	51
5.2	Fase de Conceito	58
5.3	Fase de Desenvolvimento e Prototipagem	61
5.4	Fase de Testes	67
6	Discussão	70
6.1	Considerações Finais e Contribuições	74
6.2	Trabalhos Futuros	75
	Referências Bibliográficas	77
A	Questionários	82
A.1	Questionário sobre o usuário	83
A.2	Questionário Attrakdiff	85

Capítulo 1

Introdução

Os sistemas computacionais a cada dia estão mais presentes em nossas vidas, ganhando rápido espaço na sociedade, podendo ser encontrados em vários lugares, como escolas, empresas, hospitais, residências etc, deixando de ser utilizados não apenas por especialistas em computação, abrangendo uma grande quantidade de usuários comuns, de vários conhecimentos, idades, culturas, etc.

É muito comum usuários de programas de computador procurarem por aplicações que possuam interfaces amigáveis, que sejam fáceis de aprender e usar, fazendo com que eles tomem gosto pelo seu uso, através da interação direta com o software, realizada pela interface.

Para que aconteça uma perfeita comunicação entre homem e computador, é necessário que haja um meio que faça com que o próprio sistema transmita ao usuário a informação bem clara e objetiva daquilo que deve ser realizado naquele momento, facilitando o seu entendimento durante determinada operação com o mesmo. Para isso, diversos estudos estão sendo propostos direcionados à visão do usuário final, sobre a utilização do sistema computacional, focalizando sobre o que ele pensa e o que precisa ao utilizar o software, através da utilização da interface do sistema, constituindo assim a IHC.

A IHC –Interface Homem Computador, trata as diversas formas e diretrizes que possam ocorrer no diálogo entre homem e software, constituindo-se no estudo da melhor interface a ser implantada, através do desenvolvimento do projeto da mesma com o usuário (Souza, 2006).

Toda a comunicação entre homem-software é realizada através da interface que cada sistema possui especificadamente. Sendo esta o principal canal de comunicação existente no programa de computador, influenciando desta forma o resultado final do produto a ser entregue ao cliente. Com a evolução de novas tecnologias no campo da interação humano-computador, tais como a entrada de voz, reconhecimento de gestos e tecnologia de rastreamento ocular, as interfaces de usuário e consequentemente os sistemas computacionais estão cada vez mais se aproximando da nossa realidade e do nosso mundo físico. Isso significa que dispositivos de 3 ou 4 dimensões, efeitos sonoros e até odor ou temperatura estão sendo usados na interação com o usuário (Xiaochen et al., 2009).

Esta possibilidade de "brincar" com as sensações dos usuários a partir de suas percepções é uma característica das aplicações que partilham da capacidade sinestésica. A sinestesia, por sua vez, é a rara capacidade de poder misturar os sentidos humanos, ou seja, escutar cores, sentir o sabor de formas, ou experimentar outras misturas sensoriais cujas características são difíceis de serem imaginadas pelas pessoas normais (Ramachandran e Hubbard, 2001) .

A possibilidade de misturar sentidos e sensações para tornar uma interface mais atrativo ao usuário é um campo de pesquisa recente, mas que possui abrangente conjunto de aplicabilidades. Com o advento dos dispositivos de interação a aplicação da sinestesia em interfaces de usuário se torna uma possibilidade real e para tanto, neste trabalho além de caracterizar a sinestesia, apresenta-se sua aplicação em interfaces de usuário e como inserir este conceito no design da interação dessas interfaces.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é investigar a inclusão da sinestesia em interfaces de usuário.

Para tanto, primeiramente, é necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- Entender o conceito de sinestesia;
- Analisar interfaces de usuário e aplicações que já fazem uso desse tipo de característica;
- Mapear essas características e apresentar uma solução de como incorporá-las no processo de desenvolvimento de interfaces, mais especificamente, o processo de design da interação.

1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. O Capítulo 2 irá apresentar os conceitos de sentidos, percepções, sensações e de sinestesia. Em seguida, será apresentado o conceito de Design da Interação, sua evolução e como esta evolução se conecta com a sinestesia. No Capítulo 3, são discutidos os trabalhos correlatos, uma série de trabalhos com foco sinestesia. O Capítulo 4 apresenta o modelo de processo proposto para incorporação da sinestesia em interfaces de usuário. O Capítulo 5 apresenta a aplicação piloto desenvolvida utilizando o modelo de processo proposto. E, por fim, o Capítulo 6 apresenta a discussão dos resultados, as conclusões, contribuições e trabalhos futuros.

Capítulo 2

Dos Sentidos Humanos à Percepção da Interação

Neste capítulo é descrito como os seres humanos captam as percepções do ambiente e as transforma em sensações. Para isto, é necessário entender os sentidos humanos e como eles funcionam fisiologicamente. Após este entendimento, é analisado a combinação sensorial que algumas pessoas possuem, a sinestesia, e como ela funciona no cérebro humano. Além disso, é mostrado a evolução do Design da Interação e o que pode-se esperar nas futuras formas de interação com os sistemas computacionais e como essa evolução se conecta com a sinestesia.

2.1 Percepção, Sentidos e Sensações

Pesquisando os dicionários Houaiss e Aurélio, encontra-se: estesia, do grego *aesthesia*, é a faculdade de percepção pelos sentidos, sensação (Houaiss). Também: sentimento do belo, sensibilidade (Aurélio). As definições de dicionários mais confundem que esclarecem, pois misturam dois conceitos importantes, que se interpenetram, mas são distintos, tanto biológica quanto psicologicamente: sensação e percepção. Estes dois conceitos são

importantes para a compreensão do que é a sinestesia.

O estudo das sensações abarca a forma como os estímulos chegam até nós, provocam reações em nossos órgãos dos sentidos e são processados no cérebro. A percepção é a construção de representações mentais do mundo que nos chega por meio das sensações. As percepções, mesmo as mais simples, como a de um círculo vermelho como o exibido na Figura 2.1 a seguir, ocorre por processos de integração de diferentes áreas cerebrais.



Figura 2.1: Círculo vermelho.

Pode-se estudar a sensação e a percepção a partir das abordagens da Psicologia e da Biologia. Do ponto de vista psicológico, as sensações são experiências associadas a estímulos simples e a percepção envolve a integração e interpretação significativa das sensações ([Atkinson, 2002](#)). As sensações e percepções se interpenetram porque, para que a experiência sensorial seja consciente, mesmo as mais simples, é preciso haver percepção. Além disso, não é possível separar captação inicial e interpretação, porque o cérebro está constantemente reenviando informações de níveis corticais superiores até os receptores somáticos e esta retroalimentação modifica a forma como as sensações são recebidas ([Atkinson, 2002](#)).

Do ponto de vista biológico, estudam-se as sensações a partir da fisiologia dos órgãos dos sentidos e suas rotas neurais. Nesse enfoque, as sensações são um processo de transdução de energias, transformação de formas variadas de energia em descargas elétricas, pois este é o modo como o sistema nervoso central processa informações. Assim, determinada quantidade mínima de energia luminosa é capaz de estimular o

órgão da visão, uma quantidade de energia mecânica (energia cinética movimento) estimula a audição, energia mecânica potencial (peso) estimula uma parte do tato, energia térmica estimula outro aspecto do que é chamado globalmente de tato, energia química (elementos químicos) estimula o olfato e o paladar. O processo de transdução é realizado por células nervosas especiais chamadas receptores.

No caso do sistema visual, como foi dito, o estímulo físico é a luz. A luz é uma forma de energia eletromagnética radiante que pertence a mesma classe de fenômenos como raios X, ondas de radares e ondas de rádio, por exemplo, como pode ser visto na Figura 2.2 que mostra o espectro eletromagnético da luz. O espectro visível ao olho humano corresponde de 400 a 750 nanômetros, ou comprimento de onda e que se refere a distância física de um único ciclo de ondas medido de pico a pico, e é a base de uma propriedade física fundamental que tem um efeito significativo na sensação e na percepção. O efeito psicológico correspondente a diferentes comprimentos de onda no observador, ou seja, a pessoa que está captando a luz, é a percepção de diferentes cores e tonalidades (Schiffman, 2001). As características físicas da luz são compatíveis com duas propriedades complementares:

- é um fenômeno vibratório, ou seja, um ciclo contínuo de ondas de energia pulsando, ou oscilando, a uma certa frequência que pode ser convertida em comprimento de ondas, e;
- se comporta como se fosse emitido como um fluxo de minuto, partículas discretas ou energia quanta.

A unidade quantum de energia radiante é chamado de photon, e o número de unidades de photon emitido por uma fonte de luz (quantidade de energia radiante) especifica sua intensidade. A luz, então, é geralmente descrita tanto como comprimento de onda quanto intensidade (Schiffman, 2001).

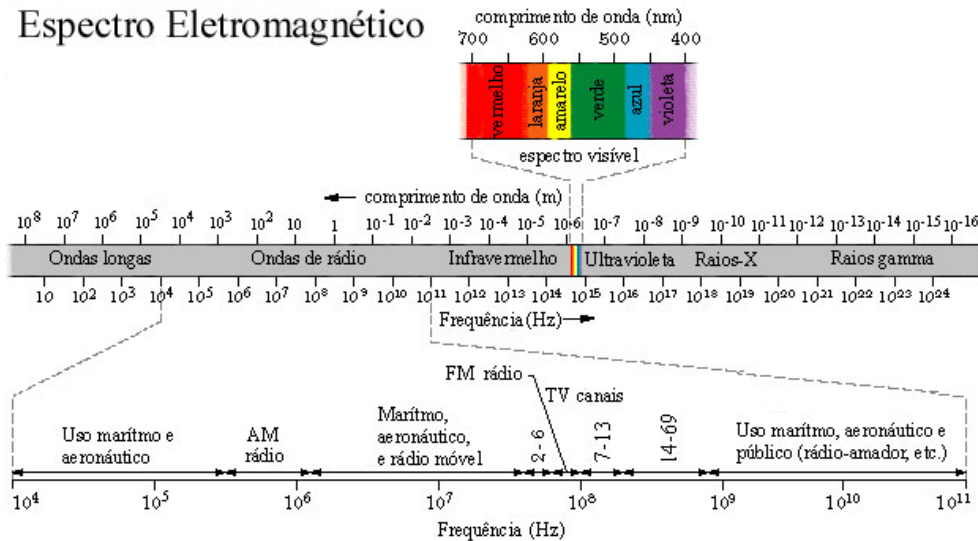


Figura 2.2: Espectro eletromagnético da luz. Fonte: [Schiffman \(2001\)](#).

Fisiologicamente, a transdução da luz em percepção é feita por um conjunto complexo de órgãos. Tentar-se-á, neste trabalho, abordar de uma forma mais resumida esta transdução, isto ocorrerá, também, nos outros sentidos que serão abordados mais a frente. Para uma abordagem mais detalhada sobre cada sentido, recomenda-se a leitura de ([Schiffman, 2001](#)).

A Figura 2.3a mostra todos os componentes de um olho humano, o primeiro órgão do sistema visual e responsável pela captação da luminosidade do ambiente antes de ser enviada ao cérebro. A Figura 2.3b mostra o caminho desde a captação a percepção, que pode ser demonstrado pelos seguintes passos, assim como a Figura 2.3b:

1. A luz entra no olho através da pupila;
2. Na parte traseira do olho, a luz colide na retina, que é composta de um revestimento complexo de células nervosas e fotoreceptoras e transforma ou transduz em atividade neural;
3. Os sinais nervosos gerados pela retina são conduzidos ao longo nervo óptico até dentro do crânio;

4. Dentro do crânio, o nervo óptico chega ao núcleo lateral geniculado, no tronco cerebral superior, que são estações de retransmissão para as entradas de sinal nervoso vindo dos olhos. O núcleo geniculado lateral tem a função de filtrar grande parte do ruído dos sinais nervosos no nervo óptico, e, em seguida, transmitir esses sinais nervosos filtrados para o cérebro;
5. Os sinais nervosos filtrados entram no córtex visual primário (ou área V1), que é uma parte do córtex visual (números 5 e 6 na Figura 2.3b) e que serve para inicialmente processar e registrar características de estímulos locais, tais como bordas e orientação;
6. Após este processamento, as mensagens neurais são roteadas para diversas outras áreas anatomicamente e funcionalmente distintas áreas do córtex. Cada uma das diferentes áreas corticais processa características visuais específicas dos sinais nervosos enviados da área V1, tais como cor, movimento e informação.

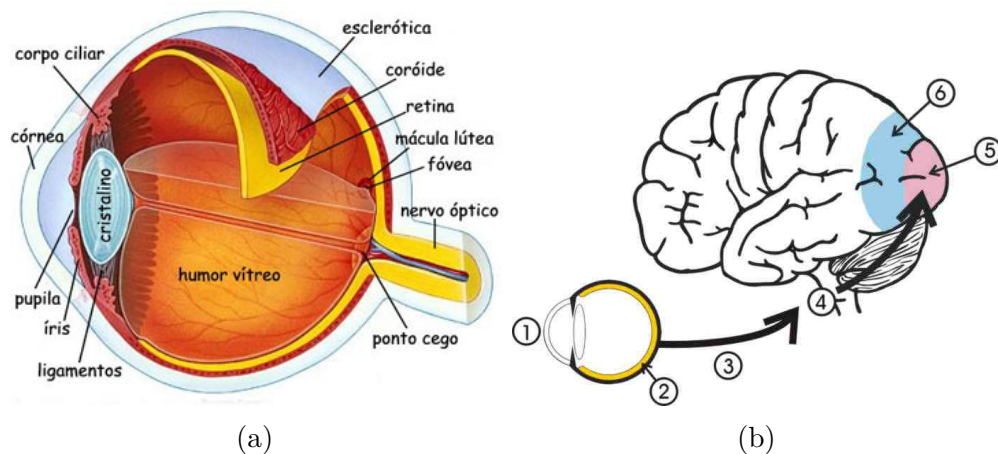


Figura 2.3: Sistema visual. (a) Componentes do olho humano. (b) O caminho percorrido pelo estímulo luminoso do olho ao cérebro. Fonte: [Schiffman \(2001\)](#).

Após todo este processamento, o indivíduo consegue, finalmente, perceber a imagem que está observando, ou seja, traduzir a energia luminosa em sensação.

No caso do sistema auditivo, o estímulo físico é o som, que é uma forma de energia mecânica. Os sons são padrões de sucessivos distúrbios de pressão que ocorrem em um meio, que pode ser gasoso, líquido ou sólido até ser transformada em impulso elétrico. Estes distúrbios de pressão são retratados como uma série de picos e depressões senoidais e são chamados de ondas sonoras.

A Figura 2.4 demonstra a estrutura do ouvido, órgão responsável pela captação das ondas sonoras, transformação destas ondas em impulsos elétricos e envio para o cérebro. A Figura 2.4 ainda mostra o caminho percorrido pelo som até o cérebro.

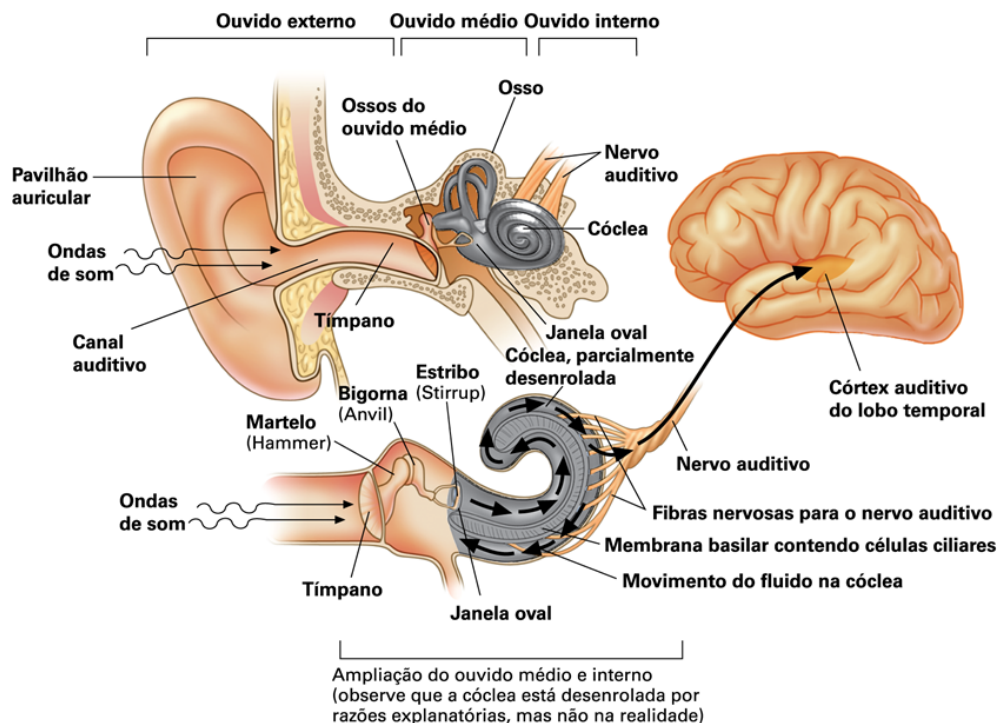


Figura 2.4: Sistema auditivo e caminho do impulso sonoro até o cérebro. Fonte: [Hennenman \(2013\)](#).

A vibração chega pelo canal auditivo no tímpano, uma membrana fina e elástica que divide o ouvido externo do ouvido médio, recebe a pressão sonora do ambiente e transporta essa energia mecânica para o martelo, no ouvido médio. Os ossículos do ouvido médio (martelo, bigorna e estribo) transmitem as vibrações recebidas do

tímpano para a janela oval da cóclea. Eles funcionam como um sistema de alavancas, amplificando essas vibrações. Mas os ossículos têm também a função de proteção ao ouvido interno: se uma pressão muito forte atinge o tímpano, os músculos que prendem os ossículos enrijecem-se e parte da energia é absorvida, protegendo a cóclea. Esse mecanismo provoca uma sensação familiar à maioria de nós, de sentir o ouvido tampado após uma exposição continuada a sons muito intensos.

Após este processo, as ondas são enviadas para o ouvido interno, formado pela cóclea e o labirinto, este último contribui para outros sentidos: posição, movimento e equilíbrio. A cóclea tem um formato de caracol e é composta por aproximadamente quinze mil células ciliares (estereocílios) que vibram de acordo com as ondas sonoras, desde as mais agudas até as graves. É o lugar onde a energia mecânica do som é convertida em sinal elétrico que é transmitido ao cérebro pelo nervo auditivo. Do nervo auditivo, os impulsos elétricos são enviados para o córtex auditivo, encontrado em uma região do lobo temporal, que se encontra em cada hemisfério do cérebro, o qual transforma os impulsos elétricos em sensações sonoras.

O estímulo do sentido do tato é o toque, ou seja, a variação de pressão ou de temperatura e dor, ocorrida em qualquer parte do maior órgão do corpo humano, a pele, além de mucosas e víceras do corpo humano. O sentido do tato difere dos outros, pois seus receptores não estão restritos a uma estrutura sensorial especializada e bem definida, como a retina para a visão ou a cóclea para a audição. Ao contrário, sua superfície sensorial cobre o corpo inteiro, e serve para muitos outros propósitos, tal como proteção, além de mediar sensações cutâneas. Como órgão sensorial, a pele tem terminações nervosas especializadas incorporadas nela mesma que pode ser estimulada de diversas maneiras para causar diferentes sensações. As terminações nervosas informam ao organismo o que é novo para o corpo, incluindo informações térmicas e, especialmente, estímulos desagradáveis e potencialmente perigosos.

A qualidade da informação mecânica vai depender do tamanho do campo receptivo

do receptor e da densidade. Isso significa que não possuímos a mesma sensação em toda superfície corporal. Por exemplo, um médico "mede" a frequência cardíaca no pulso do paciente usando o sentido os dedos indicador e médio e não a palma da mão. Para um mesmo estímulo mecânico cutâneo, os grupos de receptores respondem de maneira peculiar, este grupo de receptores pode ser visualizado na Figura 2.5 e possuem diversas características:

- Terminações livres: não há especialização na região de transdução. Presentes em todas as partes do corpo, não só na pele. Detecta estímulos mecânicos grosseiros (tato protopático, dor e temperatura);
- Corpúsculo de Meissner: terminações encapsuladas. Presentes apenas na pele glabra, principalmente, nas pontas dos dedos, lábios e regiões de muita sensibilidade. Adaptam-se rapidamente e são especializados na detecção de movimentos de objetos sobre a pele;
- Discos de Merkel: acompanha a distribuição dos corpúsculos de Meissner. Os discos estão agrupados em uma cúpula (receptor em cúpula de Iggo) que projeta-se para epiderme. São muito sensíveis e eficazes na localização de estímulos sobre a pele e na determinação de textura;
- Órgão terminal do pelo: que inerva a base do folículo piloso. Entra em atividade quando o pelo é inclinado e assim, detecta o contato inicial com o objeto, bem como o seu movimento sobre a pele;
- Órgãos terminais de Ruffini: situados na parte mais profunda da pele, também estão presentes nas regiões mais profundas do corpo (cápsulas articulares). Detectam forças de pressão sustentadas sobre a pele;
- Corpúsculos de Pacini: estão imediatamente abaixo da pele (e também nas fáscias). São receptores de adaptação rápida às deformações teciduais, portanto, ótimos

detectores de vibração mecânica. Os corpúsculos de Pacini detectam vibração na faixa de 30 a 800 Hz, enquanto os de Meissner (adaptam mais lentamente), na faixa de 2 a 8 Hz;

- Receptores de cócegas e prurido: terminações livres específicas detectam cócegas e coceira, cuja sensação pode ser evocada apenas da superfície cutânea (Nishida, 2015).

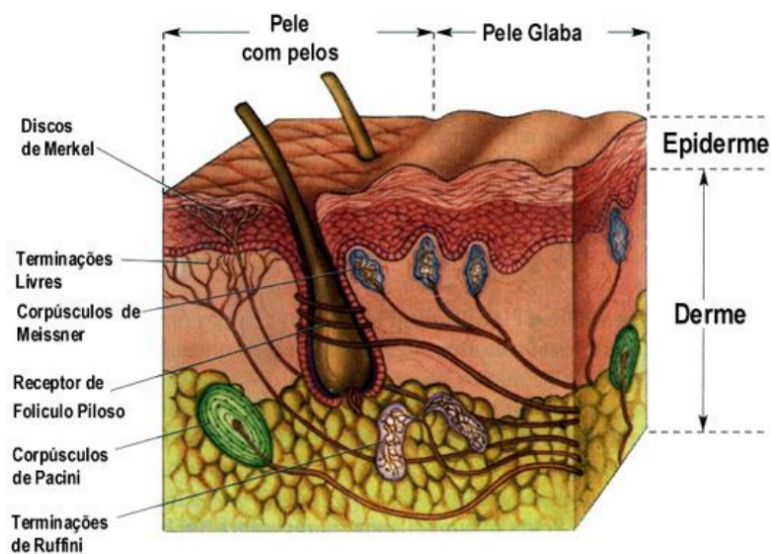


Figura 2.5: Tipos de receptores cutâneos. Fonte: Nishida (2015).

Os estímulos captados por estes receptores são enviados por um conjunto de nervos dispostos por todo o corpo humano até o córtex somatossensorial, exibido na Figura 2.6 abaixo e destacado em rosa.

A pele é projetada topograficamente e organizada no córtex somatossensorial para que áreas vizinhas da pele estejam representadas em regiões vizinhas do córtex somatossensorial. Algumas áreas da pele, tais como dedos, lábios e língua, possuem uma grande quantidade de fibras nervosas, o que as fazem mais fáceis de serem excitadas. Assim, quando alguma região do corpo é estimulada, o impulso elétrico é levado para a região do córtex somatossensorial correspondente e traduzida em sensação de toque,

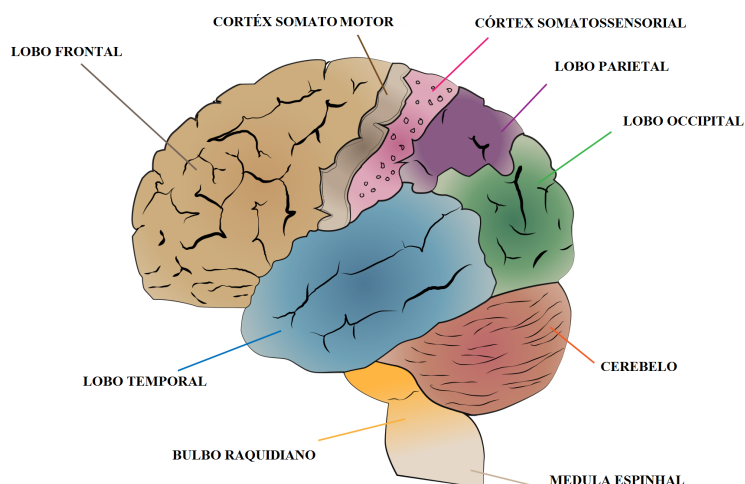


Figura 2.6: Regiões cerebrais.

temperatura ou dor.

Através do paladar pode-se selecionar a comida que é ingerida. Desse modo, é escolhido o que serve para a alimentação e evita-se o que pode ser venenoso ou que esteja estragado. Isso tudo é possível graças às papilas gustativas da língua que percebem quatro sabores fundamentais: doce, salgado, azedo (ácido), amargo. Os demais sabores são combinações desses quatro, assim como ocorre no órgão olfativo. É devido à presença de corpúsculos gustativos que se encontram distribuídos praticamente em toda mucosa bucal, sendo, porém, encontrados mais frequentemente nas papilas fungiformes e valadas, que os indivíduos podem receber os estímulos dos alimentos que são ingeridos, quanto a sua forma, consistência e sabor (Nishida, 2015). A Figura 2.7 demonstra os componentes da língua e as regiões pelas quais diferencia-se os sabores.

Os estímulos químicos são recebidos pelas células sensoriais e passam para as terminações nervosas através da liberação de substâncias neurotransmissoras. Esses neurotransmissores captam o gosto e enviam para diversas fibras nervosas localizadas na língua, garganta, faringe e laringe. O caminho nervoso tomado pelas fibras nervosas do paladar ainda não foi bem estabelecido. Entretanto, sabe-se que estas fibras nervosas viajam da boca para o tálamo e de lá para várias regiões corticais, principalmente do

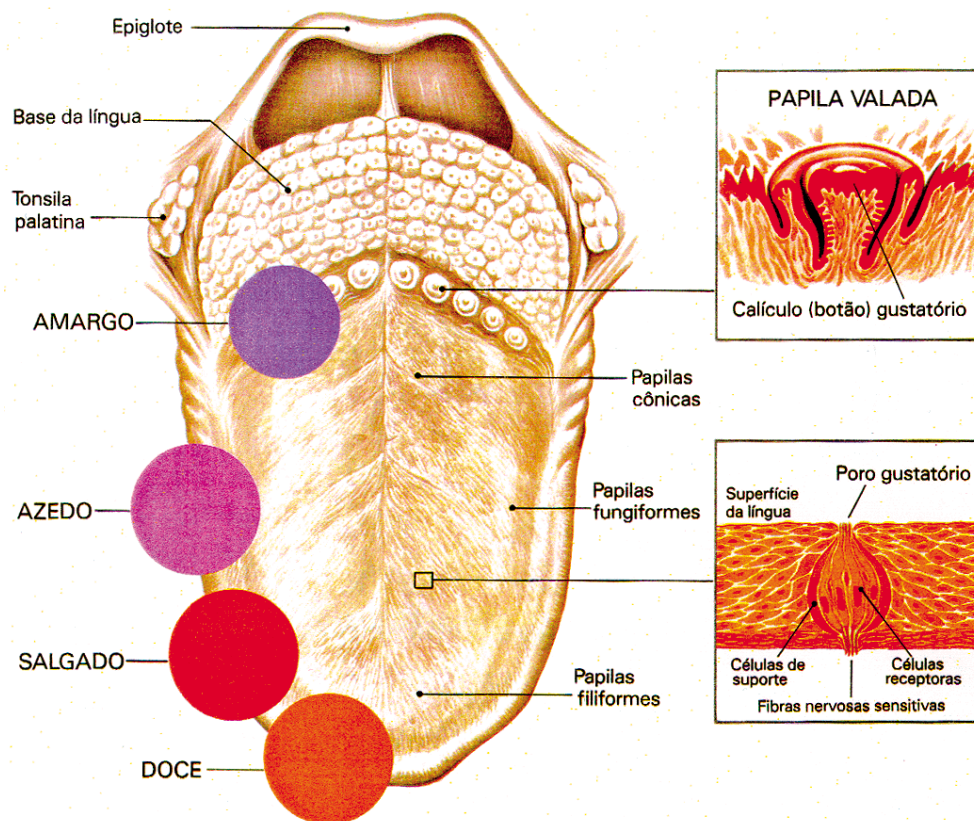


Figura 2.7: Esquema da língua e suas divisões por sabor.

córtex somatossensorial (Figura 2.6). Além disso, projeções para estruturas do tronco cerebral media atividades relacionadas, tais como engolir e mastigar.

Esse sentido está intrinsecamente associado ao olfato (cheiro) e à visão, em consequência da mediação realizada por epitélios portadores de células quimiorreceptoras especializadas que estão localizadas entre a cavidade nasal e o palato, bem como os fotorreceptores visuais que estimulam a degustação.

Um estímulo potencial para o sentido do olfato deve ser uma substância volátil ou evaporável. Por consequência disto, sólidos e líquidos devem passar para o estado gasoso. Volatilidade, entretanto, é necessário mas não suficiente para a estimulação do sistema olfativo em muitas substâncias, tais como a água. Substâncias potencialmente odoríficas devem ser ainda solúveis em água e lipídios para poder penetrar na película

de água e na camada lipídica que cobre os receptores olfativos.

No corpo humano, a área olfativa consiste de duas zonas, uma em cada cavidade nasal, a Figura 2.8 demonstra a organização deste sistema. A mucosa que reveste as cavidades nasais nas áreas olfativas constitui o epitélio olfatório ou olfato e é denominada mucosa pituitária. As partículas de odor entram pela cavidade nasal e são captadas pelos receptores olfativos, as células sensoriais olfativas, as quais estão localizadas na membrana mucosa no alto de cada cavidade nasal. É, ainda, esta mucosa que contém moléculas de uma proteína especial (proteína de ligação olfatória) que junta e prende as moléculas odoríferas para que elas sejam transportadas da mucosa para as células sensoriais olfativas.

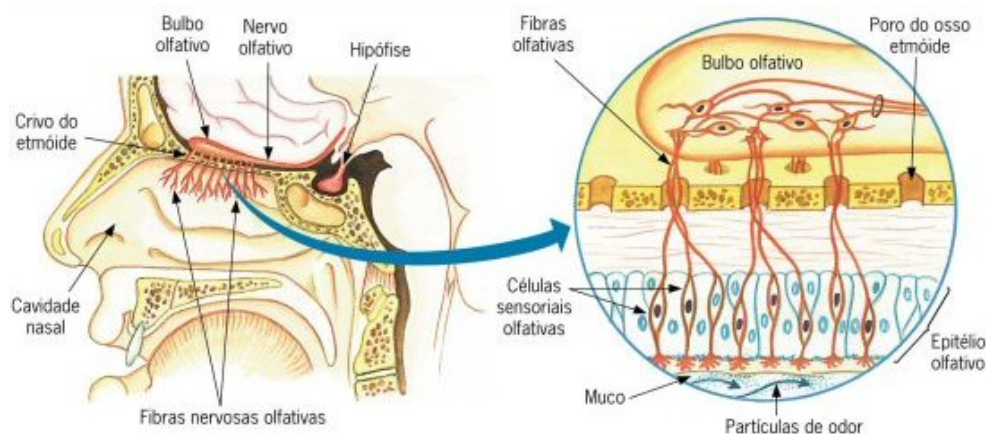


Figura 2.8: Organização do sistema olfativo.

Após serem captadas pelas células sensoriais, o odor é enviado ao bulbo olfativo, que possui fibras nervosas olfativas, que traduzem os odores em impulsos nervosos e os enviam para o cérebro. Esses impulsos são enviados para diversas regiões do cérebro. A informação é conduzida desde os bulbos olfativos pelo tracto olfativo lateral ao córtex olfativo primário. De lá, ele vai para o tálamo (núcleo mediodorsal) e para o córtex órbito-frontal, onde ocorre a percepção consciente do cheiro. Primatas também têm uma via que se estende desde o tálamo para a amígdala, que é parte do sistema límbico,

e em seguida, para o hipotálamo. O sistema límbico está envolvido na percepção de emoções e é responsável pelo componente "afetivo" do cheiro. Isto pode explicar porque aromas podem gerar emoções fortes e / ou nos levar de volta a experiências anteriores.

Um das formas de se entenderem os processos físicos e biológicos que coordenam a percepção e seu aspecto multissensorial é a ideia, citada por [Caznok \(2004\)](#), de que existem dimensões da experiência sensorial que são comuns a todos os sentidos. Essas dimensões, chamadas de atributos suprasensoriais, são a intensidade, qualidade, extensão e duração. Para ela, "cada sentido teria, em algum grau, as sensações de intensidade (do muito fraco ao fortíssimo); de qualidade (cores diferentes, sons agudos ou graves, temperaturas quentes ou frias, gostos amargos ou doces, cheiros agradáveis ou rançosos, graus de maleabilidade ou rigidez); de extensão (do pequeno ao grande); e de duração (do breve ao longo). Algumas modalidades sensoriais seriam mais semelhantes entre si do que outras, como por exemplo, o olfato e o paladar, que quase sempre atuam de forma fusionada". É neste sentido que surge a sinestesia, a habilidade de combinar sensações e percepções, e que será abordado no próximo tópico.

2.2 Sinestesia

Na neurofisiologia, ainda existem lacunas a serem preenchidas pelos cientistas sobre como são processadas as percepções. Uma importante questão é como percebe-se um objeto como ele realmente é. Uma pessoa que nunca viu uma laranja, por exemplo, e ao vê-la pela primeira vez, pode não saber nomeá-la, mas a reconhece como um objeto tangível com determinada forma. Entretanto, o cérebro processa cada atributo: sua cor, sua forma, sua textura, seu cheiro, etc. em lugares diferentes e em momentos diferentes. O estudo da sinestesia propõe-se a estudar a forma como as sensações são cruzadas, unindo-as na percepção de um objeto.

A sinestesia significa o cruzamento de sensações, transposição de uma sensação em

outra. Ela é estudada por médicos e psicólogos como um transtorno da percepção em que a sensação de um sentido provoca, involuntária e simultaneamente, a sensação em outro. O relato médico sobre sinestesia mais antigo de que se tem notícia data de 1710, mas o primeiro trabalho que chamou a atenção da comunidade científica para o assunto foi a publicação, por Sir Francis Galton, de um artigo na revista *Nature*, em 1880, com o título *Visualized Numerals* (Cytowic, 2002). Um sinesteta (pessoa que tem a habilidade da sinestesia desde criança) pode descrever a cor, forma, o sabor da voz de alguém, ou música ou som que parece "cacos de vidro" (Cytowic, 1995).

Ainda de acordo com Cytowic, referências importantes sobre sinestesia durante a maior parte do século XX são escassas, isto porque os cientistas tendem a considerar o relato de sensações um tanto quanto subjetivo e pouco confiável para sustentar uma pesquisa empírica. E até recentemente não havia testes ou exames capazes de comprovar que a sinestesia não era mera fantasia ou trapaga. As sinestésias mais estudadas são as transposições entre grafemas e cores, em que o indivíduo vê letras e números como coloridos, sempre em cores fixas, e sinestésias entre o auditivo e visual, em que a pessoa vê cores ao ouvir determinados sons, palavras ou números. Também são encontradas sinestésias entre audição e tato, tato e olfato, visão e paladar.

Segundo Ramachandran e Hubbard (2001), a forma mais comum de sinestesia é a grafema $\rightarrow$ cor (ou seja, número $\rightarrow$ cor ou letra $\rightarrow$ cor), esta afirmação é corroborada pelo estudo do Dr. Sean Day (Day, 2015) que mostra um estudo feito com uma base de dados de 1007 indivíduos sinestetas. A Tabela 2.1 mostra o resultado desse estudo e os diferentes tipos de sinestesia catalogados, bem como a percentual da ocorrência do tipo da sinestesia que estes indivíduos possuíam.

Esta pesquisa foi feita com, relativamente, poucos indivíduos porque existe certa dificuldade em se estudar os sinestetas. Isto em razão de que, como foi dito anteriormente, apenas o depoimento das pessoas é considerado insuficiente como prova de que elas realmente possuem esta condição neurológica. Os depoimentos costumam ser imprecisos,

Tabela 2.1: Tipos de sinestesia Fonte: [Day \(2015\)](#).

Tipo de Sinestesia	%	Tipo de Sinestesia	%
grafema → visão	61.67	sons musicais → sabores	0.5
unidades de tempo → visão	21.25	odores → sons	0.5
sons musicais → visão	18.57	odores → toque	0.5
sons em geral → visão	15.09	personalidades → odores	0.5
notas musicais → visão	8.34	sons → temperaturas	0.5
fonemas → visão	8.34	cinética → visão	0.4
odores → visão	6.45	toque → odores	0.4
sabores → visão	6.06	emoção → sabores	0.3
sons → sabores	5.56	lexemas → odores	0.3
personalidades → visão ("auras")	5.26	lexemas → visão	0.3
dor → visão	4.97	toque → sons	0.3
toque → visão	4.07	visão → temperaturas	0.3
sons → toque	3.77	emoção → odores	0.2
grafema → personificação	3.18	emoção → sons	0.1
visão → sabores	3.18	sabores → temperaturas	0.1
visão → sons	2.78	grafema → toque	0.1
emoção → visão	2.38	cinética → personalidade	0.1
temperaturas → visão	2.09	sons musicais → coordenadas espaciais	0.1
orgasmo → visão	1.99	odores → sabores	0.1
visão → toque	1.79	odores → temperaturas	0.1
lexemas → sabores	1.69	orgasmo → sabores	0.1
sons → odores	1.39	dor → sons	0.1
visão → odores	1.09	personalidades → sabores	0.1
cinética → som	0.99	personalidades → toque	0.1
toque → sabores	0.99	temperaturas → sons	0.1
sons → cinética	0.79	unidades de tempo → sons	0.1
sabores → sons	0.6	toque → temperaturas	0.1
lexemas → toque	0.6	visão → cinética	0.1
sabores → toque	0.5		

pois muitos se sentem inseguros em declarar que percebem algo que sabem não existir (o sinesteta tem plena consciência da realidade) e muitas vezes acabam atribuindo sua percepção à mera imaginação ou apenas achando que todas as pessoas são como eles. Outros fantasiam suas percepções, mascarando a distinção entre a condição neurológica e a metáfora sinestésica ([Cytowic e Eagleman, 2009](#)). Um teste eficaz para o tipo mais comum de sinestesia (grafema-cor) é o Teste da Genuidade, que avalia a relação entre os estímulos recebidos e a reação para tais. O teste é feito mostrando ao indivíduo um quadro um quadro com numerais (podem ser letras ou outro tipo de grafemas), todos da mesma cor e perguntar quantos numerais 2, por exemplo, existem no quadro, como pode ser visto na Figura 2.9. O sinesteta responde com muito mais precisão e rapidez que um não-sinesteta e na mesma velocidade e acerto que uma pessoa de percepção

normal responde ao ver um quadro com os numerais 2 em cores diferentes.

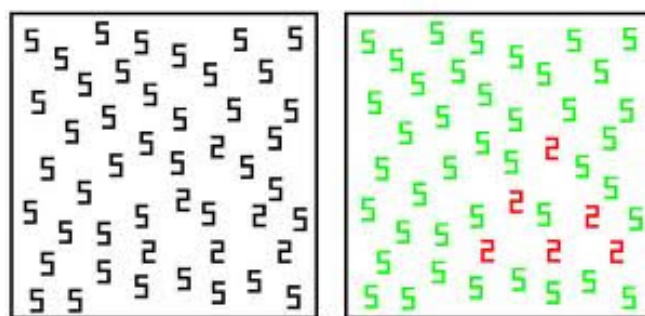


Figura 2.9: Teste de Genuidade para verificar se um indivíduo possui ou não a sinestesia grafema $\rightarrow$ cor.

O sinesteta não perde as impressões sensoriais normais, mas experimenta outra sensação juntamente com a sensação primária. As principais características da sinestesia são:

- ser involuntária;
- ser consistente, ou seja, um determinado estímulo evoca sempre a mesma combinação de sensações;
- não ser reversível, um número pode evocar uma cor, mas esta cor não evocará a visão do número;
- ser diferente de um indivíduo para outro;
- ser emocional: a experiência sinestésica carrega uma sensação de convicção de que aquela percepção é real e válida ([Ramachandran e Hubbard, 2001](#))([Cytowic, 1995](#)).

Recentes tecnologias de imageamento cerebral, principalmente a ressonância magnética e a tomografia por emissão de pósitrons, que registram as variações do fluxo

sanguíneo nas regiões do córtex em função de estímulos recebidos naquela área, ampliaram de forma significativa as pesquisas e levaram a conclusões bem mais precisas sobre a condição neurológica do sinesteta. A principal hipótese hoje é de que a sinestesia seja resultado de um cruzamento de conexões cerebrais. Por exemplo, quando é feita uma contagem qualquer, primeiramente uma pequena área no giro fusiforme do lobo temporal, que é responsável pela representação de números, é ativada. Daí parte uma conexão neuronal que ativa outra área, na junção dos lobos temporal, parietal e occipital (TPO), que lida com conceitos numéricos (sequência e quantidade). Ainda no giro fusiforme do lobo temporal, anexa à área dos números, há uma porção do córtex visual chamada V4, encarregada da percepção das cores. Quando uma pessoa que possui a sinestesia do tipo cor-número visualiza um numeral branco sobre um fundo cinza, a área V4 também é ativada por um cruzamento de conexões (que os cientistas chamam de *crossing wiring*: fiação cruzada), o que não ocorre em quem não é sinesteta. Neste caso, o sinesteta percebe o número como sendo colorido. Na Figura 2.10, a área verde é responsável pela visualização de número e a vermelha é a mencionada V4, responsável pelas cores (Ramachandran e Hubbard, 2001).

Ramachandran e Hubbard (2001) ainda demonstra como a sinestesia também age em pessoas não-sinestetas através de dois exemplos: a linguagem e a dança. No primeiro exemplo, eles mostram como a evolução da linguagem vem da sinestesia, para isso eles utilizam a experiência que demonstrou o Efeito Kiki-Bouba, primeiro apresentado por Köhler (1929) e depois explorado por Werner e Wapner (1952). A experiência era feita apresentando a Figura 2.11 aos participantes da pesquisa e era dito: "Na linguagem Marciana, uma destas duas figuras é chamada de 'bouba' e a outra de 'kiki', tente adivinhar qual é qual". De acordo com a pesquisa, 95% das pessoas classificaram "kiki" como a imagem da Figura 2.11 da esquerda e "bouba" como a da direita, mesmo que eles nunca tenham visto esse estímulo anteriormente. A razão é porque as inflexões agudas das linhas da imagem da esquerda simulam as inflexões fonéticas agudas do

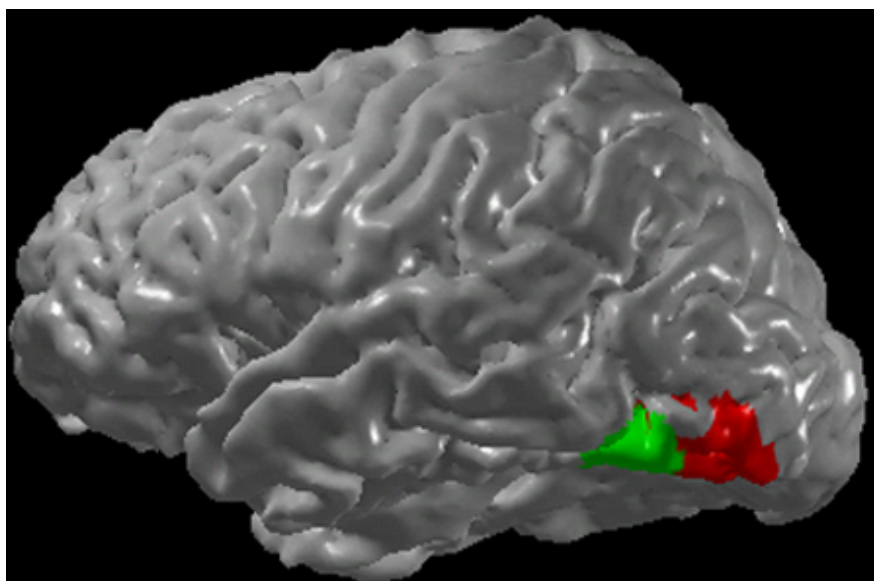


Figura 2.10: Regiões cerebrais afetadas pela sinestesia cor-número. Fonte: [Ramachandran e Hubbard \(2001\)](#).

som de "kiki", assim como as inflexões agudas da língua no palato. Do mesmo modo, os contornos arredondados da figura da direita a torna mais parecida com a inflexão auditiva arredondada de "bouba". Assim, para Ramachandran, este primeiro exemplo sugere que existe reações sinestésicas naturais de como os sons são mapeados para objetos.

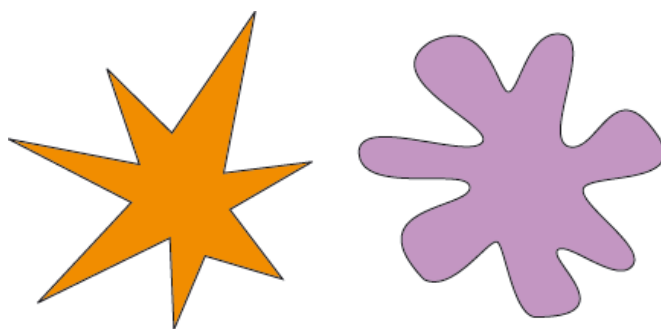


Figura 2.11: Efeito Kiki-Bouba.

No segundo exemplo apresentado pelos autores, eles propõem a existência de um tipo de sinestesia sensorial-motora, utilizando como modelo a dança, onde o ritmo dos

movimentos mimetiza o ritmo auditivo. Assim, isso significa que há um viés natural para mapear certos contornos sonoros em movimentos e vocalizações. Essa teoria ainda é sustentada por um tipo raro de sinestesia na qual sons evocam a adoção automática e incontrolável de certas posturas altamente específicas.

[Cytowic \(2002\)](#) apresenta como comprovação da proximidade entre sinestetas e não-sinestetas o fato de que ambos interpretam sons intensos como mais brilhantes do que sons suaves, agudos como menores que graves e graves como maiores e mais escuros que agudos. Esse neurocientista ainda mostra, como comprovação da afirmativa de que as ligações anômalas que caracterizam a sinestesia estão presentes em todos, uma experiência que consiste em colocar eletrodos na língua de um grupo de cegos e de outro grupo de não-cegos de tal forma que os impulsos sejam percebidos por ambos os grupos como sensações visuais.

As pesquisas sobre percepção e sinestesia mostram que essa condição neurológica pode ser uma acentuação do processo de interação entre as áreas sensoriais inerente à percepção, ou seja, a sinestesia, em menor grau, existe como parte indispensável no complexo caminho entre a captação de uma energia do meio pelo nosso corpo e a forma como é expressada a transformação ocorrida nesse encontro. Na área das Tecnologias da Informação e Comunicação não é diferente. O avanço dos recursos dos sistemas computacionais tem proporcionado a incorporação de uma série de inovações, especialmente no que tange a percepção e interação com usuários. Nesse sentido, a sinestesia é uma opção interessante para proporcionar novas experiências aos usuários.

2.3 Design da Interação

Para [Preece \(2005\)](#), o Design de Interação seria "projetar produtos interativos para apoiar o modo como as pessoas se comunicam e interagem em seus cotidianos, seja em casa ou no trabalho". Em outras palavras, significa criar experiências de usuário

que melhorem e ampliem a maneira como as pessoas trabalham, se comunicam e interagem. Eles ainda apresentam definições de outros autores, tais como [Winograd \(1997\)](#) que descreve o design de interação de uma forma geral, como "o projeto de espaços para comunicação e interação humana". Já para [Thackara \(2001\)](#), observa-se o design de interação como "o porquê e o como de nossas interações cotidianas usando computadores"; e [Saffer \(2009\)](#) enfatiza os aspectos artísticos do design de interação, definindo-o como a arte de facilitar as interações entre os seres humanos por meio de produtos e serviços.

Todas as definições apresentadas levam a compreensão de que uma das metas do design de interação é desenvolver produtos que provoquem reações positivas nos usuários como fazer com que se sintam à vontade, confortáveis e que aproveitem a experiência de usar o produto (ou sistema). Com isso, o foco do design de interação é, na prática, em como criar experiências de usuário. Não está relacionado com uma forma única de fazer design, é diverso e promove o uso de uma gama de métodos, técnicas e frameworks. Para isso, a experiência de usuário é essencial, pois leva em conta como um determinado produto se comporta e é usado por pessoas no mundo real ([Guimarães, 2014](#)).

Para existir interação em um sistema computacional, deve haver uma interface e um usuário, por isso, o design da interação estuda, também, a relação entre a interface e o usuário. A interface é, por definição, a área de comunicação entre o homem e a máquina. Foi a introdução dessa relação homem-máquina e a evolução dos estilos de interação que propiciou a relação simples e intuitiva que se tem com os computadores atualmente ([Prevedello, 2011](#)).

[Ishii et al. \(2012\)](#) descreve essa evolução através de uma analogia a icebergs e o oceano como pode ser visto na Figura 2.12. Nessa ilustração, o iceberg significa a interface que interage com o usuário, a água o mundo digital e fora dela o mundo físico. Ele apresenta também o conceito de *Radical Atoms*, que seria o que ele espera nas novas formas de interação.

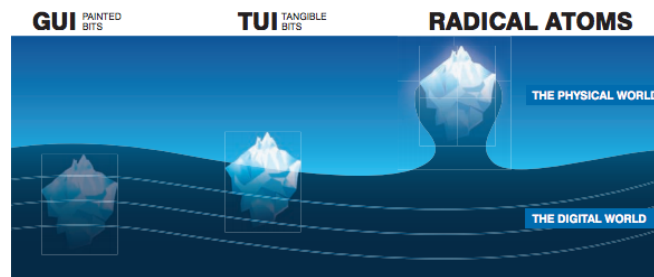


Figura 2.12: *Radical Atoms*. Fonte: Ishii et al. (2012).

De acordo com Ishii, a primeira parte da figura, mais a esquerda e onde o icebergue está totalmente submerso, representa as Interfaces Gráficas de Usuário, do inglês *Graphical User Interface* (GUI's). Nessas interfaces a representação da informação é feita através de *pixels* que são "pintados" na tela, como se o usuário estivesse olhando para a superfície da água. Estas representações gráficas podem ser manipuladas através de controles remotos genéricos, tais como mouses, teclados e *touchscreens*. Ao desvincular a representação da interface (*pixels*) de controle (dispositivos de interação), as GUI's fornecem a maleabilidade para mediar graficamente informações e operações digitais diversificadas. Estas representações gráficas e a interação "veja, aponte e clique" representou melhorias significativas de usabilidade em relação as Interfaces de Linha de Comando (do inglês *Command Line Interface*, ou CLI, antecessor da GUI), o que exigia que o usuário "lembre e digite" caracteres. A Figura 2.13a mostra um exemplo de CLI e na Figura 2.13b, a sua evolução, ou seja, um exemplo de GUI.

A segunda analogia apresentada na figura proposta por Ishii, onde o iceberg está parcialmente submerso, apresenta o segundo estágio da evolução do design da interação. referindo-se as Interfaces Tangíveis de Usuários, do inglês *Tangible User Interfaces* (TUI's), Ishii propõe um conceito para as TUI's que é baseado em na materialização da informação digital e da computação, para ir além da GUI, que é o paradigma dominante atualmente. Ele ainda aponta que as interfaces gráficas de usuário, com seus *pixels* intangíveis, não aproveitam a elevada capacidade humana para perceber e manipular

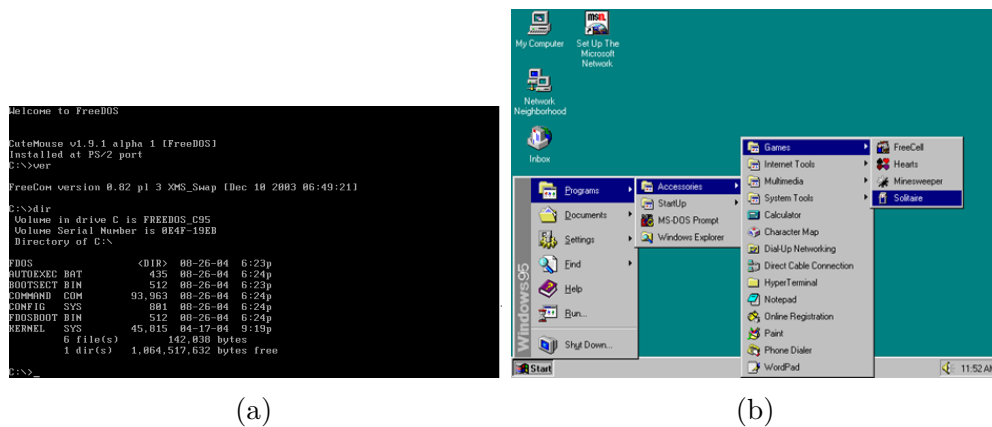


Figura 2.13: Exemplos de GUI's. Em (a) um exemplo de Interface de Linha de Comando e em (b) a evolução em Interface Gráfica de Usuário.

o mundo físico. Assim, a TUI se baseia na destreza do ser humano, incorporando informação digital no espaço físico e permitindo a interação direta com a "ponta do iceberg". As TUIs, então, amplifica as qualidades de objetos físicos, superfícies e espaços para que eles possam apoiar o envolvimento direto com o mundo virtual (Ishii et al., 2012). Diversos dispositivos baseados em TUI's foram desenvolvidos, tais como mesas de interação e robôs. Um exemplo de TUI é o Topobo (Raffle et al., 2004) que é um sistema de montagem construtiva 3D com memória cinética, ou seja, ele possui a capacidade de gravar e reproduzir o movimento físico e pode ser visualizado na Figura 2.14. Com a combinação de componentes passivos (estáticos) e ativos (motorizados), as pessoas podem montar rapidamente formas biomórficas dinâmicas, como animais e esqueletos; animar essas formas empurrando, puxando e torcendo as peças do robô; e observar o sistema reproduzir repetidamente esses movimentos. Por exemplo, um cão pode ser construído e, em seguida, ensinado a gesticular e andar torcendo seu corpo e pernas. O cachorro, então, repete esses movimentos e anda repetidamente.

A parte mais à direita da Figura 2.12 de Ishii, propõe um conceito novo na evolução do design da interação. São os *Radical Atoms*, que é a visão futurística de Ishii com materiais dinâmicos hipotéticos, no qual toda a informação digital tem uma manifestação



Figura 2.14: Exemplos de TUIs. O Topobo, um sistema de montagem construtiva e com memória cinética. Fonte: [Raffle et al. \(2004\)](#)

física para que o usuário possa interagir diretamente com ela, como se o iceberg tenha se elevado das profundezas para revelar sua massa que estava escondida. Estes materiais são extremamente maleáveis e dinâmicos que são bidirecionalmente acoplados com uma base de modelos digitais (*bits*) para que as mudanças dinâmicas da forma física possam ser refletidas em estados digitais e vice-versa. Para que isso ocorra, Ishii apresenta três requisitos para esses materiais hipotéticos:

- Transformar sua forma pra refletir o estado da base computacional e a entrada do usuário;
- Estar em conformidade com as restrições impostas pelo ambiente e entrada do usuário;
- Informar aos usuários suas capacidades de transformação.

A Figura 2.15 ilustra a interação dinâmica entre o usuário, o material e o modelo da base digital (computacional).

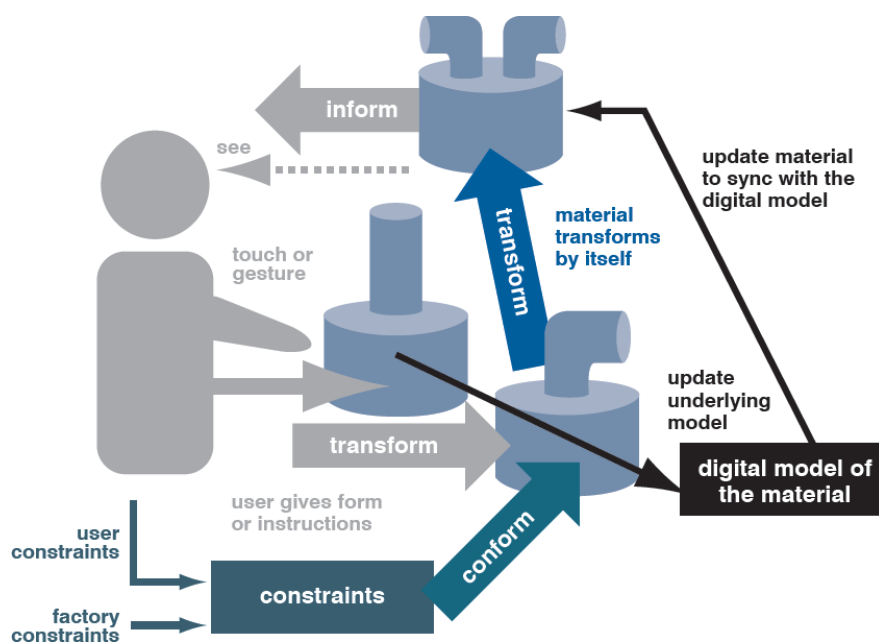


Figura 2.15: Interação com *Radical Atoms*. Fonte: [Ishii et al. \(2012\)](#).

Esta evolução mostra o quanto os métodos de interação estão cada vez mais envolvendo o usuário e necessitando de novas formas de interação. A próxima seção trata dessas novas formas de interação.

Ao ver toda a evolução do design da interação, é possível perceber que sempre houve um casamento entre os dispositivos de interação e os sentidos humanos, como pode ser observado na Figura 2.16. No início, com as GUI's, os sentidos mais utilizados eram a audição e a visão, e esta característica se estendeu até pouco tempo atrás, quando começou a se popularizar a utilização das TUI's e a introdução do sentido do tato, possibilitando novas formas de interação. Este é o estágio em que os dispositivos e as formas de interação se encontram atualmente.

Já para Montagu citado por [BRAIDA e NOJIMA \(2008\)](#), os ocidentais estão começando a perceber que os sentidos foram sendo negligenciados ao longo do tempo e que é preciso retomá-los para nos livrar das privações de experiências sensoriais que se sofre na sociedade tecnológica atual. Onde, "Talvez, devido à poluição sonora, visual, do ar e

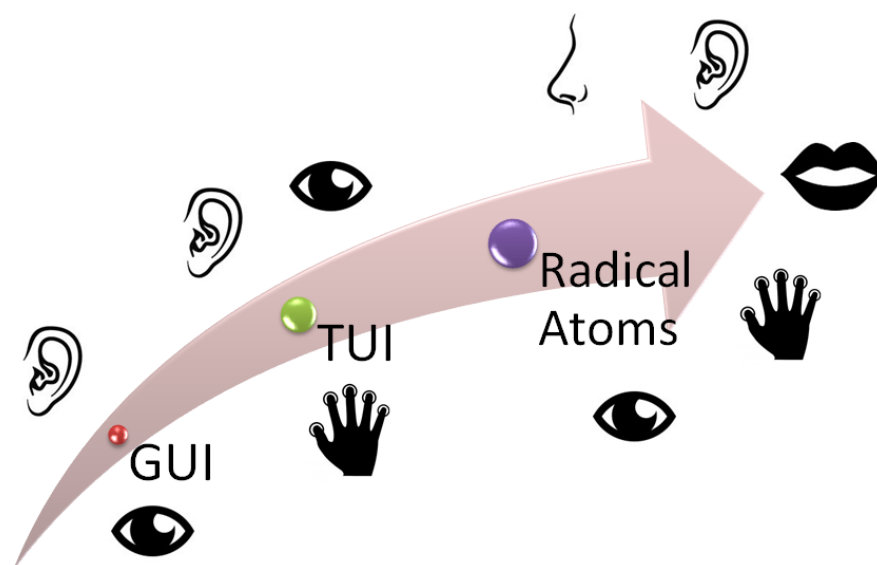


Figura 2.16: Evolução do design de interação e os sentidos.

à sujeira das ruas, tem havido, também, uma redução na eficiência dos nossos sentidos perceptivos, que são a interface com a realidade. O resultado é sentirmos menos o meio ambiente. Ackerman confirma a necessidade de aprimoramento sensorial ao dizer que é preciso voltar a sentir as texturas da vida, valorizando-as como condição para recuperar a beleza dos sentidos".

É neste contexto que a introdução dos *Radical Atoms* pode, enfim, reestabelecer esta conexão perdida com todos os sentidos humanos. A possibilidade de ter formas de interação que são capazes de se moldar e responder de forma inteligente e ilimitada ao usuário, permite que a se possa utilizar o conjunto de sentidos o ser humano como um todo. Além do que, fazendo uma comparação entre os dados que podem ser utilizados pelos *Radical Atoms* e os sentidos, [BRAIDA e NOJIMA \(2008\)](#) mostra que valores, sentimentos e emoções podem ser armazenados em bancos de memória. O ser humano tem, no mínimo, cinco tipos de dados – imagem, som, aroma, sabor e toque. Esses cinco tipos contêm mais dados do que se possa imaginar, porque elas estão diretamente ligadas a nossas emoções e a tudo que isso acarreta.

Baseado nesta possibilidade e o fato incontestável que o sistemas computacionais estão e vão continuar evoluindo, a sinestesia, ou seja, a utilização e a combinação dos sentidos torna-se uma vertente promissora nas formas de interação que existe e que ainda estão por vir.

Capítulo 3

Sinestesia em Interfaces de Usuário

Uma das descobertas no decorrer desta pesquisa é que ainda se tem poucos exemplos de aplicações e relatos de experiências que aplicam a sinestesia para o design da interação em interfaces de usuários. Dessa forma, neste capítulo procura-se apresentar trabalhos relacionados a sinestesia em sistemas computacionais que foram pesquisados de agosto de 2014 a junho de 2015 nos veículos científicos *IEEE Explorer*, *ACM Digital Library* e *Google Scholar*.

3.1 Foner (1999)

O trabalho apresentado por Foner (Foner, 1999) demonstra um protótipo de um sistema sensorial que tenta induzir uma espécie de sinestesia artificial. A sinestesia proposta pelo autor é do tipo cor-som, onde o espectro de cores não visível ao olho humano (Figura 2.2) de imagens são analisadas e transformadas em sons. A estratégia utilizada para simular a sinestesia era bastante simples: cada comprimento de onda associada a uma cor não visível pelo olho humano correspondia a um determinado som.

Como pode ser visto na Figura 3.1, o sistema é vestível e é composto por três componentes: uma espécie de câmera que capta as imagens do ambiente, um compartimento que contém uma bateria e um chip para o processamento das imagens e sons; e um fone de ouvido para enviar os sons ao usuário. Os autores propõem que este protótipo poderia ser utilizado para a visualização de camuflagens, artes e na saúde (visualização de certos tipos de câncer de pele).

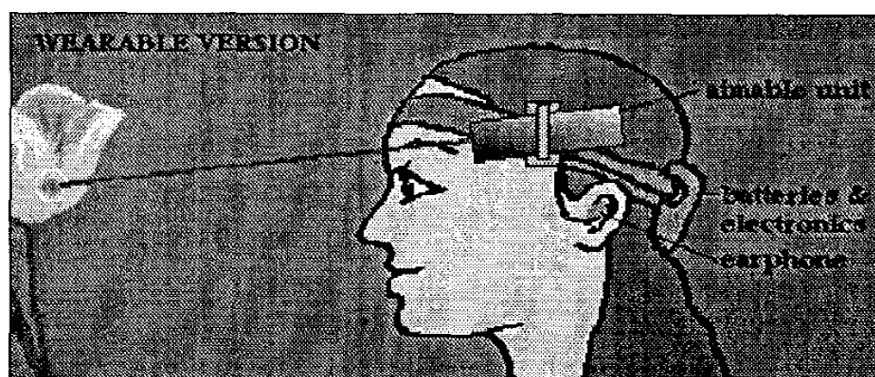


Figura 3.1: Idealização do sistema proposto por [Foner \(1999\)](#).

O trabalho, entretanto, não relata se o protótipo foi testado com usuários, nem como foi feita a transdução das cores em sons, o autor apenas indica que melhorias poderiam ser realizadas através de frequências de sons individuais para cada usuário, melhorando a correspondência entre cor e som através de sons mais comuns para quem está vestindo o sistema.

3.2 [Plouznikoff et al. \(2005\)](#)

Seguindo a mesma linha de computação vestível, o trabalho de [Plouznikoff et al. \(2005\)](#) apresentou um protótipo que tenta recriar a sinestesia cor→grafema. Este protótipo é composto por uma câmera, que é utilizada pelo usuário para capturar o que ele está vendo, e um display também vestível pelo usuário. Através da câmera, o vídeo é capturado e enviado para a aplicação que analisa se possíveis símbolos estão contidos no vídeo.

Caso algum dígito seja reconhecido, a cor do mesmo é alterado no vídeo para simular a sinestesia cor→grafema.

O protótipo foi testado com oito indivíduos através de dois experimentos, que podem ser visualizados na Figura 3.2, no qual na Figura 3.2a pode ser visto como o usuário "veste" o sistema.. O primeiro experimento (Figura 3.2b) foi requisitado aos participantes que memorizassem duas matrizes, uma com ajuda da aplicação e outra sem, cada uma sendo visualizada por dois minutos. Após a memorização, cada participante tinha um minuto para reescrever a matriz. Os testes apontaram que com a ajuda da aplicação sinestésica, a performance da memorização é melhorada. O segundo procedimento consistia na procura por determinados números em uma tela com vários números parecidos (Figura 3.2c), da mesma maneira que o primeiro experimento, foram realizados testes com e sem a aplicação. Os resultados mostraram que com a utilização da aplicação sinestésica, o tempo utilizado para o reconhecimento dos números é inferior ao tempo sem a utilização da aplicação.

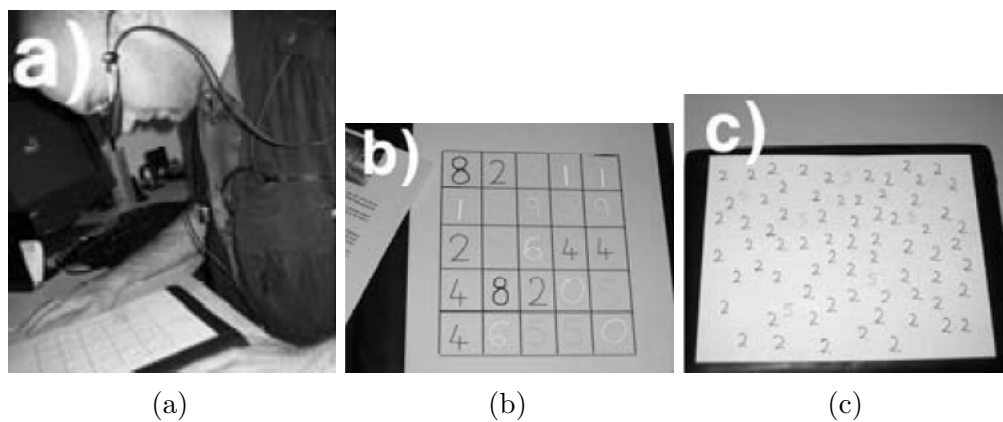


Figura 3.2: Sistema proposto por Plouznikoff et al. (2005). Em (a) exibe como o usuário veste o sistema; em (b) um exemplo do primeiro experimento e (c) o segundo experimento realizado.

É interessante de ser destacado que a relação entre cores e números foi baseada em um estudo descrito em Smilek et al. (2002). Além disso, os autores perceberam que a sinestesia artificial é parecida com a real, pois ela é involuntária e passiva. Mas o

trabalho não indica a possibilidade da utilização de outros tipos de sinestesia como método de interação com o usuário.

3.3 Chun-ok (2002)

Outro exemplo de como a sinestesia pode atuar em pessoas não sinestetas é o trabalho de Chun-ok (2002), no qual ele faz um estudo sobre como o uso da sinestesia no design de anúncios publicitários na internet pode afetar a propaganda. Assim, o primeiro passo do estudo foi demonstrar que havia uma correlação significativa entre a sinestesia e propagandas da internet, para isso foi feito um exame inicial utilizando propagandas em que a transição dos sentidos é feita através da visão em um ambiente virtual onde nenhum outro sentido foi utilizado, a não ser a audição. Este experimento identificou elementos expressivos de cada sentido que são estimulados com a visão, demonstrando, assim, o primeiro passo.

O segundo passo foi elaborar um modelo de efeitos sinestésicos para as propagandas baseado em termos psicológicos e neurológicos da sinestesia e que pode ser usado para classificar elementos expressivos de cada sentido em relação à sinestesia. Por último foram feitos experimentos, nos quais 80 pessoas foram entrevistadas usando questionários sobre a reação à propaganda que eles estavam vendo. Os resultados mostraram que as propagandas que possuíam tais elementos contidos conseguiam atrair os usuários, mostrando assim que a sinestesia tem um efeito positivo na propaganda e em pessoas não sinestetas.

3.4 Xiaochen et al. (2009)

O trabalho apresentado por Xiaochen (Xiaochen et al., 2009) propõe um modelo para o design de interfaces multimodais, explorando a associação entre diferentes formas de entrada de dados e as associações entre diferentes entradas de informações em diversos

canais como será essa junção após o processamento. Para os autores, a aplicação e a implementação da sinestesia em uma interface pode ser decomposta em três camadas:

1. Nível de processamento da informação: através do padrão de processamento de informação, a interface de interação pode integrar dados de vários canais sensoriais, para, assim, aumentar a capacidade do sistema para processar e compreender a informação;
2. Nível relativo a entrada, saída e exibição da informação: na saída de interação multimodal é baseado na forma humana compreender a informação, de modo a que a mesma saída pode ser feita através de diferentes meios ou seja, a informação pode ser exposta através de diversos canais sensoriais, tais como som, imagem visual, tais como, odor ou *feedback* tátil, etc. Este nível produz conteúdos concretos de interação;
3. Nível de dispositivo de interface: este nível inclui atributos emocionais de dispositivos de interface, tais como a forma, cor, material, textura visual e tátil de componentes de operação que são críticos para o desempenho de interação. Com a introdução do efeito da sinestesia no design de interface, os usuários podem ter uma percepção clara de informações mais importantes relativas a funções do produto, ambiente de trabalho e método de operação.

Em resumo, o método proposto é dividido em três fases, como pode ser visto na Figura 3.3: o dispositivo capta diversas formas de comunicação, analisa estes dados e tenta integrá-los, a partir desta integração, novos dados são enviados para os dispositivos de saída que reproduzirá a sinestesia.

Apesar de ser o único trabalho encontrado que demonstra um modelo para o design sinestésico de interfaces, os autores não especificam como pode ser feita de maneira confiável a sinestesia na aplicação. Os autores propõe um exemplo da utilização no

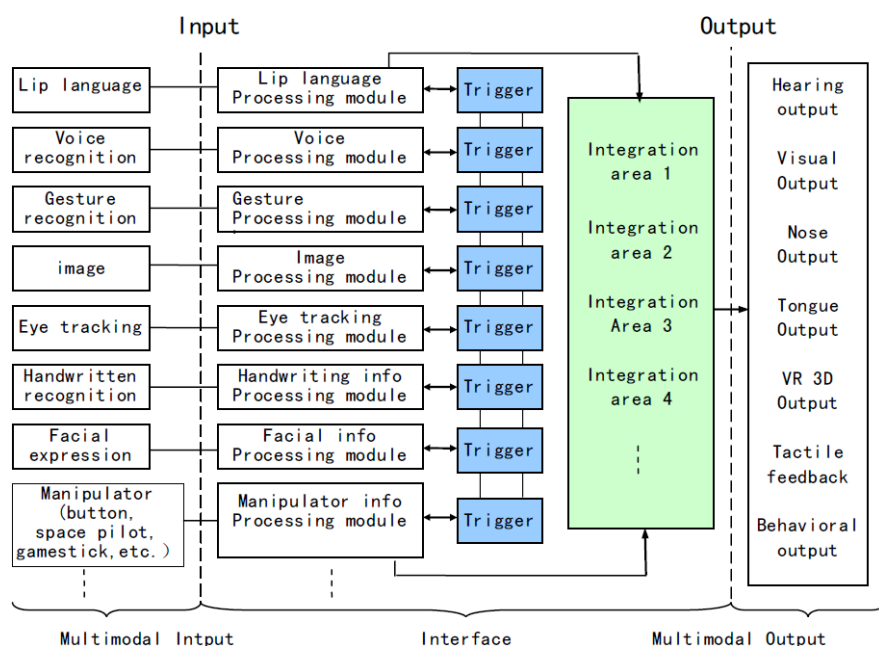


Figura 3.3: Processo de incorporação da sinestesia proposto por Xiaochen et al. (2009).

desenvolvimento de uma interface hipotética para um sistema que controla uma casa moderna, tais como temperatura, comandos de voz, etc. Por não ter uma implementação real, não fica claro no exemplo como agira a sinestesia e não seria, apenas, uma interação normal. Por exemplo, o autor afirma que a sinestesia aconteceria utilizando comandos de voz, mas não descreve quais outros sentidos seriam ativados nestes comandos ou como poderia ser feito para tentar traduzir um comando em uma reação sinestésica.

3.5 Tavares et al. (2013)

Um contexto diferente é abordado em Tavares et al. (2013). Neste trabalho, o uso de tecnologias digitais e sinestesia é utilizado para a apreciação artística de pinturas sinestésicas. A introdução das tecnologias digitais possibilita a interação multimodal e enriquece a experiência do usuário com as obras artísticas. O ambiente, chamado Synsynart, reúne representações digitais das obras e permite aos usuários uma navegação multissensorial através do uso de interfaces de usuários tangíveis ou naturais. Dessa

forma, os usuários ou visitantes do ambiente podem acessar recursos multimídia (como imagem, áudio ou vídeo) e interagir com as obras, como pode ser visto na Figura 3.4 (b). Nessa abordagem, o primeiro passo foi incorporar a Interação Natural na interface web/multimídia do usuário.

A sensação de toque é suportada pelos recursos móveis (como telefones celulares e *tablets*) que são utilizadas para aumentar a interação do usuário através de recursos de realidade aumentada como ilustrado na da Figura 3.4(a). Dessa forma, além do ambiente virtual, o usuário pode interagir com as pinturas no seu ambiente real através de dispositivos móveis e de um software de realidade aumentada, que, ao reconhecer a pintura, toca a música que a pintura representa. Neste trabalho, o objetivo é apresentar aos usuários não sinestetas exemplos de de como pessoas que possui a sinestesia cor-som vê/ouve as pinturas.

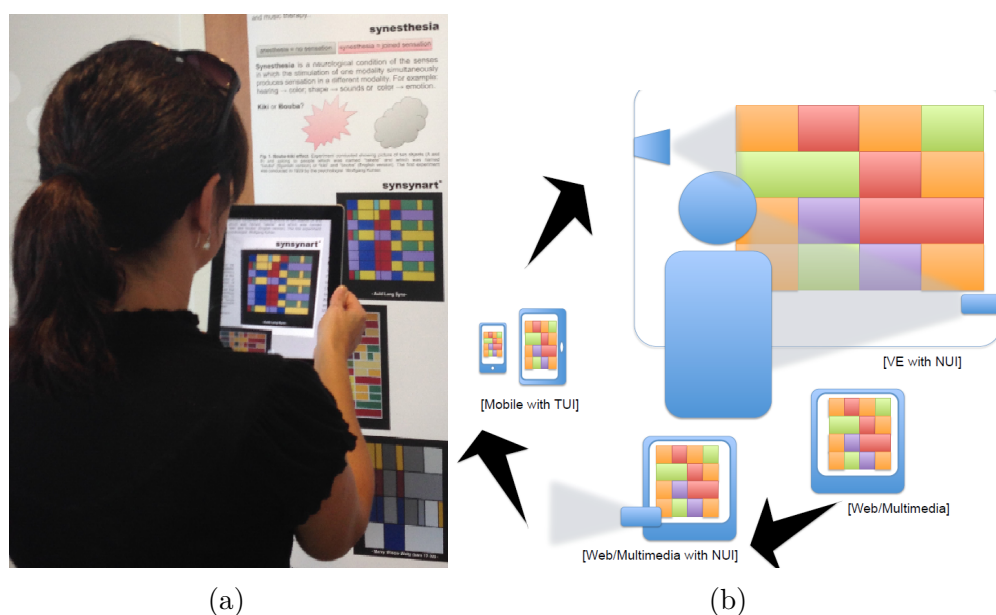


Figura 3.4: Synsynart, ambiente de apreciação artística de pinturas sinestésicas - (Tavares et al., 2013).

Deve-se destacar, no entanto, que o trabalho também não expõe como é feito o mapeamento de música para cor ou vice-versa. Não é abordado, também, se o experimento

foi testado com usuários e qual reação foi obtida dos mesmos.

3.6 Agrawal et al. (2015)

O trabalho apresentado por Agrawal et al. (2015) demonstra um aplicativo mobile para aparelhos com sistema operacional *Android* que tem como objetivo explorar as capacidades sinestésicas e sensoriais dos usuários. A sinestesia proposta pelo autor é a transformação de imagens em sons, onde imagens capturadas pelo usuário são analisadas e classificadas pelo sistema de acordo com algumas categorias, tais como luminosidade, saturação e tonalidade. Assim como as imagens, os sons utilizados na conexão também são classificados a partir de algoritmos que analisam a amplitude e a frequência. A partir dessa classificação, um som é "ligado" essa imagem para a experiência sinestésica. O autor não informa como foi feita a ligação entre o tipo de imagem e o tipo de som. Não é exposto, também, testes com usuários reais para verificar a capacidade sinestésica do aplicativo.

3.7 San Pedro (2013)

Por último, o trabalho de San Pedro (2013) apresenta um software cujo objetivo é tentar melhorar a qualidade das fotografias através de recursos sinestésicos. A aplicação propõe analisar, em tempo real, as imagens capturadas pela câmera através de recursos que captam a presença de partes salientes da fotografia ao longo de eixos esteticamente importantes do *frame*. Através dessas características, as imagens são classificadas em uma escala de zero a três em qualidade, de acordo com cada tipo de escala um certo tom (baixo, tenor ou soprano) é tocado.

É interessante ressaltar que o autor expõe que as notas utilizadas podem gerar diferentes respostas emocionais através de combinações sonoras, mas não especifica como esses sons foram classificados para gerar tais sentimentos. A sinestesia proposta

(imagem - som e som - sentimento) é utilizada pelos fotógrafos para verificar o momento em que o quadro com uma melhor qualidade estética, de acordo com o sentimento do fotógrafo, fosse encontrado. Foram realizados testes com um grupo de cinco pessoas. Todos os participantes concordaram que o sistema fornece um mapeamento intuitivo para a qualidade de imagem através da ligação entre o sons e os sentimentos produzidos por eles.

3.8 Análise Comparativa

Durante a pesquisa por estes trabalhos, a grande maioria dos resultados advindos dos veículos científicos acima citados, eram pesquisas neurocientíficas que estudavam como a sinestesia trabalha no cérebro humano, pesquisas que foram descartadas por ter um escopo diferente do que é proposto neste estudo. Já nas áreas mais relacionadas, parte significativa dos trabalhos são aplicações da sinestesia em sistemas computacionais, apenas um trabalho propõe um modelo para incorporação da sinestesia e poucos avaliam com usuários.

Para tanto, os trabalhos identificados foram classificados considerando os seguintes aspectos ou características:

- Ferramenta/aplicação, que analisa se o trabalho consiste em softwares ou pesquisas que utilizem a sinestesia na interface;
- Modelo, se o trabalho propõe algum método para a incorporação da sinestesia em um sistema;
- Avaliação com usuário, ou seja, se o trabalho apresenta um método de avaliação da sinestesia com reais;
- Tipo de sinestesia, no qual o trabalho é classificado de acordo com o tipo de sinestesia proposto no trabalho;

- Estilo de interação, ou seja, como o usuário com o sistema;
- Dispositivos, que são os instrumentos utilizados para a realização da sinestesia.

A Tabela 3.1 mostra o resultado da classificação destes trabalhos, já nas Figuras 3.5 e 3.6 é demonstrado, através de gráfico de bolhas, a análise quantitativa dos resultados encontrados durante a pesquisa. Como pode se perceber analisando a Figura 3.5, que apresenta a quantidade de resultados relacionados as três primeiras característica de classificação, a grande maioria dos trabalhos são aplicações da sinestesia em sistemas computacionais e apenas um trabalho tenta propor um modelo de incorporação da sinestesia em interfaces de usuário. Sobre o critério de avaliação com usuário, apenas três dos sete trabalhos realizam esse passo, indicando que a maioria são trabalhos mais teóricos e sem a verificação de se o usuário consegue perceber de forma real a sinestesia na interface.

Tabela 3.1: Análise comparativa dos trabalhos relacionados.

	Ferramenta/ Aplicação	Modelo	Avaliação com Usuário	Tipo de Sinestesia	Estilo de Interação	Dispositivo
Foner (1999)	X			Cor - som	Não se aplica	Câmera/ Fone de ouvido
Plouznikoff et al. (2005)	X		X	Grafema - cor	Não se aplica	Câmera/ Display ocular
Chun-ok (2002)	X		X	Diverso	Interface Gráfica	Computador
Xiaochen et al. (2009)		X		Diverso	Diverso	Diverso
Tavares et al. (2013)	X			Cor - som	Interface Gráfica	<i>Smartphone/ Tablet</i>
Agrawal et al. (2015)	X			Imagem - som	Interface Gráfica	<i>Smartphone</i>
San Pedro (2013)	X		X	Imagem - som	Interface Gráfica	<i>Smartphone</i>

Ao se analisar a Figura 3.6, que apresenta os tipos de sinestesia encontrados nos trabalhos analisados, vê-se que as sinestesias utilizadas são, em sua grande maioria, relacionadas a visão e a audição, e apenas dois trabalhos propõe que o sistema possa utilizar sinestesias variadas.

Considerando as outras características de classificação exibidas na Tabela 3.1,

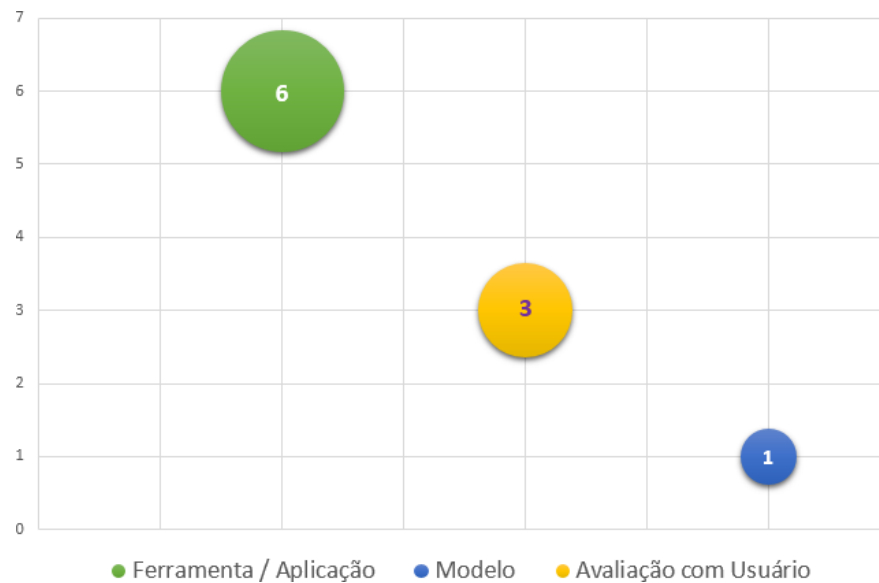


Figura 3.5: Análise quantitativa dos resultados em relação a Ferramenta/Aplicação, modelos e avaliação com usuário.

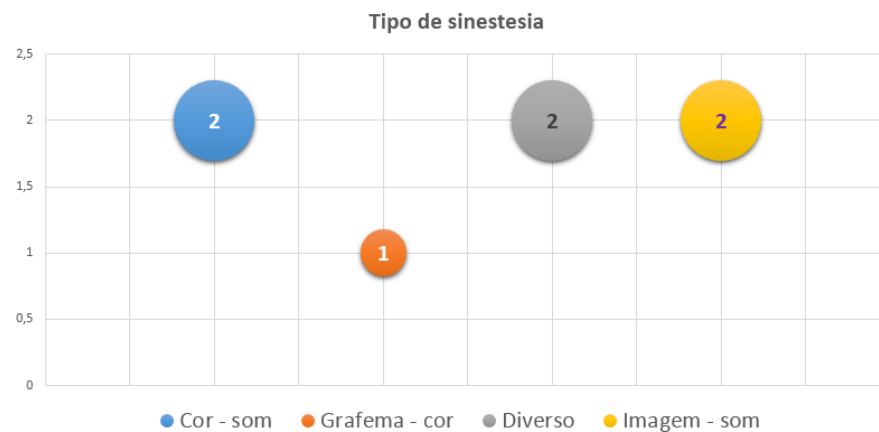


Figura 3.6: Análise quantitativa dos resultados em relação aos tipos de sinestesia.

percebe-se que Interfaces Gráficas de Usuário são mais comuns para se utilizar a sinestesia e os dispositivos utilizados são diversificados, sendo os mais comuns *smartphones* ou *tablets*.

Analisando os resultados obtidos por esta classificação, uma lacuna evidente é um modelo de processo que se adapte a tipos de sinestesia variados, a tipos de interfaces variadas e a dispositivos variados, além da realização de testes com usuários. Assim,

como o objetivo deste trabalho é investigar a utilização da sinestesia em interfaces de usuário, foi-se desenvolvido um modelo de processo que se adapte as lacunas encontradas anteriormente.

Capítulo 4

Sinestesia e Design da Interação

O estudo dos trabalhos supracitados nos permite identificar uma lacuna na aplicação do conceito de sinestesia à prática do desenvolvimento de interfaces de usuário. Em outras palavras, não verificamos métodos específicos que suportem as implicações da utilização desse conceito no processo de design da interação.

Neste capítulo, é apresentada uma solução através de um processo cujo objetivo é adaptar as peculiaridades da sinestesia durante o design da interação de uma interface de usuário.

4.1 Processo de Design para Sinestesia

O processo de design é amplamente explorado em IHC uma vez que existem propostas na literatura ([Löwgren e Stolterman, 2004](#)) ([Borchers, 2001](#)) ([Haikara, 2007](#)) ([Preece, 2005](#)). Mas de forma geral, pode-se dizer que o processo de design permite ao projetista obter uma visão global do processo de design e realizar um trabalho estruturado, sistemático e organizado.

A Figura [4.1](#) destaca fases usualmente encontradas em processos de desenvolvimento de interfaces e de sistemas computacionais, são elas: análise, conceito, desenvolvimento

e prototipagem e testes.

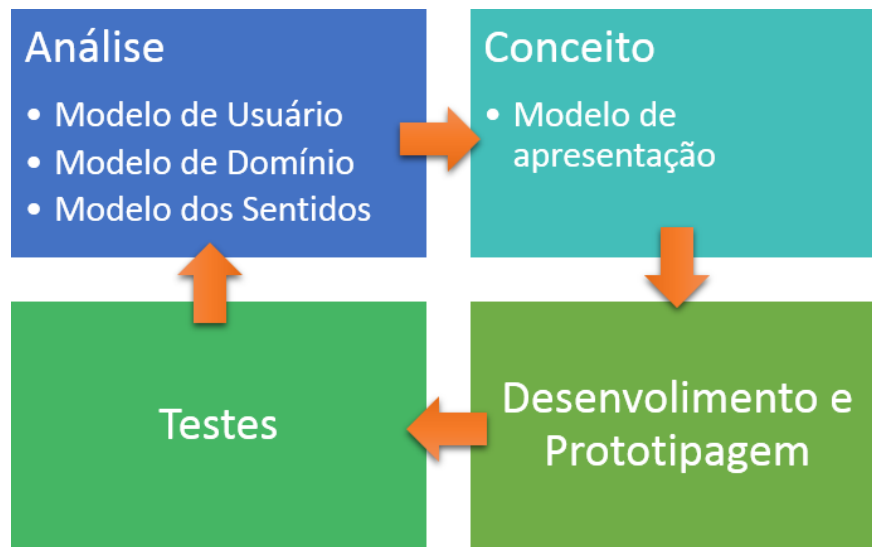


Figura 4.1: Ciclo de melhoria contínua da metodologia do trabalho.

O diferencial da proposta visando sinestesia inclui preocupações específicas a cada uma dessas fases:

- **Análise:** onde é analisado o contexto da aplicação, o usuários e os sentidos;
- **Conceito:** onde o projetista entende os requisitos da interface e elaborar uma representação esquemática da mesma;
- **Desenvolvimento e Prototipagem:** a qual atende os requisitos e desenvolver os protótipos das interfaces;
- **Teste:** no qual se conduz testes de usabilidade e funcionalidade das interfaces, além de verificação das reações sinestésicas nos usuários.

Além disso, o processo requer uma presença contínua dos usuários durante todo o ciclo de design da interface, já que as reações sinestésicas vão depender de como o usuário reage à interação com a interface. As fases e suas etapas específicas serão detalhadas nos tópicos seguintes.

4.1.1 Fase 1: Análise

Nesta fase, é feito o levantamento inicial dos dados necessários para o desenvolvimento da interface desejada. Estes dados irão se concentrar no âmbito do usuário, do domínio da aplicação e nos sentidos. Esta fase é subdividida em três etapas intermediárias que visam obter informações e gerar modelos que possam ser utilizados na Fase de Conceito e Desenvolvimento. São elas: Modelo de Usuário, Modelo de Domínio e Modelo dos Sentidos.

Na primeira etapa, chamada de Modelo de Usuário, procura-se identificar as características do usuário, ou seja, sexo, faixa etária, nível de instrução (caso necessário), entre outros; além de verificar a experiência dos mesmos com o tipo de sistema e/ou tecnologias envolvidas e preferências dos usuários em relação ao sistema. Esta etapa pode ser realizada através de questionários, entrevistas ou outros métodos que visam obter informações dos usuários, como pode ser observado em trabalhos da literatura, tais como [Norman \(1986\)](#), [Eklund e Zeiliger \(1996\)](#) e [Batista et al. \(2008\)](#). Como exemplo de um Modelo de Usuário, pode-se citar o modelo criado por Batista para a representação do usuário para o desenvolvimento um *website* sobre Síndrome de Down e que pode ser visualizado na Figura 4.2. Pode-se perceber que neste modelo incluem todas as características necessárias para se entender o usuário, desde faixa etária do público alvo, quem deseja adquirir informações no *website*, até o que eles buscam neste site e quais as melhores formas de comunicação com estes usuários.

No Modelo de Domínio pretende-se identificar quais conteúdos, mídias (caso a aplicação contenha e que podem ser utilizados na interface), informações sobre o conteúdo da aplicação, formas de comunicação a serem utilizadas, como a informação estará organizada. Este modelo pode ser feito baseando-se em modelagens orientadas a objetos, mapas conceituais, entre outros ([Batista et al., 2008](#))([Brunetto, 2000](#)). Ainda utilizando o exemplo proposto por Batista, a Figura 4.3 mostra o mapa conceitual do *website* sobre Síndrome de Down, neste esquema é exibido qual conteúdo envolvido no site e



Figura 4.2: Modelo do Usuário proposto por Batista et al. (2008).

como a informação foi organizada.

A última etapa desta fase é o Modelo dos Sentidos, o qual é uma inovação no modelo de processos. Esta etapa é caracterizada pela identificação dos sentidos que podem ser utilizados na aplicação, além de verificar se existem restrições sensoriais por parte da aplicação e/ou dos usuários, ou seja, se o sistema impede o uso de algum

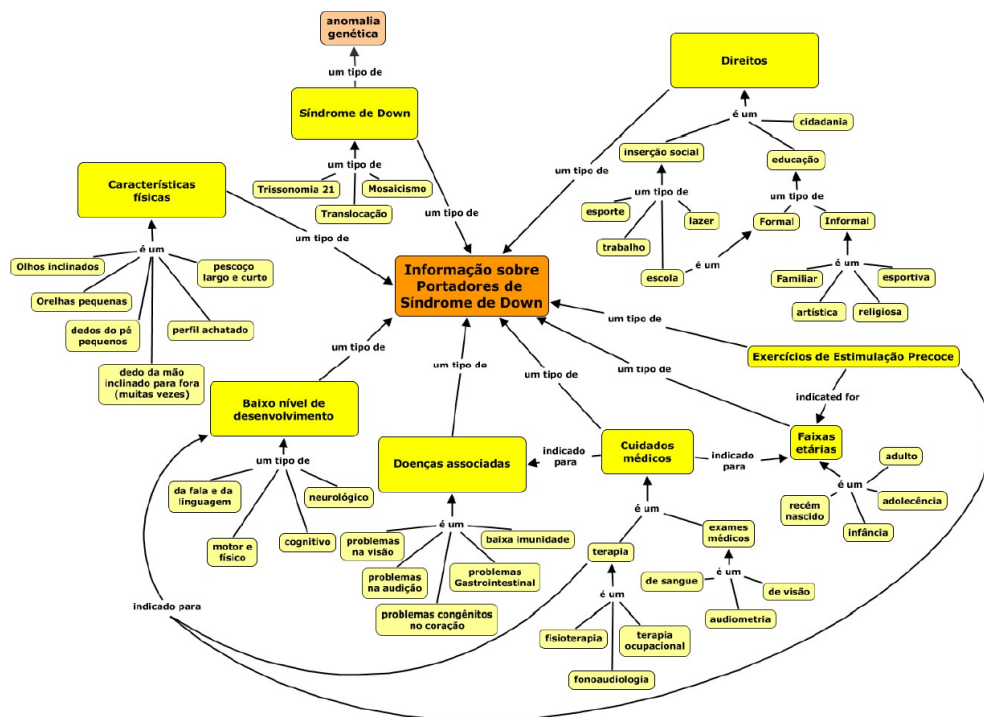


Figura 4.3: Modelo do Domínio proposto por Batista et al. (2008).

sentido específico em todo ou determinadas partes da interface ou se os usuários da aplicação possuem alguma incapacidade sensorial que pode alterar a percepção dos elementos da interface. Nesta etapa é de extrema importância a participação do usuário no processo, podendo obter tais informações através de questionários, entrevistas ou testes sensoriais com os usuários.

Por fim, caberá ao designer compreender como será o funcionamento do sistema, o contexto de uso e os requisitos sinestésicos para poder estabelecer metas e objetivos da interface que serão usadas na fase de Conceito.

4.1.2 Fase 2: Conceito

Esta fase consiste, principalmente, na elaboração do Modelo de Apresentação, que seria, basicamente, a esquematização da interface, dos objetos nela contida e a relação com os sentidos a serem utilizados.

O Modelo da Apresentação especifica "onde" e "como" os objetos de interação serão apresentados ao usuário. É um modelo que representa todos os dados e comportamento da interface, mostrando a localização estática dos objetos visíveis ao usuário, uma representação esquemática destes objetos e seus comportamentos dinâmicos. A representação esquemática é similar à técnica de sketching usada por alguns designers de interface (Koch, 2001)(Microsoft, 2015)(Batista et al., 2008).

Ainda para Batista et al. (2008), o projeto da apresentação foca a organização estrutural da interface, tal como: textos, imagens, formulários e menus; porém, não foca a aparência física em termos de formatos especiais, cores, entre outros. No caso deste trabalho, os formatos especiais previamente citados necessitam ser considerados, já que na interface sinestésica é preciso entender como os formatos que afetam os sentidos (no caso as cores, por exemplo) estão distribuídas na interface. Conforme Fowler (2015), o modelo da apresentação não é o layout da interface, mas sim uma abstração que representa o estado e o comportamento da apresentação, independentemente dos controles usados na interface. Como exemplo, utilizando ainda o exemplo de Batista, a Figura 4.4 mostra o modelo de apresentação de um dos templates do website, onde se pode observar uma apresentação clara e intuitiva de como a interface será organizada.

É nesta fase, também, que o design da interface tem que estabelecer a relação entre os sentidos e os objetos da interface, indicando quais componentes da interface evocarão cada sentido ou sentidos. Ao atribuir sentidos a esses componentes, almeja-se facilitar a posterior forma de integração durante a etapa de desenvolvimento.

4.1.3 Fase 3: Desenvolvimento e Prototipagem

Nesta etapa serão atendidos os requisitos da interface pela equipe de desenvolvimento após a construção do Modelo de Apresentação. Nesta fase se encontra também o desenvolvimento das mídias, aqui entende-se por mídia qualquer forma de comunicação, seja ela visual, olfativa, auditiva, por exemplo. Recomenda-se um acompanhamento

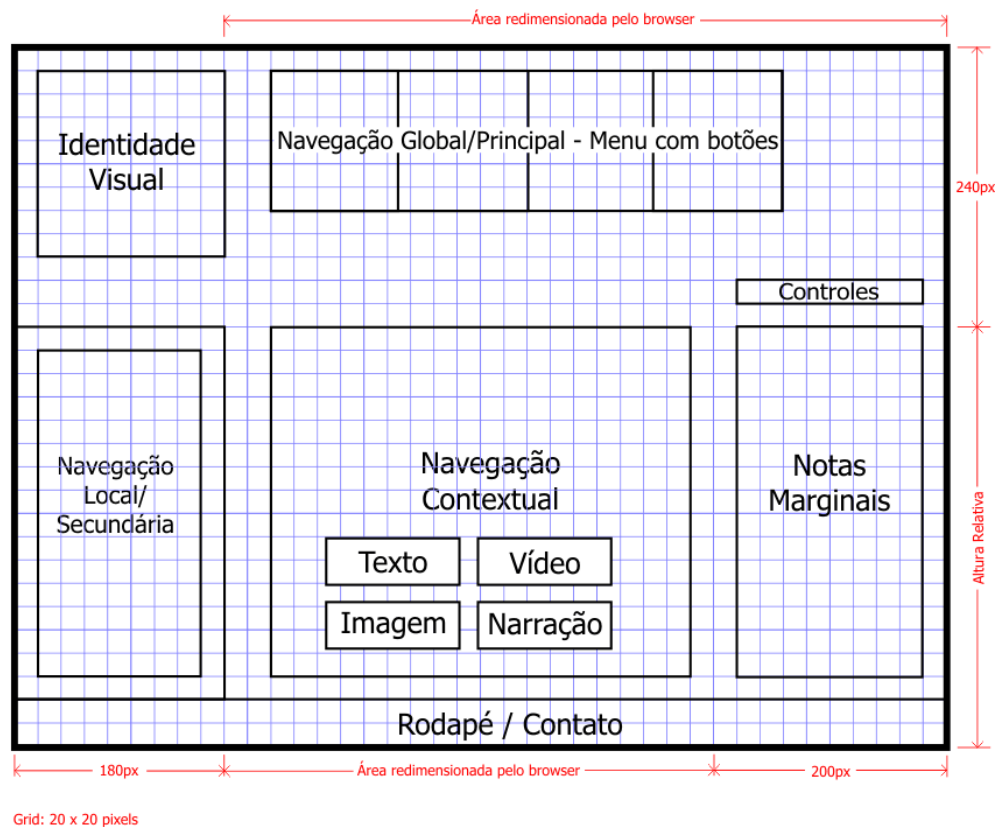


Figura 4.4: Modelo da Apresentação proposto por [Batista et al. \(2008\)](#).

de usuários testes no desenvolvimento dessas mídias, com o objetivo de avaliar se tais mídias correspondem sensorialmente ao que estava previsto no Modelo de Conceito anteriormente descrito. Assim, espera-se uma melhor aceitação sensorial durante a fase de Testes. Ao final da fase de Desenvolvimento será gerado o protótipo da interface que será encaminhado para a última fase do ciclo, a fase de Teste.

4.1.4 Fase 4: Teste

A última etapa do processo consiste em processos de avaliação da interface, realizando testes de experiência da usabilidade do sistema e testes de avaliação sinestésica. A melhor forma de avaliar a sinestesia seria com a utilização de equipamentos que possam realizar mapeamentos cerebrais para identificar se as regiões cerebrais dos sentidos que

deveriam ser estimulados estão sendo excitados ao mesmo tempo. Por exemplo, se em uma aplicação existe sinestesia sons musicais → cor, dever-se-á analisar se o córtex visual e o córtex auditivo estão sendo estimulados ao mesmo tempo. Um exemplo de análise sinestésicas utilizando ondas cerebrais é mostrado no trabalho de [Goller et al. \(2009\)](#).

Para [Arhippainen \(2003\)](#), a experiência do usuário é caracterizada pela experiência que ele obtém quando interage com um produto. Segundo o autor, a experiência do usuário é definida como suas emoções e expectativas e sua relação com outras pessoas e com o contexto de uso, em que se destacam aspectos afetivos e experiências pessoais. De forma complementar, [D'Hertefelt \(2000\)](#) define a experiência de usuário como: "uma emergente mudança no conceito de usabilidade, onde o objetivo não é limitado para melhorar o desempenho da interação usuário-eficácia e facilidade de aprendizagem, mas ele tenta resolver o problema estratégico da utilidade do produto e o problema psicológico de prazer e diversão da sua utilização" ([Medeiros, 2014](#)).

Segundo [Medeiros \(2014\)](#), a boa experiência do usuário acontece quando se consegue gerar sensações agradáveis, positivas e satisfatórias no uso de um sistema, sendo a fidelidade do usuário ao sistema a concretização de uma boa experiência. Dessa forma, a avaliação da experiência do usuário nos fornece os objetos necessários para identificar aspectos positivos e negativos no processo de interação deste com o sistema, se apoiando na perspectiva do próprio usuário.

Por conta do processo de mapeamento cerebral ser complicado, caro e difícil de ser realizado, utilização de ferramentas que analisem a experiência de usuário são formas de validar este processo.

Ao completar um ciclo, ou seja, concluir a etapa de Teste o processo não se encerra. dependendo dos resultados dos testes de usabilidade do sistema e da avaliação da sinestesia, o ciclo pode ser repetido quantas vezes forem necessárias.

Capítulo 5

Cenário de Uso

O capítulo anterior descreveu um processo para a incorporação da sinestesia em interfaces de usuário. Neste capítulo apresenta-se a validação deste processo através de uma aplicação-piloto. A aplicação desenvolvida tem o objetivo de verificar as etapas de processo proposto (Capítulo 4), os artefatos sugeridos e como o processo se adapta as características dos usuários e da sinestesia em uma interface real.

Como pode ser visto, a sinestesia ainda é pouco explorada no âmbito de aplicações digitais. Deste modo, foi identificado no jogo Genius (do inglês: Simon) uma oportunidade interessante e simplificada de exercitar a sinestesia.

O jogo Genius é um brinquedo (vide Figura 5.1) que busca estimular a memorização de cores e sons através de botões coloridos que emitiam sons harmônicos e se iluminavam em sequência. O jogo foi lançado pela empresa Brinquedos Estrela em 1980 no Brasil e foi um grande sucesso atraindo atenção de crianças e adultos. A jogabilidade é bastante simples, cabe aos jogadores repetir a sequência de cores sem errar.

Inicialmente, foi pensado em ter uma versão do Genius para dispositivos móveis com sistema operacional *Android*. No entanto, a possibilidade de trabalhar com usuários surdos, tornou a necessidade de pensar em sentidos dos usuários mais que uma característica, mas um requisito para atingir o público-alvo. Dessa forma, como cenário



Figura 5.1: Jogo Genius da Brinquedos Estrela.

da aplicação-piloto foi utilizado o jogo Genius para usuários surdos.

A versão do Genius desenvolvida, ao contrário da original que utiliza sons, é feita através da relação de cores e vibrações, permitindo, assim, uma utilização da sinestesia cor-vibração (visão - tato). Deste modo, o processo apresentado no capítulo anterior foi seguido para o desenvolvimento da interface deste aplicativo.

5.1 Fase de Análise

O primeiro passo do processo é a fase de Análise, onde os dados iniciais são colhidos. A primeira subetapa é a criação do Modelo de Usuário, com informações sobre o usuário que auxiliarão no desenvolvimento da interface. Para isto, foi elaborado um questionário (disponível no Apêndice [A.1](#)) inicial para a coleta de dados que foi utilizado tanto para

o Modelo de Usuário quanto para o Modelo de Sentidos. Além disso, o questionário foi elaborado de acordo com as recomendações apresentadas por [Guimarães \(2014\)](#), no qual as perguntas elaboradas foram, primeiramente, analisadas e corrigidas por um intérprete de Libras e, além disto, o mesmo intérprete estava presente durante a aplicação do questionário para auxiliar as pessoas que não sabiam ler.

Por não ser um aplicativo complexo que demandasse uma quantidade de informação grande sobre os usuários, as perguntas eram simples. Ou seja, o nível de informações necessárias do usuário depende do sistema a ser desenvolvido, cabendo aos projetistas da interface avaliar quais informações serão úteis para o desenvolvimento da interface.

O questionário foi aplicado com onze pessoas que possuem deficiência auditiva. As questões propostas referentes ao Modelo de Usuário, e suas respectivas respostas foram:

1. Qual a sua idade?

A Tabela 5.1 exibe as repostas obtidas, no qual percebe-se uma idade variada entre 18 e 42 anos, com uma média de 27,75 para homens e 29,57 para mulheres

Tabela 5.1: Idade dos participantes.

	Todos os Participantes	Homens	Mulheres
Menor Idade	18	22	18
Maior Idade	42	34	42
Média das Idades	28,9	27,75	29,57
Variâncias das Idades	47,49	32,25	61,62

2. Qual o seu sexo?

Os resultados desta questão mostraram que o questionário foi aplicado para 7 mulheres e 4 homens.

3. Qual grau escolar?

A Figura 5.2 mostra o grau de escolaridade dos participantes.

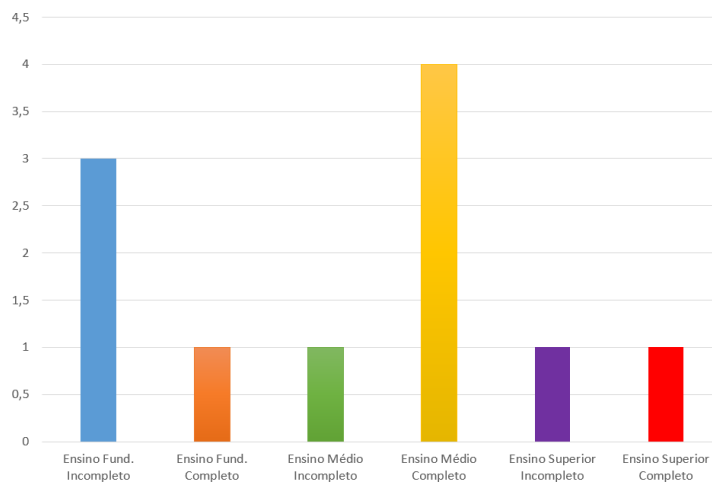


Figura 5.2: Grau escolar.

4. Você tem facilidade de usar celular ou tablet?

A Figura 5.3 mostra o grau de familiaridade que os participantes possuem com celulares ou tablets, percebe-se que a grande maioria possui muita facilidade.

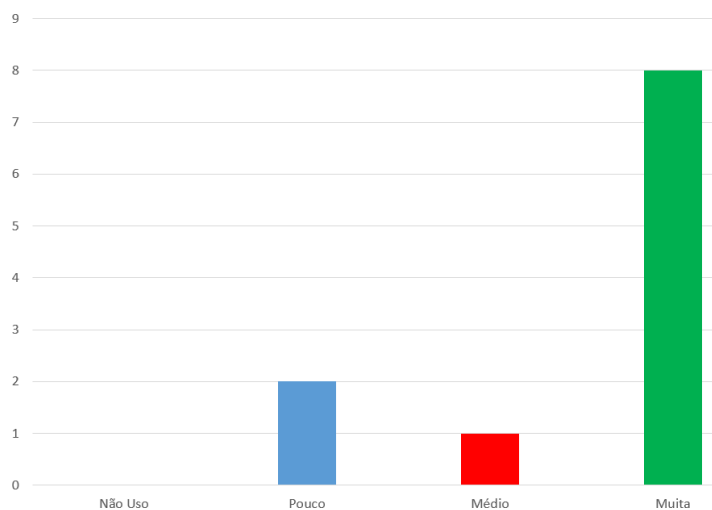


Figura 5.3: Facilidade em usar tablet ou celular.

5. O que você faz com seu *tablet* ou celular?

A Figura 5.4 mostra com o que os usuários costumam usar seus dispositivos móveis.

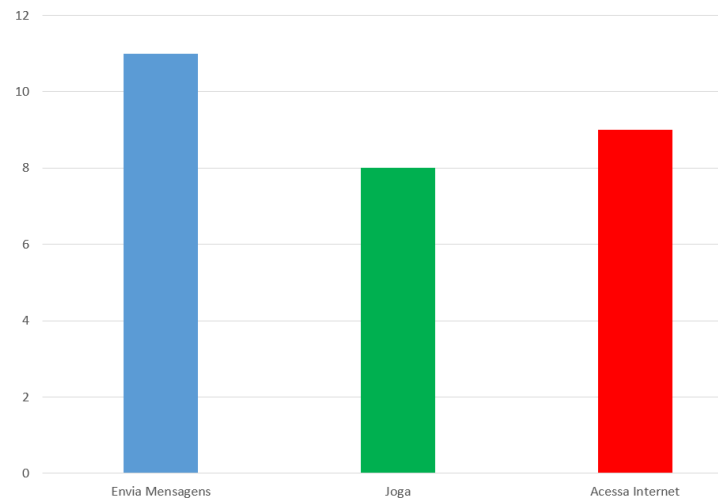


Figura 5.4: Tipos de uso do celular ou *tablet*.

6. Você conhece o jogo Genius?

A Figura 5.5 mostra qual a porcentagem de usuários que conhecem o jogo Genius.

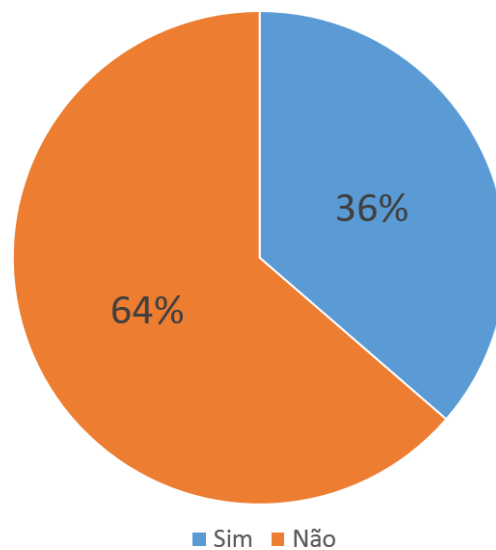


Figura 5.5: Porcentagem de pessoas que conhecem o jogo Genius

A partir das respostas obtidas no questionário, foi possível construir o Modelo de Usuário, apresentado na Figura 5.6, a ser usado nas próximas etapas.

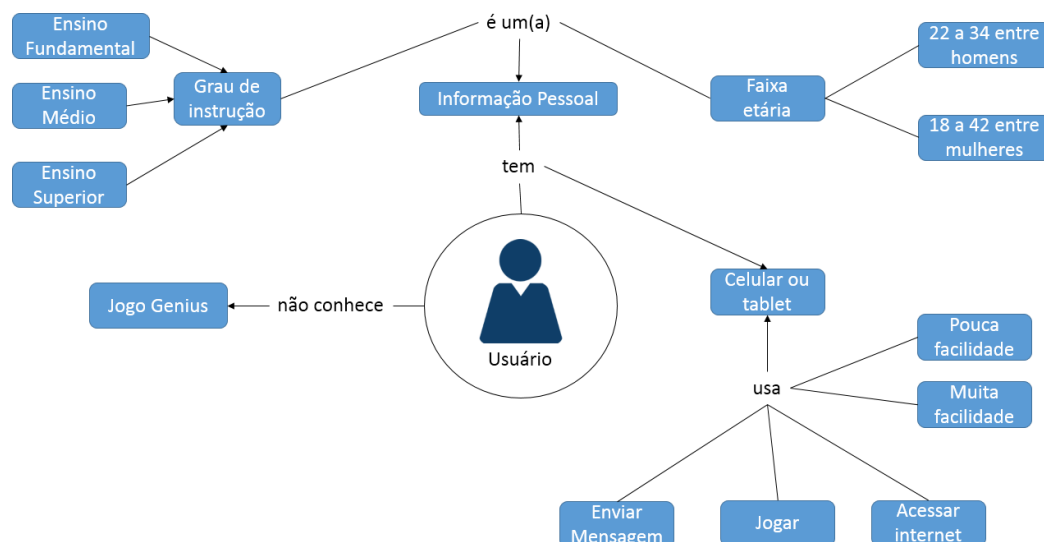


Figura 5.6: Modelo de Usuário

A segunda etapa da fase de Análise consiste na elaboração do Modelo de Domínio, cujo objetivo é identificar conteúdos, mídias, formas de comunicação e os requisitos necessários para o desenvolvimento do sistema. Como a aplicação não possui conteúdos necessários para a criação deste modelo, esta etapa foi omitida.

A última etapa corresponde ao Modelo de Sentidos, onde é informado os sentidos que podem ser utilizados na aplicação, além de verificar se existem restrições sensoriais por parte da aplicação e/ou dos usuários. Para isto, como dito anteriormente, foi-se utilizado algumas perguntas do questionário aplicado para uma melhor compreensão dos sentidos dos usuários. As perguntas e suas respectivas respostas foram:

1. Você tem problema de visão? Se sim, qual?

A Figura 5.7 mostra quais problemas de visão os usuários possuem.

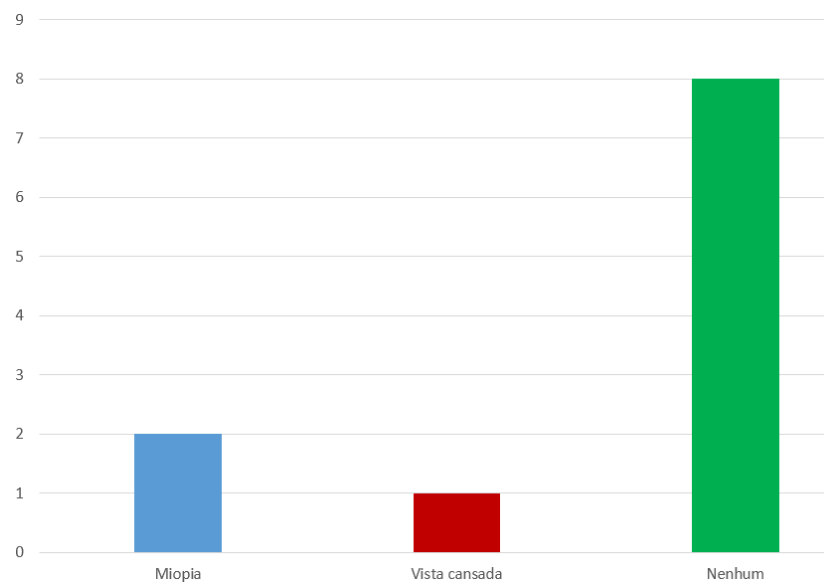


Figura 5.7: Problemas de visão relatados pelos usuários

2. Existe alguma cor que incomoda ao olhar? Se sim, qual?

A Figura 5.8 mostra quais cores incomodam mais a visão dos usuários.

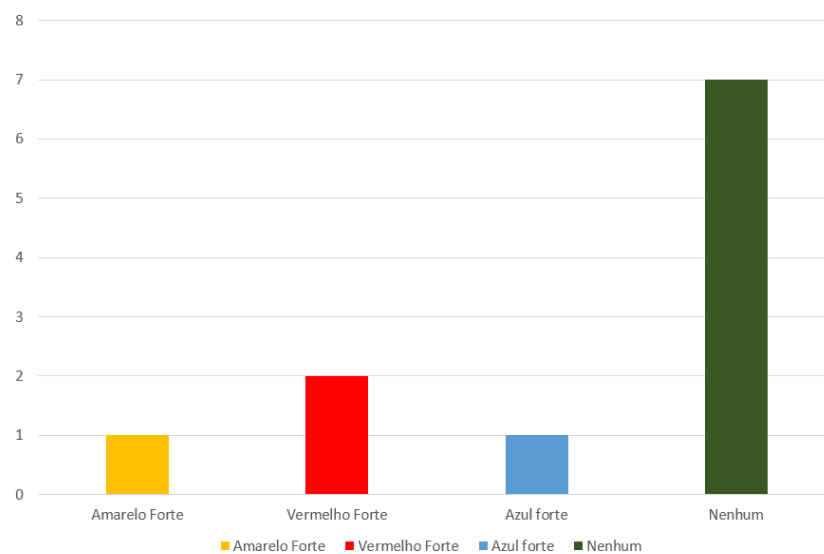


Figura 5.8: Cores que incomodam ao olhar

3. Você sabe o que é sinestesia?

A Figura 5.9 mostra a porcentagem dos usuários que conhecem a sinestesia.

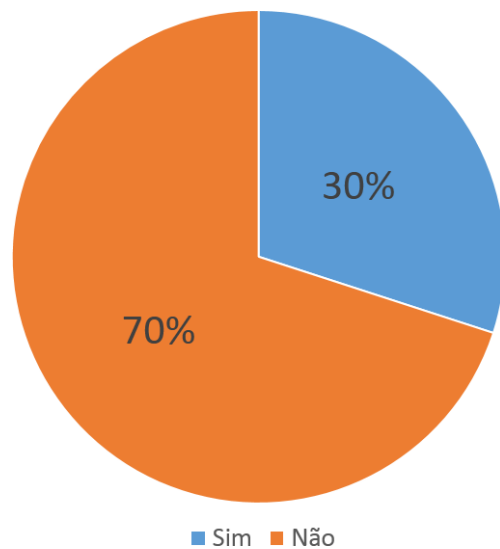


Figura 5.9: Porcentagem de usuários que conhecem a sinestesia

4. Caso conheça, você é um sinesteta? Se sim, qual sua habilidade?

A Figura 5.10 mostra quais características sinestésicas os usuários possuem.

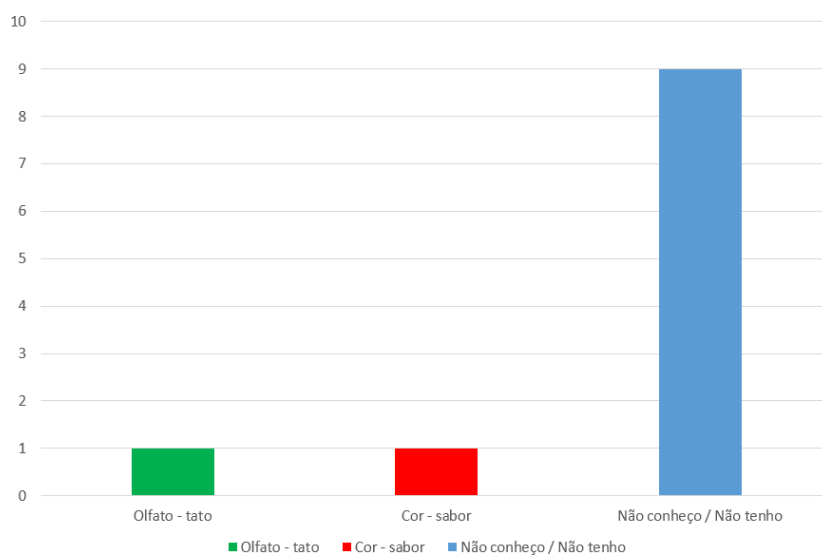


Figura 5.10: Tipos de sinestesia que os usuários possuem

5. Vibração do som incomoda você?

A Figura 5.11 mostra qual a porcentagem de usuários que se incomodam com a vibração do som.

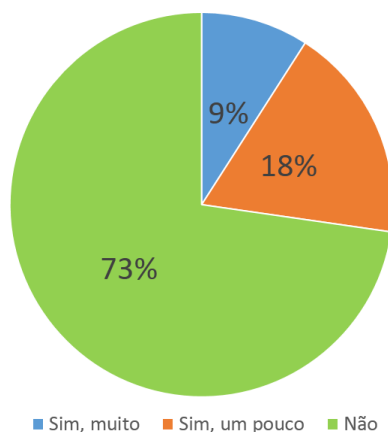


Figura 5.11: Vibração como incômodo

A partir da análise dos dados obtidos, foi construído o Modelo dos Sentidos, que pode ser visualizado na Figura 5.12.

Com o Modelo dos sentidos finalizado, foi possível partir para a segunda fase, a Fase de Conceito.

5.2 Fase de Conceito

A fase de conceito consiste na elaboração do Modelo de Apresentação, ou seja, a toda a esquemática da aplicação. Para isto, foi utilizado os dados obtidos através dos Modelos de Usuário, Domínio e Sentidos.

A partir do Modelo de Usuário, foi possível extrair que os usuário possuem uma faixa etária bastante variada, assim como seus graus escolares. Além disto, eles não possuem conhecimento do jogo Genius, mas utilizam o dispositivo móvel como plataforma de jogos. Com estes dados, além da informação de que alguns possuem pouca experiência

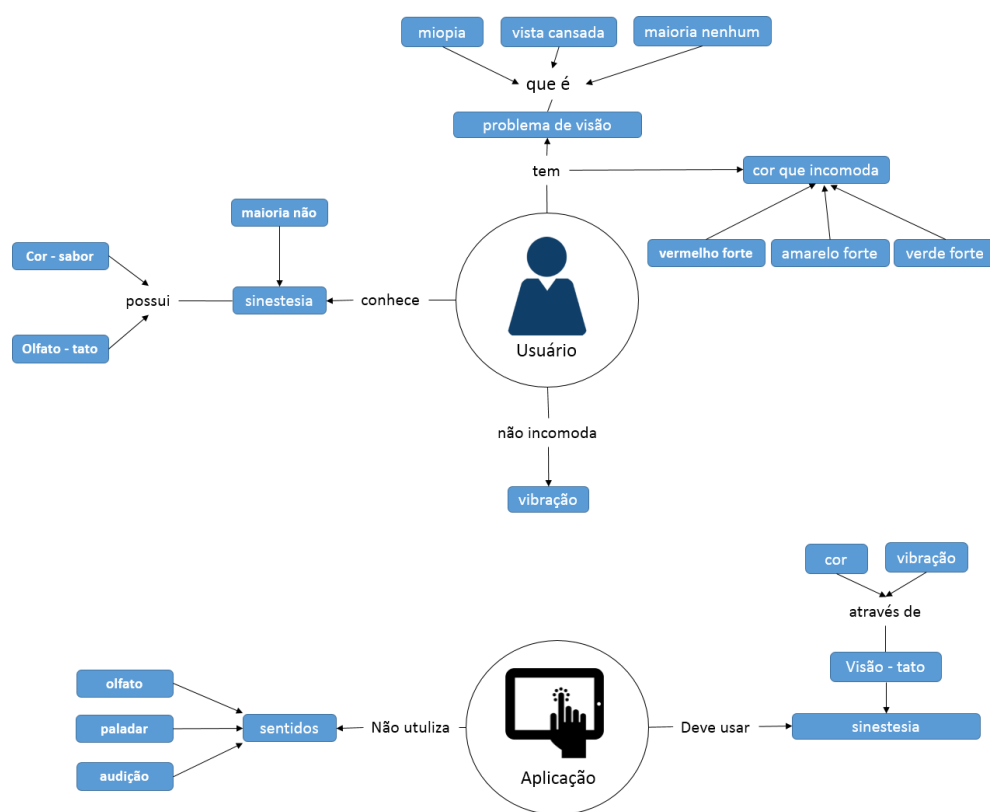


Figura 5.12: Modelo dos Sentidos

com dispositivos móveis, foi levantado que deveria-se criar uma interface simples, que faça com que o usuário consiga jogar o jogo sem muitos passos e de forma intuitiva.

Já na análise do Modelo dos Sentidos, entendeu-se que os usuários não possuem nenhuma forma de daltonismo ou restrições de visões de qualquer cor, apenas foi indicado que cores muito fortes (como o vermelho, amarelo e verde) não deveriam ser usadas. No caso das vibrações a serem utilizadas na aplicação, não haveria nenhuma restrição. Nesta etapa conceitual, apenas foi apenas concebido que deveria existir um dispositivo físico capaz de realizar as vibrações.

Por último, foi gerado o Modelo de Apresentação a partir do que foi exposto e nos modelos anteriores e a partir dos requisitos da aplicação. Foi também nesta fase que o jogo foi intitulado, sendo chamado de "Genius Vibe", em relação as vibrações do jogo.

O modelo de Apresentação pode ser visualizado da Figura 5.13 até a Figura 5.16. A Figura 5.13 representa a primeira tela da aplicação, a Figura 5.14 a segunda tela, a Figura 5.15 a terceira e a Figura 5.16 a quarta tela, na qual há uma ligação com a primeira.

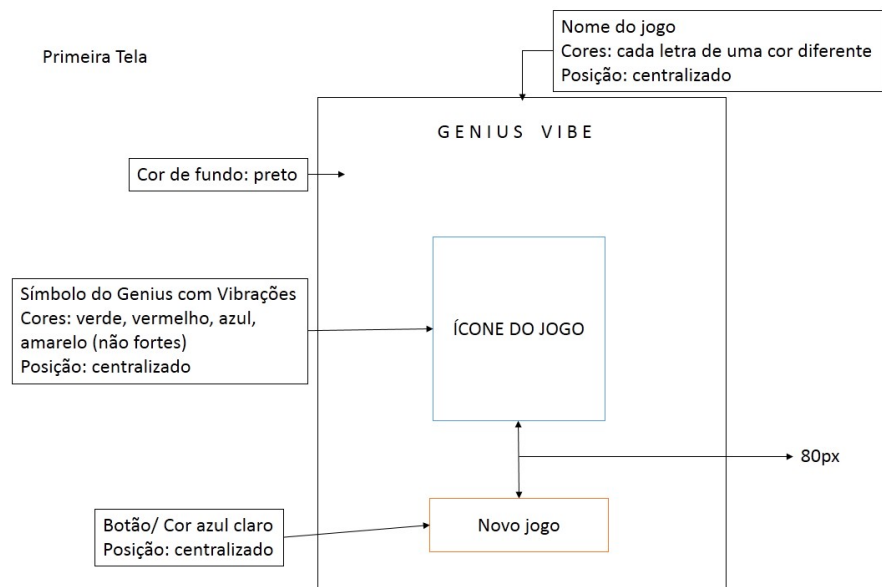


Figura 5.13: Modelo de apresentação da primeira tela

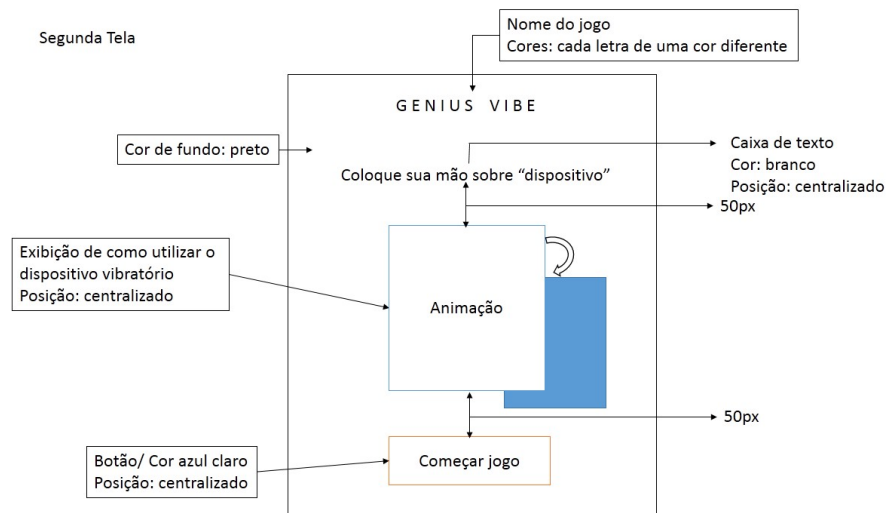


Figura 5.14: Modelo de apresentação da segunda tela

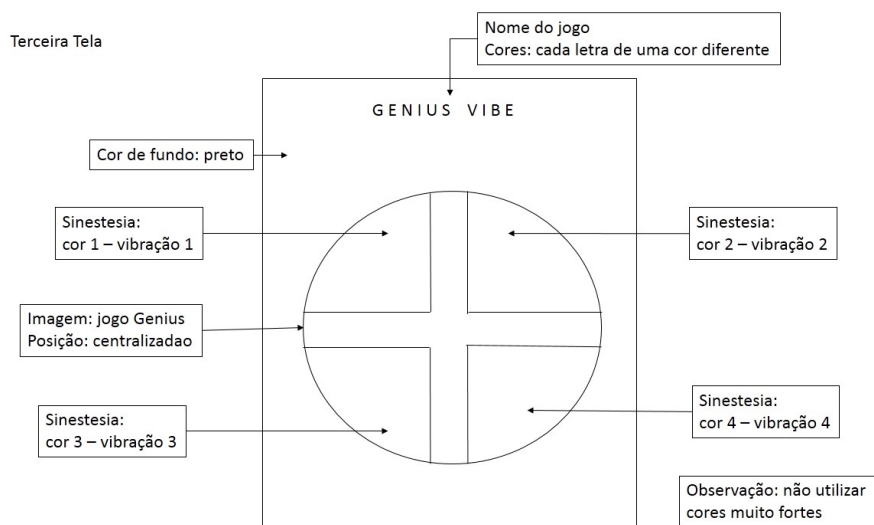


Figura 5.15: Modelo de apresentação da terceira tela

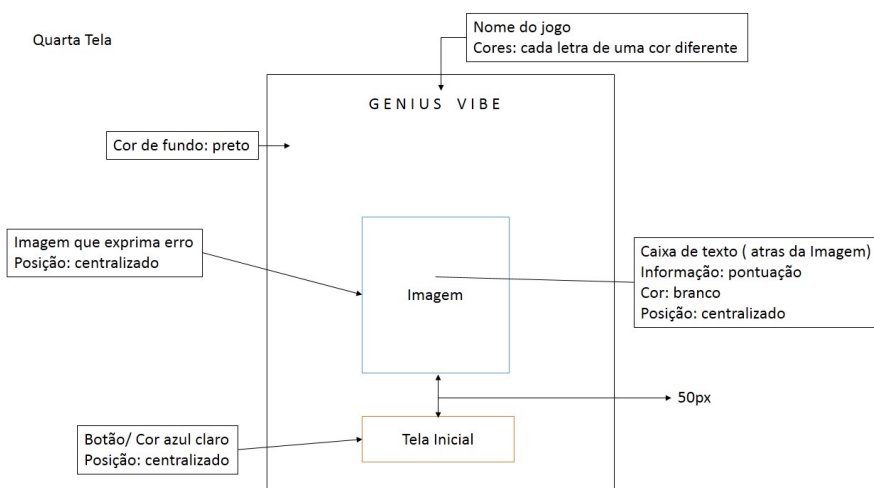


Figura 5.16: Modelo de apresentação da quarta tela

5.3 Fase de Desenvolvimento e Prototipagem

Com o Modelo de Apresentação finalizado, foi possível o desenvolvimento da interface e da aplicação em si. Ao desenvolver a interface, três pontos mereciam destaque: o dispositivo de vibração, as cores a serem utilizadas para a sinestesia e as vibrações que elas representavam. Nestes três pontos, usuários testes com deficiência auditiva foram

de extrema importância para a formação desses elementos da interface.

Por não existirem dispositivos vibratórios configuráveis de fácil acesso e baixo custo, foi-se utilizado uma caixa de som que pudesse ser transportada de maneira fácil, possível de se conectar a smartphones e tablets e que possuísse uma potência alta para emitir as vibrações. Desta forma, foi efetuado um teste com a caixa de som JBL modelo 2891049, com potência nominal de 3,3 W e resposta em frequência de 160 Hz a 20 kHz exibida na Figura 5.17. O teste consistiu na preparação de amostras de diversos sons de diversas frequências, e realizado com três usuários de teste surdos. Os usuários posicionavam a mão sobre a caixa de som, as vibrações eram emitidas e perguntado se eles conseguiam sentir bem as vibrações emitidas. Todos os três usuários afirmaram, mostrando que este dispositivo poderia ser usado na aplicação.



Figura 5.17: Caixa de som JBL utilizada para realizar as vibrações

O segundo ponto a ser examinado foram as vibrações a serem utilizadas na aplicação. Como o jogo Genius necessita de quatro cores, logo, eram necessárias quatro vibrações distintas a serem desenvolvidas. Desta maneira, foram criadas novas amostras de vibrações classificadas de acordo com os tipos de ondas (senoidais, quadráticas, triangulares e dentes de serra) e frequências (20, 60, 100, 200, 400, 600, 1000 Hz). Estas vibrações

foram testadas com cinco usuário surdos que as classificaram em muito bom, bom, fraco e muito fraco. Ao final desta classificação, foram selecionadas as melhores avaliações de cada tipo de onda: senoidal com frequência de 200 Hz, dentes de serra com frequência de 60 Hz, triangular com frequência de 100 Hz e quadrática com frequência de 100 Hz.

Após esta seleção, ainda era necessário a verificação se as quatro vibrações selecionadas eram distinguíveis entre si. Novamente, testes foram realizados com cinco surdos para verificar se havia diferença entre as vibrações. Na primeira rodada destes testes foi constatado que havia pouca diferença entre algumas vibrações e foi reportado pelos usuários que pausas sonoras ajudariam melhor a distinguir tais vibrações. Então, duas das quatro vibrações foram reformuladas com pausas e expostas numa segunda rodada de testes, na qual todos os usuários confirmaram a diferença entre as vibrações.

O terceiro ponto analisado eram as cores que representariam as vibrações selecionadas anteriormente. Do ponto de vista do desenvolvedor, não há uma atribuição correta das cores às vibrações, pois são características muito específicas dos usuários. Então era necessário uma análise amostrar para encontrar algum padrão entre os dois valores. Desta forma, foi realizado um teste com dez usuários, no qual era demonstrado cada uma das quatro vibrações anteriormente escolhidas e questionado qual cor ele considerava que aquela vibração representaria. Os resultados obtidos podem ser visualizados da Figura 5.18 a Figura 5.21, onde a Figura 5.18 representa os resultados obtidos sobre as vibração dentes de serra, a Figura 5.19 a vibração senoidal, a Figura 5.20 as vibração quadrática e a Figura 5.21 as vibração triangular. A partir da análise deste resultados, foi possível obter uma correlação, ou seja, uma maior relação sinestésica, entre as vibrações e as cores, relacionado-as em:

- Dente de serra - Vermelho;
- Senoidal - Azul;
- Quadrática - Verde;

- Triangular - Amarela.

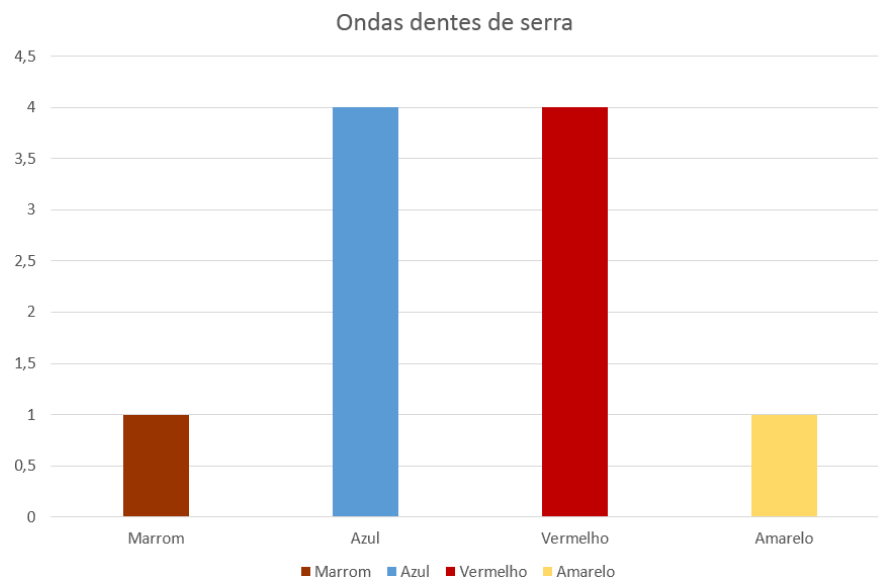


Figura 5.18: Relação entre as cores e as vibrações do tipo dente de serra

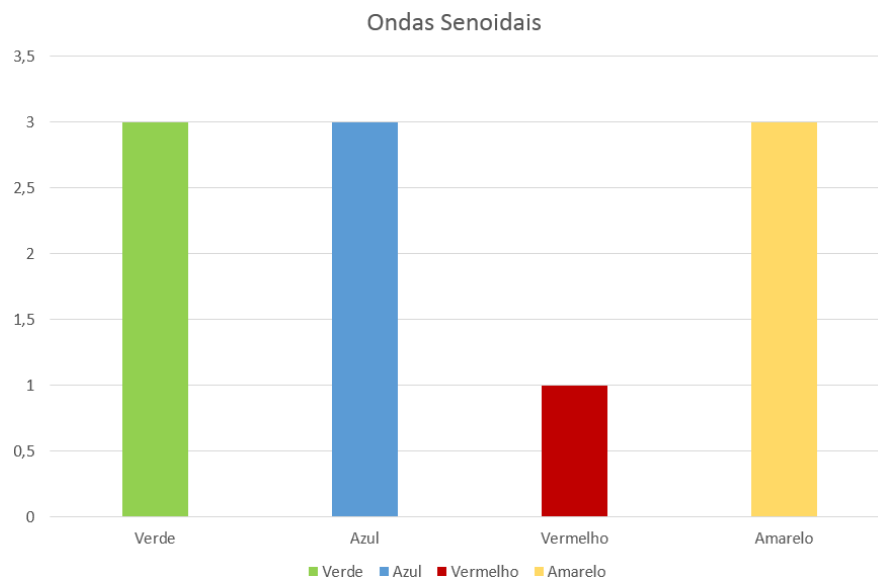


Figura 5.19: Relação entre as cores e as vibrações do tipo senoidal

Finalizado os três pontos anteriores, foi possível o desenvolvimento completo da interface, utilizando-se como base o Modelo de Apresentação. A Figura 5.22 exibe

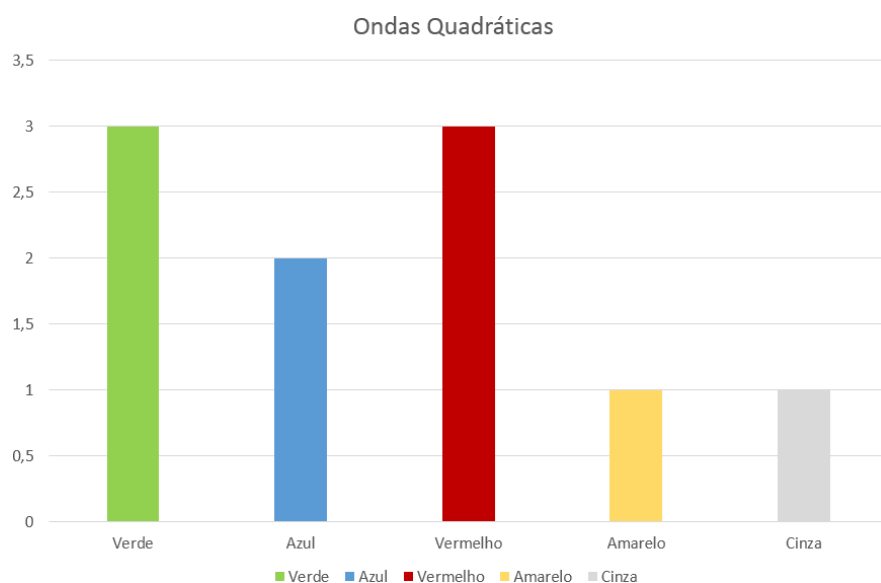


Figura 5.20: Relação entre as cores e as vibrações do tipo quadrática

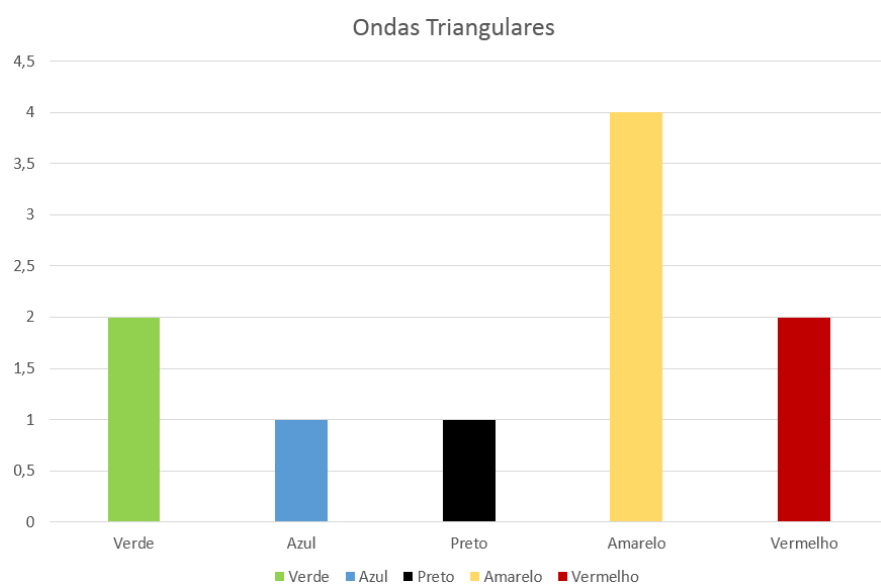


Figura 5.21: Relação entre as cores e as vibrações do tipo triangular

o resultado final da interface, no qual a Figura 5.22 (a) representa a tela inicial da aplicação, a Figura 5.22 (b) a segunda tela, a Figura 5.22 (c) a terceira tela, a Figura 5.22 (d) a tela final.

Ao final desta fase foi criado um protótipo da aplicação que foi utilizado na fase

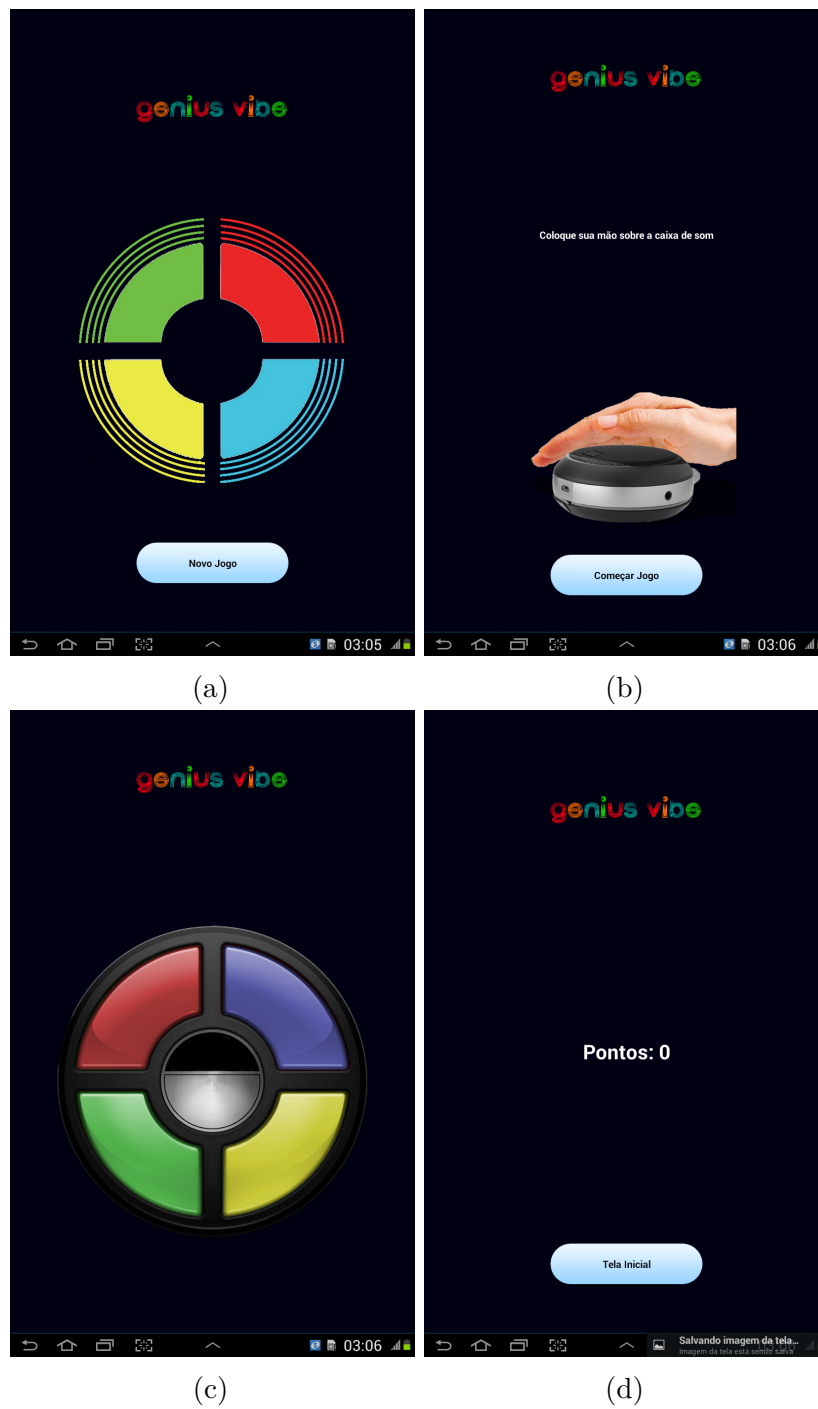


Figura 5.22: Interface do Genius Vibe

final, a fase de testes.

5.4 Fase de Testes

A partir da finalização do protótipo foi possível iniciar a Fase de Testes. Esta fase consistiu na utilização da aplicação "Genius Vibe" por usuários reais e na aplicação de um questionário para avaliação do mesmo.

Como mencionado anteriormente, a avaliação da sinestesia na aplicação deveria ser feita através de exames neurológicos para verificar se as regiões cerebrais que a aplicação pretende estimular estavam sendo realmente estimuladas. No caso do "Genius Vibe", as regiões a serem verificadas seriam o córtex visual V4, responsável pelas cores, e o córtex somatossensorial, responsável pela detecção das sensações tácteis. Por ser um processo custoso, de difícil acesso e entendimento, optou-se pela avaliação da experiência de usuário, através da utilização da ferramenta *AttrakDiff* ([Isleifsdottir e Larusdottir, 2008](#)) ([Attrakdiff, 2015](#)). Esta ferramenta tem como objetivo avaliar a percepção das qualidades de produtos ou sistemas na perspectiva dos usuários. Dessa forma, é possível estudar os aspectos de sua experiência em um contexto aplicado que retrata não apenas aspectos pragmáticos, mas também impressões, reações e sensações. Nessa abordagem, não só os aspectos funcionais do software são importantes, mas também a interação se caracteriza, por exemplo, estimulante, se apoia e permite a criatividade e que tipo de valor simbólico ela possui.

O *AttrakDiff*, através de questionários, observa quatro características na avaliação de produtos: Qualidade Pragmática (PQ), Qualidade Hedônica – Estímulo (HQ-S), Qualidade Hedônica – Identidade (HQ-I), e Atratividade (ATT). A PQ refere-se à usabilidade do produto, ou seja, se os usuários estão conseguindo atingir seus objetivos usando o produto; a HQ-S se preocupa com o quanto o produto é inovador, interessante, e se tem funções conteúdo, interação e estilos de apresentação estimulantes; a HQ-I

indica o quanto o produto em análise permite que o usuário se identifique com ele; e, por último, a ATT descreve o valor global do produto baseado na qualidade de percepção. Desta forma pode-se ter uma ideia geral da experiência de usuário do sistema e também uma forma de analisar se as características sinestésicas presentes na interface foram bem recebidas pelos usuários.

O desafio nesta fase foi adaptar a ferramenta *Attrakdiff*, que é originalmente escrito em língua inglesa, para uma forma que os deficientes auditivos pudessem entender. Isto porque na Linguagem Brasileira de Sinais (Libras) algumas palavras que são comuns na Língua Portuguesa não existem, sendo substituídas por palavras sinônimas ou que possuem um contexto muito similar. Assim, as duplas de aspectos utilizadas pela ferramenta, que originalmente são descritas em língua inglesa, foram primeiramente, traduzidas para a língua portuguesa. Logo após, cada dupla de palavras que representa sentimentos/situações de usuário foram entregues para uma intérprete surda que analisou todos os pares de palavras do *Attrakdiff*. Após essa análise foi possível adaptar pares de palavras para o contexto do deficiente auditivo e retirar algumas que não possuíam significado para eles. Os pares de palavra utilizados podem ser encontrado no Apêndice A.2, e os pares de palavras retirados foram:

- *Cumbersome* - *Straightforward* (Direto - Indireto);
- *Unpredictable* - *Predictable* (Previsível - Imprevisível);
- *Cautious* - *Bold* (Cauteloso - Ousado).

Com essa etapa finalizada, a aplicação pôde, enfim, ser avaliada pelos usuários. Foram um total de onze usuários que realizaram o teste, onde cada usuário posicionava a mão sobre a caixa de som para sentir as vibrações e jogava em um dispositivo móvel (Tablet Samsung Galaxy Note 10.1 N8020) com a outra mão, como pode ser visto na Figura 5.23, onde é mostrado um usuário utilizando a aplicação.

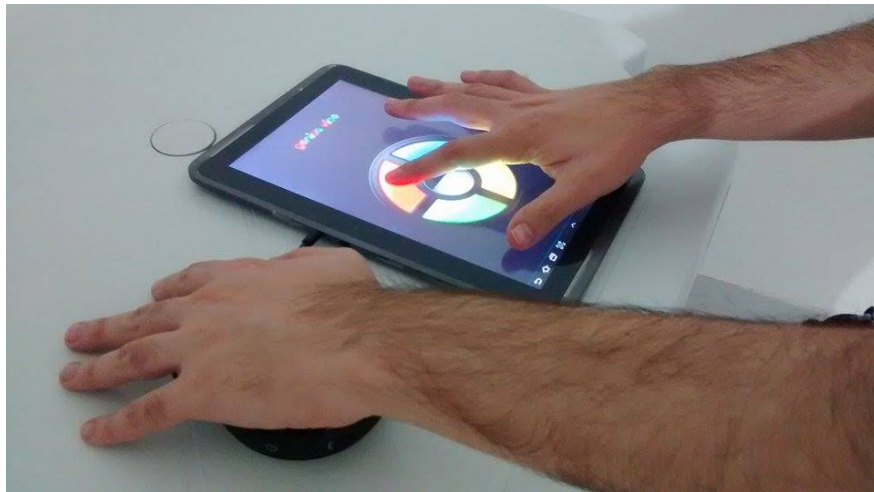


Figura 5.23: Teste com usuário real

Capítulo 6

Discussão

A análise obtida pelos resultados da ferramenta *Attrakdiff*, assim como a análise do processo proposto neste trabalho e da sinestesia serão apresentados nesta seção.

O primeiro ponto a ser analisado é o processo utilizado, o qual se adaptou bem as necessidades da aplicação. Todos os artefatos gerados durante cada etapa tiveram grande importância no entendimento da interface para as etapas subsequentes. Em especial, deve-se destacar o Modelo dos Sentidos, que é uma inovação no processo de design da interface, permitindo que os projetistas da interface tivessem conhecimento de como os sentidos a serem utilizados na interface atuam no usuários e na aplicação, e suas restrições. Isto permitiu uma maior facilidade durante a fase de Conceito e a elaboração do Modelo de Apresentação.

Deve-se ser destacado, ainda nesta análise do processo, a participação do usuário de forma constante durante a fase de Desenvolvimento e Prototipagem. Por conta das características sinestésicas das interfaces que podem ser criadas utilizando este modelo de processo, a introdução dos usuários durante esta penúltima fase, permitiu a entendê-los não só em termos de habilidades, que é o caso do Modelo de Usuário, mas também na percepção daqueles que irão utilizar o sistema. Ou seja, se as características sinestésicas que estão sendo propostas pela interface realmente se conectam, o que pode

ter contribuído para uma melhor fase de Testes.

Com a utilização da ferramenta *Attrakdiff* durante a fase de testes, foi possível ter uma noção precisa da experiência de usuário obtida com a utilização da aplicação. A Figura 6.1 mostra os primeiros resultados obtidos pela ferramenta. Nesta figura são exibidos todos os pares de palavras utilizados no questionário, classificados de -3 (que caracteriza a aplicação como a palavra mais a esquerda) a 3 (que caracteriza a aplicação como a palavra mais a direita). Para cada par de palavras existe um ponto em cada linha, e cada ponto representa a média dos resultados dos onze voluntários para aquele par de palavras, e a linha amarela representa a aplicação "Genius Vibe". Observa-se, também, que os pares de palavras são agrupados segundo as quatro características mencionadas anteriormente; Pragmatismo (PQ), Identidade (HQ-I), Estímulo (HQ-S) e Atratividade (ATT).

Em termos de pragmatismo (PQ), pode-se perceber a partir do primeiro par de palavras, "*technical-human*" (do inglês, técnico-humano). o Genius Vibe é classificado como humano, apesar de todo o aparato tecnológico envolvido na aplicação. Pode-se, então, inferir que a utilização da mistura dos sentidos na aplicação tornou-a de uma natureza mais "humana" e menos "máquina", objetivo este das formas de interação atuais. Percebe-se ainda que a aplicação não foi classificada como confusa, ou seja, a utilização das vibrações não causou um impacto que pudesse atrapalhar o desempenho do jogo.

Já no quesito Identidade (HQ-I), ressalta-se uma maior tendência para as palavras "*connective*" (do inglês, conectivo) e "*brings me closer*" (do inglês, me aproxima das pessoas). O que mostra que, mesmo sendo mais humano, a aplicação ainda demonstra uma conectividade do usuário com o sistema computacional.

Em termos de Estímulo (HQ-S), a aplicação foi classificada como criativa (creative) e cativante (captivating), dando a ideia de que a aplicação e as reações sinestésicas tornam a experiência do usuário mais estimulantes.

Por último, analisando-se o quesito Atratividade (ATT), observa-se que a aplicação

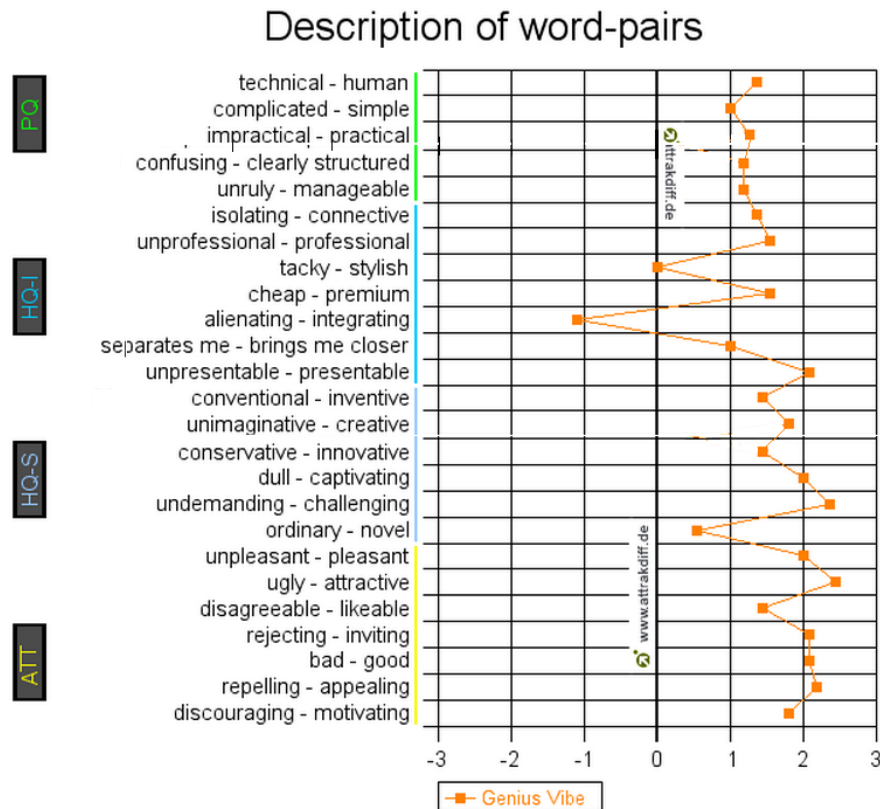


Figura 6.1: Pares de palavras gerados pelo *AttrakDiff*

foi classificada com as palavras do lado direito, ou seja, agradável (*pleasant*), atrativo (*attractive*), convidativo (*inviting*), motivante (*motivating*) e bom (*good*), o que mostra o poder de atratividade da aplicação perante os usuários.

O segundo resultado obtido através da ferramenta *Attrakdiff* é exibido na Figura 6.2, que apresenta a média dos resultados gerais nos quesitos anteriormente citados. Percebe-se que a aplicação foi mais bem classificada como estimulante (HQ-S) e atrativa (ATT), isto em parte pela utilização dos elementos vibratórios e consequentemente das características sinestésicas do Genius Vibe.

O último resultado fornecido pela ferramenta é exibido na Figura 6.3, o qual retrata uma visualização focada no pragmatismo e hedonismo. A letra "P" na figura representa a aplicação e o retângulo laranja o nível de confiança no qual a aplicação está classificada.

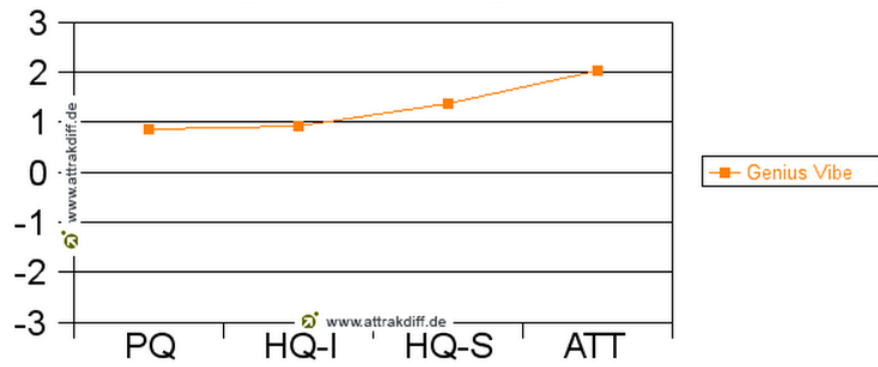


Figura 6.2: Média dos resultados do *AttrakDiff*

Nele, pode-se observar que o Genius Vibe foi classificado mais como desejado e auto-orientado do que orientado a tarefas.



Figura 6.3: Análise em relação as características hedônicas e pragmáticas da aplicação

Desta forma, pode-se perceber que a aplicação com características sinestésicas se mostraram atraentes e desejáveis pelos usuários, o que confirma que a sinestesia tem um grande potencial nas interfaces de usuários.

6.1 Considerações Finais e Contribuições

Neste trabalho, o principal objetivo foi apresentar a sinestesia como uma forma de interação em interfaces de usuário.

Para alcançar este objetivo, primeiramente, feito um estudo mais profundo da sinestesia em si, o que mostrou que esta característica é rara nos seres humanos. Então, por que estudar esta peculiaridade? Como descrito anteriormente, o cérebro humano possui esta capacidade, mesmo em pessoas que não apresentam a condição médica de sinestesia e de forma menos acentuada. Então havia a possibilidade de explorar a sinestesia no contexto computacional.

O segundo passo foi realizar uma revisão literária em busca de trabalhos que abordassem a sinestesia como forma de interação. A partir daí, foi possível perceber a pouca importância dada a este assunto, com grandes pesquisas na área de neurociência, mas poucos trabalhos relacionados a sistemas computacionais. Assim, nos trabalhos analisados foi possível perceber algumas lacunas em relação a um processo que incorpora-se a sinestesia, independente do tipo de sinestesia que propõe-se incorporar, na interface e testes reais com aplicações que utilizassem a sinestesia em suas interfaces, além de uma análise desta interação.

Visto isto, foi proposto um modelo de processo que pode ajudar os projetistas de interface a adaptar as formas sinestésicas que estarão presentes na interface do sistema computacional. Deve-se destacar neste processo, a criação e incorporação do Modelo de Sentidos na primeira fase do modelo de processo, o que permitiu um melhor entendimento dos sentidos dos usuários e como pode-se interagir com a aplicação em

desenvolvimento. Outro ponto a ser destacado é o foco no usuário durante o processo de desenvolvimento da interface, tendo como base as formas de percepção do usuário durante o desenvolvimento das mídias que serão utilizadas na interface.

Para a validação do modelo de processo proposto, foi criada uma aplicação para usuários com deficiência auditiva, baseada no jogo Genius, no qual houve a utilização da sinestesia vibração - cor. O processo se adaptou bem ao desenvolvimento da interface, e ao fim foram feitos testes com usuários reais, onde foi utilizado como forma de avaliação da experiência de usuário a ferramenta *Attrakdiff*. Os principais resultados mostraram que a aplicação possui um nível de atratividade e aceitação por parte dos usuários elevada, grande parte por conta da utilização de dispositivos que misturam os sentidos dos usuários que demonstraram o potencial dessa forma de interação.

Dado o exposto, foi possível contemplar os objetivos do trabalho, desenvolvendo um processo que possibilitou a incorporação da sinestesia em interfaces computacionais e testes reais com usuários, pontos estes que possuíam lacunas nos trabalhos relacionados encontrados.

6.2 Trabalhos Futuros

Os trabalhos que podem ser realizados a partir do que foi exposto nesta pesquisa são amplos e variados. Em um primeiro momento, propõe-se a análise do modelo de processo proposto em outras aplicações que utilizem características sinestésicas distintas da que foi utilizada neste trabalho. Isto pode melhorar o entendimento da sinestesia como um todo e propor alterações que possam melhorar o modelo de processo.

Propõe-se ainda o estudo da sinestesia aplicada em interfaces de sistemas computacionais para nichos específicos de usuário. Por exemplo, a incorporação da sinestesia em interfaces para sistemas computacionais voltados para crianças contém alguma melhoria em relação as interfaces convencionais? O mesmo questionamento pode ser feito para

usuários de idades muito avançadas, que possuem seus sentidos mais enfraquecidos, e outros tipos de deficiência, tais como a auditiva.

Por último, propõe-se investigar uma melhor forma de avaliar a sinestesia na aplicação, propondo sugestões viáveis para investigar se a sinestesia ocorre neurologicamente falando.

Todas estas possibilidades mostram o quão adaptativo a sinestesia pode ser e quão importante é de se estudar esta característica peculiar em sistemas computacionais, tendo em vista a evolução das interfaces de sistemas computacionais.

Referências Bibliográficas

- Agrawal, A., Hidayat, W., Ravi, A., Stamnes, M., Yin, M., e Rosner, D. (2015). Synku: Exploring the production of sensory objects. Em *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pgs. 2121–2126. ACM.
- Arhippainen, L. (2003). Capturing user experience for product design. *The 26th*.
- Atkinson, R. L. (2002). *Introdução à psicologia de Hilgard*. Artmed.
- Attrakdiff (2015). Attrakdiff.
- Batista, C. R. et al. (2008). Modelo e diretrizes para o processo de design de interface web adaptativa.
- Borchers, J. O. (2001). A pattern approach to interaction design. *Ai & Society*, 15(4):359–376.
- BRAIDA, F. e NOJIMA, V. L. (2008). Design para os sentidos e o insólito mundo da sinestesia. *INSÓLITO, MITOS, LENDAS, CRENÇAS*, pg. 220.
- Brunetto, G. (2000). Modelando bases de conhecimento hipermídia utilizando mapas conceituais. Em *Anais do XX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação*. SBC.
- Caznok, Y. B. (2004). *Música: entre o audível e o visível*. Unesp.

- Chun-ok, K. (2002). A study on the application of synesthesia in web banner advertising design. *Journal of the Asian Design International Conference*, 1(9).
- Cytowic, R. E. (1995). Synesthesia: Phenomenology and neuropsychology. *Psyche*, 2(10):2–10.
- Cytowic, R. E. (2002). Touching tastes, seeing smells—and shaking up brain science. *Cerebrum*, 4(3):7–26.
- Cytowic, R. E. e Eagleman, D. (2009). *Wednesday is indigo blue: Discovering the brain of synesthesia*. MIT Press.
- Day, S. A. (2015). Demographic aspects of synesthesia.
- D’Hertefelt, S. (2000). Emerging and future usability challenges: designing user experiences and user communities. *InteractionArchitect. com*, 2.
- Eklund, J. e Zeiliger, R. (1996). Navigating the web: Possibilities and practicalities for adaptive navigational support. Em *Proceedings of AUSWEB*, volume 96.
- Foner, L. N. (1999). Artificial synesthesia via sonification: a wearable augmented sensory system. *Mobile Networks and Applications*, 4(1):75–81.
- Fowler, M. (2015). Presentation model.
- Goller, A. I., Otten, L. J., e Ward, J. (2009). Seeing sounds and hearing colors: an event-related potential study of auditory–visual synesthesia. *Journal of cognitive neuroscience*, 21(10):1869–1881.
- Guimarães, A. P. N. (2014). Recomendações para avaliação da experiência de usuário em aplicativos móveis para surdos. Master’s thesis, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

- Haikara, J. (2007). Usability in agile software development: extending the interaction design process with personas approach. Em *Agile processes in software engineering and extreme programming*, pgs. 153–156. Springer.
- Hennenman, A. (2013). A perda auditiva pode acelerar o declínio cognitivo em idosos.
- Ishii, H., Lakatos, D., Bonanni, L., e Labrune, J.-B. (2012). Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials. *interactions*, 19(1):38–51.
- Isleifsdottir, J. e Larusdottir, M. (2008). Measuring the user experience of a task oriented software. Em *Proc. of the 5th COST294-MAUSE Open Workshop on Valid Useful User Experience Measurement (VUUM)*. Reykjavik, Island, pgs. 97–102. Citeseer.
- Koch, N. P. d. (2001). *Software engineering for adaptive hypermedia systems*. PhD thesis, PhD Thesis, Verlag Uni-Druck, Munich.
- Köhler, W. (1929). Gestalt psychology.
- Löwgren, J. e Stolterman, E. (2004). Thoughtful interaction design.
- Medeiros, A. C. S. (2014). Processo de desenvolvimento de gestos para interfaces de usuário. Master’s thesis, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.
- Microsoft (2015). Wpf apps with the model-view-viewmodel design pattern.
- Nishida, S. (2015). Sentido somático - apostila do curso de fisiologia.
- Norman, D. A. (1986). Cognitive engineering. *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*, 3161.
- Plouznikoff, N., Plouznikoff, A., e Robert, J.-M. (2005). Artificial grapheme-color synesthesia for wearable task support. Em *Wearable Computers, 2005. Proceedings. Ninth IEEE International Symposium on*, pgs. 108–111. IEEE.

- Preece, J. (2005). Design de interação: além da interação homem-computador./jennifer preece, yvonne rogers e helen sharp; trad. viviane possamai.
- Prevedello, C. F. (2011). Design de interação e motivação nos projetos de interface para objetos de aprendizagem para ead.
- Raffle, H. S., Parkes, A. J., e Ishii, H. (2004). Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory. Em *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pgs. 647–654. ACM.
- Ramachandran, V. S. e Hubbard, E. M. (2001). Synaesthesia—a window into perception, thought and language. *Journal of consciousness studies*, 8(12):3–34.
- Saffer, D. (2009). *Designing for interaction: creating innovative applications and devices*. New Riders.
- San Pedro, J. (2013). Synesthetic enrichment of mobile photography. Em *Proceedings of the 2013 ACM international workshop on Immersive media experiences*, pgs. 41–44. ACM.
- Schiffman, H. R. (2001). *Sensation and perception: An integrated approach*. John Wiley & Sons.
- Smilek, D., Dixon, M. J., Cudahy, C., e Merikle, P. M. (2002). Synesthetic color experiences influence memory. *Psychological science*, 13(6):548–552.
- Souza, F. G. (2006). Um estudo de padrões em projeto de interface homem-máquina.
- Tavares, T. A., Tanner, P., Retore, A., Fernandes, J. L., Vaz, H., Schofield, D., e Graci, C. (2013). Chromesthetic painting interactions: working with synesthesia and interactivity. I Simpósio dos pesquisadores da Nova Inglaterra, 2013.
- Thackara, J. (2001). The design challenge of pervasive computing. *interactions*, 8(3):46–52.

- Werner, H. e Wapner, S. (1952). Toward a general theory of perception. *Psychological review*, 59(4):324.
- Winograd, T. (1997). *From computing machinery to interaction design. The nex fifty years of computing*. Springer-Verlag.
- Xiaochen, Y., Xiaoyong, S., Ying, Z., e Deming, J. (2009). Multimodal interface design based on synaesthesia effect. Em *Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009. CAID & CD 2009. IEEE 10th International Conference on*, pgs. 1379–1384. IEEE.

Apêndice A

Questionários

Nesta seção são exibidos os questionários utilizados durante a pesquisa. O Apêndice A contém o questionário utilizado para criar o Modelo de Usuários e o Modelo de Sentidos. O Apêndice B contém o questionário de avaliação do Attrakdiff modificado para um melhor entendimento dos deficientes auditivos.

A.1 Questionário sobre o usuário

Questionário sobre o usuário

* Required

1. Sua idade: *

.....

2. Qual o seu sexo? *

Mark only one oval.

☐ Masculino

☐ Feminino

3. Qual grau escolar? *

Mark only one oval.

☐ Ensino Fundamental Incompleto

☐ Ensino Fundamental Completo

☐ Ensino Médio Incompleto

☐ Ensino Médio Completo

☐ Ensino Superior Incompleto

☐ Ensino Superior Completo

☐ Other:

4. Você tem facilidade usar celular ou tablet? *

Mark only one oval.

☐ Pouco

☐ Médio

☐ Muito

☐ Não Uso

5. O que você faz com seu tablet ou celular? *

Check all that apply.

☐ Envio mensagens

☐ Jogos

☐ Acesso internet

6. Você conhece o jogo Genius? *

Mark only one oval.

☐ Sim

☐ Não

7. Você ter problema de visão? *

Por exemplo, miopia, daltonismo, etc.

.....

8. Existe alguma cor que o incomoda ao olhar? Se sim, qual? *

Por exemplo, uma cor que causa dor de cabeça ou dor nos olhos.

.....

9. Você sabe o que é sinestesia? (interprete) *

Mark only one oval.

☐ Sim

☐ Não

10. Caso conheça, você é um sinesteta? Se sim, qual sua habilidade? *

Caso não seja um sinesteta, responda: Não.

.....

11. Vibração do som incomoda você? *

Mark only one oval.

☐ Sim, muito

☐ Sim, um pouco

☐ Não

Powered by



A.2 Questionário Attrakdiff

Questionário de avaliação

* Required

Sobre a utilização, assinale a bolha que você considera mais apropriada

1. Humano - não humano *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Humano	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	não humano

2. Não conectado - conectado *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Não conectado	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Conectado

3. Agradável-Desagradável *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Agradável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Desagradável

4. Tecnologia nova - tecnologia não nova *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Tecnologia nova	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	tecnologia não nova

5. Simples-Complicado *

Mark only one oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Simples	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Complicado

6. Profissional- Não profissional **Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Profissional	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Não profissional

7. Feio-Bonito **Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Feio	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Bonito

8. Fácil usar - Difícil usar **Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Fácil usar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Difícil usar

9. Interessante - Não interessante **Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Interessante	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Não interessante

10. Barato - Caro **Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Barato	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Caro

11. Me aproxima do computador - Não me aproxima do computador **Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Me aproxima do computador	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Não me aproxima do computador

12. **Me aproxima das pessoas-Me distancia das pessoas ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Me aproxima das pessoas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Me distancia das pessoas

13. **Não apresentável-Apresentável ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Não apresentável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Apresentável

14. **Rejeitável-Convidativo ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Rejeitável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Convidativo

15. **Sem imaginação-Criativo ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Sem imaginação	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Criativo

16. **Bom-Ruim ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Bom	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Ruim

17. **Confuso-Claramente estruturado ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Confuso	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Claramente estruturado

18. **Não me faz querer usar - Me faz querer usar ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Não me faz querer usar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Me faz querer usar

19. **Sistema novo - Sistema Velho ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Sistema novo	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Sistema Velho

20. **Chato-Desafiante ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Chato	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Desafiante

21. **Motivador-Desencorajador ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Motivador	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Desencorajador

22. **Fora do comum - Comum ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Fora do comum	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Comum

23. **Difícil de usar - Fácil de Usar ****Mark only one oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	
Difícil de usar	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Fácil de Usar

Powered by

