



# Design de audionavegação

Abordagens teóricas em ferramentas auditivas  
para orientação na mobilidade autônoma de  
pessoas com deficiência visual

SILVA FILHO, J.  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo



JALDOMIR DA SILVA FILHO

**Design de audionavegação**  
**Abordagens teóricas em ferramentas auditivas para**  
**orientação na mobilidade autônoma de pessoas com**  
**deficiência visual**

Exemplar revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade do autor e anuência da orientadora. A versão original, em formato digital, ficará arquivada na biblioteca da faculdade. São Paulo, 23 de maio de 2024.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Design

Orientadora: Profa. Dra. Denise Dantas

São Paulo  
2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho para fins de estudo e pesquisa, por qualquer meio convencional ou eletrônico, desde que citada a fonte.

Catalogação na publicação  
Serviço Técnico de Biblioteca  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Silva Filho, Jaldomir

Design de audionavegação: abordagens teóricas em ferramentas auditivas para orientação na mobilidade autônoma de pessoas com deficiência visual / Jaldomir da Silva Filho; orientadora Denise Dantas. - São Paulo, 2024.

322.

Tese (doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Design.

1. Design. 2; Orientação Espacial (percepção). 3. Síntese de Fala. 4. Pessoas Com Deficiência Visual. I. Dantas, Denise, orient. II. Título.

SILVA FILHO, J. **Design de audionavegação: abordagens teóricas em ferramentas auditivas para orientação na mobilidade autônoma de pessoas com deficiência visual.** 2024. 322 p. Tese (Doutorado em Ciências). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo. 2024.



Design de audionavegação: Abordagens teóricas em ferramentas auditivas para orientação na mobilidade autônoma de pessoas com deficiência visual

© 2024 by Jaldomir da Silva Filho

*Licensed under Attribution-ShareAlike 4.0 International.*









***Teste ideias, experimentando e observando.  
Utilize como base as ideias que passam no teste.  
Rejeite as que fracassam.  
Siga as evidências onde quer que elas o levem, e questione tudo.  
Leve essas regras a sério, e o Cosmos será seu!***

*Neil deGrasse Tyson. Cosmos: mundos possíveis. 2020*



## Resumo

No cenário contemporâneo, a concepção de ferramentas e serviços para a elaboração de ambientes urbanos apresenta desafios significativos em termos de orientação e acessibilidade para os usuários. Em resposta a essa demanda, o design de sinalização e wayfinding design têm correspondido, na elaboração de ferramentas para a navegação eficiente e segura dentro de espaços físicos diversos, como edifícios públicos, centros comerciais, aeroportos e sistemas de transporte. Para este desenvolvimento, o design de sinalização tradicionalmente se concentra na utilização de elementos visuais, como placas, ícones e cores, para fornecer informações direcionais e identificar pontos de interesse em um ambiente. No entanto, para os usuários com deficiência visual, os sinais visuais podem ser ineficazes ou até mesmo inacessíveis, destacando a necessidade de abordagens alternativas que atendam a uma gama mais ampla de necessidades de orientação. Este trabalho estabelece preceitos para o design de audionavegação, fornecendo base teórica para o desenvolvimento de equipamentos, sistemas de orientação e ambientes sonorizados que auxiliem na orientação e mobilidade de pessoas com deficiência visual. A pesquisa se baseia em investigação bibliográfica qualitativa sobre os princípios de design, especialmente os aplicados na sinalização e wayfinding, no objetivo de integrar esses princípios em formatos de design de audionavegação, desvinculando-se da dependência visual sem perder eficácia, por meio da avaliação teórica do impacto da transposição de conceitos de design de sinalização visual para o domínio auditivo, considerando a percepção cognitiva de pessoas com deficiência visual. O trabalho fornece ferramentas para que o designer de audionavegação possa oferecer melhorias para a acessibilidade na orientação espacial, potencializando o design de sinalização, o wayfinding e a audionavegação para promover ambientes urbanos mais inclusivos e equitativos para todos os seus usuários.

**Palavras-chave:** design de audionavegação, wayfinding design, design de sinalização, acessibilidade, deficiência visual, ambientes urbanos, design inclusivo.



## **Abstract**

*In the contemporary scenario, the conception of tools and services for the development of urban environments presents significant challenges in terms of guidance and accessibility for users. In response to this demand, signage design and wayfinding design have corresponded in the development of tools for efficient and safe navigation within various physical spaces, such as public buildings, shopping centres, airports, and transportation systems. For this development, signage design traditionally focuses on the use of visual elements, such as signs, icons, and colours, to provide directional information and identify points of interest in an environment. However, for users with visual impairments, visual signals can be ineffective or even inaccessible, highlighting the need for alternative approaches that address a wider range of orientation needs. This work establishes precepts for audionavigation design, providing a theoretical basis for the development of equipment, orientation systems, and sound environments that assist in the orientation and mobility of people with visual impairments. The research is based on qualitative bibliographic investigation into design principles, especially those applied in signage and wayfinding, with the aim of integrating these principles into audionavigation design formats, dissociating from visual dependency without losing effectiveness, through theoretical evaluation of the impact of transposing visual signage design concepts into the auditory domain, considering the cognitive perception of people with visual impairments. The work provides tools for the audio navigation designer to offer improvements for accessibility in spatial orientation, enhancing signage design, wayfinding, and audio navigation to promote more inclusive and equitable urban environments for all users.*

**Keywords:** *audionavigation design, wayfinding design, signage design, accessibility, visual impairment, urban environments, inclusive design.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – mapa da rede de transportes da cidade de São Paulo/SP – Brasil (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021) .....	26
Figura 2 – audioguia utilizado em visitas guiadas (ORPHEO INC., 2022) .....	31
Figura 3 – caixa de Skinner (Skinner, 1974) .....	52
Figura 4 – proximidade (Zemel, 2008) .....	54
Figura 5 – segregação (Lima, 2020) .....	55
Figura 6 – semelhança (THE BEATLES, 1964) .....	55
Figura 7 – continuidade (DM9DDB, 2009) .....	56
Figura 8 – fechamento (Barlow, 2018) .....	56
Figura 9 – princípio da gravitação (JUNG VON MATT, 2012) .....	57
Figura 10 – simetria (logomarca do Metrô de São Paulo por Cauduro, 1967 (CMSP, 2020) .....	57
Figura 11 – figura e fundo (VIVADECOR, 2022) .....	58
Figura 12 – unidade (Brenner, 2017) .....	58
Figura 13 – destinação comum (Drubsky, 2023) .....	59
Figura 14 – experiência (PETÉPOP, 2023) .....	59
Figura 15 (exemplo do autor, 2024) - refração da luz conforme Newton (1704) e aberração cromática resultante conforme Goethe (1840) .....	60
Figura 16 – componentes principais dos olhos humanos (PRO VISU, 2023) .....	61
Figura 17 – escala de Snellen (WHO, 2011) .....	65
Figura 18 – correções de refração por óculos ou lentes de contato (CLÍNICA BOLZAN, 2018) .....	67
Figura 19 – visão normal e visão com catarata - o autor, 2023, .....	67
Figura 20 – visão normal e visão com retinopatia diabética - o autor, 2023, .....	68
Figura 21 – visão normal e visão com glaucoma - o autor, 2023, .....	68
Figura 22 – visão normal e visão com degeneração macular grave - o autor, 2023, .....	69
Figura 23 – amplitude (Everest; Pohlmann, 2015, p. 2) .....	72
Figura 24 – onda senoidal (Everest; Pohlmann, 2015, p. 2) .....	72
Figura 25 – frequência baixa e frequência alta (o autor, 2023) .....	73
Figura 26 – representação da propagação do som pelo ar (o autor, 2023). .....	74

Figura 27 – diferença entre altura sonora (frequência) e amplitude sonora (volume) (o autor, 2023).....	75
Figura 28 – volume transmitido e intensidade recebida (o autor, 2023).....	76
Figura 29 – decibelímetro comercial e aplicativo decibelímetro para <i>smartphone</i> .....	78
Figura 30 – limiares da audição humana, com sobreposição de voz e música - o autor, 2023 (Baken; Orlikoff, 2000; Lofft, 2020; Santiago, 2020; Rodrigues, 2020) Lofft (Lofft, 2020), (Santiago, 2020), e Rodrigues (2020)).....	79
Figura 31 – vozes digitais com diferentes timbres para mesma frase (o autor, 2023) .	81
Figura 32 – exemplos de texto com pausa e o mesmo texto sem pausa (o autor, 2023) .....	82
Figura 33 – exemplos de texto com ritmo e o mesmo texto sem ritmo (o autor, 2023) .....	83
Figura 34 – <i>Boston Symphony Hall</i> (ACENTECH, 2017).....	85
Figura 35 – ilustração de cânion urbano para o ruído (ilustração por Inteligência Artificial do Google, com descrição pelo autor, com base em Kang (2006)) .....	86
Figura 36 – tecnologia de cancelamento de ruído (o autor, 2023) .....	89
Figura 37 - som de sirene de ambulância sem cancelamento de ruído, em azul, e com cancelamento de ruído, em vermelho (Song, 2022, p. 6) .....	90
Figura 38 – estação subterrânea Sé do Metrô de São Paulo (ANTP TRILHOS, 2023)....	92
Figura 39 - microfone de medição, modelo ECM-888b (o autor, 2022) .....	93
Figura 40 - microfone omnidirecional e microfone cardioide (SUPERLUX, 2006; SHURE, 2021) .....	93
Figura 41 – resposta às frequências – microfone de medição vs. microfone de estúdio (SUPERLUX, 2006; SHURE, 2021) .....	94
Figura 42 – interface de captura do software Bosch iNVH (o autor, 2024).....	95
Figura 43 – processo de gravação e armazenagem da voz humana (o autor, 2023) ....	99
Figura 44 – artigo de marketing do sintetizador de voz “Pedro”. Cardoso (2017), com tradução livre pelo autor (2023) .....	103
Figura 45 – processo de criação de voz sintetizada (o autor, 2023, com base em Taylor, 2009). .....	111
Figura 46 – comunicação icônica que indica pista escorregadia (Taylor, 2009, p. 9) .	121



Figura 47 – formas simples combinadas e sistema de comunicação simbólica (Taylor, 2009, p. 11) .....	122
Figura 48 – exemplo de processo de dados no modelo <i>big data</i> (Bulian; Alencar, 2017) .....	132
Figura 49 – exemplo de arquitetura de rede neural (Coelho, 2017) .....	133
Figura 50 – imagem de Iconade (FREEPIK, 2023) para ilustrar a diferença entre a descrição humana e a descrição realizada por IA, de acordo com Antol <i>et al.</i> (2015), Linn (2016) e Cao <i>et al.</i> (2022).....	140
Figura 51 – uso de mapa com GPS para se orientar nas cidades – ilustração por Perks (2022) .....	143
Figura 52 – representação do nível de serviço percebido pelos pedestres nas calçadas de São Tomé, PR (Silva; Angelis Neto, 2019).....	156
Figura 53 – Piso tátil na Estação Tatuapé do Metrô de São Paulo (o autor, 2023) ....	157
Figura 54 – mapa tátil com linhas (MOVER, 2017) .....	159
Figura 55 – mapa tátil da Avenida Paulista, na cidade de São Paulo (Monteiro; Casagrande, 2009).....	160
Figura 56 – semáforo sonoro utilizado em Belo Horizonte/MG (Vieira, 2019).....	162
Figura 57 – botoeira sonora em São Paulo (Cardoso, 2023) .....	163
Figura 58 – percepção sensorial em mapa interativo (Fernandes, 2021) .....	185
Figura 59 – clareza e distinção em placa de trânsito (CARGOBR, 2019).....	186
Figura 60 – consistência e reconhecibilidade em sinalizações de aeroporto (D'Agostini, 2015) .....	186
Figura 61 – design inclusivo, piso tátil no Ministério da Educação em Brasília/DF (João, 2023) .....	187
Figura 62 – foco no usuário, sinais de direção facilmente reconhecíveis (THAPCOM, 2022) .....	187
Figura 63 – hierarquia de informações, painéis informativos com títulos destacados seguidos de detalhes em texto menor (THAPCOM, 2022).....	188
Figura 64 – redução de ambiguidade, sinalização de saída claramente marcada (SINALUX, 2012) .....	188
Figura 65 – adaptação ao contexto, sinalização visual de Cauduro e Martino do Zoológico de São Paulo (Migliani, 2014).....	189

Figura 66 – integração e contextualização, refletindo a arquitetura cultural do ambiente (Sbrana, 2022).....	190
Figura 67 - facilitação da navegação, sinalização .....	190
Figura 68 - atualização e flexibilidade, sinalização digital que .....	191
Figura 69 – cão guia (PETFRIENDLY, 2020) .....	192
Figura 70 – bengala longa (Aldesco, 2021) .....	193
Figura 71 – piso tátil (Paulino, 2018) .....	194
Figura 72 – mapa tátil (MS ACESSIBILIDADE, 2020) .....	195
Figura 73 – Seen IA da Microsoft (Posey, 2021) .....	200
Figura 74 - aplicativo <i>Be My Eyes</i> (Salam, 2019) .....	201
Figura 75 – aplicativo <i>Lookout</i> (Coldewey, 2020) .....	202
Figura 76 – equipamento Aira (Myers, 2019) .....	202
Figura 77 – <i>NavBelt</i> (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003, p. 2).....	207
Figura 78 – <i>GuideCane</i> (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003, p. 5) .....	208
Figura 79 – modelo funcional de bengala eletrônica (Paiva, 2021) .....	212
Figura 80 – gráfico as frequências e intensidades de ruído nas estações (o autor, 2024) .....	219
Figura 81 – sobreposição do ruído das estações no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024) .....	219
Figura 82 – limiar de amplitude vocal no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024).....	252
Figura 83 – limiares de frequência vocal no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024) .....	253
Figura 84 - sobreposição do ruído das estações no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024) .....	254

## LISTA DE QRCODES (SONS E VOZES)

QRCode 1 – exemplos de altura sonora (o autor, 2023).....	73
QRCode 2 – altura e intensidade (o autor, 2023) .....	75
QRCode 3 – volume original (o autor, 2023).....	76
QRCode 4 – percepção do ouvinte (o autor, 2023).....	76
QRCode 5 – timbre 1 .....	81
QRCode 6 – timbre 2 .....	81
QRCode 7 – timbre 3 .....	81
QRCode 8 – timbre 4 .....	81
QRCode 9 - texto com pausas .....	82
QRCode 10 - texto sem pausas .....	82
QRCode 11 - texto com ritmo .....	83
QRCode 12 - texto sem ritmo .....	83
QRCode 13 – gravação de voz masculina com ruído de fundo presente .....	91
QRCode 14 – gravação de voz masculina com ruído de fundo suprimido .....	91
QRCode 15 – vozes sintetizadas pelo método formante (SOFTVOICE, INC.) .....	114
QRCode 16 – vozes sintetizadas pelo método concatenativo (STCODESAPP, 2023) ..	117
QRCode 17 - esvaziar lixeira do sistema Windows .....	124
QRCode 18 – mensagem chegando (sino) .....	124
QRCode 19 – erro de sistema do <i>Macintosh Powermac</i> LC .....	124
QRCode 20 – chamada de telefone antigo .....	124
QRCode 21 – seleciona tela (click de um mouse) .....	124
QRCode 22 - <i>CrashMac</i> do computador <i>Powermac</i> 600 .....	125
QRCode 23 – gongo com anúncio vocal no Aeroporto de Guarulhos (Lettieri, 2019)	126
QRCode 24 – gongo de portas (Sib) do Metrô de São Paulo (o autor, 2022) .....	127
QRCode 25 – sinal sonoro de travessia iniciada – o autor (2023) com base em CET São Paulo (2019) .....	129
QRCode 26 – exemplo de descrição da AI .....	140
QRCode 27 – sons simulados da operação da botoeira sonora de São Paulo - o autor (2023), com base em CET SÃO PAULO (2019) .....	166

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – exemplos de sons para diversos níveis sonoros em decibéis (Berger, 2022) .....	77
Tabela 2 – resultado do levantamento de frequências de ruídos (o autor, 2023) .....	97
Tabela 3 – número de quadras e comprimento de calçadas conforme atribuição do NS (Silva; Angelis Neto, 2019).....	156
Tabela 4 – aplicação e formas de informação e sinalização (ABNT, 2020).....	161
Tabela 5 – exemplos de diferenças entre acessível e universal (2012, p. 69 - trad. livre pelo autor, 2023).....	169

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – conceitos-chave para busca bibliográfica (o autor, 2024) .....	43
Quadro 2 – recondução e adaptação de conceitos, práticas e tecnologias para o design de audionavegação (o autor, 2024) .....	44
Quadro 3 – características comuns em vozes digitais.....	106
Quadro 4 – exemplos de dífonos e trífonos utilizados na voz concatenativa (o autor, 2023) .....	116
Quadro 5 – etapas da ação, de acordo com Norman (2013) .....	120
Quadro 6 – exemplos de ícones visuais e índices auditivos (gravação pelo autor, 2020) .....	124
Quadro 7 – <i>CrashMac</i> do computador <i>Powermac</i> 600 (gravação pelo autor, 2020) .	125
Quadro 8 – evolução do design de sinalização no último século .....	154
Quadro 9 – especificação de sinais da botoeira sonora de São Paulo (CET SÃO PAULO, 2019) .....	164
Quadro 10 – diferenças e semelhanças entre <i>wayfinding</i> e navegação.....	171
Quadro 11 – fontes tipográficas legíveis a distância, segundo Arthur e Passini (1992) .....	180
Quadro 12 – avaliação da iniciativa “SEEstem” (Esteves, 2019, p. 73).....	199

## Lista de ABREVIACOES

1. **ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas
2. **AI:** *Artificial intelligence* (Inteligência Artificial)
3. **dB:** *Decibels* (Decibéis)
4. **GPS:** *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)
5. **Hz:** Hertz
6. **IA:** Inteligência Artificial
7. **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers
8. **ML:** *Machine learning* (Aprendizado de Máquina)
9. **OMS** – Organização Mundial da Saúde
10. **PCD:** Pessoa com Deficiência
11. **PDV:** Pessoa com Deficiência Visual
12. **RT60:** Tempo de reverberação até 60 decibéis
13. **UX:** *User experience* (Experiência do Usuário)
14. **VQA:** *Visual Question Answering* (Resposta Visual a Perguntas)

## Sumário

1. Introdução.....	23
1.1. Caracterização geral da pesquisa .....	32
1.1.1. Motivação e justificativa.....	32
1.1.2. Questão fundamental.....	32
1.1.3. Subquestões.....	33
1.2. Objetivo.....	34
1.2.1. Objetivos específicos .....	34
1.3. Objeto .....	35
1.4. Delimitações .....	36
2. Desenvolvimento .....	39
2.1. Método .....	41
2.1.1. Dados .....	41
2.1.2. Critérios.....	41
2.1.3. Análise da bibliografia .....	44
2.1.4. Validade e confiabilidade .....	45
2.1.5. Ética na pesquisa .....	47
2.1.6. Limitações da pesquisa .....	48
2.2. Fundamentação teórica .....	50
2.2.1. Deficiência visual .....	61
2.2.2. Som e ruído.....	71
2.2.3. Voz eletrônica .....	98
2.2.4. Índices auditivos .....	118
2.2.5. Inteligência artificial.....	131
2.2.6. Orientação e navegação .....	142
2.2.7. <i>Wayfinding design</i> .....	170
2.2.8. Design de sinalização .....	184
2.2.9. Equipamentos de acessibilidade .....	192

3. Conclusão.....	215
3.1. Som e ruído.....	216
3.2. Ruído ambiental urbano.....	218
3.3. O ruído silencioso.....	220
3.4. Vozes em interfaces.....	222
3.5. Tipos de voz sintetizada.....	225
3.6. Índices auditivos.....	229
3.7. Sinalização e design.....	233
4. Discussão.....	238
4.1. Tipos de voz.....	239
4.2. Design de audionavegação.....	243
4.3. Considerações éticas.....	258
5. Considerações finais.....	260
Referências.....	265
Glossário.....	308
Termos Específicos.....	308
Glossário de Siglas.....	311
Apêndice A: autorização para pesquisa de ruído.....	313
Apêndice B: íntegra do pedido de autorização para pesquisa de ruído.....	314
Apêndice C: todos os <i>QR Codes</i> .....	318



## 1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras oferecem diversas ferramentas de acessibilidade para pessoas com deficiência visual. Baseando-se principalmente nas normas técnicas vigentes, fornecidas por meio da norma técnica 9050:2020 (ABNT, 2020), os engenheiros, arquitetos e designers de ambientes buscam adequar seus projetos de modo a oferecerem mais acessibilidade e segurança.

A norma técnica 9050 (ABNT, 2020), ainda que atualizada em 2020, existe desde 1985, e tem sido atualizada por meio de publicações nos anos de 1994, 2004, 2015 e 2020. Desde sua primeira publicação os projetistas de ambientes, serviços e produtos têm se esforçado no cumprimento das normas para um melhor atendimento às pessoas. No entanto, muitas vezes os ambientes, construídos décadas antes das normas de acessibilidade, não oferecem meios adequados que possibilitem a implantação simples das ferramentas de acessibilidade, ou mesmo, ainda que construídos após 1985, podem estar inconformes com as normas mais recentes de acessibilidade.

Mendes (2009) avaliou as condições de acessibilidade em edificações de Brasília, por meio de estudos de casos, e seus resultados demonstram que os edifícios da capital do Brasil não são, em sua maioria, acessíveis a pessoas com deficiência visual. Por exemplo, apesar da existência de pisos táteis em diversos edifícios, Mendes (2009) concluiu que, na maioria dos casos, os pisos táteis são insuficientes para a correta compreensão e uso do ambiente por pessoas com deficiência visual, posto que os pisos táteis oferecem um caminho seguro, porém não informam para onde seguem.

Mendes (2009) também observou a presença de mapas táteis em edifícios de serviços públicos, como por exemplo bancos, porém considerou que os equipamentos não são suficientes para a compreensão satisfatória dos usuários com deficiência visual, seja pela quantidade insuficiente de mapas táteis nos ambientes, seja pela dificuldade de as pessoas com deficiência visual não encontrarem os equipamentos e até mesmo pelo conteúdo insuficiente disponibilizado nos mapas táteis.

Santiago; Morano *et al.* (2022) realizaram um levantamento da acessibilidade do entorno da Linha Sul do Metrô de Fortaleza (CE), no objetivo de avaliar se as pessoas com deficiência visual conseguem acessar o Metrô de Fortaleza de forma

satisfatória. Concluíram que, mesmo com a existência de diversas ferramentas com o intuito de tornar o passeio público mais acessível a pessoas com deficiência visual, os recursos existentes são insuficientes em sinalização, posto que, semelhantemente ao encontrado por Mendes (2009) em Brasília, a ausência de informação de destinos é impactante para pessoas com deficiência visual, indicando até mesmo que o complemento com sinalização vocal seria adequado para a melhoria da acessibilidade.

Castro; Umezawa *et al.* (2017) avaliaram a acessibilidade em diversas áreas importantes da cidade de São Paulo. Seus resultados mostraram que a cidade apresentou um baixo índice de acessibilidade para as pessoas com deficiência visual, com maioria dos locais avaliados apresentando barreiras arquitetônicas e urbanísticas que dificultam a locomoção e a independência dessas pessoas. As principais barreiras encontradas correspondem à ausência de piso tátil direcional e de sinalização sonora, além da presença excessiva de desníveis entre calçadas e ausência de rampas de acesso.

O planejamento e desenvolvimento de cidades sustentáveis, inclusivas e acessíveis requer uma abordagem abrangente para lidar com a complexa questão da mobilidade urbana, impactando diretamente na qualidade de vida dos residentes públicos (Barbosa, 2016). Investir na melhoria do transporte público não apenas alivia o congestionamento do tráfego e a poluição do ar causada pelo uso excessivo de veículos particulares, mas também cria um ambiente mais acessível e inclusivo para pessoas com deficiência visual por meio da audionavegação.

O conceito de cidades inteligentes emergiu do objetivo de usar tecnologia e inovação para melhorar a qualidade de vida dos habitantes, otimizar a eficiência dos serviços públicos e promover o desenvolvimento sustentável. Considera-se que o modelo de cidades inteligentes utiliza a tecnologia da informação e comunicação (TIC) para melhorar aspectos como mobilidade, infraestrutura, energia, saúde e governança (Depiné; Teixeira, 2021).

No campo da inclusão, o conceito de cidades inteligentes prevê o uso de tecnologias assistivas como *softwares*, equipamentos e serviços que facilitam a inclusão de pessoas com deficiência. Isso inclui recursos como leitores de tela, sinalização em Braille, sistemas de navegação acessíveis e quiosques interativos com funcionalidades adaptadas para usuários com diferentes habilidades (Depiné; Teixeira,

2021). Um exemplo é Kansas City, nos EUA, que lançou quiosques digitais interativos acessíveis para pessoas com diferentes habilidades, incluindo aquelas com deficiência visual. Esses quiosques possuem funcionalidades como telas sensíveis ao toque de fácil uso e conectores de áudio para privacidade e acessibilidade auditiva (SHAREAMERICA, 2017).

O interesse pelo conceito de cidades inteligentes surgiu nos anos 80 e 90 em resposta a mudanças significativas, como a mudança climática, reestruturação econômica, envelhecimento das populações, crescimento da população urbana e pressões nas finanças públicas, mas carecia de definições claras ou diretrizes comuns. Foi a partir dos anos 2000 que o termo "cidade inteligente" começou a ser associado à aplicação de TICs e à capacidade de processamento de informações aos problemas do desenho urbano (Depiné; Teixeira, 2021). O divisor de águas foi a ascensão do uso da internet em todo o mundo, impactando profundamente as cidades com a disponibilização de sites e plataformas de comunicação, expandindo os meios de acesso do cidadão a serviços digitais.

O ano de 2008 é considerado um marco na história das cidades inteligentes, com um foco crescente na aplicação de TICs na gestão eficiente da infraestrutura e dos serviços públicos, quando empresas de base tecnológica, como Cisco, IBM, Siemens, Microsoft, Huawei, Hitachi, Samsung, Telefônica, Oracle, SAP e HP, utilizaram o termo para designar a aplicação de sistemas integrados para otimizar a operação, infraestrutura e serviços públicos (Depiné; Teixeira, 2021). A IBM foi pioneira neste contexto ao identificar as cidades como mercado inexplorado, mudando seu foco de *hardware* para consultoria e *software* de modo a atender aos anseios do novo mercado das cidades inteligentes.

A acessibilidade é um princípio importante para promover a igualdade de acesso a todos, independentemente de suas habilidades físicas (Barbosa, 2016). A infraestrutura urbana, incluindo calçadas, pontos de ônibus e estações de metrô, precisa ser projetada e modificada cuidadosamente para acomodar pessoas com mobilidade limitada, enquanto a utilização de tecnologia digital para melhorar a acessibilidade e a eficiência das viagens urbanas pode beneficiar diretamente as pessoas com deficiência visual (Andrade; Galvão, 2016).

Neste contexto, a audionavegação surge como uma ferramenta importante para integrar teorias e estratégias que promovem a mobilidade eficiente de pessoas com deficiência visual, ao mesmo tempo em que contribui para os aspectos gerais de mobilidade urbana (Silva Filho, 2017). A audionavegação pode desempenhar um papel importante para a acessibilidade ao fornecer orientação vocal precisa para que pessoas com deficiência visual possam se locomover pela cidade de forma independente e segura. A figura 1 mostra a complexidade de um sistema público de transporte de uma cidade grande, demonstrando a necessidade de se promover ferramentas que facilitem o uso de sistemas públicos a todas as pessoas, inclusive com deficiência visual.

# Mapa do Transporte Metropolitano

## Metropolitan Transport Network



Figura 1 – mapa da rede de transportes da cidade de São Paulo/SP – Brasil (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021)

No Brasil, a Convenção sobre o Direito das Pessoas com Deficiência da ONU, aprovada pelo Decreto Legislativo nº 186 em 2008, elevou os direitos das pessoas com deficiência ao status de Emenda Constitucional, reforçando a necessidade de integrar a acessibilidade nas políticas de planejamento urbano e desenvolvimento de cidades inteligentes (Amaral, 2021).

Embora existam avanços, ainda há desafios significativos para alcançar a plena acessibilidade nas cidades inteligentes. Menos de 1% dos sites e aplicativos de serviços no Brasil são acessíveis para pessoas com deficiência visual. A superação destes desafios exige esforços conjuntos em tecnologia, legislação e políticas públicas para promover a inclusão (INSTITUTO PARADIGMA, 2023).

A tendência global é que as cidades inteligentes continuem a evoluir, adotando tecnologias inovadoras e práticas de design inclusivo para melhorar a acessibilidade. Isso inclui o uso de TICs para fornecer informações sobre acessibilidade em locais urbanos, promovendo a igualdade e a mobilidade para pessoas com deficiência visual (Neto; Rold; Alperstedt, 2018).

De acordo com Florida (2017), a inovação é um dos pilares-chave para enfrentar as crises urbanas contemporâneas, pois impulsiona o crescimento econômico e a qualidade de vida nas cidades. Glaeser (2011) enfatiza como as cidades podem se tornar centros de inovação, produtividade e qualidade de vida quando projetadas de maneira eficiente e atraem talentos. Landry (2008) destaca a vital importância da cultura e da criatividade nas cidades inteligentes, argumentando que as cidades devem fomentar a expressão criativa e a diversidade cultural para prosperar no século XXI.

Ratti (2016) explora como sensores, redes e análise de dados estão sendo aplicados para melhorar a gestão urbana, promovendo maior eficiência e qualidade de vida. Townsend (2013) investiga o impacto das tecnologias digitais e da participação cidadã na criação de cidades mais inteligentes e eficientes, destacando o papel dos dados, hackers cívicos e inovações tecnológicas na reinvenção das cidades. Lerner (2014) defende a aplicação de soluções urbanas criativas e inovadoras para melhorar a qualidade de vida nas cidades, demonstrando como pequenas intervenções podem ter um impacto significativo.

Gehl (2010) promove a ideia de design urbano centrado nas pessoas como uma abordagem essencial para cidades inteligentes, enfatizando a importância de espaços urbanos bem projetados e acessíveis.

De acordo com esses especialistas, as cidades inteligentes não se limitam ao uso da tecnologia, mas também incluem elementos como inovação, cultura, participação cidadã, sustentabilidade e design centrado nas pessoas. Portanto, a visão de cidades inteligentes é holística, buscando criar ambientes urbanos mais eficientes, sustentáveis e agradáveis para todos os seus habitantes, independentemente da presença ou não de deficiências motoras, sensoriais ou cognitivas.

A noção de deficiência, frequentemente designada a objetos, ações ou performances que se situam abaixo do patamar esperado, carrega uma conotação intrinsecamente contrastante com o termo "eficiência". Esta dicotomia linguística remete de imediato a um espectro comparativo de limitações, ausências ou falhas em elementos, componentes ou circunstâncias que apresentam uma qualidade tecnicamente inferior às situações consideradas "normais" ou "padrão". Neste contexto, no domínio das ciências exatas, uma fórmula matemática que se revela incompleta ou insuficiente para elucidar um resultado específico é classificada como "deficiente". Analogamente, no âmbito das ciências biológicas, um indivíduo cuja imunidade é considerada deficiente enfrenta um risco aumentado de contrair doenças, comparativamente a indivíduos com um estado de saúde clinicamente robusto. Nas ciências humanas, uma argumentação jurídica deficiente, sinônimo de frágil ou insuficiente, pode ser a razão determinante para o insucesso de um litígio.

A ênfase nas diferenças físicas, mentais ou sensoriais em detrimento a outras qualidades em pessoas que apresentam alguma limitação pode conduzir a uma noção equivocada de que indivíduos com deficiência são invariavelmente dependentes de assistencialismo<sup>1</sup> para realizar tarefas cotidianas de maneira autônoma. Tal postura sublinha de forma inadequada a ausência ou limitação física ou sensorial, ignorando que o êxito na realização de tarefas é frequentemente mais influenciado pelos

---

<sup>1</sup> Assistencialismo é o termo que define a política individual ou coletiva de propagar assistência de modo eterno a membros carentes ou necessitados de determinados grupos sociais, mantendo as pessoas dependentes dessa assistência, em oposição a uma política que afaste estas pessoas da condição de carentes e necessitados (Hespanha, 2012).

recursos e condições disponíveis no ambiente do que pelas capacidades individuais per se.

Sobre acessibilidade e inclusão de pessoas com deficiência, o Brasil é reconhecido globalmente por suas iniciativas em promover a acessibilidade. Esses esforços ganharam destaque com a formação de comissões durante a Assembleia Constituinte de 1988, impulsionadas pela participação ativa de diversas associações representativas de pessoas com deficiência (Almeida, 2019). Adicionalmente, o país adotou um conjunto abrangente de normas de acessibilidade aplicáveis à construção, reforma e adequação de edificações, espaços, mobiliário e equipamentos urbanos. A norma ABNT NBR 9050, estabelecida inicialmente em 1994 e atualizada em sua versão de 2020, é um exemplo notável desses esforços (ABNT, 2020).

Ainda que existam obstáculos relacionados à falta de conhecimento, restrições financeiras ou inadequações arquitetônicas que dificultam a efetiva adaptação dos ambientes no Brasil, observa-se um avanço progressivo na aplicação de princípios de acessibilidade ambiental na arquitetura. Essa evolução se reflete na inclusão de recursos como calçadas, praças, parques, clubes, edifícios, centros comerciais e no design de objetos e serviços, como sistemas de transporte público. Contudo, nota-se uma predominância de recursos destinados a pessoas com mobilidade reduzida, como rampas de acesso, elevadores adaptados, corrimãos em alturas apropriadas e calçadas niveladas. Em contrapartida, os recursos para pessoas com deficiências sensoriais, como cegos, pessoas com baixa visão, surdos ou com audição reduzida, são menos prevalentes, restringindo-se em grande parte a pisos táteis, linhas-guias<sup>2</sup> para pessoas com deficiência visual, assim com sinalizações visuais para pessoas com deficiência auditiva.

A acessibilidade ambiental assegura a participação plena e equitativa de pessoas com deficiência visual na sociedade. Recursos de acessibilidade são fundamentais para promover a independência e autonomia dessas pessoas em diversos ambientes, como edifícios públicos, meios de transporte e espaços de lazer e cultura. Além disso, as tecnologias eletrônicas desempenham um papel vital em tornar

---

<sup>2</sup> Linha-guia é qualquer elemento natural ou edificado que possa ser utilizado como referência de orientação direcional por todas as pessoas, especialmente as com deficiência visual (ABNT, 2020, p. 5).

esses recursos mais acessíveis e eficazes, permitindo uma interação mais ampla com o ambiente.

Exemplos notáveis incluem o aumento do uso de aplicativos com funcionalidades de reconhecimento de voz para substituir interfaces gráficas, e sistemas de leitura óptica para melhorar o acesso à informação e orientação espacial para pessoas com deficiência visual. Conforme Borges; Mendes (2021), as pessoas com deficiência visual enfrentam desafios significativos para se locomover em espaços urbanos, acessar informações em ambientes acadêmicos e profissionais e realizar atividades cotidianas, destacando a necessidade de aprimorar a infraestrutura pública e institucional para maior acessibilidade, bem como investir em tecnologias eletrônicas que auxiliem essas pessoas em seu dia a dia.

Silva Filho (2017) utiliza o termo “audionavegação” para definir a orientação de pessoas com deficiência visual por meio de voz, gerada em aparelhos eletrônicos portáteis, enquanto a pessoa caminha em espaços urbanos e fazem uso de transportes de massa. Desta forma, a audionavegação busca inserir os conceitos de *wayfinding design* (Lynch, 1960; Arthur; Passini, 1992) diretamente em aparelhos portáteis que podem ser carregados pelo pedestre com deficiência visual, fornecendo uma perspectiva relevante de aplicação de sons e instruções vocais na orientação para a mobilidade de pessoas com deficiência visual. Neste universo, Silva Filho (2017) cita que a capacidade de disponibilizar instruções por voz se torna um componente importante da audionavegação, pois oferece um modo abrangente de descrever o ambiente, no objetivo de facilitar a toma de decisões do pedestre com deficiência visual por meio da ampliação da compreensão acerca do seu entorno.

O design de audionavegação pode ser integrado na elaboração de interfaces sonoras para aplicação em aparelhos portáteis dedicados, de forma semelhante aos audioguias utilizados em museus ou como elemento de orientação especializado de aplicativos de mobilidade para *smartphones* (figura 2, página 31), oferecendo informações direcionais e descritivas sobre o ambiente, de modo a facilitar a orientação e o deslocamento independente de pessoas com deficiência visual. O design de sistemas de audionavegação envolve a consideração de aspectos como a clareza dos sinais sonoros, a relevância das informações fornecidas e sua usabilidade.





Figura 2 – audioguia utilizado em visitas guiadas (ORPHEO INC., 2022) e *smartphone* com aplicativo de mobilidade (Marques, 2019)

A integração do design em estratégias de audionavegação evidencia o potencial deste campo do conhecimento para influenciar positivamente a experiência de pessoas com deficiência visual. Ao aplicar princípios de inclusão por meio do design de produtos e serviços, é possível criar soluções que não apenas melhoram a acessibilidade, mas também enriquecem a experiência urbana para todos os usuários.

Este estudo, de natureza teórica e qualitativa, tem foco nos aspectos de design não visual relacionados à aplicação de sinalizações e indicações vocais emitidas por dispositivos portáteis projetados para a orientação e mobilidade de pessoas adultas com deficiência visual, enfatizando a importância de compreender os elementos ambientais por meio de características específicas da voz sintetizada, buscando estabelecer preceitos teóricos para o design para interfaces não visuais de sistemas de audionavegação para pessoas com deficiência visual, de modo permitir que estes parâmetros sejam posteriormente aplicados no desenvolvimento de sistemas não visuais, assim como atualmente ocorre com os preceitos teóricos de design, seja para produtos ou sistemas de informação, baseados principalmente na visualidade.

## 1.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA PESQUISA

### 1.1.1. Motivação e justificativa

Durante a busca por preceitos teóricos para o design de interfaces vocais em equipamentos de orientação ambiental, observa-se a frequente dependência de elementos visuais para a completa compreensão das instruções verbais fornecidas por dispositivos portáteis, como por exemplo o GPS, evidenciando a necessidade de desenvolver tecnologias mais acessíveis que enfatizam instruções verbais e não verbais que sejam plenamente independentes de suportes visuais, de modo a atender melhor todas as categorias de usuários, particularmente aqueles com deficiência visual.

Em resposta às limitações das interfaces verbais tradicionais, este estudo visa estabelecer bases teóricas para o design de audionavegação, focando no desenvolvimento de aplicações vocais para dispositivos portáteis que facilitam a orientação em ambientes urbanos. Propõe-se uma abordagem que valoriza instruções verbais claras, detalhadas e contextualmente relevantes, complementadas por índices auditivos, para garantir uma compreensão integral sem necessidade de suporte visual. Tecnologias de síntese de voz, incluindo avanços possibilitados pela inteligência artificial, são exploradas como meios de enriquecer a naturalidade e adaptabilidade das interfaces vocais. Essa integração de inovações visa criar soluções de audionavegação mais eficazes e acessíveis, proporcionando uma experiência de navegação intuitiva e inclusiva para usuários com deficiência visual.

### 1.1.2. Questão fundamental

Em uma pesquisa bibliográfica de caráter qualitativo, o que se pode apreender sobre a aplicação dos princípios do design de sinalização e *wayfinding*, incluindo contraste, forma, função, orientação, identidade e informação, no desenvolvimento de fundamentos para o design de audionavegação, com o objetivo de auxiliar pessoas com deficiência visual na navegação por espaços públicos para promover sua autonomia com segurança?

### 1.1.3. Subquestões

1. Como os princípios de contraste, forma e identidade visual, fundamentais no design de sinalização e *wayfinding*, podem ser traduzidos efetivamente em índice auditivos e voz sintetizada para melhorar a orientação espacial de pessoas com deficiência visual?
2. De que maneira a adaptação de formato, função e orientação, oriundos do design de sinalização e *wayfinding*, para o contexto de audionavegação, impacta na compreensão dos espaços urbanos e na minimização da sobrecarga cognitiva dos usuários com deficiência visual?
3. Quais estratégias podem ser adotadas para integrar efetivamente voz digital e índices auditivos em sistemas de audionavegação, assegurando que a orientação e a informação sejam acessíveis e compreensíveis para usuários adultos com deficiência visual em ambientes urbanos?

## 1.2. OBJETIVO

Este estudo tem como finalidade estabelecer preceitos teóricos de design de audionavegação, disponibilizando base teórica para a elaboração de equipamentos fixos e portáteis, sistemas de orientação e ambientes sonorizados para orientação e mobilidade de pessoas com deficiência visual.

### 1.2.1. Objetivos específicos

1. Investigar como os princípios de design, particularmente aqueles empregados no design de sinalização e *wayfinding*, podem ser desvinculados da dependência visual sem perder sua eficácia, visando sua readequação para formatos acessíveis a pessoas com deficiência visual.
2. No campo da percepção espacial, avaliar teoricamente o impacto da transposição de conceitos de domínio visual, como formato, função e orientação, para conceitos do domínio auditivo, considerando os preceitos da percepção cognitiva de indivíduos com deficiência visual.
3. Analisar a viabilidade de incorporar voz digital e índices auditivos<sup>3</sup> no design de audionavegação, com ênfase na acessibilidade e na clareza das informações em contextos urbanos, considerando pessoas com deficiência visual como usuários.

---

<sup>3</sup> "Ícones auditivos", tradução livre pelo autor para o termo "earcons", cunhado por Gaver (1986), refere-se a sinais sonoros de comunicação e informação, de forma análoga aos ícones visuais, presentes em interfaces de usuário.

### 1.3. OBJETO

O objeto desta investigação teórica concentra-se na formulação de princípios teóricos de design de audionavegação para aprimorar a orientação espacial de pessoas com deficiência visual em contextos urbanos. A pesquisa visa identificar, analisar e sistematizar as possíveis transposições e adaptações de princípios de design visual — notadamente aqueles empregados no design de sinalização e estratégias de *wayfinding* — para o âmbito auditivo, no propósito de elaborar conceitos que possam nortear o desenvolvimento futuro de sistemas de audionavegação. Dessa forma, o estudo se propõe a enriquecer o campo do design inclusivo, por meio da expansão teórica sobre como princípios tradicionalmente visuais podem ser reinterpretados e aplicados para melhorar a navegação por meio da audição, oferecendo uma contribuição original à literatura acadêmica especializada na interseção entre design, acessibilidade e inclusão.

#### 1.4. DELIMITAÇÕES

Com base nas definições estabelecidas na questão fundamental e suas subquestões, é possível identificar quatro macro temas para orientar a busca bibliográfica:

- Pessoas com deficiência visual
- Design
- Mobilidade
- Orientação por sons (voz e índices auditivos)

Este estudo apresenta a investigação destes temas, em revisão integrativa da literatura por meio de estudo qualitativo, de caráter teórico, disponíveis em bibliotecas de teses em universidades, acervos de anais de eventos científicos e repositórios científicos, organizadas em sub definições acerca da locomoção autônoma de pessoas com deficiência visual, recursos ambientais para acessibilidade e ajudas tecnológicas.

Considerando que o tema de orientar pessoas com deficiência visual abrange um vasto repertório científico, é importante reconhecer que os limites desta pesquisa podem não abranger todas as possíveis variações encontradas neste contexto, posto a possibilidade da existência de situações mais abrangentes do que as comumente esperadas, que podem não ser abordadas dentro dos limites deste estudo. Pode-se identificar algumas situações, elencadas abaixo, que podem ser objetos de continuações futuros ou de customizações e personalizações aos resultados sugeridos neste estudo:

- Sobre a orientação na mobilidade, é importante considerar a complexidade envolvida que requer a compreensão de sinalizações direcionais e instruções relacionadas à mobilidade urbana. Portanto, esta pesquisa se concentra em resultados esperados para indivíduos que possam compreender efetivamente instruções orientativas ambientais por meio da fala.
- Os resultados desta pesquisa podem não ser integralmente aplicáveis ao desenvolvimento de dispositivos destinados a indivíduos com

deficiências múltiplas, tais como aqueles que apresentam simultaneamente deficiências visuais e limitações de mobilidade, deficiências visuais e cognitivas, ou ainda deficiências visuais e auditivas. Isso se deve ao fato de que os métodos empregados para a orientação e mobilidade desses indivíduos podem diferir significativamente ou mostrar-se incompatíveis com abordagens baseadas em orientação vocal direta. Portanto, a aplicabilidade dos resultados obtidos nesta investigação pode ser limitada ao considerar-se a necessidade de adaptações específicas para atender às diversas combinações de deficiências, exigindo uma abordagem mais holística e integrada no desenvolvimento de soluções tecnológicas inclusivas.

- Ainda que contenha bibliografia necessária acerca da física do som e acerca de técnicas de voz digital, este estudo não se propõe a aprofundar na física destes temas, somente utiliza os resultados bibliográficos destes estudos até a abrangência necessária para a elaboração do design de audionavegação. Da mesma forma, neste trabalho não se levantou aspectos de engenharia mecânica ou eletrônica dos aparelhos que geram e disponibilizam de voz sintetizada, tanto em seus elementos físicos (*hardware*) como elementos lógicos (*software*), pois quaisquer tecnologias assistivas devem considerar a ergonomia durante sua elaboração.
- O design de audionavegação proposto neste estudo considera o uso em equipamentos móveis, ou seja, enquanto o usuário segue um percurso de forma dinâmica. Os resultados deste estudo não consideraram o uso dos mesmos parâmetros em mapas táteis ou em outros equipamentos de natureza estática.
- Neste trabalho não se buscaram os aspectos médicos da deficiência visual, posto que não trata de soluções biológicas ou cibernéticas envolvidas diretamente com o sistema nervoso humano.
- No trabalho não se buscaram elementos da mobilidade urbana que necessitem de participação de guia vidente ou outras formas de mobilidade de pessoas com deficiência visual integralmente

dependentes de outras pessoas, pois esta pesquisa visa o design que incremente a autonomia na mobilidade.

- Este estudo tem foco no desenvolvimento de preceitos de design de audionavegação para orientação em ambientes urbanos, na língua portuguesa do Brasil, posto que línguas diferentes do português brasileiro podem exigir estudos com diferentes construções sintáticas, morfológicas, semânticas, pragmáticas e lexicológicas, inerentes a cada língua específica, o que pode exigir a ampliação deste estudo como complemento futuro desta pesquisa.



## 2. DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho, buscou-se estabelecer a fundamentação teórica para a concepção de do design de audionavegação para a orientação de pessoas com deficiência visual em espaços públicos por meio da integração dos princípios fundamentais do design de sinalização, *wayfinding design* e design universal, evidenciando uma transição de soluções usualmente visuais para abordagens inclusivas que consideram a diversidade cognitiva e sensorial dos usuários com deficiência visual. O design de sinalização e o *wayfinding design*, apesar de sua orientação predominantemente visual, fundamentam-se em processos cognitivos dos usuários de grande importância para o desenvolvimento de soluções para que estes possam compreender os ambientes. Na mesma linha deste processo, encontram-se os processos do design universal, que amplia a base de conhecimento dos usuários dos ambientes ao exigir soluções mais acessíveis a todos, independentemente das capacidades sensoriais. Portanto, a aplicação dos conhecimentos dessas disciplinas ao desenvolvimento do design de audionavegação não apenas alinha-se com os preceitos de uma orientação ambiental eficiente, mas também reafirma o compromisso com a inclusão e a acessibilidade.

O desenvolvimento do design de audionavegação exige a extração e adaptação dos fundamentos do design de sinalização, *wayfinding* e design universal para elaborar sistemas auditivos eficientes. Isso inclui a aplicação de princípios de design, como clareza, simplicidade, flexibilidade e tolerância ao erro (Norman, 2013; D'Agostini, 2021) em contextos auditivos. A relevância do conhecimento da tipografia do design de sinalização, por exemplo, pode contribuir na elaboração da voz sintetizada, ao aplicarem-se os princípios de clareza, legibilidade e ênfase, fundamentos do design tipográfico, para a seleção e ajuste das qualidades da voz.

A busca por um paralelismo entre os conceitos visuais tradicionalmente empregados no design de sinalização e *wayfinding* para estabelecer preceitos teóricos para o design da audionavegação envolve a adaptação dos conceitos tradicionais para formatos auditivos, tais como voz sintetizada e índices auditivos, de modo a não somente realizar uma tradução direta, de visual para auditivo, mas também para ampliar a compreensão do espaço por meio de pistas sonoras que podem ser

universalmente percebidos, posto que a seleção de índices auditivos deve considerar a universalidade e a facilidade de reconhecimento, em um processo similar, ainda que adaptado, do uso de ícones visuais no design de sinalização.

Para aprofundar a análise, foi essencial vincular os conceitos de design visual e auditivo com os fundamentos do design universal, *wayfinding* e design de sinalização. Isso envolveu entender como a clareza, simplicidade e flexibilidade podem ser traduzidas em elementos auditivos, fazendo com que a implementação eficaz de sistemas de audionavegação não somente reflita em aplicações inovadoras, mas também incrementar os preceitos de design ao promover a inclusão e a autonomia no acesso de pessoas com deficiência visual aos ambientes urbanos.

## 2.1. MÉTODO

A abordagem adotada visou a um entendimento abrangente das técnicas e processos utilizados para coletar, analisar e interpretar dados relevantes, por meio de uma abordagem qualitativa que se concentra na análise detalhada de informações coletadas de diversas fontes.

### 2.1.1. Dados

Os dados bibliográficos foram coletados por meio de revisão integrativa, abrangendo literatura acadêmica, livros e normas técnicas. Os dados de natureza limitada, necessários para definições específicas de ruído ambiental em caráter *ad hoc*, foram obtidos por meio de coleta de campo, por não estarem disponíveis em literatura fundamentada.

### 2.1.2. Critérios

Neste trabalho adotou-se uma abordagem exploratória, com o objetivo de extrair e reinterpretar conceitos provenientes de literaturas tradicionais de diversas disciplinas. Consequentemente, a pesquisa envolveu uma análise crítica de fontes que, à primeira vista, não abordam diretamente as necessidades específicas de indivíduos com deficiência visual ou a prática da audionavegação. Esta abordagem permitiu não apenas a exploração de literaturas existentes sob uma nova luz, mas também a contribuição para o campo do design e da tecnologia assistiva, buscando inovações conceituais e práticas que fundamentem o design de audionavegação para orientação de pessoas com deficiência visual em espaços urbanos.

Os critérios de seleção da bibliografia abrangem temas de relevância, buscando-se a confiabilidade das informações. Os critérios incluíram:

- Pertinência ao tema design para orientação em espaços urbanos.
- Prover conhecimentos que possam ser aplicados na mobilidade de pessoas com deficiência visual.
- Relevância das informações.

- Abrangência da bibliografia, contando tanto com autores consagrados como bibliografias atualizadas.
- Autoridade das fontes, de credibilidade corroborada por confirmação em publicações acadêmicas ou em livros academicamente citados.
- Fontes digitais não acadêmicas foram utilizadas somente em situações de exemplificação de termos ou para coleta de imagens, em ambos os casos cujos conteúdos já tenham sido previamente fundamentados em fontes de credibilidade.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida primordialmente por meio de fontes digitais, incluindo bibliotecas online, bases de dados acadêmicas e agregadores de conteúdo científico, além de uma consulta complementar a publicações impressas, seguindo as práticas contemporâneas de investigação acadêmica. Dentre as fontes digitais destacam-se a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo (USP, 2024), Scielo (SCIELO, 2024), Researchgate (RESEARCHGATE, 2024), Elsevier (ELSEVIER B.V., 2024), IEEE Xplore (IEEE, 2022), Cambridge University Press (CAMBRIDGE, 2022) e o Google Acadêmico (GOOGLE, INC., 2024), este último funcionando como um importante agregador de trabalhos científicos. Adicionalmente, foram consultadas bibliotecas digitais internacionais e recursos tanto digitais quanto físicos da Amazon (AMAZON, 2024). Informações específicas sobre ruído ambiental em estações do Metrô foram adquiridas com a permissão da Gerência de Operações da Companhia do Metropolitano de São Paulo, com a coleta e análise dos dados seguindo procedimentos rigorosamente documentados.

O propósito da busca foi identificar conceitos convencionais da literatura do design de sinalização e do *wayfinding design* cujos paradigmas pudessem ser transportados para o design de audionavegação. Nesta linha, foram utilizados conceitos-chave para a pesquisa nos mecanismos de busca *online*, explorados em várias combinações de forma a otimizar os resultados em diferentes plataformas. A enumeração destes conceitos-chave auxiliou da estruturação da base teórica ao serem organizados em oito disciplinas principais, conforme mostrado no quadro 1, página 43.

Conceito-chave	Fundamento buscado	Disciplina
Design de sinalização inclusiva para orientação e segurança	Sistemas de sinalização para a orientação ambiental	Sinalização e <i>Wayfinding</i>
Práticas de <i>wayfinding design</i>	Estratégias de orientação para tornar a navegação em espaços urbanos mais intuitiva e acessível.	
Estratégias de design para acessibilidade em ambientes urbanos	Princípios de design para a acessibilidade.	Design para Acessibilidade
Acessibilidade em produtos e serviços urbanos	Acessibilidade de produtos e serviços disponibilizados em ambientes urbanos.	
Design inclusivo e adaptativo para necessidades diversas	Soluções de design que sejam flexíveis e adaptáveis às variadas necessidades dos usuários.	
Experiência do usuário para tecnologias assistivas	Estado da arte de tecnologias assistivas para pessoas com deficiência visual.	<i>User experience (UX)</i>
Metodologias UX para avaliação de acessibilidade	Técnicas de UX para avaliar e melhorar a acessibilidade de produtos e serviços.	
Práticas de UX para aprimoramento de sistemas de navegação	Estratégias de UX que visam otimizar sistemas de navegação para serem mais acessíveis e fáceis de usar.	
Abordagens de design universal em tecnologias e espaços públicos	Princípios de design para acessibilidade incorporados a tecnologias e espaços acessíveis a todos.	Design Universal
Inclusão aplicada ao design de produtos e serviços	Diretrizes de inclusão no desenvolvimento de produtos e serviços para acessibilidade.	
Percepção espacial e cognição em espaços urbanos	Estudos da compreensão e interação humana com o espaço urbano.	Psicologia ambiental
Impacto do ambiente construído na orientação e mobilidade	Investigações do efeito de estruturas urbanas na capacidade das pessoas se orientarem e se movimentarem.	
Estratégias cognitivas para navegação em ambientes complexos	Abordagens que utilizam processos cognitivos para facilitar a navegação em ambientes urbanos complexos.	
Inovações em tecnologia assistiva para navegação	Novas tecnologias para auxiliar na navegação de pessoas com deficiência visual.	Engenharia: Acústica e Tecnologias Assistivas
Aplicações de engenharia acústica em ambientes urbanos	Princípios de engenharia acústica para melhorar a orientação sonora em espaços	
Sistemas de localização e orientação para deficientes visuais	Sistemas sonoros ou outras tecnologias para auxiliar na locomoção de pessoas com deficiência visual.	
Uso de som e voz para facilitar a mobilidade urbana	Soluções sonoras e vocais aplicáveis a sistemas de orientação e mobilidade urbana.	
Princípios de design urbano para acessibilidade	Conceitos de design urbano para a criação de espaços públicos acessíveis.	Design Urbano e Cidades Inteligentes
Tecnologias assistivas em infraestrutura urbana	Tecnologias assistivas aplicadas na infraestrutura urbana para promover a acessibilidade.	
Integração de serviços inteligentes para inclusão social	Utilização de tecnologias e serviços inteligentes para facilitar a inclusão social em cidades.	
Estratégias de mobilidade urbana para todos	Políticas e práticas de mobilidade urbana que atendam às necessidades de todos os cidadãos, independente de restrições.	

Quadro 1 – conceitos-chave para busca bibliográfica (o autor, 2024)

A utilização destes conceitos-chave em bases de dados acadêmicas e bibliotecas digitais especializadas possibilitou a coleta de informações relevantes e abrangentes e interdisciplinares, com foco na identificação de conceitos, práticas e tecnologias que puderam ser reconduzidas ou adaptadas para o desenvolvimento dos fundamentos do design de audionavegação, conforme quadro 2:

Interconexão	Conteúdo
Intersecção entre design, tecnologia e psicologia para acessibilidade	Exploração da sinergia entre design, tecnologia e psicologia na acessibilidade de ambientes urbanos.
Colaboração interdisciplinar em projetos de cidades inclusivas	Bases de cooperação entre diferentes áreas do conhecimento para design de audionavegação interrelacionado ao espaço urbano.
Integração do design de audionavegação a sistemas eletrônicos de navegação	Bases para a elaboração de sistemas de navegação que combinem design, tecnologia e insights psicológicos de mobilidade de pessoas com deficiência visual.
Adaptação de sinalização e <i>wayfinding</i> para contextos auditivos	Incorporação do design de audionavegação a orientações urbanas de sinalização e navegação voltadas à locomoção de pessoas com deficiência visual.

Quadro 2 – recondução e adaptação de conceitos, práticas e tecnologias para o design de audionavegação (o autor, 2024)

Pode-se afirmar que a configuração dos conceitos-chave possibilitou a obtenção de diversas variações na bibliografia, ainda que tenham sido utilizados em sua forma direta ou em formações modificadas, combinadas, com supressão ou com adição de palavras, no objetivo de abranger a bibliografia necessária. Este método de busca bibliográfica, fundamentado em conceitos-chave e utilizando sistemas de busca digital, demonstrou-se eficiente, culminando em uma base teórica adequada para responder às subquestões.

### 2.1.3. Análise da bibliografia

- **Revisão de Literatura:** para análise da bibliografia, adotou-se métodos qualitativos por meio da revisão integrativa de textos acadêmicos e livros das disciplinas elencadas no quadro 2, buscando princípios, teorias e práticas que, mesmo não sendo especificamente voltadas para a audionavegação ou para pessoas com deficiência visual, pudessem ser aplicáveis ou adaptáveis ao design de audionavegação, no objetivo de

compreender os fenômenos estudados por meio de análise crítica e síntese das informações de fontes científicas confiáveis.

- **Identificação de Conceitos Transponíveis:** durante a revisão, foram identificados conceitos, tecnologias, estratégias de design e práticas de inclusão passíveis de reinterpretação na busca por preceitos para o design de audionavegação. Por este método, pôde-se incluir, por exemplo, a forma como o design universal aborda a acessibilidade, a maneira como as cidades inteligentes integram tecnologias assistivas e ou como os princípios básicos do design de sinalização e do *wayfinding design*, podem ser adaptados para contextos auditivos. Foram utilizadas análises temáticas para identificar padrões e tendências, seguindo os métodos de Bardin (1977) e de Marconi; Lakatos (2003). Esta etapa permitiu categorizar as informações de forma organizada, facilitando a identificação de novas áreas de interesse, além de confirma as tendências de literatura pesquisável.
- **Avaliação crítica:** a avaliação crítica dos dados possibilitou a consideração de como insights de uma área podem enriquecer ou complementar outra. Por exemplo, buscou-se princípios de *user experience* (UX) que pudessem oferecer *insights* valiosos sobre como desenhar interfaces auditivas intuitivas e eficazes, ou quanto os estudos de som e voz digital podem informar sobre a criação de paisagens sonoras que facilitam a orientação espacial. Nesta etapa foram utilizadas abordagens de análises de dados sugeridas por autores como Creswell (2014), que enfatiza a importância da integração de dados qualitativos, assim como às diretrizes de análise de textos acadêmicos de Denzin; Lincoln (2011).

#### 2.1.4. Validade e confiabilidade

Tratando-se de um estudo predominantemente teórico, mesmo contendo coleta e compilação de dados empíricos realizada apenas em caráter *ad-hoc* - isto é, para complementar a análise de um dos levantamentos bibliográficos - as estratégias de validação das informações foram limitadas ao processo de buscas bibliográficas.

A parte empírica da pesquisa trata-se da coleta e compilação de dados em caráter *ad-hoc*, no objetivo de adquirir informações acerca de ruído ambiental específico, por amostragem, de modo a comparar com a bibliografia sobre a capacidade auditiva humana de captação de frequência e volume sonoro em ambientes urbanos.

Consideraram-se três passos distintos como estratégia de verificação de validação e confiabilidade: credibilidade das fontes, triangulação/validação cruzada e replicabilidade dos resultados.

- **Credibilidade das fontes:** realizada durante o uso de ferramentas de busca digital, a bibliografia prioritária foi sobrelevada por meio da credibilidade histórica das editoras das publicações. Prioritariamente, foram escolhidas bibliografias provindas de faculdades e universidades internacionais e brasileiras; em segundo plano, livros publicados por editoras com tradição em publicações científicas, considerando-se também autores cujos resultados são amplamente confirmados por meio de sua citação nas publicações acadêmicas; deixando assim, em terceiro plano, as publicações em fontes com conteúdo não verificado por pares, como *blogs* e sites corporativos e profissionais. Este método está amparado em Leedy; Ormrod (2015). No caso de *blogs* e sites corporativos/profissionais, a utilização de conteúdo se resumiu a exemplos, definições de palavras ou termos em notas de rodapé, imagens, fotos, tabelas e quadros, desde que o conteúdo corroborasse com os artigos acadêmicos e com os livros. Não foram utilizadas fontes provindas de *crowdsourcing*<sup>4</sup>, como por exemplo o *wikipedia*, posto que fontes de *crowdsourcing* habitualmente contém opiniões pessoais não fundamentadas, muitas provindas de fontes anônimas, com potencial

---

<sup>4</sup> *Crowdsourcing* é um termo que define a obtenção de trabalhos, informações ou opiniões, submetidas por um grande grupo de pessoas por meio de redes sociais, aplicativos de *smartphones* e outras formas de compartilhamento de conteúdo disponível na *internet*. (Howe, 2006).



de contaminar quaisquer informações importantes que porventura estejam imersas em seus conteúdos.

- **Triangulação de dados e validação cruzada:** para incrementar a robustez das conclusões, foram utilizadas múltiplas fontes de dados concordantes para análises técnicas e acadêmicas, analisadas por meio de triangulação dos dados e validação cruzada, ou seja, da adoção de resultados bibliográficos cujo fundamento foi corroborado por mais de um autor, preferencialmente de resultados obtidos em pesquisas com objetivos distintos, seja dentro da mesma disciplina, seja em disciplinas diferentes.

A adoção deste conjunto de medidas buscou assegurar os padrões de rigor científico de forma obter a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos.

#### 2.1.5. Ética na pesquisa

Buscou-se manter a integridade e a ética em todas as fases da pesquisa por meio de ações elencadas abaixo:

- Coleta de dados: ainda que não tenha tido participação de voluntários, a coleta de dados de ruído nas dependências do Metrô de São Paulo foi realizada enquanto o autor caminhava entre pessoas, nas estações e no interior de trens. Por este motivo não foram coletadas imagens para ilustração do processo, de forma a manter respeito pela privacidade e confidencialidade das pessoas no entorno.
- Os dados obtidos nas dependências do Metrô de São Paulo foram utilizados com permissão por escrito do Gerente de Operações, após ter sido devidamente informados acerca dos métodos e do uso estritamente acadêmico dos dados, das compilações e dos resultados. O documento enviado ao Gerente de Operações, assim como seu e-mail resposta contendo a autorização da coleta, compilação e divulgação acadêmica dos dados e dos resultados da pesquisa empírica, estão inseridos nos apêndices A e B (páginas 312 a 316 deste trabalho).

- Os resultados da pesquisa de ruídos, assim como dos levantamentos bibliográficos, foram integralmente inseridos nesta tese, de forma a possibilitar a verificação das fontes. Os artigos, livros e demais documentações bibliográficas receberam *links* de *download* na bibliografia, quando autorizado e disponibilizado pelos respectivos autores e editoras, de forma a facilitar a verificação das fontes.

#### 2.1.6. Limitações da pesquisa

Este aspecto do método aborda as restrições e desafios encontrados durante a condução da pesquisa. As limitações identificadas incluem:

- As restrições políticas de circulação pública ocorridas à época desta pesquisa, assim como suas conseqüentes restrições ambientais e de circulação em espaços públicos, impediram experiências práticas com voluntários com deficiência visual, impactando na extensão e impedindo o detalhamento empírico dos resultados da pesquisa.
- Mesmo tendo buscado fontes acadêmicas e fontes publicadas por especialistas em suas respectivas áreas, a natureza predominantemente secundária do método de levantamento bibliográfico, ou seja, sem pesquisas empíricas para corroborar os resultados, é sujeita a conter vieses inerentes ou limitações de contexto. No objetivo de mitigar estes possíveis problemas, buscou-se fontes diferentes, quando aplicável, de forma a confirmar ou refutar os dados encontrados.
- Desafios relacionados à interpretação de dados qualitativos, que podem estar sujeitos a interpretações variáveis subjetivas de seus respectivos autores.
- As limitações no escopo da pesquisa, como foco específico em determinados aspectos de acessibilidade e deficiência visual, podem ter excluído a busca por bibliografia em outras áreas potencialmente relevantes.

Assim, reconhecem-se as limitações do modelo de pesquisa bibliográfica adotado e, conseqüentemente, sua influência sobre as conclusões e recomendações do estudo. O detalhamento transparente dessas limitações visa esclarecer dúvidas, assegurar a integridade da pesquisa e enriquecer as orientações, admitindo uma ampla abertura que proporciona espaço para futuras investigações na área.

## 2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Quando o assunto é a locomoção em ambientes urbanos, a visão é frequentemente considerada o sentido mais importante, pois permite perceber a forma, a distância, o tamanho e a cor dos objetos. A capacidade da maioria das pessoas se localizar, se orientar e se locomover com segurança depende diretamente da possibilidade de identificar previamente os elementos presentes em ambientes urbanos, como objetos, obstáculos, perigos e até mesmo outras pessoas e seres vivos, possibilitando tomadas de decisão em tempo hábil para a garantir sua locomoção.

No entanto, é importante notar que a integração de todos os sentidos é importante para a locomoção segura e eficaz. Por exemplo, a audição pode alertar para perigos fora do campo da visão, assim como o equilíbrio é organizado pela junção de diversas sensações, como o tato, a audição e até mesmo a visão, para formar a propriocepção. Portanto, embora a visão seja frequentemente destacada como o sentido mais utilizado para tomadas de decisão durante a locomoção, a contribuição de todos os sentidos é vital para a interação e navegação das pessoas (Lynch, 1960; Barhorst-cates; Rand; Creem-regehr, 2016).

De acordo com Wastiels; Schifferstein *et al.* (2013), no contexto do design e da arquitetura, a visão é preponderante, pois está associada diretamente na avaliação de elementos como cor, forma e até mesmo textura. No entanto, existe um crescente reconhecimento do papel que o Design pode desempenhar na criação de ambientes mais acessíveis e inclusivos para pessoas com deficiência visual.

O design focado na acessibilidade busca criar produtos, serviços e espaços que sejam melhor utilizados pela maior parte das pessoas, independentemente de suas habilidades visuais. Uma das abordagens neste contexto pode ser a introdução do design de audionavegação, disponibilizando preceitos de design para a elaboração de sinais sonoros e orientações de voz para orientação na mobilidade de pessoas com deficiência visual em espaços urbanos (Belir; Onder, 2013).

No objetivo de se buscar preceitos de design de sinalização ou de *wayfinding design* para este levantamento bibliográfico, observou-se, como esperado, a abundância de bibliografia para o design de produtos, design de serviços, design de sinalização e *wayfinding design* com forte enfoque no visual, legando a audição a um

segundo plano. Mesmo assim, a abordagem teórica dos diversos campos do design, especialmente no contexto de interfaces, produtos e serviços, revela um amplo espectro de conhecimentos e práticas que têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo de várias décadas que não podem ser alijados dos resultados desta pesquisa, posto que esta evolução teórica tem sido importante para o desenvolvimento de soluções de design inovadoras e eficazes, especialmente no que diz respeito à acessibilidade e à experiência do usuário (*UX*<sup>5</sup>), cujo comportamento, independentemente da presença ou ausência de quaisquer tipos de deficiência, é objeto de pesquisa por diversas vertentes da psicologia, tornando-se fonte inestimável de informação para o design para a acessibilidade.

Como exemplo, pode-se citar o behaviorismo, ou comportamentalismo, que é uma abordagem psicológica que foca no estudo do comportamento observável como meio de compreender os processos psicológicos humanos e animais. Surgido no início do século XX, esta corrente teórica marca uma reação à psicologia introspectiva e outras formas tradicionais de psicologia, que enfrentavam dificuldades em produzir previsões testáveis experimentalmente.

John B. Watson (1925) é frequentemente creditado como o fundador do behaviorismo, propondo uma abordagem científica à psicologia que se concentra exclusivamente no comportamento observável, desconsiderando os processos mentais internos como foco de estudo. Watson (1925) introduziu o behaviorismo metodológico em 1913, argumentando que a psicologia deveria estudar apenas comportamentos mensuráveis e observáveis, em detrimento dos processos mentais internos.

Avançando o trabalho de Watson (1925), Skinner (1974) desenvolveu o behaviorismo radical, que difere do behaviorismo metodológico de Watson (1925) por considerar que o comportamento observável é uma manifestação externa de processos mentais invisíveis, como pensamentos e emoções. Skinner (1974) introduziu o conceito de condicionamento operante, segundo o qual o comportamento é

---

<sup>5</sup> *User Experience (UX)*, ou experiência do usuário, é um conceito multidisciplinar que se refere à totalidade das interações e experiências que um usuário tem ao utilizar um produto, sistema ou serviço, incluindo eficácia, facilidade de uso, e prazer na interação com o produto. O objetivo da UX é melhorar a satisfação do usuário (Norman, 2013; Cooper, 2014; Tullis; Albert, 2013; Gothelf; Seiden, 2021).

influenciado por suas consequências, seja por meio de reforços positivos ou negativos e punições.

O condicionamento operante de Skinner (1974) buscou demonstrar que o comportamento pode ser modelado por meio de reforços e punições. Exemplificado pela "Caixa de Skinner" (figura 3), este método revelou que animais (e, por extensão, seres humanos) tendem a repetir comportamentos que são recompensados e a evitar aqueles que são punidos.

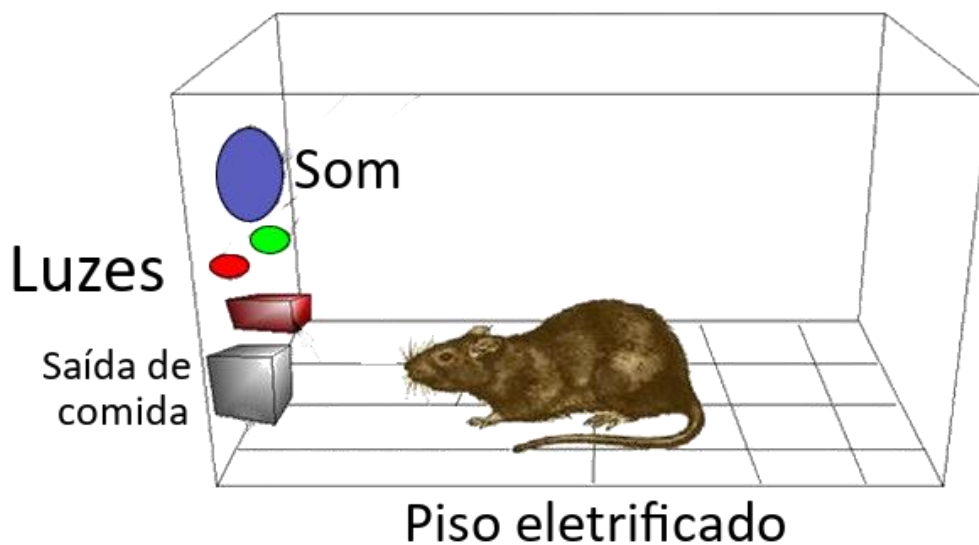


Figura 3 – caixa de Skinner (Skinner, 1974)

Thorndike (1911) é outro pioneiro importante, conhecido por sua "Lei do Efeito", um conceito importante dentro de sua teoria da aprendizagem e foi originalmente descrita em seu trabalho sobre como os animais (especificamente gatos) aprendem a resolver problemas para escapar de caixas de problemas, sugerindo que comportamentos seguidos de consequências agradáveis tendem a ser fortalecidos, enquanto aqueles seguidos de consequências desagradáveis tendem a ser enfraquecidos.

O impacto do behaviorismo estende-se além da psicologia, influenciando áreas como educação, terapia e gerenciamento organizacional. Apesar de sofrer críticas, especialmente em relação à sua ênfase em comportamentos observáveis em detrimento dos processos mentais internos (Chomsky, 1959; Bandura, 1976; Vygotsky, 1978; Eysenck; Keane, 2015), o behaviorismo continua sendo uma corrente importante para a compreensão do comportamento humano e animal.

A evolução do behaviorismo pode ser entendida como um processo de diversificação e profundidade teórica que levou ao surgimento de várias correntes psicológicas influenciadas direta ou indiretamente por seus princípios. Após a consolidação do behaviorismo clássico de Watson e do behaviorismo radical de Skinner, houve o desenvolvimento de novos subtipos de behaviorismo e a influência desses conceitos em outras teorias psicológicas.

Entre as evoluções e variantes do behaviorismo, podem-se elencar:

- **Intercondutismo ou Behaviorismo de Campo de Kantor:** Este subtipo enfoca o comportamento como uma interação, diferindo do behaviorismo radical por tratar o comportamento como uma ligação entre o sujeito e o ambiente, considerando a importância dessa interação para o estudo do comportamento.
- **Behaviorismo Intencional ou Proposicional de Tolman:** Propõe que o comportamento é orientado a objetivos, incorporando a ideia de mapas cognitivos como mecanismo de aprendizagem, o que introduz a consideração de processos mentais na análise do comportamento.
- **Behaviorismo Dedutivo de Hull e Behaviorismo Teleológico de Rachlin:** Estas variantes enfocam, respectivamente, o comportamento e a aprendizagem como meios de sobrevivência e definem o comportamento em termos de objetivos e temporalidade.

É importante notar que o behaviorismo também influenciou a emergência do cognitivismo, uma corrente psicológica que enfatiza os processos mentais internos para o entendimento do comportamento. Embora o behaviorismo tenha se concentrado no comportamento observável, ignorando os processos mentais internos, a transição para o cognitivismo representou uma evolução natural no campo da psicologia, à medida que os cientistas buscavam entender não apenas o comportamento externo, mas também os processos cognitivos subjacentes.

Além de suas variações, a influência do behaviorismo estende-se a teorias que abordam a psicologia sob uma ótica diferente, como a Psicanálise e a Gestalt. De acordo com (Moretini, 2023), a Psicanálise introduziu a importância do inconsciente nos processos mentais e no comportamento, um aspecto não contemplado

diretamente pelo behaviorismo. A Gestalt, por sua vez, contrasta com o behaviorismo ao focar na percepção e no processo de percepção como elementos cruciais para o entendimento do comportamento, argumentando que o comportamento não pode ser plenamente compreendido se estudado de maneira isolada, que se originou com os trabalhos de Max Wertheimer, Kurt Koffka e Wolfgang Köhler, além de tornar-se um dos pilares do design.

Koffka (1935) explora a percepção humana sobre objetos como entidades unificadas ao invés de meras coleções de partes, enfatizando a importância da organização visual e de como o cérebro tende a agrupar elementos, seguindo os princípios da proximidade, semelhança, continuidade, fechamento, contraste, direcionamento e simetria.

**1. Proximidade:** este princípio sugere que objetos ou formas que estão próximos uns dos outros tendem a ser percebidos como um grupo. Isso ocorre porque nossa percepção agrupa automaticamente elementos que estão fisicamente próximos. Na figura 4, um exemplo do uso do princípio da proximidade.

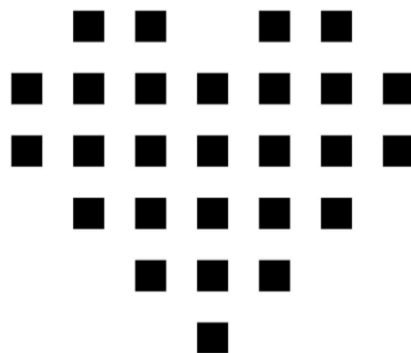


Figura 4 – proximidade (Zemmel, 2008)

**2. Segregação (ou separação):** este princípio descreve como percebemos elementos distintos como separados ou diferentes, mesmo quando estão próximos uns dos outros. Ela se aplica à forma como distinguimos e categorizamos objetos ou elementos em nosso campo visual, enfatizando a tendência humana de separar elementos com base em características como forma, cor, tamanho ou outras propriedades visuais. A figura 5, página 55, demonstra um exemplo de segregação, no qual o cérebro separa as figuras somente por possuírem cores diferentes.



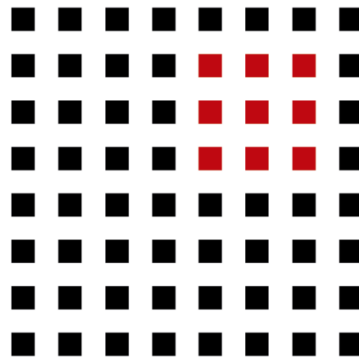


Figura 5 – segregação (Lima, 2020)

**3. Semelhança:** de acordo com este princípio, elementos que são visualmente semelhantes são percebidos como parte de um mesmo grupo. Isso pode acontecer com base em características como cor, forma, tamanho ou outra qualidade visual. Na figura 6, a capa do disco “A hard Day’s Night”, dos Beatles, há várias faces diferentes dos membros da banda. Cada retrato é enquadrado por um quadrado branco, criando um padrão repetitivo. A consistência no estilo das fotos e a disposição uniforme promovem uma percepção de grupo coeso, acentuado pela disposição regular e pela uniformidade dos quadrados, que ajudam na organização perceptiva da imagem como um todo integrado e harmonioso, com as imagens individuais agrupadas, fortalecendo a percepção de que todas as imagens estão relacionadas e pertencem à mesma coleção. A repetição e a consistência visual reforçam a unidade do grupo e a identidade coletiva da banda.

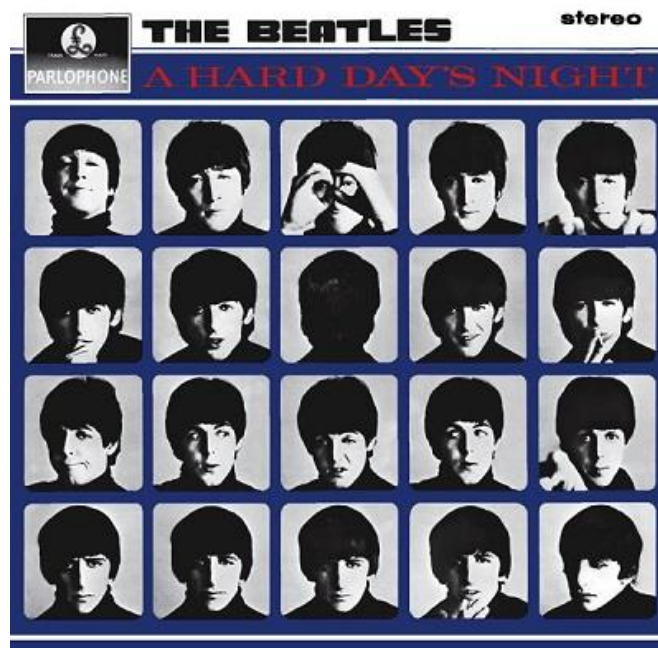


Figura 6 – semelhança (THE BEATLES, 1964)

**4. Continuidade:** este princípio afirma que percebemos elementos dispostos em uma linha ou curva contínua como pertencentes a uma mesma trajetória ou grupo. Isso acontece mesmo quando outros elementos interrompem essa linha ou curva. A figura 7 mostra, em uma campanha publicitária da FedEx, um exemplo de continuidade, onde o vaso está interrompido pela caixa para passar uma mensagem de produto enviado e recebido pela empresa de transportes.



Figura 7 – continuidade (DM9DDB, 2009)

**5. Fechamento:** segundo este princípio, tendemos a perceber formas completas mesmo quando parte delas está faltando. Nosso cérebro preenche as lacunas de informações visuais para formar uma imagem completa. Na figura 8, um exemplo de fechamento, no qual o cérebro forma o bulbo de uma lâmpada.



Figura 8 – fechamento (Barlow, 2018)

**6. Pregnância (ou boa forma):** este princípio propõe que nossa percepção tende a organizar elementos de forma a criar uma estrutura o mais simples e regular possível. Em outras palavras, tendemos a ver figuras regulares, simétricas e simples em vez de formas irregulares e complexas. Na figura 9, um anúncio fotográfico da agência Jung von Matt para a Lego faz uso do princípio da pregnancy para representar os personagens da série Simpsons em blocos de Lego.

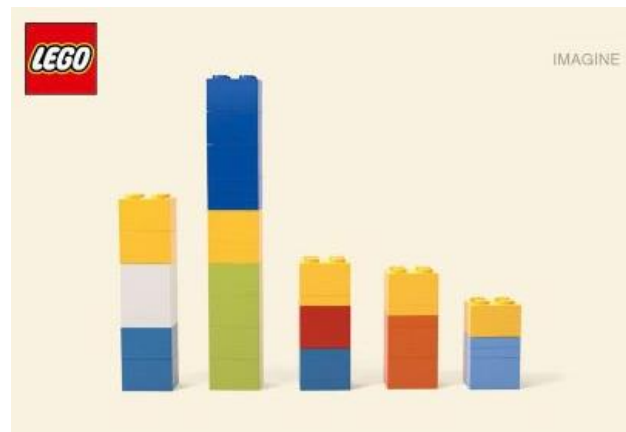


Figura 9 – princípio da pregnancy (JUNG VON MATT, 2012)

**7. Simetria:** o princípio da simetria na Gestalt destaca a tendência humana de perceber elementos simétricos como um todo unificado, facilitando a organização visual. Essa lei sugere que elementos que são espelhados em torno de um eixo central são percebidos como pertencentes juntos, proporcionando equilíbrio e harmonia à percepção. A simetria é aplicada amplamente em design, arte e arquitetura, melhorando a estética e a compreensibilidade das composições visuais, ao promover uma experiência visual mais agradável e ordenada. Na figura 10, logomarca do Metrô de São Paulo utiliza a simetria.



Figura 10 – simetria (logomarca do Metrô de São Paulo por Cauduro, 1967 (CMSP, 2020)

**8. Figura e fundo:** o princípio da figura e fundo é um dos conceitos fundamentais da Gestalt, que descreve como percebemos elementos visuais como sendo o foco principal (figura) sobre um plano de fundo indistinto (fundo). Este princípio explica a nossa capacidade de distinguir um objeto do ambiente que o rodeia, permitindo que o cérebro organize e priorize informações visuais para facilitar a identificação e compreensão de cenas complexas (figura 11)



Figura 11 – figura e fundo (VIVADECOR, 2022)

**9. Unidade:** este princípio sugere que nossa mente tende a integrar componentes de uma cena visual em uma estrutura organizada ou unidade, permitindo-nos reconhecer padrões e formas complexas. A unidade é alcançada por meio da aplicação de vários outros princípios da Gestalt, como proximidade, semelhança e continuidade, que trabalham juntas para criar percepções holísticas de nosso ambiente (figura 12).



Figura 12 – unidade (Brenner, 2017)

**10. Destinação comum (ou destino comum):** este princípio sugere que elementos que se movem na mesma direção ou com um ritmo similar são percebidos como parte de um único grupo. Na figura 13, formatos dos elementos passam a sensação de destinação comum.



Figura 13 – destinação comum (Drubscky, 2023)

**11. Experiência:** segundo este princípio, a experiência passada e o conhecimento prévio de um indivíduo podem influenciar a maneira como ele percebe os estímulos visuais, possibilitando identificar, por exemplo, um gato bege em uma pilha de madeiras beges: mesmo sem contraste, a experiência possibilita identificar o gato (figura 14).



Figura 14 – experiência (PETÉPOP, 2023)

Um aspecto crítico do design visual envolve a compreensão das teorias subjacentes à percepção humana das cores. No centro desta discussão está a obra 'Teoria das Cores', publicada por Goethe (1840), que exerceu uma influência

significativa tanto na arte quanto no design. Diferentemente das abordagens científicas tradicionais da época, como a teoria da luz e da cor de Newton (1704), que se concentrava em fenômenos físicos como a refração da luz, Goethe (1840) introduziu um olhar filosófico e psicológico. Ele explorou a percepção humana das cores, abordando aspectos como as sombras coloridas e a aberração cromática. Este enfoque não somente desafiou as teorias científicas prevalentes, mas também estabeleceu um novo paradigma ao considerar o impacto emocional e perceptual das cores no design e na arte.

A figura 15 mostra um exemplo do fenômeno da refração da luz ao passar por uma lente (Newton, 1704) e o efeito resultante da refração, o qual Goethe (1840) nomeou de aberração cromática.

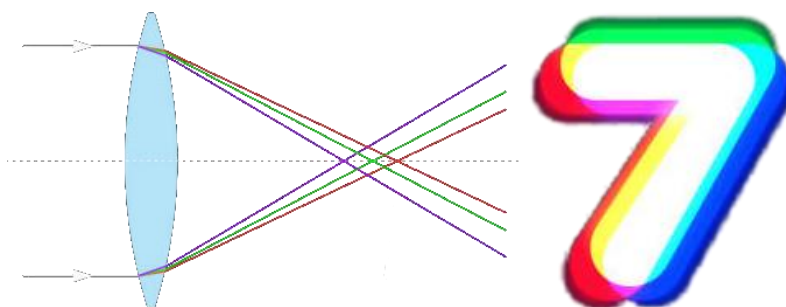


Figura 15 (exemplo do autor, 2024) - refração da luz conforme Newton (1704) e aberração cromática resultante conforme Goethe (1840)

Posteriormente, artistas e teóricos como Itten (1973), Munsell (1913) e Josef Albers apud Bononato (2020) expandiram os conceitos das cores, influenciando diretamente a forma de utilização para criar harmonia, contraste e hierarquia visual em projetos de design. Mais recentemente, Guimarães (2018) explora os trabalhos de Goethe (1840), Itten (1973), Munsell (1913) e Albers (Bononato, 2020) para utilizar a cor na comunicação e no design de informações.

Em outra esfera do design visual, Bringhurst (1996) e Tschichold (2007) fornecem orientações detalhadas sobre legibilidade e estética da tipografia. Spiekermann (2011) e Lupton (2004), também contribuíram significativamente para a compreensão da tipografia no contexto do design de informação.

No campo do design centrado no usuário e design de interfaces digitais, autores como Norman (2005; 2013), e Nielsen; Budiu (2012), com seus estudos sobre

usabilidade, têm sido fundamentais para entender como criar produtos que são tanto funcionais quanto agradáveis para os usuários.

As teorias do design tradicionais, mesmo as focadas na visão, são fundamentais para inovar e aprimorar soluções de design, especialmente em acessibilidade e experiência do usuário. Apesar de os conceitos visuais serem menos aplicados quando se fala de um “design não visual”, como é o caso do design de audionavegação, a importância dos princípios visuais permanece relevante. Assim, este estudo considera a bibliografia habitual como ponto de partida dos referenciais para o design de audionavegação, entendendo que é possível a transposição dos principais conceitos de design baseados em preceitos visuais para um design não visual, baseado em elementos sonoros/auditivos.

A seguir, serão apresentados conceitos fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

### 2.2.1. Deficiência visual

Os olhos humanos são órgãos complexos, responsáveis pelo sentido da visão, permitindo a identificação de formas, cores e intensidades de luz. Cada olho está situado em uma cavidade óssea chamada órbita, protegido por estruturas como as pálpebras e cílios e lubrificado pelas glândulas lacrimais.

De acordo com a Pro Visu (2023), os componentes principais dos olhos humanos formam um complexo óptico cuja combinação de funcionalidades permite a percepção visual. Estes componentes dos olhos que possibilitam diretamente a visão estão representados na figura 16.

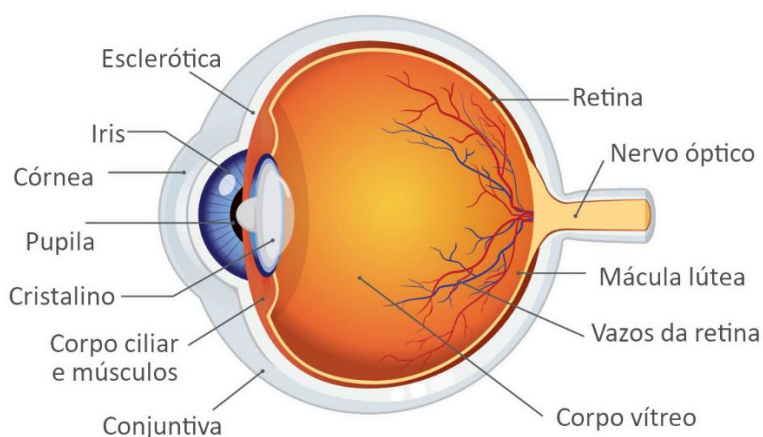


Figura 16 – componentes principais dos olhos humanos (PRO VISU, 2023)

- **Esclerótica ou esclera:** tecido fibroso externo que reveste o globo ocular, cujas funções são a proteção e a manutenção da forma, tônus e volume do globo ocular (PRO VISU, 2023).
- **Iris:** é a área circular que circunda a pupila. A iris regula a quantidade de luz que entra no olho, dilatando a pupila em ambientes mais escuros para permitir a passagem de mais luz, ou contraindo a pupila em ambientes mais luminosos para evitar a ofuscação ao limitar a quantidade de luz em ambientes com excesso de iluminação (PRO VISU, 2023).
- **Pupila:** é a abertura central da iris. Quando está mais aberta, permite a passagem de bastante luz, assim como quando está mais fechada, limita a quantidade de luz que entra no olho. O controle de abertura da pupila é responsável por possibilitar a visão em ambientes mais escuros, assim como evitar a ofuscação em situações de muita luz (PRO VISU, 2023).
- **Córnea:** é o primeiro componente do olho que é atravessado pela luz. Trata-se de um tecido fino, transparente e resistente que do olho. Por não ser irrigado por vasos sanguíneos, a córnea é nutrida interiormente por um líquido, chamado humor aquoso, que preenche o espaço entre a córnea e o cristalino, e em seu exterior por uma fina camada de lágrima. A córnea é responsável por ajustes na entrada de luz quando a iris abre e fecha a pupila (PRO VISU, 2023).
- **Cristalino:** trata-se efetivamente da lente dos olhos. O cristalino é o responsável por ajustar o foco quando se faz necessário mudar a visão para objetos próximos ou distantes (PRO VISU, 2023).
- **Corpo ciliar e músculos:** o conjunto do corpo ciliar são os músculos que movimentam o conjunto óptico dos olhos. responsável por controlar a convexidade do cristalino e a quantidade de abertura das iris. O corpo ciliar também produz o humor aquoso que nutre a córnea (PRO VISU, 2023).



- **Conjuntiva:** é uma membrana que reveste a esclera, protegendo a superfície ocular contra a presença de corpos estranhos, além de manter a lubrificação externa do globo ocular (PRO VISU, 2023).
- **Retina:** formada por células sensíveis à luz, chamadas fotorreceptores, a retina contém cones e bastonetes. Os cones são células responsáveis pela visão detalhada, por isso estão em sua maioria localizados na mácula lútea, onde há o maior foco provindo do cristalino, provendo com detalhes e definição nas bordas dos objetos (PRO VISU, 2023). No entanto, a sensibilidade dos cones exige grandes quantidades de luz para serem acionadas. Os bastonetes, por outro lado, são células que exigem menos luz para serem acionadas, então são os responsáveis por permitir a visão em ambientes com pouca luz. Além disso, por estarem distribuídos ao longo da retina, inclusive periféricamente à mácula, são as principais responsáveis pela visão periférica (PRO VISU, 2023).
- **Nervo óptico:** formado por um agrupamento de fibras nervosas chamadas células ganglionares ou células nervosas que ligam os cones e bastonetes ao cérebro, o nervo óptico é o condutor dos sinais nervosos deste os cones e bastonetes até o lobo occipital, que fica na parte de trás do cérebro (PRO VISU, 2023).
- **Mácula lútea:** um ponto localizado ao centro da retina, principal alvo do foco do cristalino. Formado por grandes quantidades de cones, a mácula lútea distingue detalhes no meio do campo visual (PRO VISU, 2023).
- **Vasos da retina:** são os vasos sanguíneos que nutrem as células dos olhos. A associação dos vasos sanguíneos ao nervo óptico possibilitam a livre movimentação do globo ocular (PRO VISU, 2023).
- **Corpo vítreo:** também chamado humor vítreo ou fluído vítreo, é uma substância gelatinosa que preenche a cavidade posterior do globo ocular, mantendo o volume e a forma do olho. É um fluído transparente que permite que a luz possa atravessá-lo desde o cristalino até a retina (PRO VISU, 2023).

O funcionamento destes componentes internos dos olhos é fundamental para a correta visão, posto que a falha em um ou mais destes componentes pode afetar tanto a luz que incide na retina quanto impedir que as sensações luminosas cheguem até o lobo occipital. Boa parte das deficiências visuais resultam de disfunções em uma ou em várias destas partes, que podem levar desde erros de refração da luz, passando pela visão subnormal ou baixa visão até chegar na cegueira, que é a ausência total de visão. Os indivíduos com baixa visão ou com cegueira são conhecidas como pessoas com deficiência visual, ou PDV.

De acordo com o Ministério da Saúde do Brasil (2008, p. 1), a cegueira é definida como a perda total ou a capacidade extremamente reduzida de enxergar. Esta definição implica que uma pessoa com cegueira tem uma visão muito limitada, a ponto de necessitar do uso do Sistema Braille<sup>6</sup> para leitura e escrita, distinguindo cegueira da baixa visão ou visão subnormal, que é caracterizada por um comprometimento do funcionamento visual dos olhos, mesmo após tratamento ou correção, ou seja, diferentemente das pessoas cegas, as pessoas com baixa visão podem ler textos impressos ampliados ou usar recursos óticos especiais.

Essas definições são parte dos esforços do Ministério da Saúde para abordar a saúde ocular e as condições relacionadas, conscientizando sobre a importância de cuidados regulares com os olhos e da prevenção de doenças que podem levar à cegueira. As principais causas de cegueira, de acordo com o relatório de *Blindness and Vision Impairment Collaborators* (2020), incluem catarata, glaucoma, retinopatia diabética, cegueira infantil e degeneração macular.

Por outro lado, a Organização Mundial da Saúde (2011) define cegueira de acordo com critérios específicos de acuidade visual e campo visual. A definição proposta pela OMS em 1972 estabelece que uma pessoa é considerada cega se sua acuidade visual for menor que 3/60 usando a escala optométrica Snellen (figura 17, página 65), ou seu equivalente. Isso significa que, se uma pessoa não consegue contar dedos à luz do dia a uma distância de 3 metros, essa condição é considerada

---

<sup>6</sup> O Braille é um sistema de escrita tátil para pessoas cegas, usando pontos em relevo para representar letras, números e sinais de pontuação, facilitando a leitura pelo tato. É um método utilizado em maior escala para a alfabetização de cegos e, em menor escala, para sinalizações simples como, por exemplo indicações em mapas táteis (Englebretson; Hookbook; Fischer-baum, 2023) .

equivalente a uma acuidade visual de 3/60 na escala de Snellen. Além disso, se o campo visual da pessoa for inferior a 10 graus, independentemente do nível de acuidade visual, também é considerado cegueira pela OMS.

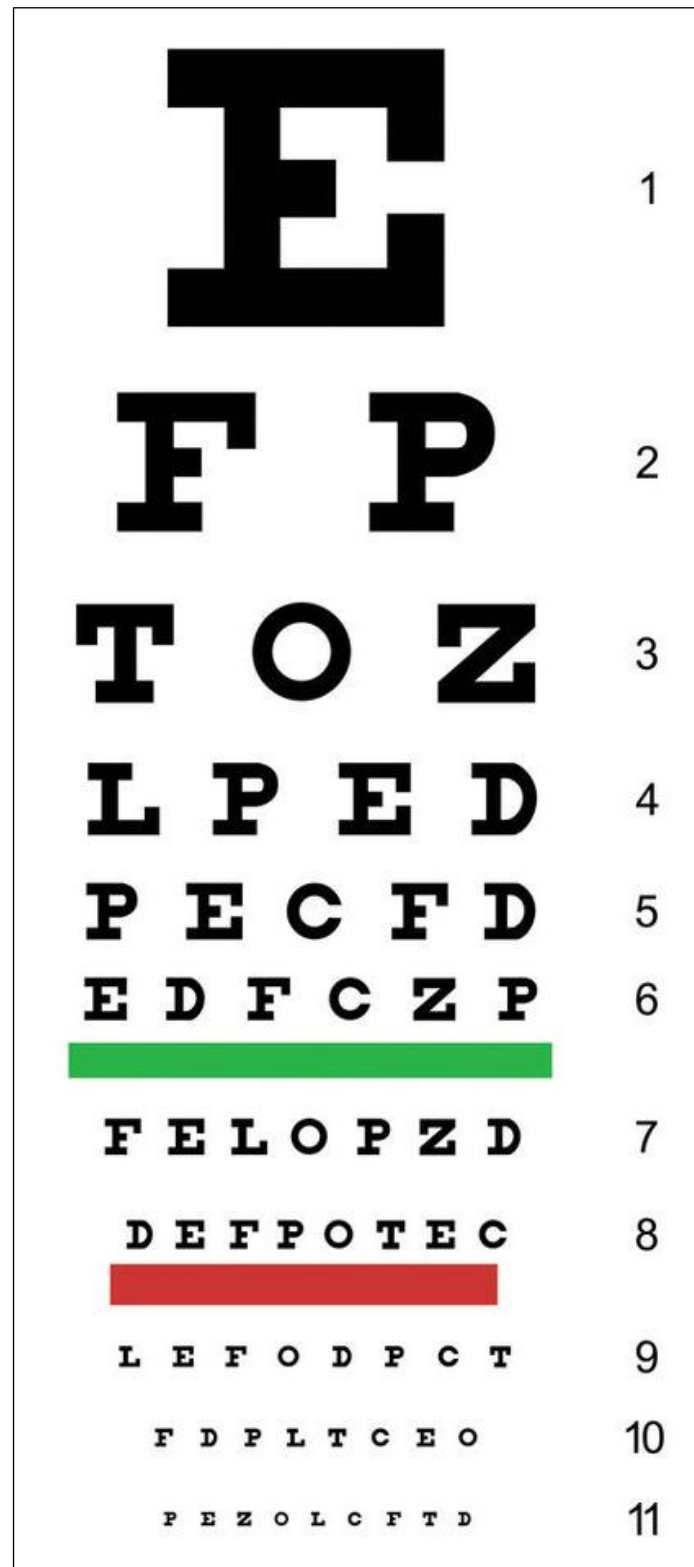


Figura 17 – escala de Snellen (WHO, 2011)

Na Escala de Snellen, a acuidade visual é expressa como uma fração, onde o numerador representa a distância a que o teste é realizado e o denominador indica a menor linha de optotipos (letras ou símbolos) que a pessoa consegue ler. Por exemplo, uma acuidade visual de 20/20 (ou 6/6 em métricas) é considerada normal, significando que a pessoa consegue ler a uma distância de 20 pés (ou 6 metros) o que uma pessoa com visão normal consegue ler à mesma distância.

No caso da acuidade visual 3/60, isso significa que o que a pessoa consegue ver a 3 metros de distância, uma pessoa com visão normal seria capaz de ver a 60 metros de distância. Essa medida indica uma visão bastante limitada. Na prática, alguém com uma acuidade de 3/60 pode ter dificuldade em identificar formas e objetos, mesmo a uma curta distância, e pode ser classificada como tendo uma deficiência visual significativa ou grave. Para contextos como definições de deficiência visual ou cegueira legal, diferentes países e organizações podem ter critérios específicos. Geralmente, acuidades visuais muito baixas, como 3/60, podem ser usadas como parte desses critérios para definir vários níveis de deficiência visual.

As definições do Ministério da Saúde possibilitam a padronização global dos diversos graus de deficiência visual, de modo a facilitar estratégias de saúde pública destinadas a prevenir e tratar a cegueira em todo o mundo. A OMS destaca que a deficiência visual e a cegueira podem ser causadas por uma variedade de condições, incluindo erros de refração, catarata, retinopatia diabética, glaucoma e degeneração macular relacionada à idade, e que há variações substanciais nas causas da deficiência visual entre diferentes países e regiões.

Para o design de audionavegação é importante compreender como os diversos níveis de deficiência visual afetam a percepção ocular do ambiente, de forma que a informação oferecida pela audionavegação não conflite com a percepção que a pessoa com baixa visão ainda tem do ambiente em seu entorno (Silva Filho, 2017).

Em indivíduos cujos olhos têm dificuldades com o foco da luz, não incidindo diretamente na retina, ocorre a miopia ou a hipermetropia. Na miopia, o foco da luz incide antes da retina, enquanto na hipermetropia o foco da luz incide em um ponto depois da retina. A miopia e a hipermetropia são causadas quando o conjunto óptico não é ideal para o comprimento do globo ocular. Na pessoa com miopia, os objetos

distantes ficam fora de foco, enquanto na hipermetropia os objetos próximos ficam fora de foco.

Outro erro de foco na luz é o astigmatismo, que ocorre quando há uma alteração no formato do conjunto óptico ou do globo ocular, causando uma distorção na imagem. As pessoas que possuem olhos com erros de foco de luz não são consideradas pessoas com deficiência visual caso o grau de refração de luz possa ser corrigido por meio de lentes, como óculos e lentes de contato, ou por cirurgias. A figura 18 mostra exemplos de correção da miopia, hipermetropia e astigmatismo por meio de lentes.

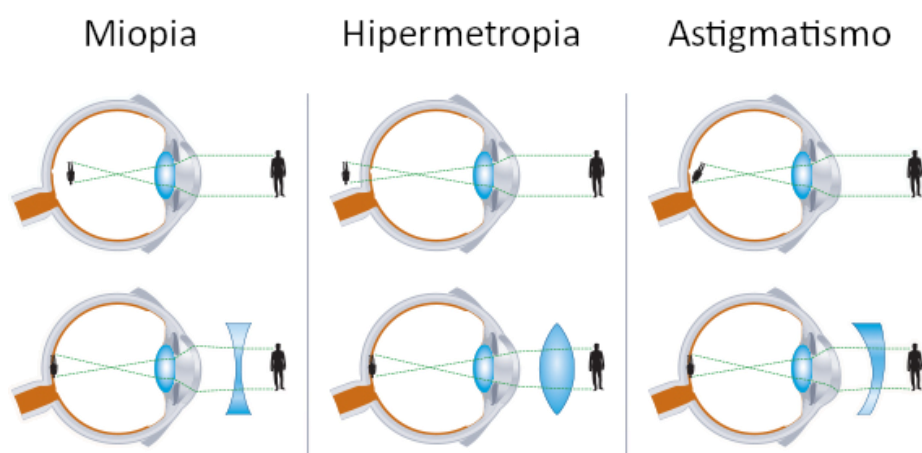


Figura 18 – correções de refração por óculos ou lentes de contato (CLÍNICA BOLZAN, 2018)

Dentre as doenças que podem ocasionar dificuldade na passagem de luz até a retina, a catarata é a maior causa das deficiências visuais reversíveis em todo o mundo, situando-se entre 40% e 50% dos casos (WHO, 2012; Domingues; Lawall; *et al.*, 2016). Designa-se como catarata qualquer opacidade que acomete o cristalino, fazendo com que a luz não atinja nitidamente a retina. A figura 19 reproduz a visão de uma pessoa com catarata.

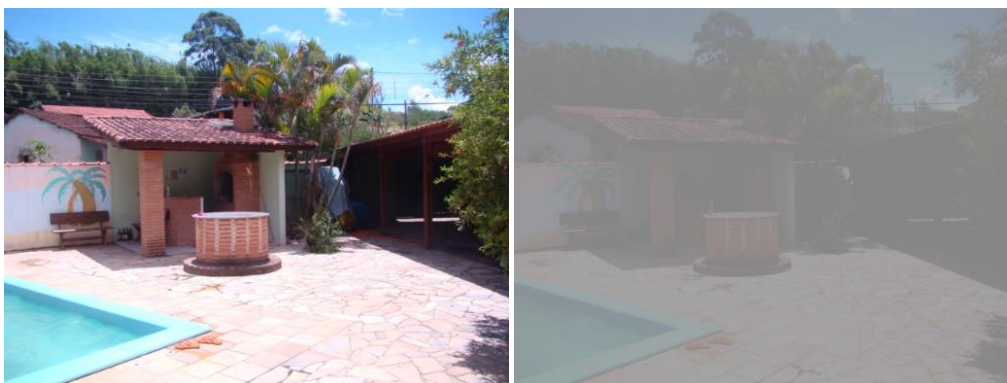


Figura 19 – visão normal e visão com catarata - o autor, 2023, com base em Domingues; Lawall *et al.* (2016)

Uma das doenças dos olhos causada cuja relação é diretamente relacionada a outra doença é a retinopatia diabética. Conforme o nome sugere, a retinopatia diabética é causada pela presença de diabetes, especialmente em pessoas acometidas pela diabetes por longo período de tempo sem controle glicêmico (Bosco; Lerário; *et al.*, 2005). Na retinopatia diabética a retina sofre alterações devido a insuficiência de irrigação sanguínea devido ao desequilíbrio sanguíneo dos níveis de glicose danos nos vasos sanguíneos (Bosco; Lerário; *et al.*, 2005), causando manchas ao longo de todo o ângulo de visão. A figura 20 representa a visão com retinopatia diabética que é considerada uma deficiência visual, pois até o momento é irreversível.

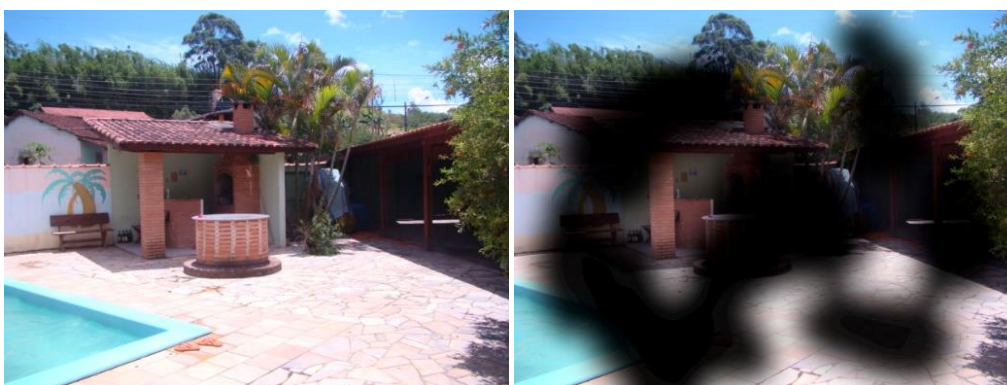


Figura 20 – visão normal e visão com retinopatia diabética - o autor, 2023, com base em Bosco; Lerário *et al.* (2005)

O glaucoma, causado pelo aumento da pressão intraocular, é outro dano degenerativo, causador de danos ao nervo óptico, impossibilitando-o de levar os sinais das células da retina até o lobo occipital. O glaucoma é uma deficiência visual, pois pode levar até a cegueira. A figura 21 mostra um exemplo de glaucoma grave.

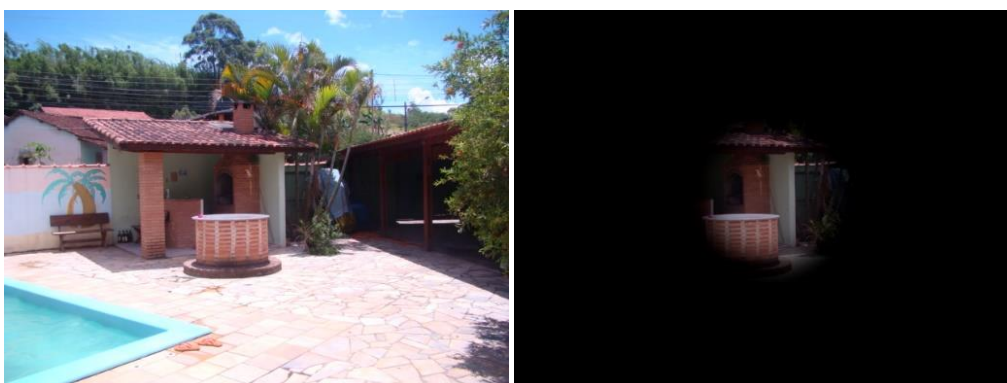


Figura 21 – visão normal e visão com glaucoma - o autor, 2023, com base em Bosco; Lerário *et al.* (2005)

Diferentemente das incorreções da refração da luz, os danos ao globo ocular podem ocasionar situações mais graves. Por exemplo a degeneração macular, quando os cones e bastonetes da mácula lútea sofrem danos, afetam a capacidade de processar imagens. A figura 22 representa a visão de uma pessoa com degeneração macular grave, que é considerada uma deficiência visual.

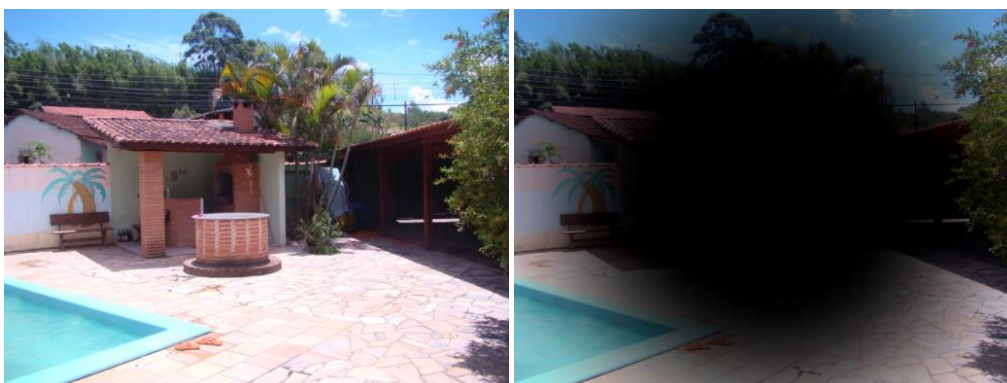


Figura 22 – visão normal e visão com degeneração macular grave - o autor, 2023, com base em Bosco; Lerário *et al.* (2005)

A comparação entre as definições de cegueira e deficiência visual da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2011) e do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008) revela algumas semelhanças e diferenças importantes, descritas a seguir.

### 1. Definições da OMS:

- **Cegueira:** A OMS define cegueira como uma acuidade visual menor que 3/60 na escala de Snellen, ou seu equivalente. Isso significa que uma pessoa é considerada cega se não consegue contar dedos à luz do dia a uma distância de 3 metros, ou se seu campo visual é inferior a 10 graus, independentemente do nível de acuidade visual
- **Deficiência Visual:** A deficiência visual inclui tanto a baixa visão quanto a cegueira. A baixa visão é caracterizada por uma redução significativa na função visual que não pode ser totalmente corrigida com óculos, lentes de contato, medicação ou cirurgia. A deficiência visual é mais ampla e abrange desde a baixa visão até a cegueira total.

## 2. Definições do Ministério da Saúde do Brasil (2008):

- **Cegueira:** O Ministério da Saúde do Brasil define cegueira como a perda total da visão ou uma capacidade muito limitada de enxergar, necessitando do uso do Sistema Braille para leitura e escrita.
- **Deficiência Visual:** A deficiência visual no Brasil é definida como a perda total ou parcial, congênita ou adquirida, da visão. Inclui dois grupos principais: a cegueira e a baixa visão ou visão subnormal, que é o comprometimento do funcionamento visual dos olhos mesmo após tratamento ou correção. As pessoas com baixa visão podem ler textos impressos ampliados ou usar recursos óticos especiais.

Comparação entre as definições da OMS (2011) e do Ministério da Saúde (2008):

- Ambas as definições reconhecem a cegueira como a perda total ou quase total da visão.
- A definição da OMS é mais quantitativa, usando medidas específicas de acuidade visual e campo visual para definir cegueira.
- O Ministério da Saúde do Brasil enfatiza mais a funcionalidade e as necessidades da pessoa com deficiência visual, como o uso do Sistema Braille.
- Ambas as organizações distinguem entre cegueira e baixa visão, reconhecendo que a deficiência visual abrange um espectro que vai da perda parcial a total da visão.

De acordo com o Relatório Mundial sobre a Visão elaborado pela Organização Mundial da Saúde, com base em dados de 2017 e 2018, pelo menos 2,2 bilhões de pessoas no mundo têm uma deficiência visual ou cegueira, das quais pelo menos 1 bilhão delas têm uma deficiência visual que poderia ter sido evitada ou que ainda não foi tratada (OMS, 2019, p. 26). No Brasil, a última compilação sobre deficiências do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística datada de 2012 contabiliza um total de 6,5 milhões de brasileiros acometidos de cegueira ou baixa visão (IBGE, 2012). As estatísticas ressaltam a necessidade de atenção contínua às condições oculares e à saúde visual em todo o mundo, no objetivo de prevenir a ocorrência de casos



recuperáveis, assim como na atenção à qualidade de vida das pessoas acometidas da deficiência visual.

Segundo o relatório sobre deficiências da OMS (2011), a deficiência visual impacta significativamente a qualidade de vida das pessoas afetadas, especialmente em relação à mobilidade e independência em ambientes urbanos. Bernardo *et al.* (2020) sugerem que os métodos de acessibilidade utilizados em ambientes virtuais podem ser transpostos para a mobilidade urbana, de modo a minimizar os desafios enfrentados em ambientes desconhecidos, por meio da superação de dificuldades físicas e sociais. Mariani (2016) e Silva Filho (2017) citam que a busca pela superação das dificuldades pode garantir a inclusão plena e a igualdade de oportunidades para pessoas com deficiência visual.

### 2.2.2. Som e ruído

O som e o ruído são elementos fundamentais para o design não visual, pois a partir deles se dará a compreensão das informações por parte das pessoas com deficiência visual, ao utilizarem um sistema de audionavegação. (por exemplo). O som é uma forma de energia produzida por meio de vibrações em um meio material, como ar, água ou sólidos (Berger, 2022). Essas vibrações se movimentam ao longo do material em forma de ondas, propagando-se pelo meio em que estão inseridas. Quando essas ondas sonoras alcançam nosso ouvido, são captadas pelo sistema auditivo e interpretadas pelo cérebro, permitindo-nos perceber e reconhecer os sons.

O som pode variar em frequência, que determina o tom (grave ou agudo), e em amplitude, que influencia na sua intensidade (volume). Voz é um fenômeno relacionado à propagação de som. A voz humana é produzida quando as cordas vocais (ou pregas vocais) no trato vocal humano vibram e geram ondas de pressão que se propagam pelo ar (Zhang, 2016), seguindo os mesmos princípios das ondas sonoras e suas propriedades físicas.

A vibração sonora e sua medida de frequência podem ser graficamente representadas por meio de uma onda que corresponde à pressão que a energia do som exerce sobre o meio propagador, seja ar, água, sólidos, etc. Everest; Pohlmann

(2015, p. 2) ilustram esta propagação de energia do som por meio de uma ilustração, representando uma onda senoidal por meio das figuras 23 e 24.

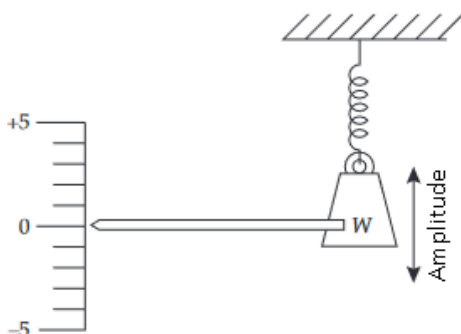


Figura 23 – amplitude (Everest; Pohlmann, 2015, p. 2)

Na figura 23, observa-se um peso ( $w$ ) pendurado em uma superfície sólida por meio de uma mola. A este peso, anexa-se uma agulha apontando para uma escala. Ao movimentar-se este peso para cima e para baixo, o espaço percorrido pelo peso indicado na escala é a amplitude.

Se, ao invés de uma agulha e uma escala, for anexada uma caneta ao peso da figura 23, o peso pode “desenhar” seu movimento em uma folha de papel. Ao movimentar-se esta folha de papel, o peso traçará uma linha que corresponde exatamente à onda senoidal percorrida pelo peso (figura 24).

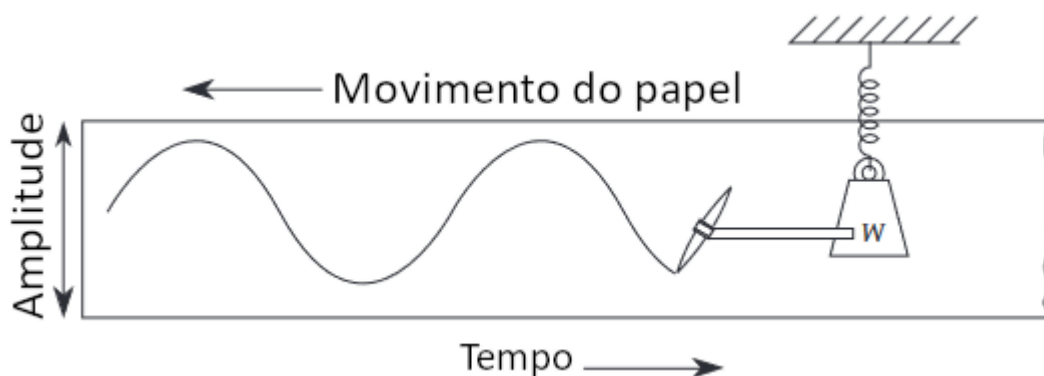


Figura 24 – onda senoidal (Everest; Pohlmann, 2015, p. 2)

A representação gráfica do movimento no papel, conforme Everest; Pohlmann (2015, p. 2), é o método pelo qual pode-se representar quaisquer tipos de movimento em papel, inclusive o movimento do meio o qual o som se propaga, por exemplo o ar, estabelecendo uma base para a compreensão da representação visual das formas de onda sonora que representam as características físicas do som, como volume, altura, intensidade, amplitude, frequência, tom e timbre.

### 2.2.2.1. VOLUME E ALTURA

Popularmente, existe uma relação incorreta do termo “altura” do som, e consequentemente da voz, com a medida de intensidade de volume. Esta imprecisão decorre do uso coloquial dos termos "alto" e "baixo" para descrever, de forma errônea, a amplitude ou energia de uma onda sonora percebida pelo ouvinte. É a impressão subjetiva de quão forte ou fraca o som ou a voz é percebida, relacionada à quantidade de energia sonora que alcança o ouvido humano. Em termos práticos, um som ou uma voz com maior volume é geralmente associada a uma maior intensidade ou maior pressão acústica nos ouvidos.

No entanto, no contexto de som, os termos “alto” e “baixo” correspondem, de fato, à frequência sonora, que está relacionada ao número de ciclos completos de oscilação da onda sonora que ocorrem em um segundo e é medida em hertz (Hz). É a frequência sonora que determina a tonalidade do som percebido pelo ouvinte. Sons com frequências mais altas são percebidos como agudos, enquanto sons com frequências mais baixas são percebidos como graves (INSPIRIT, 2023). A diferença entre um som de frequência baixa e um som de frequência alta pode ser representado conforme a figura 25, enquanto o *QRCode 1* nesta figura oferece exemplos audíveis que possibilitam a percepção de diferença de altura sonora.

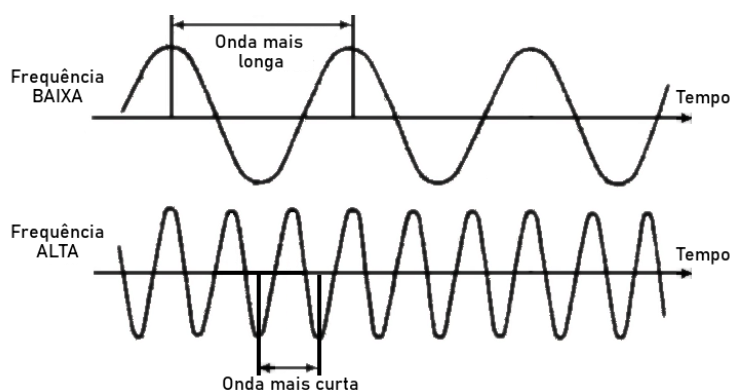


Figura 25 – frequência baixa e frequência alta (o autor, 2023).



*QRCode 1* – exemplos de altura sonora (o autor, 2023)

Pode-se notar visualmente na figura 25, assim como auditivamente no *QRCode 1*, que a frequência mais baixa corresponde àquela em que cada ciclo de oscilação se repete mais lentamente ao longo do tempo, enquanto na frequência mais alta cada ciclo de oscilação se repete mais rapidamente ao longo do tempo.

Considerando-se o som ou voz de natureza eletrônica com propagação pelo ar, quando um sinal elétrico de frequência é inserido em um componente eletromecânico denominado “alto-falante”, a energia da frequência é transformada em energia mecânica, movimentando as moléculas do ar à frente do alto-falante, criando-se, assim zonas de baixa e de alta pressão (OPENSTAX, 2016; Berger, 2022). Estas zonas de baixa e de alta pressão são sentidas pelos ouvidos, traduzindo-se, desta forma, a movimentação das moléculas em som. Este processo está representado na figura 26.

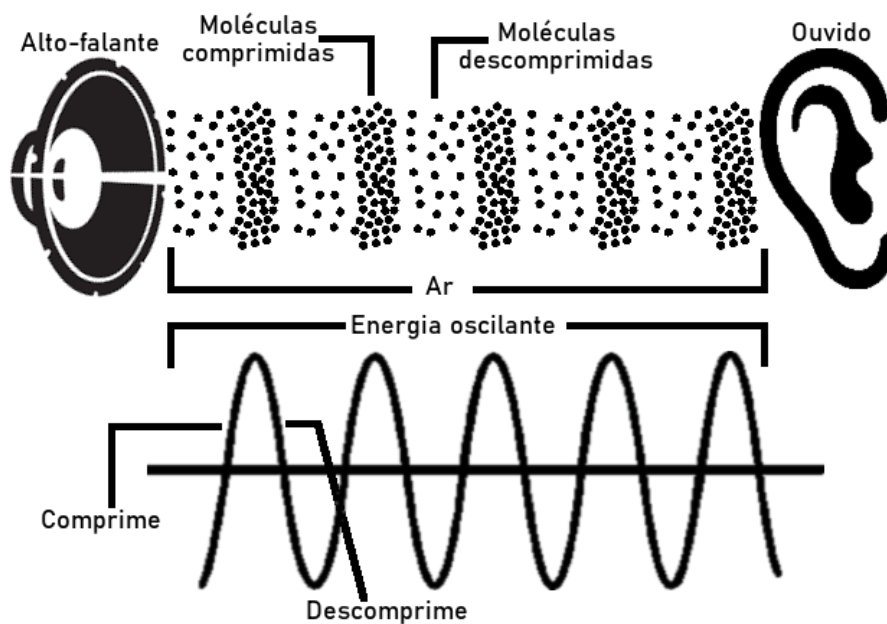


Figura 26 – representação da propagação do som pelo ar (o autor, 2023).

É importante ressaltar que a intensidade percebida de um som não está diretamente ligada à sua frequência. Um som pode ser intenso (em termos de volume percebido) independentemente da frequência disponível (OPENSTAX, 2016; Berger, 2022).. A intensidade, ou volume, está relacionada à amplitude da onda sonora, enquanto a altura está associada ao quão agudo (alto) ou grave (baixo) um som é percebido. Os sons mais baixos variam as moléculas do ar em velocidades menores, causando a sensação de sons graves, enquanto os sons mais altos variam as moléculas do ar em velocidades maiores, causando a sensação de sons mais agudos. Na mesma linha, sons mais intensos, de maior amplitude (volume) deslocam mais moléculas de ar, transmitindo a sensação de maior pressão sobre os ouvidos, enquanto sons menos

intensos, de menor amplitude, deslocam menores quantidades de moléculas de ar, impondo menor pressão sobre os ouvidos.

A diferença entre amplitude (volume ou intensidade) e altura está representada na figura 27 contém formas de onda que ilustram as diferenças de altura e intensidade sonora. O *QRCode 2* oferece um exemplo auditivo destas diferenças.

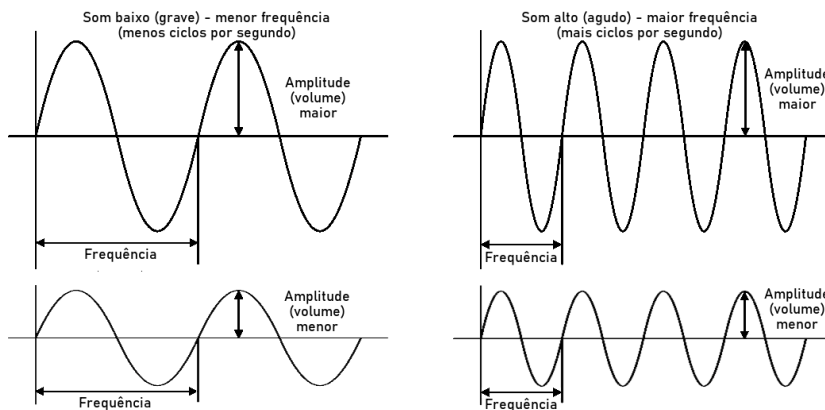


Figura 27 – diferença entre altura sonora (frequência) e amplitude sonora (volume) (o autor, 2023).



QRCode 2 – altura e intensidade (o autor, 2023)

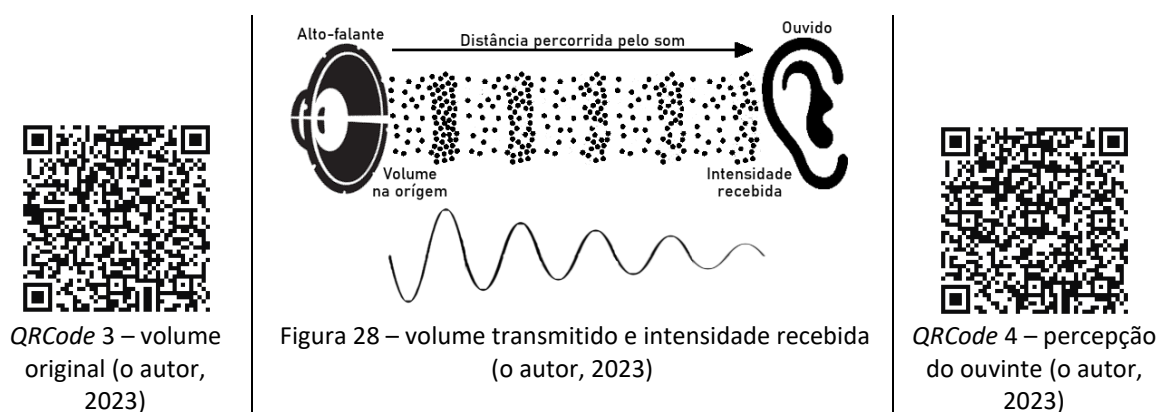
Portanto, enquanto a "altura" está ligada à frequência das ondas sonoras, determinando o quão agudo ou grave é o som, a "intensidade" está associada à amplitude das ondas sonoras, determinando o quão alto ou suave é o som. Esses dois aspectos são independentes um do outro e contribuem para a riqueza e diversidade da experiência auditiva.

#### 2.2.2.2. INTENSIDADE E AMPLITUDE

A intensidade da voz sintetizada é um atributo que denota a energia acústica recebida, intrinsecamente ligada à percepção do volume sonoro, que corresponde diretamente à pressão sonora exercida em um determinado ponto de referência. A amplitude, por sua vez, corresponde à magnitude máxima da oscilação das ondas sonoras e está associada à força ou energia contida no som. Ou seja, enquanto a amplitude refere-se diretamente ao volume da voz no ponto de origem (seja um alto-falante, a boca, fone de ouvido etc., a intensidade refere-se diretamente ao local onde o som é recebido (OPENSTAX, 2016; Berger, 2022).. Quanto maior a amplitude das ondas sonoras, mais elevada é a intensidade percebida do som. Em outras palavras,

um som com amplitude mais significativa é interpretado como mais alto, ao passo que um som com amplitude reduzida é percebido como mais suave.

Apesar de intensidade e amplitude aparentemente referenciarem-se à mesma medida, a sua diferenciação é necessária, haja visto que a intensidade sonora se reduz ao longo do meio o qual está sendo transmitido. Ouvir um alto-falante em determinado volume em uma distância curta certamente causará a sensação de som mais intenso com relação a outro ouvinte que está posicionado mais distante do mesmo alto-falante. A figura 28 agrega dois *QR Codes* que demonstram esta queda do volume sonoro desde a origem até o destino. O *QR Code* 3 mostra o áudio original no momento da transmissão, enquanto o *QR Code* 4 mostra o mesmo áudio, porém da perspectiva do ouvinte posicionado há alguns metros da fonte sonora. A queda de volume por meio da distância percorrida pelo som é perceptível nestes exemplos.



Nota-se que, para uma distância fixa entre a origem do som e o ouvinte, a frequência sonora não muda, porém a capacidade de o som movimentar as moléculas se reduz com a distância. Ou seja, ainda que a voz ou tom sonoro não se modifique, a pressão nas moléculas do ar sofre atenuação, causando a redução da intensidade sonora no momento da captação.

A unidade de medida da amplitude e volume do som, e conseqüentemente da voz sintetizada, é o decibel (dB). Esta unidade é empregada para expressar a relação entre distintos níveis de pressão sonora, quantificando e descrevendo a amplitude do sinal de áudio, indicando a intensidade ou o volume relativo da voz oferecida ao usuário. Uma característica importante da medida em decibéis é que sua escala segue um padrão logarítmico, ou seja, cada aumento de unidade na escala de decibéis

corresponde a um fator multiplicativo constante maior do que 1. A correlação entre a intensidade uma onda sonora e sua medida em decibéis é mostrada na tabela 1, na qual Berger (2022) também transcreve exemplos práticos para cada nível. Note que o nível 0 dB corresponde, de fato, ao limiar inferior da audição humana. Seguindo-se a mesma linha, o nível sonoro de 120 decibéis corresponde ao limiar da audição humana a qual o ouvinte começa a sentir dor. Esta medida de início de dor é considerada aproximada, pois varia de pessoa para pessoa, podendo variar entre 120 e 130 decibéis. A tabela 1 elenca alguns exemplos de sons para alguns níveis de volume sonoro.

Decibéis (dB)	Exemplo de som
130	Proximidade com artilharia pesada; danos à audição.
120	Proximidade a auto falantes em show de rock; Proximidade a motor a jato; dor.
110	Plateia de música orquestral alta.
100	Serra elétrica; início de desconforto auditivo.
90	Interior de ônibus ou caminhão sem redutores de ruído; pessoa gritando.
80	Ruído de motor no interior de automóvel sem redutores de ruído.
70	Ruído comum de ambiente aberto; campainha forte de telefone.
60	Limiar de conversa normal; Ruído branco de escritório comercial.
50	Ruído branco de restaurante; Escritório particular.
40	Quarto silencioso em casa; pessoa cochichando.
30	Sala de aula silenciosa.
20	Momento de silêncio em estúdio de gravação de rádio ou televisão.
10	Sons extremamente leves, como folhas caindo.
0	Silêncio (limiar inferior de audição a 1kHz).

Tabela 1 – exemplos de sons para diversos níveis sonoros em decibéis (Berger, 2022)

A escala de decibéis é logarítmica, significando que um aumento de 10 dB representa um som dez vezes mais intenso. Por exemplo, um som de 80 dB é dez vezes mais intenso do que um som de 70 dB.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece diretrizes relacionadas aos níveis de poluição sonora e seus impactos na saúde humana. A OMS considera a poluição sonora de 50 dB (decibéis) já prejudicial e, a partir de 55 dB, capaz de acarretar níveis de estresse e outros efeitos negativos no indivíduo. Além disso, ao atingir a marca de 75 dB, a poluição sonora pode provocar danos mais sérios, incluindo risco de perda auditiva em caso de exposição prolongada e rotineira de até oito horas. Níveis de som acima de 85 dB podem ser prejudiciais à audição se a exposição for

prolongada. Sons com mais de 120 dB podem causar dor de ouvido e perda permanente de audição. A partir de 125 dB, já se pode sentir dor aguda (CYPRESS HANSEN, 2021; WHO, 2021; PNUMA, 2022).

Existem aplicativos para *smartphones* que têm a funcionalidade de realizar medições básicas de volume sonoro, que emulam os equipamentos profissionais e dedicados, chamados “decibelímetro”. Sejam em aplicativos de *smartphones* ou decibelímetros dedicados, estes instrumentos precisam de calibração prévia, realizada em laboratórios especializados, em conformidade no Brasil com a norma regulamentadora NBR IEC 61672 (ABNT, 2013). A figura 29 ilustra um modelo de decibelímetro comercial comum e a tela de um aplicativo decibelímetro para *smartphone*, utilizados para informar a intensidade sonora do ambiente o qual estão posicionados.



Figura 29 – decibelímetro comercial e aplicativo decibelímetro para *smartphone*

### 2.2.2.3. FREQUÊNCIA E TOM

Em todas as formas de som, seja em instrumentos musicais, equipamentos, e na voz, existe uma relação quase direta entre frequência e tom. Basicamente, frequências baixas resultam em sons mais graves, enquanto frequências mais altas produzem sons mais agudos.



A unidade de medida relacionada à frequência e ao tom de uma voz sintetizada é o Hertz (Hz). A frequência é a medida do número de ciclos completos de uma onda sonora que ocorrem por segundo. No contexto da voz sintetizada, a frequência é importante para determinar o tom ou a altura da voz.

A faixa de audição humana típica se estende de 20 Hz a 20 kHz, com a sensibilidade variando entre indivíduos e diminuindo com a idade. A intensidade sonora necessária para perceber sons aumenta nas frequências muito baixas e muito altas, com um pico de sensibilidade ocorrendo entre esses extremos. O limiar superior de audição segura, antes de atingir níveis que podem causar dor, é geralmente abaixo de 100 dB para jovens e pode ser ligeiramente mais alto para adultos mais velhos, mas geralmente não excede 120 dB, que é considerado o limiar de dor auditiva (Baken; Orlikoff, 2000; Lofft, 2020).

A figura 30 representa, graficamente, os limiares de voz, música e limites de audição. Semelhantemente às representações típicas de medidas de audição, a figura não possui valores escalonados linearmente, de forma a possibilitar uma visualização abrangente que delinea os limiares da audição humana, possibilitando localizar as áreas comuns da voz e dos sons da utilizados para a música.

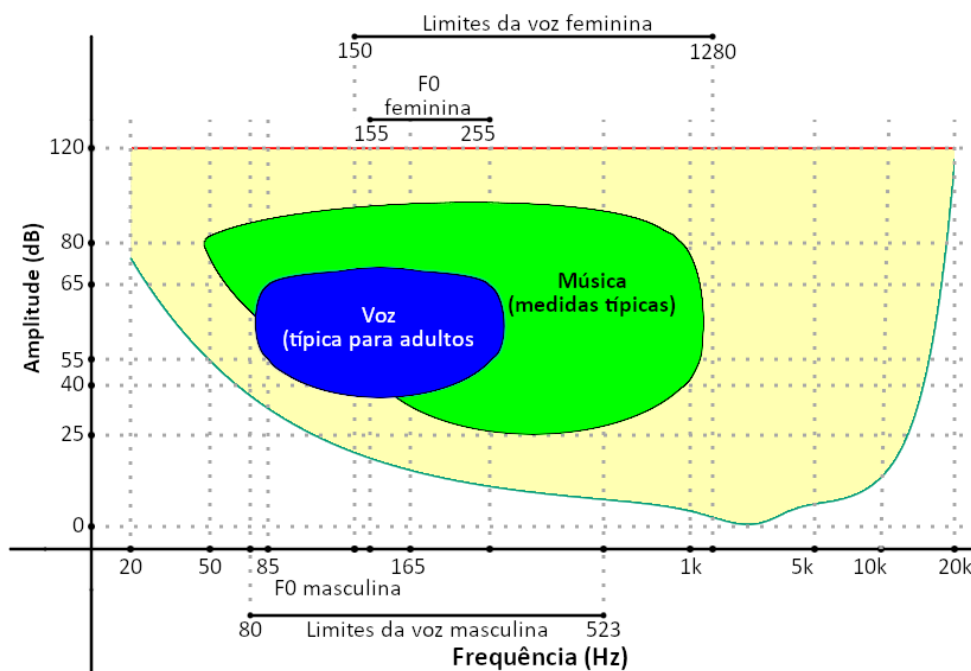


Figura 30 – limiares da audição humana, com sobreposição de voz e música - o autor, 2023 (Baken; Orlikoff, 2000; Lofft, 2020; Santiago, 2020; Rodrigues, 2020) Lofft (Lofft, 2020), (Santiago, 2020), e Rodrigues (2020))

As vozes humanas apresentam frequências fundamentais (F0) específicas: para homens, varia de 85 a 155 Hz, e para mulheres, de 165 a 255 Hz. Contudo, a faixa vocal pode se estender muito além desses limites, com homens alcançando notas tão baixas quanto 65 Hz e sopranos coloratura femininos atingindo até 1.280 Hz, porém a inteligibilidade da fala é maximizada na faixa de frequência de 1 kHz a 4 kHz, onde cortes podem prejudicar a clareza da comunicação (Lofft, 2020; Rodrigues, 2020; Santiago, 2020).

A percepção auditiva abrange uma gama mais ampla de frequências do que a capacidade vocal, estendendo-se de 20 Hz a 20 kHz, com o limiar de dor auditiva começando em torno de 120 dB. Sons acima deste limiar podem causar dor e potencial dano auditivo (Lofft, 2020; Rodrigues, 2020). A música ocupa uma faixa de frequência de 50 Hz a 1000 Hz, com níveis de intensidade de 40 dB a 80 dB, alinhados com a produção sonora de instrumentos musicais (Lofft, 2020; DPA, 2021). Portanto, tanto a voz quanto a música ocupam faixas específicas dentro dos limites gerais da audição humana, com intensidades abaixo de 40 dB geralmente percebidas como sussurros e intensidades acima de 100 dB entrando na zona de desconforto auditivo. Sons fora das faixas especificadas para voz e música são tipicamente classificados como ruído (Baken; Orlikoff, 2000; Lofft, 2020; Rodrigues, 2020; Santiago, 2020) .

#### 2.2.2.4. TIMBRE

O timbre é a qualidade única da voz de uma pessoa, determinada pela forma como as ondas sonoras são moduladas pelas características físicas do trato vocal. Conforme Sundberg (1994) esclarece, o timbre distingue-se pela sua capacidade de conferir uma qualidade única a um som, permitindo sua diferenciação de outros sons que compartilham a mesma altura e intensidade. Essa característica única do timbre é o resultado da maneira como as ondas sonoras são moldadas pelas dimensões físicas e a anatomia do trato vocal, incluindo laringe, faringe, cavidade oral e nasal. Estas estruturas atuam como filtros acústicos que amplificam ou atenuam certas frequências, produzindo assim a singularidade da voz de cada indivíduo.

No contexto da voz humana, Sundberg (1994) cita que as cordas vocais geram um espectro harmônico rudimentar, que é posteriormente modificado pelas

ressonâncias do trato vocal. Estas ressonâncias, conhecidas como formantes, são fundamentais para a elaboração do timbre. Diferentes configurações do trato vocal, como o comprimento e o formato da cavidade oral, influenciam diretamente esses formantes, contribuindo para a singularidade do timbre.

Ao considerar-se timbre vocal na voz sintetizada, particularmente no contexto de orientação de pessoas com deficiência visual na locomoção em espaços urbanos, abre uma interessante interseção entre a tecnologia de síntese de voz e a acessibilidade. Ao longo dos anos, a tecnologia de voz sintetizada evoluiu, tornando-se progressivamente mais natural e compreensível. Esta evolução é relevante para o desenvolvimento de ferramentas assistivas destinadas a pessoas com deficiências visuais, implicando potenciais melhorias na interface usuário-dispositivo. Além disso, a possibilidade de escolher entre diferentes timbres pode permitir aos usuários selecionarem a voz que eles acham mais clara e agradável, o que é especialmente útil em ambientes ruidosos ou para indivíduos com perda auditiva parcial.

Na figura 31, os *QR Codes* 5 a 8 disponibilizam em áudio quatro timbres diferentes de voz sintetizada para o mesmo texto. Nota-se que, apesar de as vozes serem geradas artificialmente, ou seja, não foram feitas por pessoas, os timbres diferentes podem ter significados distintos para o ouvinte, transferindo ideia de gênero, humor, ou até mesmo a sensação de idade de pessoas nas vozes.



Figura 31 – vozes digitais com diferentes timbres para mesma frase (o autor, 2023)

Assim, o timbre vocal é um fenômeno complexo e multifacetado, profundamente enraizado nas características perceptivas do ser humano, que inclusive identifica certas características físicas e psicológicas do locutor somente pelo timbre vocal. A compreensão do timbre não apenas enriquece nosso conhecimento sobre a voz humana, mas aumenta a apreciação da diversidade e expressividade vocal.

As diferenças de timbre nas tecnologias atuais de voz sintetizada buscam sintetizar locutores de características diferentes. O timbre na voz humana não é

estático e pode variar de acordo com a saúde vocal, emoção, fadiga e até mesmo o contexto cultural e linguístico, como elencado por Chun; Madureira (2004). Estas mudanças no timbre podem ser percebidas pela pessoa que está ouvindo, posto que são mudanças naturais. Desta forma, as tecnologias de voz sintetizada buscam maior naturalidade ao sintetizarem as mudanças de timbre vocal.

#### 2.2.2.5. PAUSAS E RITMO

As pausas, entendidas como interrupções momentâneas na fala, desempenham um papel organizacional na estruturação da comunicação oral. Segundo Stack; Watson (Stack; Watson, 2023), as pausas são fundamentais para a delimitação de unidades sintáticas e para proporcionar ao ouvinte tempo para processar a informação. Ademais, Crystal (2005) enfatiza que as pausas contribuem para a criação de ênfase e para a gestão do fluxo da informação. Na figura 32 os *QR Codes* 9 e 10 narram o texto “o sapateiro”. No *QR Code* 9, o texto é narrado com pausas, disponibilizam áudios com a diferença entre uma voz sintetizada narrando um texto com pausas, enquanto o *QR Code* 10 mostra o mesmo texto sem pausas. Nota-se o contraste de percepção de maior clareza de interpretação do texto com pausas com relação ao texto sem pausas.



Figura 32 – exemplos de texto com pausa e o mesmo texto sem pausa (o autor, 2023)

Quanto ao ritmo, é um aspecto intrínseco à fluidez e à naturalidade da comunicação. Conforme Abercrombie (1967), o ritmo, caracterizado pela variação regular de elementos prosódicos como duração, intensidade e altura tonal, influencia diretamente a compreensão e a eficácia da comunicação. Ladd (2008) reforça essa visão, identificando o ritmo como um fator determinante na percepção da estrutura da fala. Na figura 33, página 83, os *QR Codes* 11 e 12 disponibilizam áudios com a

diferença entre uma voz sintetizada narrando um texto em duas versões: a primeira com ritmo, transportando de forma clara a ideia a ser interpretada pelo ouvinte, enquanto no segundo exemplo a mesma narração não teve o cuidado com o ritmo, tornando-o de difícil compreensão, podendo ocasionar interpretações dúbias.



QRCode 11 - texto com ritmo



QRCode 12 - texto sem ritmo

Texto exemplo: chuva na janela.

Ilustração: Freepik (2023)

Figura 33 – exemplos de texto com ritmo e o mesmo texto sem ritmo (o autor, 2023)

A interação entre pausas e ritmo é um fenômeno complexo. Sacks; Schegloff; Jefferson (1974) afirmam que as pausas, quando adequadamente posicionadas, podem contribuir para um ritmo eficaz, facilitando a compreensão e a troca de turnos na conversação. Esta afirmação é corroborada por Couper-Kuhlen (1993), que destaca a importância do ritmo na organização do discurso e na interação social.

#### 2.2.2.6. RUÍDO SONORO

Considerando-se que o som é uma onda mecânica que se propaga através de um meio físico, como ar ou água, o ruído sonoro também se configura como som (Rossing; Moore; Wheeler, 2014), medido em decibéis (dB). A diferença, no entanto, é que o ruído trata de som indesejado, perturbador ou espúrio. Em ambientes urbanos, o ruído pode variar significativamente, influenciando na percepção e a compreensão da fala (Berglund; Lindwall; Schwela, 1999).

A percepção humana de ruído é um aspecto chave do processo de compreensão dos sons, inclusive da fala. Em ambientes ruidosos, a percepção da fala pode ser significativamente prejudicada, um fenômeno conhecido como mascaramento (Moore, 2013), no qual sons de determinadas frequências podem

obscurecer outros sons de frequências próximas. Semelhantemente, Fastl; Zwicker (2006) citam que o ruído prejudica a inteligibilidade da fala. Por exemplo, em um ambiente com ruído de fundo constante, como o zumbido de um motor de ônibus, palavras faladas podem sofrer o mascaramento, ou seja, serem cobertas ou distorcidas pelo ruído, dificultando a compreensão das pessoas.

Dentro do contexto urbano, a reverberação e o eco emergem como componentes ou aspectos da reflexão do ruído, afetando diretamente na qualidade acústica dos espaços. O eco, identificado pelo retorno distinguido de ondas sonoras após refletirem em obstáculos, e a reverberação, uma superposição de ecos caracterizada pela persistência de som após sua fonte cessar, são fenômenos que contribuem significativamente para a qualidade sonora dos ambientes. A reverberação e o eco possuem potencial para impactar na comunicação auditiva, na percepção ambiental e no conforto acústico, exigindo estratégias de planejamento e design cuidadosas para mitigar seus efeitos adversos em áreas densamente povoadas.

O eco é caracterizado como o som refletido que é percebido com um intervalo de tempo suficiente para ser distinguido do som original. Este fenômeno ocorre quando o som refletido por um obstáculo retorna ao emissor em um tempo igual ou superior a 0,1 segundos, possibilitando uma nítida separação entre o som produzido pela fonte e o som refletido (Bistafa, 2011).

Por outro lado, a reverberação é descrita como a continuação da onda sonora mesmo após a cessação da emissão da fonte, devido à reflexão dos impulsos sonoros através das superfícies. Este fenômeno se caracteriza pela superposição de múltiplos ecos, de modo que a diferença de tempo entre o som direto e o som refletido é menor que 0,1 segundo, não permitindo a identificação clara da fonte sonora original (Bistafa, 2011).

Define-se como reverberação o som refletido cuja persistência se sobrepõe ao som original, caracterizando-se pela densidade de reflexões sonoras e pela forma como estas reflexões se degradam ao longo do tempo. De acordo com Kuttruff (2016), a reflexão sonora ocorre quando o som atinge as superfícies presentes nos ambientes, resultando na absorção e na reflexão da energia sonora, levando à geração de eco e de reverberação. A duração deste efeito, denominado tempo de reverberação, é

determinada por fatores como o tamanho do espaço, as propriedades das superfícies e a presença de objetos no ambiente (Kuttruff, 2016).

O tempo de reverberação, denominado “RT60” (*reverberation time 60dB*), é um parâmetro utilizado no projeto acústico de espaços. A sua denominação é direta: RT60 indica o tempo necessário em determinado ambiente para que o volume da reverberação decaia em 60 decibéis após a fonte sonora ter sido interrompida. Sendo a reverberação um aspecto da reflexão sonora, o tempo de reverberação varia conforme o volume do espaço e os materiais usados nas superfícies internas (Everest; Pohlmann, 2015). Em situações de necessidade de levantamento de dados de determinado ambiente cujo ruído seja considerável, como por exemplo para definições de volume e frequência de voz sintetizada, a medida RT60 pode ser uma importante aliada. Cox; D’Antônio (2016) alertam para a necessidade do controle de reverberação, de forma a para garantir a clareza do som e o conforto acústico dos ambientes, por meio do uso de materiais que absorvem o som e pelo cuidado no design da geometria dos espaços.

A reflexão nem sempre significa ruído. Um exemplo clássico do uso útil da reflexão sonora é o design de salas de concerto, nas quais a reflexão é usada para distribuir o som uniformemente pelo espaço. De acordo com Beranek (2004) e Cox; D’Antonio (2016) a sala de concerto Boston Symphony Hall (figura 34), localizado na cidade de Boston, Massachussets, EUA, utiliza superfícies de madeira e formas arquitetônicas específicas, no objetivo de refletir o som de maneira ideal, reduzindo os ruídos e ampliando as reflexões instrumentais, para enriquecer a experiência sonora do espectador.



Figura 34 – Boston Symphony Hall (ACENTECH, 2017)

Por outro lado, raramente os ambientes urbanos contemplam a construção visando a redução de ruídos em espaços abertos, causando reflexões dos sons urbanos e, conseqüentemente, contribuindo para o aumento no nível do ruído. Kang (2006) considera edifícios altos e ruas estreitas como "cânions urbanos" (figura 35), onde o som é refletido várias vezes, aumentando a reverberação e, conseqüentemente, ampliando o ruído, corroborando o trabalho de Schafer (1994), que discute o conceito de paisagem sonora (*soundscape*), incluindo como a arquitetura urbana afeta a propagação e a reflexão do som em ambientes urbanos.



Figura 35 – ilustração de cânion urbano para o ruído (ilustração por Inteligência Artificial do Google, com descrição pelo autor, com base em Kang (2006))

A reverberação, como consequência da reflexão dos sons presentes nos ambientes, pode cobrir a clareza da capacidade de comunicação auditiva das pessoas, conforme discutido por Kuttruff (2016). Em espaços fechados, como por exemplo estações de transportes públicos, a reverberação é o efeito que amplia a densidade sonora do ruído, exigindo que possíveis sons importantes, como por exemplo sinalizações orientativas, precisem ser amplificados ou modificados para que sejam audíveis pelos usuários.

De acordo com Kuttruff (2016), a reflexão ocorre quando uma onda sonora atinge uma superfície; neste cenário, parte da energia sonora é absorvida pelo material da superfície, porém outra parte é refletida, criando outro som, que é a



reflexão. O grau de absorção da energia sonora pelas superfícies é diretamente relacionado à geração de reverberação, dependendo das propriedades da própria superfície: material utilizado na construção, textura e ângulo de incidência, fazendo com que a capacidade de absorção da energia do som ocorra em menor ou maior quantidade, conforme Everest; Pohlmann (2015), os quais afirmam que, de uma forma abrangente, superfícies rígidas e lisas, como concreto ou vidro, refletem mais som do que superfícies macias e porosas, como tecidos ou espuma acústica.

#### 2.2.2.7. PERCEPÇÃO HUMANA DO RUÍDO

A qualidade vocal e a inteligibilidade da fala são aspectos fundamentais para a eficácia de sistemas de voz sintetizada utilizados na orientação de pessoas com deficiência visual. Simões-Zenari; Bitar; Nemr (2012) realçam a influência do ruído ambiental sobre a qualidade vocal, evidenciando a necessidade de considerar o ambiente acústico na concepção de sistemas de voz sintetizada. O fenômeno do Efeito Lombard, que se refere ao aumento involuntário do volume vocal em ambientes ruidosos, sugere a importância de ajustar o volume e a clareza da voz sintetizada para garantir a eficácia da comunicação em diferentes contextos acústicos para a compreensão dos ouvintes.

No entanto, o uso de voz sintetizada ao invés de voz natural gravada possibilita o uso de técnicas de transposição do ruído que avançam além de simples aumento no volume sonoro. Gold; Morgan; Ellis (2011) destacam a importância de otimizar a voz sintetizada para se destacar em ambientes ruidosos por meio de ajustes na frequência, na tonalidade e na velocidade da fala, de modo a minimizar a interferência do ruído de fundo e das reflexões sonoras, enquanto Boll (1979) sugere técnicas de supressão por meio de filtros de reflexão do som, o que resultaria em uma atenuação do ruído ambiente.

Os passos da técnica de atenuação citada por Boll (1979), chamada de “método de subtração espectral” pode ser aplicada no design de audionavegação quanto o aparelho portátil utilizado possua microfone e fones de ouvido, posto que esta técnica depende da captação do ruído para que um “contra ruído” seja inserido no fone de ouvido, de modo a atenuar ou até mesmo anular o ruído.

A mensuração do ruído por meio dos fatores físicos do som, como sua amplitude e frequência, medidos em decibéis (dB) e hertz (Hz), fornecem características quantificáveis que permitem o registro pragmático do ruído. No entanto, estas características relacionadas à física do som não capturam completamente a natureza subjetiva de ruído, pois a percepção humana trabalha de forma contextualizada e multifacetada, englobando desde percepções sensoriais de incômodo até impactos na saúde e no bem-estar. De acordo com Liu; Jiang *et al.* (2022), a complexidade da percepção humana acerca do ruído não se limita a uma dimensão puramente física ou sonora, mas envolve aspectos psicológicos, culturais e contextuais, transcendendo simples descrições acústicas ao abarcar dimensões psicológicas e fisiológicas que refletem a complexidade da experiência humana com o som.

Esta subjetividade da percepção de ruído destaca a importância do contexto e das circunstâncias pessoais na distinção entre som e ruído, pois remete a situações curiosas, nas quais sons identificados como iguais, pelos métodos de mensuração física, podem corresponder a antíteses na percepção humana, como, por exemplo, para um mesmo ouvinte, uma música agradável em um contexto pode se tornar ruído em outro contexto, dependendo somente da intenção, disposição e situação do ouvinte.

As consequências dos fenômenos relacionados aos ruídos ambientes urbanos são significativas, especialmente em contextos de mobilidade urbana onde a qualidade acústica pode afetar a comunicação, a percepção do ambiente e o bem-estar dos indivíduos. Em locais urbanos, a presença acentuada de eco pode diminuir a inteligibilidade do som, prejudicando a comunicação e a orientação espacial, enquanto a reverberação excessiva pode causar desconforto acústico, dificuldades de compreensão da fala e, em casos extremos, impactos negativos à saúde auditiva.

#### 2.2.2.8. CONTROLE DO RUÍDO

No contexto da arquitetura, a possibilidade de inferir mudanças na absorção do som, e, conseqüentemente, na reverberação, conforme Everest; Pohlmann (2015), remete a buscar-se modos de controlar o ruído por meio da mudança do material de

revestimento das superfícies e do modo de construção, enquanto outras disciplinas utilizam-se de ferramentas técnicas.

Quando o ruído precisa ser reduzido para indivíduos que estão utilizando equipamentos portáteis com som, a técnica mais utilizada atualmente é o cancelamento de ruído. Trata-se de uma tecnologia sofisticada empregada em fones de ouvido e outros dispositivos de áudio para reduzir o impacto de ruídos indesejados do ambiente, permitindo uma experiência auditiva mais clara e concentrada.

A tecnologia do cancelamento de ruído, conforme explicado por Song (2022), opera por meio de um conjunto de componentes eletrônicos cujo objetivo é gerar um controle de ruído ativo, dinâmico, no qual microfones embutidos nos dispositivos capturam os sons do ambiente. O sistema então gera uma onda sonora "anti-ruído" que é precisamente invertida em relação ao ruído captado. Quando o ruído original e o anti-ruído se encontram, eles se cancelam mutuamente, diminuindo significativamente a percepção do ruído pelo usuário. Este efeito de redução do ruído está ilustrado na figura 36:

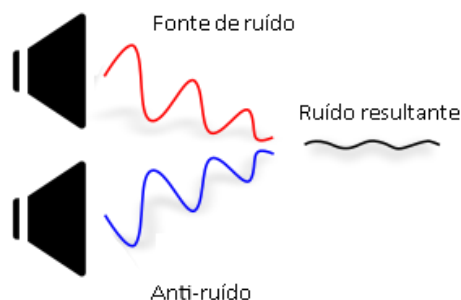


Figura 36 – tecnologia de cancelamento de ruído (o autor, 2023)

O processo de cancelamento de ruído é particularmente eficaz contra ruídos constantes e de baixa frequência, como o zumbido de um motor de avião ou o barulho do tráfego, melhorando assim a qualidade da escuta sem necessidade de aumentar o volume do dispositivo, o que contribui potencialmente para ouvir o som desejado, além de proteger a audição. A eficácia do cancelamento de ruído varia conforme a frequência do som ambiente e o design do dispositivo, sendo uma área de intensa pesquisa e desenvolvimento para aprimorar a experiência auditiva em ambientes ruidosos.

A abordagem central do cancelamento de frequências envolve a identificação das frequências específicas que compõem o ruído indesejado. Uma vez identificadas,

essas frequências podem ser atenuadas ou eliminadas do sinal original. Existem alguns tipos de técnicas para realizar este processo, porém os mais utilizados são os filtros adaptativos, nos quais os aparelhos utilizam algoritmos para ajustar o filtro de modo a minimizar o ruído. Como o nome sugere, estes filtros são capazes de se adaptar a mudanças nas características do ruído, o que é particularmente útil em ambientes onde o ruído pode variar ao longo do tempo.

Kates (1999) cita que, em ambientes práticos, como em sistemas ambientais de comunicação, o cancelamento de frequências é habitualmente usado para melhorar a clareza da voz em ambientes ruidosos, posto que, na engenharia acústica, essa técnica é aplicada em conjunto das adequações de arquitetura e design, conforme Everest; Pohlmann (2015), para melhorar a qualidade do som em ambientes como salas de concerto e estúdios de gravação. Kates (1999) também elenca o uso dos equipamentos de cancelamento de frequências em veículos de socorro, para aumentar do conforto dos ocupantes por meio da redução do som das sirenes e dos ruídos de trânsito.

De acordo com Song (2022), a técnica de supressão de ruído por cancelamento de frequências pode ser efetivamente aplicada para remover ruído ambiente, visando incrementar a compreensão de instruções vocais de audionavegação disponibilizadas por fones de ouvido.

A figura 37 ilustra, graficamente, a onda sonora de uma sirene de ambulância, primeiramente sem a aplicação das técnicas de cancelamento de ruídos, e ao lado a mesma onda sonora após o uso de cancelamento de ruídos (Song, 2022, p. 6).

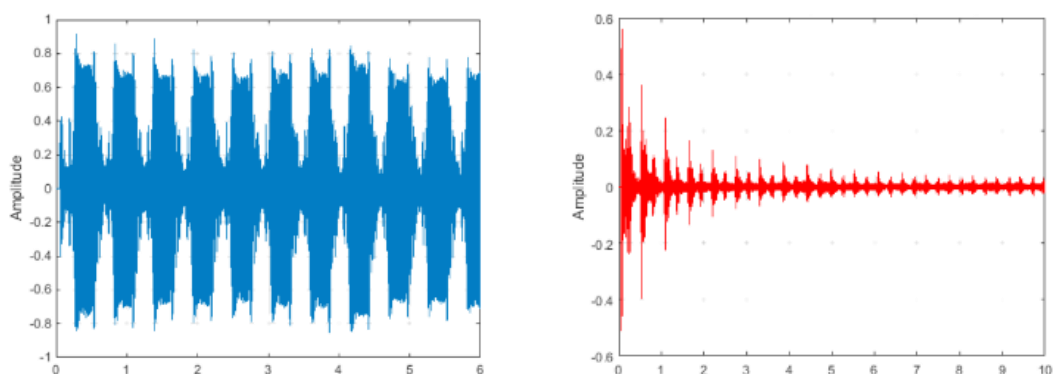


Figura 37 - som de sirene de ambulância sem cancelamento de ruído, em azul, e com cancelamento de ruído, em vermelho (Song, 2022, p. 6)

Um exemplo de como o ruído pode ser reduzido é mostrado nos *QR Codes* 13 e 14. O *QR Code* 13 contém uma gravação de uma voz com ruído, enquanto o *QR Code* 14 contém a mesma voz, porém utilizando-se da de controle ativo de ruído.



*QR Code* 13 – gravação de voz masculina com ruído de fundo presente



*QR Code* 14 – gravação de voz masculina com ruído de fundo suprimido

Um dos usos notáveis dos filtros de cancelamento de frequências é sua aplicação comum em aparelhos auditivos, onde é essencial reduzir o ruído de fundo para melhorar a audição de pessoas com deficiência auditiva (Schroy, 1998). A existência de equipamentos portáteis, miniaturizados, comercialmente viáveis que possuem esta tecnologia, abre possibilidades de fácil incorporação a equipamentos de orientação na mobilidade de pessoas com deficiência visual por audionavegação.

Rane; Coleman *et al.* (2022) investigam o impacto do ruído ambiental na experiência auditiva por meio de fones de ouvido em ambientes sonoros virtuais, focando nos atributos perceptuais de distração e na qualidade da experiência auditiva. Simulando cenários do mundo real com diferentes níveis de ruído de fundo e utilizando uma técnica chamada “controle ativo de ruído”, a pesquisa examina como esses fatores afetam a distração do ouvinte e a qualidade geral da experiência auditiva. Os resultados indicaram que a implementação efetiva do controle ativo de ruído pode melhorar significativamente a qualidade da experiência auditiva, reduzindo a distração causada pelo ruído ambiental e, por conseguinte, potencializando a clareza da comunicação sonora em ambientes ruidosos.

#### 2.2.2.9. DADOS EMPÍRICOS: RUÍDO URBANO

O ruído urbano é um elemento muito importante a ser considerado na audionavegação, pois tem impacto direto no contraste necessário para dar destaque às informações relevantes que devem ser transmitidas ao usuário. O contraste entre a

informação principal e o ruído deve permitir destaque à informação, sob prejuízo de o usuário não compreender adequadamente e em tempo a instrução recebida. Durante a pesquisa bibliográfica não foram encontrados dados específicos sobre ruído urbano, principalmente em sistemas de transporte público.

No objetivo de conhecer algumas características de ruídos urbanos, foi realizada uma coleta e compilação de dados em ambiente urbano, pois Schafer (2001) e Blesser; Salter (2007), ressaltando a importância de explorar a relação entre ruídos ambientais e a percepção auditiva, citam que torna-se essencial entender como o ruído interfere na percepção auditiva e na capacidade de processar informações sonoras, assim como Hersh; Johnson (2008), que destacam a importância de compreender os efeitos do ambiente acústico na percepção humana.

Considerando os ruídos típicos dos espaços urbanos, a coleta de dados foi realizada em estações de metrô, devido ao fato de possuir estações subterrâneas que reverberam sons dos trens e dos passageiros, além do fato de ser um meio de transporte muito utilizado por pessoas com deficiência visual para se locomover nas grandes cidades. O Metrô de São Paulo foi selecionado para esta medição também por apresentar grande diversidade de configurações em suas estações, o que traz uma abrangência maior aos dados coletados, por meio de equipamentos especializados, além da autorização prévia do Metrô de São Paulo conforme apêndice A na página 314. A figura 38 ilustra as plataformas da estação Sé do Metrô de São Paulo, uma das estações subterrâneas de maior profundidade e maior circulação de trens e passageiros do sistema.



Figura 38 – estação subterrânea Sé do Metrô de São Paulo (ANTP TRILHOS, 2023)

A amostragem dos dados de ruído ambiental em algumas estações do metrô seguiu métodos de coleta e compilação de dados adequadas para ambientes urbanos, conforme recomendado por Nightingale; Rossmann (2010) e Andranovich; Riposa (1993). Para a coleta do ruído médio nas estações escolhidas de forma aleatória, utilizou-se equipamento especializado de captura de som, com um captador microfone de medição, visto na figura 39, adequado para a mensuração de ruídos em ambientes abertos ou fechados.



Figura 39 - microfone de medição, modelo ECM-888b (o autor, 2022)

Este equipamento foi escolhido por diferenciar-se de microfones de auditório devido à sua qualidade de não possuir filtros de redução de ruídos. Sua designação é microfone omnidirecional, que o difere de microfones comuns, denominados cardioides (Schiavo, 2019). As designações dos microfones refletem a capacidade direcional de recepção de som. A figura 40 demonstra a capacidade direcional de recepção de um microfone omnidirecional, como o ECM-888b, e de um microfone cardioide, utilizado em estúdios.

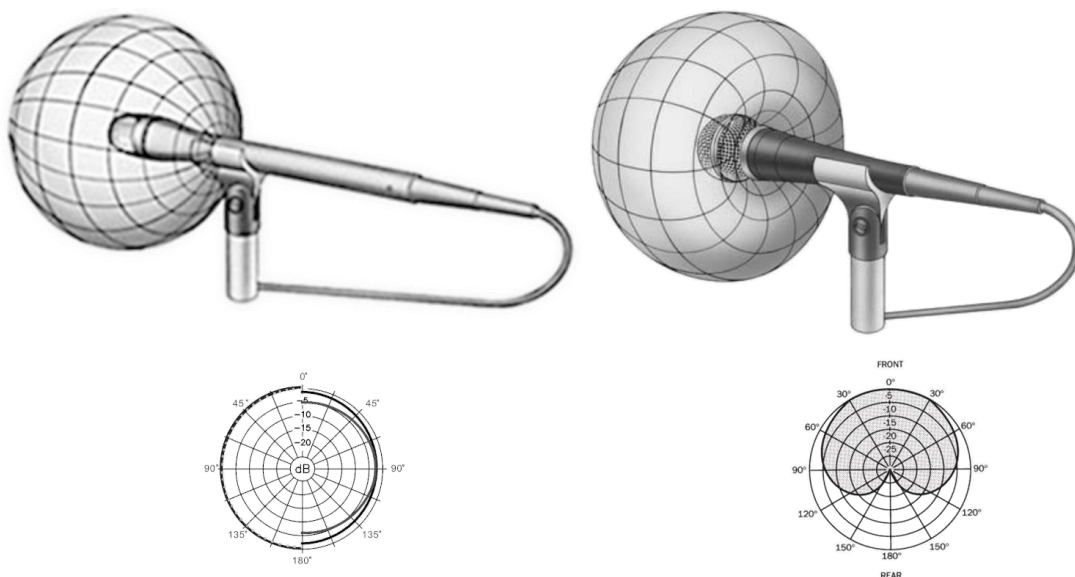


Figura 40 - microfone omnidirecional e microfone cardioide (SUPERLUX, 2006; SHURE, 2021)

Observa-se, na figura 40 da página 93, que o microfone omnidirecional capta sons em todo o seu entorno, enquanto o microfone cardioide é projetado para captar sons em maior intensidade em sua posição anterior e lateral. Esta característica do microfone cardioide permite captar sons direcionados, ignorando sons provindos de sua parte posterior (SHURE, 2021).

Outro ponto importante da escolha do equipamento é a capacidade de captação de sons com pouca distorção. A figura 41 ilustra as diferenças de capacidade de captação de frequências entre um microfone de medição e um microfone de estúdio.

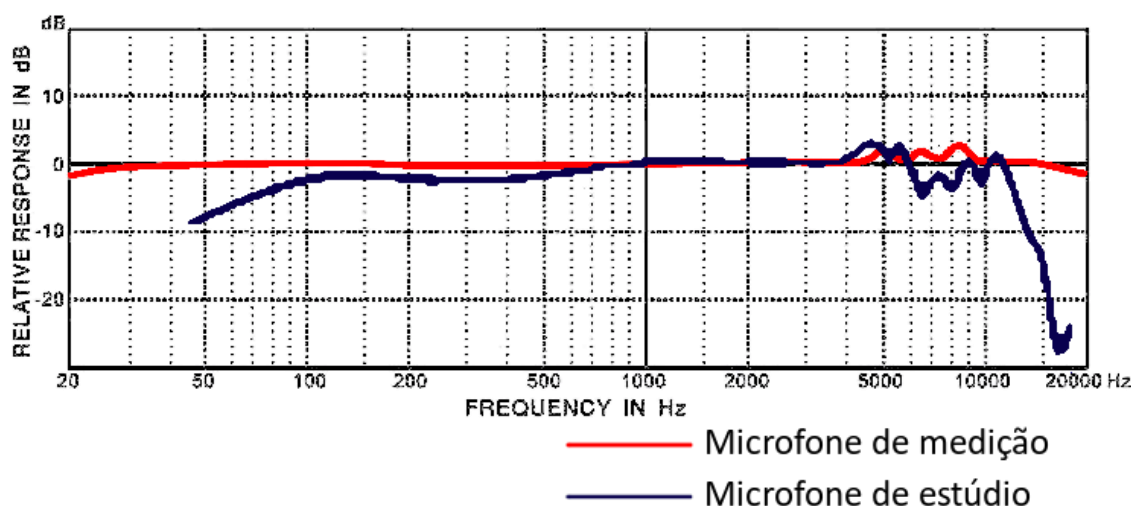


Figura 41 – resposta às frequências – microfone de medição vs. microfone de estúdio (SUPERLUX, 2006; SHURE, 2021)

Além de captar sons provindos de todas as direções, a figura 41 demonstra que o microfone de medição não efetua filtragem de ruídos, enquanto microfones de estúdio são projetados para trabalharem na faixa de som e música, atenuando sinais com frequências mais altas ou mais baixas do que músicas e voz (SUPERLUX, 2006; SHURE, 2021). Ao não filtrar ruídos, o microfone de medição trabalha relativamente estável em toda a faixa de frequências sonoras, desde 20 Hz até 20 kHz, somente com uma pequena distorção entre 5 kHz e 10 kHz, enquanto o microfone de estúdio tem funcionamento incerto abaixo dos 50 Hz, captando som sem distorção somente até cerca de 35 kHz, quando começa a distorcer e atenuar o som captado, tornando o som não confiável para medição.



Para gravação dos dados de ruído, optou-se pelo software iNVH, da Bosch, que realiza captura e registro de níveis de pressão sonora em 1/3 de oitava de frequências<sup>7</sup>, desde 125 Hz até 20 kHz. Considerando a capacidade de audição humana, compreendida entre 20 Hz e 20 kHz, o conjunto microfone – software abrange quase a totalidade das frequências audíveis, conforme ilustrado na figura 41 da página 94.

Durante a medição de ruído, a interface do software Bosch iNVH captura os ruídos em arquivo de dados, além de representar, na tela do *smartphone*, um gráfico com barras verticais representando os sons captados, conforme a figura 42, dividido em 1/3 de oitava.

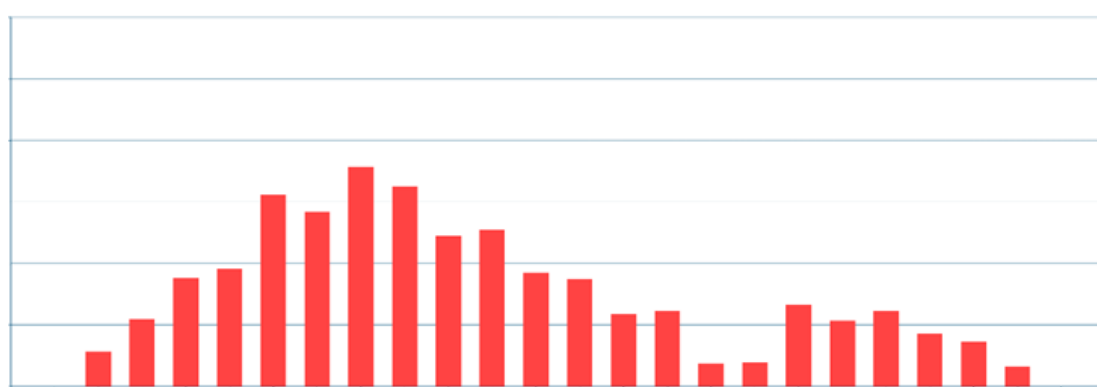


Figura 42 – interface de captura do software Bosch iNVH (o autor, 2024)

O equipamento foi calibrado conforme NBR (ABNT, 2020), de modo a se obter fidelidade dos dados.

A captura dos ruídos ambientais foi realizada com autorização da Gerência de Operações da Companhia do Metropolitano de São Paulo, conforme apêndices A e B (páginas 312 a 316).

Foram mensuradas cinco estações, no período entre 17 e 21 de outubro de 2022, escolhidas por compartilharem passageiros e trens de duas ou mais linhas de metrô, ônibus e trens expresso, conforme descrição abaixo:

---

<sup>7</sup> As divisões de 1/3 de oitava referem-se à segmentação de uma oitava completa em três partes iguais, permitindo análises acústicas detalhadas do espectro sonoro. As divisões possibilitam uma avaliação mais precisa de sons em aplicações como engenharia acústica e medição de poluição sonora, conformando-se com normas IEC 61260 para análises acústicas (2014).

- Ana Rosa: compartilha a estação com as Linhas 1 (azul) do Metrô e Linha 2 (verde) do Metrô;
- Jabaquara: compartilha a Linha 1 (azul) do Metrô com o terminal Jabaquara de ônibus urbano;
- Luz: compartilha a Linha 1 (azul) do Metrô com a Linha 4 (amarela) da empresa de trens urbanos, Via 4 Amarela, assim como com a Linha 7 (rubí) da Companhia de Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM);
- Paraíso: compartilha a estação com as Linhas 1 (azul) do Metrô e Linha 2 (verde) do Metrô;
- Sé: compartilha a estação com as Linhas 1 (azul) do Metrô e Linha 3 (vermelha) do Metrô.

As medições em cada estação foram realizadas em pontos específicos, buscando-se locais e momentos em que os ruídos se tornam em maior intensidade sonora. Assim, buscou-se os pontos de entradas de trens nas plataformas, no momento em que os trens estão entrando, ainda em velocidade, assim como os pontos de saída do trem, registrando-se médias de ruídos de todo o comprimento do trem enquanto deixa a plataforma.

Outro ponto medido foram as linhas de bloqueios (catracas), em momentos de movimentação intensa de passageiros, porém sem a existência de filas. Este método de escolha, de horários com movimentação sem lotação, foi necessário para possibilitar a coleta de maiores níveis de ruído, posto que a presença de aglomerações, ainda que tenham potencial de incrementar os sons devido às conversas entre as pessoas, na verdade levam à redução do ruído devido ao efeito de absorção de sons, ecos e reverberações, devido à presença de grandes quantidades de materiais absorventes acústicos, composto por roupas, mochilas e até mesmo a pele das pessoas (Bodlund, 1977; Ghan; Cazzolato; Snyder, 2003; Bonsi; Gonzalez; Stanzial, 2005).

Os dados obtidos foram separados por faixas de 1/3 de oitava de frequências e por estações, calculando-se a média de ruído de cada estação. Ao organizar-se estes

dados das estações medidas, colhendo-se a estação que produziu o maior ruído em cada terço de oitava sonora, foi possível obter a tabela 2:

Frequência (1/3 de oitava)	Estações					Maior valor
	Ana Rosa	Jabaquara	Luz	Paraíso	Sé	
49Hz	43,50 dB	41,82 dB	39,67 dB	44,21 dB	42,26 dB	<b>44,21 dB</b>
62Hz	45,51 dB	45,52 dB	40,57 dB	46,24 dB	44,43 dB	<b>46,24 dB</b>
79Hz	49,12 dB	50,78 dB	42,78 dB	48,84 dB	47,84 dB	<b>50,78 dB</b>
99Hz	50,61 dB	52,39 dB	45,78 dB	50,81 dB	50,84 dB	<b>52,39 dB</b>
125Hz	51,48 dB	55,22 dB	47,00 dB	51,64 dB	52,39 dB	<b>55,22 dB</b>
160Hz	52,07 dB	56,58 dB	47,78 dB	51,19 dB	52,19 dB	<b>56,58 dB</b>
200Hz	52,09 dB	55,57 dB	48,91 dB	51,90 dB	52,79 dB	<b>55,57 dB</b>
250Hz	50,66 dB	54,34 dB	47,86 dB	50,18 dB	51,46 dB	<b>54,34 dB</b>
315Hz	49,50 dB	54,41 dB	46,31 dB	49,33 dB	50,22 dB	<b>54,41 dB</b>
400Hz	48,40 dB	53,46 dB	45,00 dB	48,85 dB	49,16 dB	<b>53,46 dB</b>
500Hz	49,05 dB	52,96 dB	44,07 dB	48,37 dB	48,65 dB	<b>52,96 dB</b>
630Hz	44,62 dB	47,50 dB	41,61 dB	45,52 dB	45,87 dB	<b>47,50 dB</b>
800Hz	43,85 dB	46,34 dB	40,29 dB	44,98 dB	45,56 dB	<b>46,34 dB</b>
1000Hz	42,71 dB	45,45 dB	40,04 dB	44,42 dB	44,75 dB	<b>45,45 dB</b>
1250Hz	40,55 dB	42,44 dB	39,56 dB	42,38 dB	42,85 dB	<b>42,85 dB</b>
1600Hz	36,50 dB	36,86 dB	32,54 dB	37,34 dB	37,58 dB	<b>37,58 dB</b>
2000Hz	32,75 dB	35,54 dB	30,26 dB	35,25 dB	35,75 dB	<b>35,75 dB</b>
2500Hz	36,09 dB	40,13 dB	34,25 dB	39,00 dB	39,59 dB	<b>40,13 dB</b>
3150Hz	32,84 dB	36,61 dB	30,26 dB	35,47 dB	36,06 dB	<b>36,61 dB</b>
4000Hz	36,22 dB	40,54 dB	32,91 dB	38,20 dB	38,56 dB	<b>40,54 dB</b>
5000Hz	34,10 dB	39,61 dB	30,50 dB	36,24 dB	35,94 dB	<b>39,61 dB</b>
6300Hz	29,96 dB	36,18 dB	26,26 dB	33,08 dB	31,63 dB	<b>36,18 dB</b>
8000Hz	24,36 dB	29,30 dB	24,27 dB	28,82 dB	27,03 dB	<b>29,30 dB</b>

Tabela 2 – resultado do levantamento de frequências de ruídos (o autor, 2023)

A coluna de maior valor corresponde, desta forma, às frequências de ruídos médios das estações mensuradas, separadas em 1/3 de oitava sonora, medidas em decibéis, obtendo-se, assim, os subsídios de conhecimento acerca de alguns tipos de ruído urbano e suas medidas básicas. Observa-se que o espectro do ruído capturado coincide com a faixa de frequências utilizadas pela voz humana e pela música, situando-se dentro dos limites de intensidade sonora geralmente reconhecidos, os quais se estendem de 40 a 65 decibéis (dB). Este intervalo abrange o limiar desde a percepção de sussurros ou de sons baixos até o limiar para a percepção de gritos na comunicação verbal ou desconforto no volume de outros sons.

### 2.2.3. Voz eletrônica

A voz humana é um instrumento complexo e altamente adaptável, capaz de transmitir não apenas informações linguísticas, mas também uma riqueza de nuances emocionais e sociais. Zhang (2016) cita que as inflexões, hesitações e variações de tom formam características intrínsecas da fala humana que refletem estados emocionais, intenções comunicativas e características pessoais, configurando-se em um poderoso veículo de expressão das emoções. As afirmações de Zhang (2016) são complementadas por Simonyan; Ackermann *et al.* (2016), que indicam que diferentes emoções podem ser comunicadas e percebidas por meio de variações na tonalidade, ritmo, volume e qualidade da voz.

Além das sutilezas emocionais, De Koning (2023) cita que a voz é única, refletindo características pessoais do locutor, como idade, sexo, saúde vocal, sotaque e estilo pessoal de fala, constituindo uma diversidade que define fundamentalmente a voz humana, concordando com Hays (2016), que complementa que a voz reflete uma combinação singular tanto de fatores biológicos, como anatomia da laringe e das cordas vocais, quanto fatores sociais e ambientais, como idioma, cultura e experiências de vida. Esta diversidade é evidente na ampla gama de timbres, acentos, padrões de entonação e estilos de fala observados entre os indivíduos. Desta forma, (Hays, 2016) conclui afirmando que as variações não são apenas características da fala humana, mas também ferramentas importantes para a identificação e diferenciação individual em contextos sociais.

Arnott; Gray; Renals (2013) elencam, como aplicações adequadas à voz humana gravada, a criação de publicidade e mídia, cuja funcionalidade é potencializada com a naturalidade da voz humana, estabelecendo uma conexão mais pessoal com o público. Pelo mesmo motivo, a voz humana gravada é amplamente utilizada em contextos educacionais, de forma a manter o engajamento para facilitar a aprendizagem, especialmente em conteúdo que requer empatia e expressividade do instrutor. No contexto de acessibilidade, Arnott; Gray; Renals (2013) citam que a voz humana é mais bem aplicada em *audiobooks*, em documentários e audiodescrições de produções artísticas, oferecendo uma experiência mais rica e envolvente.

A utilização de voz humana natural em ferramentas que contém fala pode ser realizada por meio de gravação, no objetivo de capturar tanto os conteúdos da fala desejada quanto as características pessoais, identificáveis por meio da voz do locutor. A gravação da voz humana natural permite capturar as nuances citadas por Hays (2016) e De Koning (2023), como inflexões, hesitações, e variações sutis de tom. O processo básico de gravação e armazenagem para uso posterior é ilustrado na figura 43.

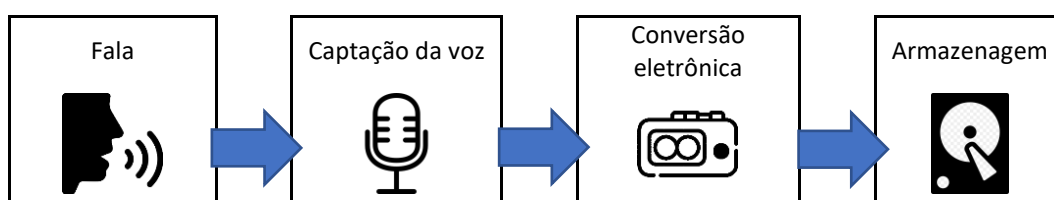


Figura 43 – processo de gravação e armazenagem da voz humana (o autor, 2023)

Os *audiobooks* oferecem o recurso mais conhecido atualmente de acessibilidade por meio de áudio gravado. Trata-se de gravações de voz de um livro, feitas em estúdios de gravação ou outros ambientes especializados com equipamentos de gravação, que permite ao leitor ouvir o livro, ao invés de ler. Os primeiros *audiobooks* foram criados entre as décadas de 1980 e 1990, em sua maioria como conteúdos de livros infantis narrados por contadores profissionais de histórias, transmitindo expressões e sensações com a voz, enriquecidos com recursos de músicas e efeitos sonoros para atrair a atenção das crianças (Coelho, 2021). Na atualidade, este recurso foi ampliado para narrar livros para todas as idades, além de expandir a distribuição a em aplicativos de *smartphones* e sites de internet. Além da praticidade, este formato de livro também é extremamente inclusivo, pois pessoas com deficiência visual, pessoas idosas ou com dislexia podem ouvir todo o conteúdo de livros (Goldsmith, 2017).

Diferentemente do uso de voz humana gravada, a incorporação da gama completa e das sutilezas das expressões e emoções humanas nas vozes sintetizadas demonstrou-se de extrema dificuldade tecnológica (Yoshimura; Tokuda; *et al.*, 1999; Oord; Dieleman; *et al.*, 2016; Wang; Skerry-ryan; *et al.*, 2017). Após a armazenagem, a gravação da voz humana pode ser utilizada repetidamente, tantas vezes quantas forem necessárias, transmitindo todo o amplo espectro de emoções como resultado

da complexidade da composição da voz, muitas vezes ligada a fatores contextuais e experiências pessoais, o que confere uma riqueza emocional que as vozes sintetizadas ainda não conseguiram alcançar (Ciccarelli, 2023).

No entanto, mesmo ante os desafios de replicar todas as nuances da voz natural humana, as tecnologias de voz sintetizada oferecem opções de design que não existem na voz humana gravada, que serão descritas a seguir.

### 2.2.3.1. VOZ SINTETIZADA

A voz sintetizada, também conhecida como voz sintética ou voz artificial, é uma tecnologia que permite a geração de fala por meio de algoritmos e sistemas computacionais. Segundo Arnott *et al.* (2013) e Makishima *et al.* (2022) a voz sintetizada é uma das formas mais comuns de interação entre humanos e máquinas, sendo utilizada em diversos dispositivos e aplicativos para fornecer informações e realizar tarefas.

Diferentemente da voz humana, o processo de sintetização de voz utiliza-se de componentes eletromecânicos em substituição ao trato vocal humano, pelo qual determinado conteúdo linguístico é convertido em informações fonéticas e linguísticas, criando-se uma sequência de ondas sonoras que, quando captadas pelo ouvido humano, se assemelham à fala humana (Dale, 2022). Simplificadamente, o processo de voz sintetizada cria vozes a partir de fontes que não são vozes.

A utilização da voz sintetizada tem se expandido significativamente nos últimos anos, impulsionada pelo avanço da inteligência artificial e do processamento de linguagem natural. Tan; Qin *et al.* (2021), os sistemas de voz sintetizada têm se tornado cada vez mais sofisticados e precisos, o que tem possibilitado uma comunicação mais natural e fluida entre humanos e máquinas.

De acordo com Arnott *et al.* (2013) e Makishima *et al.* (2022), enquanto a voz gravada oferece autenticidade, a voz sintetizada oferece consistência e flexibilidade, pois a voz sintetizada pode ser ajustada em termos de velocidade, tom e até mesmo emulação de diferentes estilos de fala. Além disso, Noufi *et al.* (2022) citam que a voz sintetizada pode ser facilmente replicada e distribuída, tornando-a uma opção mais

viável para aplicações em larga escala, como sistemas de resposta automática, navegação e assistentes virtuais.

Outra característica inerente à voz sintetizada é a capacidade de replicação das características vocais, que, diferentemente de simplesmente reproduzir a mesma gravação na tecnologia de voz gravada, na voz sintetizada é possível mudanças no conteúdo das falas, mantendo-se as características vocais. Esta uniformidade é destacada por Lewis (2021), que também indica a rapidez de produção e a menor necessidade de edição como vantagens adicionais. Lewis (2021) também cita a possibilidade de adaptabilidade como uma significativa vantagem da voz sintetizada, haja visto que esta tecnologia pode ser ajustada para diferentes idiomas, sotaques e velocidades de fala, conforme as necessidades do usuário, oferecendo ainda a variedade de tipos de vozes disponíveis.

Um dos principais benefícios da voz sintetizada é a sua capacidade de tornar a tecnologia mais acessível e inclusiva para pessoas com deficiência visual. Lopes *et al* (2015) destacam que a utilização de comandos de voz e respostas faladas pode facilitar a interação e a utilização de dispositivos eletrônicos por pessoas com dificuldades de visão.

Além disso, a voz sintetizada também pode ser uma ferramenta útil para melhorar a experiência do usuário em diferentes contextos. Machado; Medeiros (2019) mencionam que a utilização de instruções de voz em aplicativos de transporte público, por exemplo, pode auxiliar na orientação e na navegação de usuários, tornando a mobilidade urbana mais eficiente e acessível.

No entanto, é importante considerar alguns desafios e limitações relacionados à voz sintetizada. Mendonça *et al.* (2008) apontam que a compreensão e a geração de fala sintetizada ainda podem apresentar falhas, especialmente em línguas menos comuns ou em situações de ruído ambiental.

Outro aspecto relevante é a questão da personalização da voz sintetizada. Silva; Angelis (2019) mencionam que a possibilidade de personalizar a voz sintetizada, adaptando-a ao perfil do usuário, pode aumentar a efetividade e a aceitação dessa tecnologia, especialmente para pessoas com deficiência visual.

O termo “voz digital”, apesar de ser constantemente citada como semelhante ao termo voz sintetizada, é um termo atual que insere a voz sintetizada na era digital.

No entanto, a voz sintetizada existe bem antes da era digital, em que o conceito de criação de voz sintetizada por meio de instrumentos mecânicos remonta a séculos passados, onde a interseção da arte, da ciência e da tecnologia desempenhou seu papel no desenvolvimento inicial de tais dispositivos. Embora a tecnologia de síntese de voz como a conhecemos atualmente seja um produto do século XX, os fundamentos e as tentativas iniciais de imitar a voz humana por meios mecânicos podem ser traçados até períodos anteriores.

Um dos exemplos mais notáveis na história da síntese de voz mecânica é o "*The Speaking Machine*" (A Máquina Falante), criada em 1769 por Wolfgang von Kempelen (Dudley; Tarnóczy, 1950). Este dispositivo era capaz de produzir sons que imitavam a voz humana, utilizando de um complexo sistema de bolsas de ar, tubos e uma língua artificial. O mecanismo era operado manualmente e podia ser ajustado para criar diferentes sons vocais. A máquina de Kempelen não apenas demonstrou um entendimento precoce da mecânica da fala humana como abriu caminho para futuras pesquisas na área de síntese de voz.

Outro pioneiro significativo foi Christian Kratzenstein, um cientista do século XVIII (Cox, 2020). Kratzenstein desenvolveu dispositivos que podiam reproduzir os sons das vogais utilizando tubos ressonantes. O trabalho de Kratzenstein foi importante para entender como diferentes formatos e tamanhos dos tubos podiam replicar os sons produzidos pelo trato vocal humano (Huckvale, 2019).

Avançando para o século XIX, Charles Wheatstone, pesquisador que criou técnicas de desenvolvimento para o telégrafo e o estereoscópio, utilizou-se de estudos para a aplicação da ciência e da tecnologia na imitação de fenômenos naturais, incluindo a voz humana (Wheatstone, 2010).

É importante notar que, embora esses dispositivos primitivos fossem fascinantes, eles eram limitados em sua capacidade de replicar fielmente a voz humana. Eles serviram mais como experimentos científicos e demonstrações de princípios físicos do que como precursores diretos dos modernos sintetizadores de voz.

A evolução posterior da tecnologia de síntese de voz foi grandemente influenciada pelos avanços em eletrônica e da computação no século XX, levando à sofisticada síntese de voz existente na atualidade. Esses desenvolvimentos iniciais, no



entanto, são fundamentais para entender como a interação entre a arte, a ciência e a tecnologia desempenham um papel vital no avanço das pesquisas com voz sintetizada. Com o advento da eletrônica, outros tipos de voz sintetizada praticamente desapareceram, tornando-se mais curiosidades históricas do que aplicações úteis propriamente ditas.

A primeira tentativa comercial de uso de voz sintetizada foi mostrada na Feira Mundial de Nova York, EUA, no ano de 1939 (Cardoso, 2017). Batizado de “Pedro”, em homenagem ao imperador brasileiro Dom Pedro II, o equipamento, cujo nome técnico era “VODER” (*voice operating demonstrator*, ou “demonstrador de operação por voz”, em tradução livre pelo autor), era montado com válvulas e filtros da era da eletrônica analógica, não tendo, portanto, nenhum componente digital que o defina como “voz digital”. A figura 44 reproduz um artigo de marketing do “Pedro”, traduzida para o português.

Sentada ao teclado do Voder, esta jovem pode fazer "Pedro" dizer o que quiser. A voz sai do alto-falante

# "PEDRO"

**ELE** NÃO TEM boca, pulmões ou laringe, mas fala muito. Seu nome é Pedro the Voder, e você poderá vê-lo em ação nas feiras mundiais de Nova York e São Francisco. Sua criação a partir de tubos de vácuo e circuitos elétricos, pelos engenheiros do Bell Telephone Laboratories, coroa séculos de esforços para duplicar a voz humana.

Para fabricar a conversa de Pedro, seu operador utiliza um teclado semelhante ao de um antigo órgão de salão. Treze teclas pretas e brancas, tocadas uma ou mais de cada vez, produzem todas as vogais e consoantes da fala. Outra tecla regula o volume da voz sintética, que vem de um alto-falante. Enquanto isso, um pedal varia a inflexão, de modo que a mesma frase possa declarar um fato ou fazer uma pergunta.

Cerca de um ano de prática permite que um operador faça Pedro falar fluentemente.

Como tubos de vácuo e filtros produzem fala

PADRÃO DE ONDA DE SOM DE VOGAL "OO"

OS LOOPS PRINCIPAIS CORRESPONDEM À FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL OU "PITCH" DO TUBO

IRREGULARIDADES REPRESENTAM FREQUÊNCIAS MAIS ALTAS OU "TENS" ADICIONADOS PARA PRODUIR VOGAIS DIFERENTES

PADRÃO DE ONDA DE SOM DE VOGAL "EE"

Demonstrador de operação de voz coroa séculos de esforço de cientistas para duplicar artificialmente a fala humana

Por ALDEN P. ARMAGNAC

72

CIÊNCIA POPULAR

Figura 44 – artigo de marketing do sintetizador de voz “Pedro”. Cardoso (2017), com tradução livre pelo autor (2023)

Após diversas tentativas semelhantes à “Pedro”, a evolução da voz sintetizada foi inserida na era da eletrônica digital. Os computadores digitais modernos foram o divisor de águas para a voz sintetizada, tornando-se uma tecnologia de fato funcional. Diferentemente das tentativas anteriores, a voz sintetizada digital passou a converter textos digitados em computadores diretamente para a voz sintetizada, proporcionando uma forma audível de ler informações digitais. Essa transformação é realizada por meio de algoritmos de síntese de voz, que analisam o texto e produzem uma sequência sonora correspondente.

A produção de voz digital sintetizada é um campo interdisciplinar que abrange uma variedade de disciplinas acadêmicas e áreas de pesquisa. As principais disciplinas envolvidas incluem:

- 1. Ciência da Computação e Engenharia de *Software*:** Estas disciplinas são responsáveis pelo desenvolvimento de algoritmos e *software* de síntese de voz, incluindo a programação de sistemas de processamento de linguagem natural e inteligência artificial.
- 2. Linguística Computacional:** Esta área estuda a aplicação de métodos computacionais no processamento da linguagem humana, possibilitando o entendimento da estrutura da linguagem, na busca pelo desenvolvimento de técnicas que possam sintetizar voz humana de maneira natural e compreensível.
- 3. Processamento de Sinal e Acústica:** A compreensão das propriedades acústicas do som, por meio de como engenharia elétrica e física aplicada, possibilitam a transformação dos algoritmos digitais em sinais sonoros reconhecíveis pela audição humana.
- 4. Fonética e Fonologia:** Estas áreas da linguística se concentram nos sons da fala e em sua organização em sistemas de som das línguas. A fonética e a fonoaudiologia são utilizados na modelagem da forma como os sons da fala são produzidos e percebidos.
- 5. Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina:** A IA e o aprendizado de máquina têm um papel no desenvolvimento de modelos de síntese de voz, especialmente no contexto das abordagens recentes, como as redes neurais profundas, que

podem aprender padrões complexos de fala a partir de grandes conjuntos de dados.

**6. Psicolinguística e Neurociência Cognitiva:** Estas disciplinas contribuem para o entendimento de como a fala é processada e percebida pelo cérebro humano, o que é relevante para desenvolver sistemas de síntese de voz que sejam facilmente compreendidos e soem naturais para os ouvintes.

**7. Design de Interface e Experiência do Usuário (UX):** A pesquisa em design de interface e UX é importante para garantir que a voz sintetizada seja agradável e eficaz na interação homem-computador.

Estas áreas, em conjunto, têm o potencial de melhorar as tecnologias de replicação da voz humana de forma convincente e funcional, no objetivo de oferecer melhorias contínuas para o usuário de equipamentos com voz sintetizada.

#### 2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS DA VOZ SINTETIZADA

As pesquisas de O'Shaughnessy (1999) citam a abrangência de uma série de características da voz sintetizada, enfatizando a natureza interdisciplinar do campo, relevante para estudantes de engenharia elétrica, ciência da computação, linguística, entre outras áreas, abordando técnicas de codificação, reconhecimento e síntese de voz para oferecer, oferecendo impressões sobre as limitações da tecnologia em seu tempo, assim como as perspectivas pleiteadas. O'Shaughnessy (1999) elencou características necessárias que integram as pesquisas mais modernas para o desenvolvimento de voz sintetizada. O quadro 3 na página 106 elenca as características comuns de vozes digitais identificadas por O'Shaughnessy (1999), que elenca as características que dizem respeito à qualidade e à expressividade da voz sintetizada em si, sem considerar a interface de controle ou personalização da voz por parte do usuário.

<b>Característica</b>	<b>Descrição</b>
Tom de Voz	O tom de voz se refere à frequência fundamental da voz e pode ser usado para identificar o gênero de uma pessoa. Vozes masculinas tendem a ter frequências fundamentais mais baixas do que vozes femininas.
Ritmo e Entonação	O ritmo e a entonação da voz podem fornecer informações sobre o estado emocional de uma pessoa. Por exemplo, uma voz monótona pode indicar falta de entusiasmo, enquanto variações na entonação podem indicar emoções como felicidade, tristeza, raiva etc.
Melodia da Fala	A melodia da fala se refere aos padrões de variação na frequência e pode ser usada para identificar características linguísticas, como sotaque regional ou ênfase em palavras específicas.
Velocidade da Fala	A velocidade com que alguém fala pode fornecer informações sobre sua personalidade e estado emocional. Pessoas ansiosas podem falar mais rapidamente, enquanto pessoas calmas podem falar mais devagar.
Timbre	O timbre da voz se refere à qualidade tonal única de uma voz e pode ser usado para identificar um locutor. É por isso que, por exemplo, muitas pessoas podem reconhecer imediatamente a voz de um amigo ou membro da família ao telefone.
Duração de Pausas	A duração das pausas entre as palavras ou frases pode indicar hesitação, nervosismo ou outros aspectos emocionais.
Padrões de Articulação	A maneira como as palavras são pronunciadas e os padrões de articulação podem fornecer informações sobre o idioma falado, a região geográfica de origem e até mesmo a idade do locutor.
Características Espectrais	As características espectrais, como os formantes, podem ser usadas para identificar sons específicos na fala e auxiliar no reconhecimento de palavras.
Sons de Fundo	A análise de sons de fundo ou ruídos de fundo pode ser usada para identificar o ambiente em que a gravação foi feita.
Características Emocionais	Técnicas avançadas de análise de voz podem ser usadas para identificar emoções na fala, como alegria, tristeza, raiva, medo, surpresa etc.
Naturalidade da Voz	A voz sintetizada pode soar desde o mais natural possível, buscando a naturalidade da voz humana, até a situação em que apresente artefatos no som, denunciando que a voz é sintetizada por parecer-se robótica.
Entonação e Ritmo	A entonação e o ritmo da voz sintetizada devem corresponder ao contexto e à emoção desejada, o que pode ser controlado por meio de marcações prosódicas no texto de entrada.
Variação Emocional	A geração de voz pode incluir a capacidade de transmitir uma variedade de emoções, como alegria, tristeza, raiva, surpresa etc., por meio de modificações na entonação e nas características espectrais.
Sotaque e Dialeto	A síntese de voz pode ser configurada para imitar diferentes sotaques regionais ou dialetos, dependendo do contexto.
Sexo do Locutor	Alguns sistemas de síntese de voz oferecem a opção de escolher o sexo do locutor, permitindo uma maior personalização.
Expressividade Vocal	A geração de voz pode ser expressiva, destacando partes importantes do discurso por meio de mudanças na prosódia.
Pausas e Respiração	Incluir pausas naturais e respirações simuladas na síntese de voz pode torná-la mais realista.
Qualidade da Articulação	A precisão na articulação das palavras e sons é importante para garantir que a fala seja natural e compreensível.
Controle de Tonalidade	Alguns sistemas de síntese de voz permitem ajustar a tonalidade da voz, tornando-a mais aguda ou mais grave, conforme necessário.
Controle de Idade	A geração de voz pode ser configurada para parecer mais jovem ou mais velha, dependendo do contexto.

Quadro 3 – características comuns em vozes digitais

### 2.2.3.3. EMULAÇÃO DIGITAL DE VOZ

De acordo com Parasuraman; Riley (1997), a interação entre humanos e sistemas automatizados deve considerar uma interface que considere fatores como confiança, carga mental, gerenciamento de riscos, uso adequado da automação e controle do usuário, na qual o equilíbrio entre automação e intervenção humana é importante na garantia do uso eficaz da automação em sistemas eletrônicos. Os autores mencionam que a confiança é um fator que influencia o uso da automação, por meio de interfaces intuitivas e respostas precisas às solicitações dos usuários.

Parasuraman; Riley (1997) apontam que a carga mental é outra variável que afeta o uso da automação, sugerindo que as interfaces vocais devem ser projetadas de forma a minimizar a carga cognitiva dos usuários, posto que interfaces excessivamente complexas ou que exijam um grande esforço mental podem ser menos eficazes.

Considerando-se que a orientação ambiental de pessoas com deficiência visual corresponde a certos fatores de risco, o mapeamento e gerenciamento destes riscos devem implicar em processos de verificação ou avisos que busquem a mitigação de falhas graves, levando o usuário a situações seguras em caso de falhas que não podem ser evitadas. Por outro lado, o conceito de o usuário passar a ignorar determinadas avisos também é explorado por Parasuraman; Riley (1997), conceito este associado a falsos alarmes, onde a taxa base da condição a ser detectada não é considerada ao configurar o equilíbrio entre alarmes falsos e omissões. Portanto, as interfaces vocais devem ser projetadas de forma a otimizar este equilíbrio, evitando alarmes falsos excessivos que podem levar o usuário a até mesmo desligar o equipamento.

Finalmente, Parasuraman; Riley (1997) também citam o conceito de "abuso de automação", na qual ressaltam a necessidade de projetar interfaces vocais que garantam que os usuários tenham controle sobre o processo, e não o oposto, ou seja, o equipamento não deve controlar a pessoa, é a pessoa que deve ter total controle sobre o processo, legando à interface de voz sintetizada a funcionalidade de se moldar às necessidades do usuário com deficiência visual.

Carroll (2003), explora a importância da empatia na concepção de sistemas de audionavegação que atendam eficazmente às necessidades das pessoas com deficiência visual, destacando a relevância do design centrado no usuário para garantir

a usabilidade desses sistemas. De acordo com Carroll, para desenvolver um sistema de audionavegação para pessoas com deficiência visual em um ambiente urbano, os designers criam cenários que descrevem como os usuários poderiam usar o sistema para navegar pelas ruas da cidade. Isso inclui a criação de cenários que abordam a identificação de cruzamentos, semáforos e pontos de referência auditivos.

Acerca da capacidade de compreensão do usuário, Carroll (2003) sugere que a equipe de design deve realizar entrevistas e estudos de campo com pessoas com deficiência visual para entender suas necessidades específicas de orientação e mobilidade, obtendo-se informações claras sobre métodos de indicação de obstáculos à frente, direções precisas e informações sobre locais de interesse, como lojas e estações de transporte público. No mesmo estudo, o *feedback* dos resultados é outra indicação de necessidade citada por Carroll (2003), no qual, durante os testes do sistema de audionavegação em um ambiente urbano real, os usuários fornecem *feedback* sobre a eficácia do sistema. Com base neste *feedback*, os designers fazem melhorias no sistema, como ajustar a forma como as informações são fornecidas, para garantir uma experiência de navegação mais segura e eficaz.

A validação de design por meio de cenários é outra ferramenta citada por Carroll (2003), na qual a equipe de design usa cenários para simular situações comuns de navegação, como atravessar uma rua movimentada ou encontrar a entrada de um edifício público. Eles usam esses cenários para verificar se o sistema fornece informações relevantes e oportunas, garantindo que os usuários com deficiência visual possam navegar com segurança e confiança.

Finalmente, a colaboração multidisciplinar também se mostrou importante nos estudos de Carroll (2003), que sugere que, no desenvolvimento do sistema de audionavegação, os designers colaboram com especialistas em tecnologia de áudio para criar sinais sonoros claros e distinguíveis, engenheiros de *software* para implementar algoritmos de localização precisa e orientação, e especialistas em acessibilidade para garantir que o sistema atenda aos padrões de acessibilidade.

Raman (1997) oferece uma visão abrangente a ser aplicada em interfaces auditivas, incluindo sua aplicação na audionavegação ambiental. O autor discute como interfaces auditivas podem tornar a interação com o ambiente mais acessível para pessoas com deficiência visual. Raman (1997) demonstra a utilidade da habilitação por

voz nas interfaces para pessoas com deficiência visual, envolvendo o desenvolvimento de sistemas e dispositivos que permitam que o ambiente circundante seja interpretado e apresentado ao usuário por meio da fala. Por exemplo, um sistema de audionavegação pode utilizar a voz para informar a uma pessoa com deficiência visual sobre obstáculos, direções de navegação e informações sobre pontos de interesse no ambiente.

As interfaces auditivas são o cerne da audionavegação em ambiente urbano. Assim, Raman (1997) enfoca na eficiência da interface, que deve ser capaz de traduzir informações sobre o ambiente em informações sonoras claras e compreensíveis para o usuário, mesmo, por exemplo, que a pessoa não conheça o ambiente, a interface de audionavegação deve ser capaz de produzir informações compreensíveis de direções.

O modelo de equipamento também deve ser foco de estudo do designer ao se elaborar a audionavegação, de acordo com Raman (1997): Um sistema de audionavegação pode ser construído com base em tecnologias de síntese de voz avançadas para fornecer informações precisas sobre a disposição do ambiente, incluindo a localização de objetos, obstáculos e pontos de interesse, considerando-se o equipamento utilizado, como, por exemplo, *smartphones* portáteis, que podem ter instruções individuais, ou sistemas de instruções coletivas integrados em ambientes urbanos, como por exemplo instruções de audionavegação para emergências e abandono de edifícios em caso de incêndio.

Raman (1997) cita a dependência da integração de informações sobre o ambiente em tempo real. Isso inclui dados de sensores, informações sobre mapas e orientação, bem como *feedback* do usuário, semelhantemente a Carroll (2003). A capacidade de traduzir todas essas informações em saída auditiva clara e útil é importante para a eficácia da audionavegação. Ainda citando os resultados de Carroll (2003) e Raman (1997), ainda que o estudo do desenvolvimento para a audionavegação em ambiente urbano deve considerar os resultados obtidos diretamente por experimentos com participação dos usuários com deficiência visual, os resultados podem ser expandidos, pela utilidade da ferramenta, para pessoas idosas, que tenham dificuldade em reconhecer elementos dos ambientes devido à visão debilitada, pessoas com déficit de atenção, ou até mesmo para qualquer pessoa que deseje uma experiência de navegação baseada em áudio, como turistas em uma

cidade desconhecida. Essas pessoas, ainda que não sejam o foco da ferramenta, devem ser consideradas como possíveis usuários da audionavegação.

O conceito de conversão de indicações visuais em informações auditivas, frequentemente implementado por meio de tecnologias de audionavegação, constitui um marco significativo no campo da acessibilidade e da inclusão para indivíduos com deficiência visual. Essa abordagem tecnológica transcende a simples tradução de sinais visuais, adentrando na complexidade de tornar ambientes urbanos compreensíveis e navegáveis por meio da linguagem sonora. Essencialmente, o processo envolve a detecção, interpretação e transformação de elementos visuais do ambiente – tais como sinais de trânsito, informações de localização e alertas – em mensagens verbais ou sons codificados, que são então transmitidos ao usuário por meio de dispositivos eletrônicos, como *smartphones* e fones de ouvido especializados.

A relevância deste processo para a mobilidade urbana e o design de sinalização é vasta, conforme evidenciado por Barbosa (2016), que destaca a importância da conversão de informações visuais em palavras para facilitar o acesso de pessoas com deficiência visual ao ambiente urbano. Similarmente, Andrade e Galvão (2016) realçam a utilidade desta tecnologia em cidades inteligentes, propondo aplicativos de *smartphone* que traduzem sinais táteis em instruções verbais, o que representa um avanço significativo na promoção da autonomia de indivíduos com deficiências visuais.

No entanto, a aplicação da conversão de indicações em palavras estende-se além da mobilidade urbana, alcançando a interação entre sistemas eletrônicos e seres humanos em um espectro mais amplo. Gurgel (2020) sublinha que algoritmos de processamento de linguagem natural desempenham um importante papel neste processo, ao transformar dados sensoriais em texto ou fala, facilitando assim a comunicação em diversos contextos. Lopes; de Marchi (2015) e Machado; Medeiros (2019) exemplificam a aplicação desta tecnologia em sistemas de navegação e aplicativos de transporte público, respectivamente, demonstrando sua capacidade de fornecer instruções em tempo real, de forma clara e compreensível.

Contudo, desafios persistentes relacionados à inteligibilidade da fala gerada eletronicamente, especialmente em ambientes ruidosos ou situações onde o contexto é complexo, são ressaltados por Na; Joo *et al.* (2022) e Baese-Berk; Levi; Engen (2023).



Tais desafios sublinham a importância de continuar aprimorando a precisão e a compreensibilidade dos sistemas de conversão de indicações em palavras.

A relação entre representações visuais e verbais e sua influência na percepção e experiência humana é explorada por Rozestraten (2017), que argumenta que a eficácia da comunicação depende da clareza com que as mensagens são transmitidas, considerando as diversas interpretações de símbolos e textos pelos usuários. A adequação da linguagem às necessidades específicas e ao contexto dos usuários é importante para garantir a acessibilidade e compreensão das informações, contribuindo para uma experiência positiva e eficiente no uso da tecnologia.

O conceito de voz sintetizada na era da eletrônica digital refere-se à representação computacional de sons e palavras, auditivamente parecidas com a voz humana, porém criadas por meio de dispositivos eletrônicos (Taylor, 2009). A figura 45 representa, de forma simplificada, os passos do processo eletrônico que cria voz sintetizada.

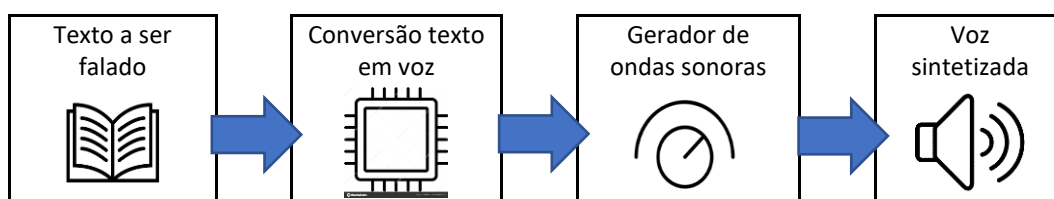


Figura 45 – processo de criação de voz sintetizada (o autor, 2023, com base em Taylor, 2009).

Observa-se, na figura 45, que a voz sintetizada difere de outros conceitos de voz produzida em aparelhos eletrônicos ou mesmo mecânicos devido à criação de voz com base em um texto: para gerar voz sintetizada, utilizam-se algoritmos e técnicas de processamento de sinais que convertem dados de texto em fala, reproduzindo-os como ondas sonoras audíveis.

Em termos de escalabilidade e acessibilidade, Lewis (2021) cita outra vantagem do uso da voz sintetizada ante a voz natural gravada, posto que, uma vez desenvolvida, a tecnologia da voz sintetizada pode ser replicada e distribuída sem os custos e tempo adicionais necessários para cada gravação de vozes e frases, tornando a tecnologia da voz sintetizada mais acessível e viável para uma ampla gama de aplicações. A escalabilidade é um fator importante no contexto da audionavegação, pois voz sintetizada permite atualizações rápidas e eficientes tanto nas informações de

navegação ou na própria tecnologia de síntese de voz, modificações estas que podem ser implementadas sem a necessidade de novas gravações, mantendo os sistemas de audionavegação atualizados com mais facilidade (MATCH PROJECT, 2013).

A qualidade da voz sintetizada depende significativamente da naturalidade, clareza e fluidez da fala sintetizada. Uma voz sintetizada eficaz deve soar o mais humano possível, evitando a monotonia e artificialidade frequentemente associadas às primeiras gerações dessas tecnologias (Sarwade, 2020). De acordo com Chua *et al.* (2024) a voz sintetizada por inteligência artificial e a voz sintetizada comum apresentam diferenças na maneira como são percebidas e processadas pelo cérebro humano. Tamura *et al.* (2015) evidenciam que o cérebro humano pode processar o senso de humanidade nas vozes e gerar sentimentos mais positivos em relação às vozes humanas em comparação com as artificiais. Além disso, foi observado que modificações no tom da voz podem influenciar a percepção de risco em situações de tomada de decisão, indicando a importância das características vocais na comunicação humana.

As descobertas de Chua *et al.* (2024) e Tamura *et al.* (2015) indicam a importância da escolha pelo designer acerca do método de sintetização de voz para orientar pessoas com deficiência visual, considerando as características dos principais métodos disponíveis: formante, concatenativo e inteligência artificial por rede neural.

#### 2.2.3.4. MÉTODO FORMANTE

A criação de voz sintetizada é um campo multidisciplinar da ciência da eletrônica e informática com a psicologia e a física do som. O primeiro modelo de síntese de voz na era da eletrônica moderna teve seu início na década de 1950. Carson *et al.* (1989) apresentaram, em 1952, um modelo de síntese de fala, batizado como OVE I<sup>8</sup>. Este modelo utiliza a replicação das propriedades acústicas dos formantes do trato vocal humano, por este motivo chamados de síntese de voz formante.

---

<sup>8</sup> OVE, sigla de "Orator Verbis Electricis", ou "Orador por Palavras Elétricas" em tradução livre, se refere a uma série de sintetizadores de fala desenvolvidos por Gunnar Fant, começando com o OVE I em 1953 e seguido por modelos aprimorados como OVE II e OVE III (Sanusi, 2023).

A síntese formante continuou a evoluir nas décadas seguintes, nas versões mais avançadas OVE II e o OVE III (Fant; Kruckenberg; Nord, 1991; Fant, 1991; Fant, 1992; Lin; Fant, 1990; Carlson; Fant; *et al.*, 1989), que representam avanços significativos tanto na compreensão teórica quanto na aplicação prática, estabelecendo as bases para os modernos sistemas de síntese de voz que utilizam a modelagem formante, e tinham por objetivo criar fala sintética mais natural e inteligível do que a original OVE I.

O modelo de síntese formante simula o trato vocal humano por meio de uma série de filtros em cascata, com uma estrutura paralela usada principalmente para a síntese de consoantes. Uma vantagem significativa do sintetizador em cascata é a configuração automática das amplitudes formantes. Entretanto, às vezes pode ser difícil corresponder detalhadamente os espectros naturais e sintetizados devido ao modelo simplificado. Sintetizadores paralelos, como o de Holmes (1983), não possuem essa limitação.

No entanto, com todas as evoluções possíveis com o modelo de síntese de voz por formantes, a voz sintetizada resultante sempre tem timbre mecanomórfico, tornando-se, por vezes, incompreensível para algumas pessoas (Yea; Childers, 1982). O [QRCode 15](#) na página 114 disponibiliza quatro exemplos de voz sintetizada pelo método formante. Considere que este método, mesmo ainda em uso, teve sua estrutura básica elaborada entre o início dos anos 1980 final dos anos 1990, período em que eram raros os equipamentos de síntese de voz no Brasil. Assim, os exemplos possíveis são, em sua maioria, na língua inglesa. Os quatro exemplos audíveis (SOFTVOICE, INC.) reproduzem as seguintes falas em seus respectivos timbres de voz:

- **Homem adulto:** *“We have all the flavors, as long as you want chocolate, vanilla, or strawberry”* (Temos todos os sabores, desde que você queira chocolate, baunilha ou morango).
- **Máquina digital:** *“This is the voice of world control. Obey me and live or disobey and die”* (Aqui é a voz do controle mundial. Me obedeça e viva ou desobedeça e morra).
- **Mulher:** *“I am here to help you. Please enter your user number”*. (Estou aqui para ajudar. Por favor insira seu nome de usuário).

- **Criança:** “*Twinkle, twinkle little star, how I wonder what you are*” (Brilha, brilha estrelinha, eu me pergunto o que é você).



QRCode 15 – vozes sintetizadas pelo método formante (SOFTVOICE, INC.)

Mesmo tratando-se de modelo antigo de voz sintetizada, as ferramentas de síntese formante ainda estão disponíveis para uso e desenvolvimento, posto que este modelo geralmente é considerado menos exigente em termos de processamento computacional quando comparado com outras técnicas avançadas de síntese de voz, como a síntese concatenativa ou a síntese baseada em redes neurais profundas. De acordo com Smith III (2010) e Menghani (2021), vários fatores contribuem para essa eficiência:

- **Simplicidade do modelo:** A síntese formante baseia-se em um modelo simplificado do trato vocal humano, onde os formantes são replicados usando um conjunto limitado de filtros e osciladores. Esta abordagem modela a fala humana sem a necessidade de armazenar e manipular grandes quantidades de dados de áudio, o que é comum em técnicas mais complexas como a síntese concatenativa.
- **Menor necessidade de armazenamento de dados:** Diferente da síntese concatenativa, que requer uma vasta biblioteca de amostras de fala para gerar uma fala natural, a síntese formante opera com um número relativamente pequeno de parâmetros. Isso reduz significativamente a necessidade de armazenamento de dados e os recursos de processamento necessários.
- **Processamento em tempo real:** A eficiência da síntese formante torna-a adequada para aplicações em tempo real, onde a rapidez de processamento é importante. Isso é particularmente vantajoso em

sistemas de baixa potência ou dispositivos com recursos computacionais limitados.

- **Menor complexidade de implementação:** A implementação de um sintetizador formante é geralmente mais direta e requer menos recursos computacionais do que as técnicas de síntese de fala baseadas em aprendizado profundo, que exigem grandes conjuntos de dados e poder computacional substancial para treinamento e inferência.

Em resumo, a síntese formante é eficiente em termos de processamento devido à sua simplicidade, menor necessidade de dados, adequação para processamento em tempo real e menor complexidade de implementação. Essas características tornam a síntese formante uma opção viável para aplicações que requerem menor consumo de recursos computacionais.

#### 2.2.3.5. MÉTODO CONCATENATIVO

A síntese concatenativa, mais recente do que a síntese formante, já é considerada antiga ante aos novos métodos de síntese por redes neurais, popularmente conhecidos como inteligência artificial. De acordo com BÄCKSTRÖM *et al.* (2022), apesar de antiga, equipamentos modernos utilizam amplamente a voz sintetizada concatenativa, devido à sua capacidade de produzir uma fala relativamente natural, embora limitada pela qualidade e variedade de tipos de vozes possíveis.

A técnica de síntese de voz concatenativa consiste em sintetizar som por meio da junção de amostras curtas de som gravado, apresenta características técnicas distintas do método formante, o que a torna predominantemente mais complexa. O processo inicia-se com a detecção de partes periódicas do som, identificando-as com marcas de altura de tom ou "*pitch marks*". Essas marcas são críticas, pois permitem modificar a duração e o tom do som sintetizado. A modificação do tom é realizada pela recombinação de tramas (ou frames), alterando a duração das marcas de tono. A manipulação dessas marcas é importante para ajustar a intensidade durante a concatenação dos fonemas.

De acordo com Rabiner; Schafer (2007), o método concatenativo de voz sintetizada envolve a ligação de amostras curtas de som gravadas em uma sequência.

Estas unidades são então usadas para gerar padrões de som definidos pelo designer. Hunt e Black (1996) e Rabiner e Schafer (2007) detalham o funcionamento básico da síntese concatenativa, por meio da seleção de unidades de som, minimizando os custos de alvo e concatenação para alcançar alta naturalidade sonora. Esta técnica enfrenta desafios relacionados à coarticulação e escala, sendo necessária a segmentação cuidadosa de unidades de fala, como dífonos ou trífonos, para superar esses problemas. O quadro 4 elenca alguns exemplos de sons dífonos e trífonos utilizados no método de síntese de fala concatenativa na língua portuguesa, associando-os a exemplos de palavras que utilizam as unidades de fala. Note que este quadro é uma representação simplificada, não abrange todas as complexidades fonéticas utilizados no método de voz sintetizada concatenativa.

Dífono	Exemplo de Palavra	Trífono	Exemplo de Palavra
ba	Bala	bra	braço
ca	Casa	cre	crente
da	Dado	dri	adriano
fa	Fazer	flo	flora
ga	Gato	gra	grato
ha	Reha	pro	prova
ja	janeiro	tre	atrelado
la	Lago	plu	pluma
ma	Maça	cri	criança
na	Natal	pra	prato
pa	papel	glo	gloria
qua	quadro	fre	frente
ra	Rato	tri	trigo
sa	sapo	cla	claro
ta	taça	gle	gleba
va	vaso	pre	preço
za	zangão	flu	influir
be	bebê	ble	nobleza
ce	cedo	bro	broca
de	dedo	fru	fruto
fe	feliz	bru	bruma
ge	gelo	ple	pleno
he	rehe	pri	primo
je	jejum	blo	bloco
le	leite	pli	plica
me	mel	pro	prosa
ne	neve	bro	abrotar
pe	peixe	dra	drama

Quadro 4 – exemplos de dífonos e trífonos utilizados na voz concatenativa (o autor, 2023)

No método de voz sintetizada concatenativa a escolha das unidades de som impacta diretamente a qualidade da síntese de voz. Exemplificando, Lenzo; Black (2000) detalham que dífonos utilizados na transição acústica entre a metade estável de um fonema até a metade do fonema seguinte oferecem vantagens na manutenção da coarticulação e inteligibilidade do som sintetizado, preservando detalhes acústicos da fala natural, porém atentam que esta forma de concatenação de dífonos requer técnicas computacionais que suavizem suavizar a junção entre unidades.

A síntese de voz concatenativa, portanto, equilibra fatores como o tamanho e o tipo das unidades sonoras, as técnicas de manipulação das marcas de tono e a necessidade de armazenamento e processamento de dados, visando a obtenção de uma voz sintetizada natural e inteligível.

No modelo de síntese de voz concatenativo melhora consideravelmente a qualidade da voz resultante, comparando-se com a voz sintetizada pelo método formante. Além disso, este método foi desenvolvido em diversas línguas, inclusive a portuguesa do Brasil. O *QRCode* 16 mostra dois exemplos de voz sintetizada concatenativa, feminina e masculina, que repetem o texto “este é um exemplo de voz sintetizada que utiliza o método concatenativo”. Estes exemplos foram criados pelo autor, utilizando o aplicativo de *smartphone* “Text2Speech” (STCODESAPP, 2023).



*QRCode* 16 – vozes sintetizadas pelo método concatenativo (STCODESAPP, 2023)

O exemplo audível por meio do *QRCode* 16 demonstra melhorias na qualidade sonora em relação aos exemplos audíveis do método formante, no *QRCode* 16. Esta melhoria foi possível devido à mudança no paradigma da síntese de voz para o método concatenativo, mudando o enfoque do processamento entre a formação de palavras com vogais e consoantes para o método de fonemas dífonos e trífonos.

No entanto, ainda que o resultado tenha melhorado amplamente, Tamura *et al.* (2015) demonstraram que o cérebro humano pode processar o senso de humanidade nas vozes e, conseqüentemente, criar animosidades quanto a vozes artificiais quando o usuário identifica que os tons de voz não são naturais. Esta identificação de voz mecanomórfica, de acordo com Chua *et al.* (2024), podem influenciar a percepção de risco em situações de tomada de decisão, indicando a necessidade de maior importância no cuidado com as características disponibilizadas por meio de voz sintetizada.

Com o avanço da programação computacional em direção ao modelo de redes neurais, uma diversidade de áreas do conhecimento experimentou um desenvolvimento paralelo, impulsionado pela aplicação de algoritmos de inteligência artificial. Barenkamp *et al.* (2020) e Obianyó *et al.* (2023) denotam que tanto os campos de análise de dados, derivados de pesquisas com usuários, quanto o desenvolvimento de inovadores modelos de voz digital, obtiveram benefícios significativos das tecnologias de inteligência artificial, resultando em um salto qualitativo na habilidade de interpretar padrões complexos e na criação de respostas mais precisas e com nuances mais humanizadas. Tal avanço não somente facilitou a interação entre seres humanos e máquinas, mas também inaugurou novas oportunidades para a exploração de dados em grande escala, contribuindo de forma marcante para o desenvolvimento da ciência de dados e da inteligência artificial em sua totalidade.

#### 2.2.4. Índices auditivos

Dentre os componentes possíveis de incorporação em aparelhos portáteis de audionavegação, há a possibilidade da inserção de sinalizações sonoras não vocais que podem ser utilizados tanto em situações as quais a descrição vocal não se aplica ou como complemento das descrições vocais.

De acordo com Norman (2013), o uso de sons no design de sistemas de alerta pode ser eficiente, desde que centrado no usuário, considerando a percepção, cognição e comportamento humanos. Norman (2013) destaca a importância de as



interfaces fornecerem *feedbacks* claros e intuitivos para os usuários, por meio de diretrizes conceituais de design na disponibilização de sons:

- **Significadores:** os significadores são pistas visuais ou auditivas que guiam os usuários e comunicam as ações potenciais disponíveis para eles. Ao incorporar significadores eficazes, os designers podem fornecer orientação clara e reduzir a confusão
- **Feedback:** o *feedback* garante que os usuários recebam informações oportunas e significativas sobre suas ações. Isso promove um senso de controle, reduzindo a frustração e permitindo que os usuários tomem decisões informadas e se sintam mais envolvidos em suas experiências
- **Prevenção de Erros e Recuperação:** Norman (2013) aborda a importância da prevenção de erros e técnicas de recuperação, que incluem proporcionar *feedback* perceptível sobre a natureza da ação sendo realizada, seguido de *feedback* muito perceptível descrevendo o novo estado resultante, juntamente com um mecanismo que permite desfazer o erro.
- **Design Centrado no Humano:** Norman (2013) introduziu o termo "design centrado no usuário" (*user-centered design*) em 1986 e, ao longo dos anos, expandiu este conceito para abranger o design centrado no humano, argumentando por uma abordagem que priorize as necessidades humanas sobre considerações secundárias, como a estética. Ele enfatiza a simplificação da estrutura das tarefas, a visibilidade, a mapeamento correto, o aproveitamento das restrições, o design para o erro, as *affordances* e as sete etapas da ação.

Este modelo de Norman (2013) ajuda a entender o processo cognitivo por trás das interações humano-objetos e serve como uma estrutura para avaliar e projetar a usabilidade dos sistemas. Ao considerar essas etapas no design, os desenvolvedores podem criar produtos que melhor se alinham às necessidades, capacidades e expectativas dos usuários, reduzindo a probabilidade de confusão, erros e insatisfação. As sete etapas da ação de Norman (2013) estão elencadas no quadro 5 da página 120.

Etapa da ação		Descrição
1	Formar o objetivo	Definir o que se deseja alcançar, baseando-se em necessidades, desejos ou uma resposta a um problema percebido
2	Formar a intenção	Decidir sobre um curso de ação que se acredita que levará ao objetivo desejado
3	Especificar a ação	Planejar a sequência de ações que se acredita que concretizará a intenção
4	Executar a ação	Realizar a sequência de ações conforme planejado.
5	Perceber o estado do mundo	Observar o estado do ambiente e do sistema após a execução da ação
6	Interpretar o estado do mundo	Analisar as observações para determinar se elas estão alinhadas com os objetivos e intenções.
7	Avaliar o resultado	Comparar o resultado com o objetivo inicial e determinar se o objetivo foi alcançado.

Quadro 5 – etapas da ação, de acordo com Norman (2013)

Norman (2013), em sua defesa pelo design centrado no humano, argumenta que os produtos e sistemas devem ser projetados com uma consideração primordial pelas necessidades, capacidades e limitações humanas. Este princípio não apenas visa a funcionalidade e a usabilidade, mas também a criação de experiências positivas para o usuário, enfatizando a importância da estética, do prazer e da satisfação emocional no design, promovendo uma abordagem de design que coloca os seres humanos no centro do processo de desenvolvimento, assegurando que as soluções finais sejam tanto intuitivas quanto enriquecedoras.

Com objetivos semelhantes, a comunicação icônica, conforme explorada por Taylor (2009), foca na utilização de símbolos e imagens para transmitir mensagens de maneira eficaz e imediata. Este tipo de comunicação tira proveito da capacidade humana de reconhecer e interpretar elementos visuais rapidamente, permitindo a transmissão de ideias complexas de forma simplificada e acessível.

A comunicação icônica representa um mecanismo importante para expressar mensagens complexas, onde a forma da comunicação assemelha-se de algum modo ao significado pretendido. De acordo com Taylor (2009), o uso da comunicação icônica destaca-se por sua capacidade de transmitir conceitos por meio de formas visuais que mimetizam o objeto ou ação a ser comunicada. Por exemplo, o gesto de fingir dormir para indicar cansaço ou o uso de sinais de trânsito que visualmente representam

condições da estrada, como uma via escorregadia (figura 46), são ilustrações claras de comunicação icônica.



Figura 46 – comunicação icônica que indica pista escorregadia (Taylor, 2009, p. 9)

A comunicação icônica, por sua natureza, apresenta vantagens significativas em termos de transparência e entendimento intuitivo, especialmente em contextos onde o receptor da mensagem pode não compartilhar um idioma comum com o emissor. Taylor (2009) afirma que a capacidade de transmitir significados por meio da imitação ou da representação visual facilita a comunicação em situações em que convenções linguísticas compartilhadas estão ausentes. No entanto, Taylor (2009) também pondera que a comunicação icônica também enfrenta limitações notáveis, que podem gerar ambiguidade, devido à inerente a essa forma de comunicação pode levar a interpretações equivocadas.

Em contraste com a comunicação icônica, a comunicação simbólica oferece uma abordagem mais abstrata, onde a relação entre a forma e o significado é arbitrária e convencional. De acordo com Taylor (2009), este tipo de comunicação permite uma precisão e brevidade que supera as limitações da comunicação icônica, introduzindo a noção de contraste entre as formas como um meio para evitar confusão e facilitar a distinção clara entre conceitos.

De acordo com Taylor (2009), na comunicação simbólica, a forma do sinal comunicado não possui uma relação direta ou representativa com o significado que transmite; em vez disso, a relação é estabelecida por convenção ou acordo. A

vantagem primária da comunicação simbólica é a clareza e a distinção entre as formas, o que pode reduzir a confusão e aumentar a eficiência da comunicação. No entanto, Taylor (2009) cita que a necessidade de aprender o sistema de convenções é uma desvantagem, pois sem o conhecimento prévio dessas convenções, os símbolos podem parecer sem sentido ou não fornecer pistas sobre seu significado.

Taylor (2009) utiliza a figura 47 para reforçar este conceito, mostrando que, com apenas três símbolos simples, apenas três significados são possíveis quando usados isoladamente. No entanto, ao combinar esses símbolos em sequências, o número de significados possíveis aumenta exponencialmente, enquanto a capacidade de perceber cada símbolo de forma única permanece inalterada. Isso demonstra a eficácia da combinação de formas simples em um sistema de comunicação simbólica para aumentar a quantidade de informações que podem ser transmitidas sem comprometer a clareza ou a distinção entre os símbolos.



Figura 47 – formas simples combinadas e sistema de comunicação simbólica (Taylor, 2009, p. 11)











No entanto, na figura 47, percebe-se que os símbolos não possuem um significado identificável, seja em forma única, sejam combinados. Exige-se uma convenção prévia que provenha significado a estes símbolos (Taylor, 2009). Por este motivo, o uso da comunicação simbólica é mais restrito, destinada a situações específicas, enquanto a comunicação icônica é amplamente utilizada em ambientes urbanos.

Além do ícone e do símbolo, é importante referenciar o índice como um elemento comunicacional de grande valor para a comunicação sonora. Diferente dos anteriores, o índice não tem proximidade com seu referente por semelhança, mas sim por contiguidade (Noth, 1998).

Definido por Pierce como um signo que comunica por semelhança com seu referente (Noth, 1998), a comunicação por ícones é comum nas interfaces gráficas de equipamentos digitais, como computadores, *smartphones* e outros equipamentos eletrônicos (Langella, 2018). Neste contexto, os ícones são definidos como pictogramas ou ideogramas exibidos em uma tela de computador para auxiliar o usuário na navegação de um sistema computacional ou dispositivo móvel, atuando como símbolos rapidamente compreensíveis de uma ferramenta de software, função ou arquivo de dados acessível no sistema, funcionando de maneira similar a sinais de trânsito ao invés de ilustrações detalhadas do que realmente representam.

O uso de índices auditivos em interfaces eletrônicas recebeu a denominação de “*earcons*” por Gaver (1986), que comparou as funcionalidades dos sons de sistemas de computadores às funcionalidades dos ícones visuais, observando sólidas analogias, inclusive no uso combinado, de modo a reforçar determinadas funcionalidades, até mesmo na possibilidade de representação de índices auditivos diferentes para representar a mesma ação.

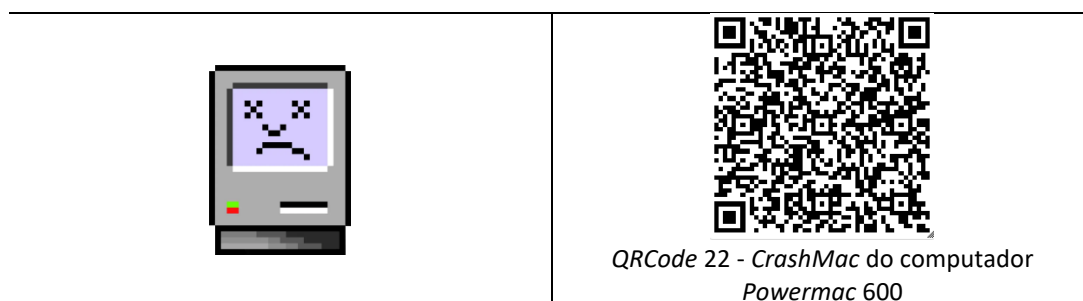
Segundo Gaver (1986), os índices auditivos são intuitivos, permitindo que os usuários reconheçam e interpretem a informação sem a necessidade de explicação verbal ou textual. No entanto, de forma a esclarecer os sons mais comuns, pode-se textualizar os sons mais utilizados, além de descrever-se os sons disponibilizados por meio do quadro 6, na página 124, que demonstra, por meio dos *QR Codes* 17 a 21, alguns exemplos possíveis de índices auditivos utilizados em interfaces humano-computador.

	Ícone (visual)	Índice auditivo	
1			QRCode 17 - esvaziar lixeira do sistema Windows
2			QRCode 18 – mensagem chegando (sino)
3			QRCode 19 – erro de sistema do Macintosh Powermac LC
4			QRCode 20 – chamada de telefone antigo
5			QRCode 21 – seleciona tela (click de um mouse)

Quadro 6 – exemplos de ícones visuais e índices auditivos (gravação pelo autor, 2020)

**1. Lixeira do Computador:** um som de algo sendo esmagado ou quebrado pode ser usado para indicar que um arquivo foi deletado ou movido para a lixeira em sistemas operacionais de computadores. Este som visa imitar a ação de descartar fisicamente um objeto, proporcionando um *feedback* auditivo que reflete a ação realizada.

- 2. Notificações de Mensagem Recebida:** sons que imitam o toque de uma campainha ou o bipe de um pager podem ser usados para notificar os usuários de que receberam uma nova mensagem em aplicativos de comunicação. Este tipo de índice auditivo é projetado para chamar a atenção imediatamente, de forma similar a uma pessoa anunciando sua chegada ao tocar uma campainha.
- 3. Erro de Sistema:** um som agudo, um bipe repetido ou uma melodia triste podem ser usados para indicar um erro ou problema no sistema. Este som é geralmente desagradável ao ouvido, para refletir a necessidade de atenção imediata ao problema, ou reflete uma sensação de inconveniência, como o disponibilizado no item 3 do quadro 6 da página 124, tratando-se da melodia “*Sadmac*” (Mac triste) utilizado no computador *Macintosh Powermac LC*, em meados de 1996. Curiosamente, outro som foi utilizado na mesma época, de entonação mais agressiva, correspondendo à ação de atenção imediata. Este som, chamado de “*CrashMac*” (colisão do Mac), foi utilizado no modelo *Powermac 600*, uma versão corporativa do *Macintosh*. Pode-se ouvir o som do *CrashMac*, uma forte colisão de carro, por meio do *QRCode 22* no quadro 7:



Quadro 7 – *CrashMac* do computador *Powermac 600* (gravação pelo autor, 2020)

- 4. Início de uma Chamada:** Sons que imitam o toque de um telefone tradicional ou uma melodia suave podem ser usados para indicar que uma chamada de vídeo ou áudio está começando. Este índice auditivo utiliza a familiaridade dos usuários com o som de chamadas telefônicas para comunicar o início de uma interação similar.
- 5. Feedback de Seleção:** Sons sutis, como um clique suave ou um bipe curto, podem ser usados para fornecer *feedback* quando um usuário seleciona um item em uma interface *touchscreen* ou clica em um botão em um *website*. Estes sons proporcionam uma confirmação imediata da ação realizada pelo usuário.

Estes exemplos ilustram a ampla gama de aplicações e o valor funcional dos índices auditivos em diversas interfaces e contextos, desde o digital e tecnológico até o cotidiano e infraestrutural.

De acordo com Gaver (1986), nem todos os sons em interfaces são considerados índices sonoros. Um exemplo de som utilizado em interfaces que não se qualifica como um índice auditivo é a música de fundo ou trilha sonora ambiental em aplicativos, jogos ou *websites*. Diferentemente dos índices auditivos, que são sons específicos projetados para comunicar uma informação clara ou uma ação (como notificações, alertas, ou *feedback* de interação), a música de fundo tem como objetivo principal criar uma atmosfera ou melhorar a experiência do usuário sem transmitir uma mensagem específica ou direta.

O uso de sinais sonoros em ambientes urbanos é uma prática habitual. Diversos serviços de transporte já fazem uso de “beeps”, “gongos” e campainhas para momentos que demandam da atenção de pessoas. O *QRCode 23* é um exemplo de gongo utilizado no aeroporto de Guarulhos, utilizado para chamar a atenção dos passageiros para a mensagem que informa a liberação para embarque em voo. Para fins de registro, a voz é da locutora brasileira Iris Lettieri (Erthal, 2015).



*QRCode 23* – gongo com anúncio vocal no Aeroporto de Guarulhos (Lettieri, 2019)

Esses índices auditivos, exemplificados pelo uso do gongo no aeroporto de Guarulhos, funcionam efetivamente para orientar os passageiros, alinhando-se com o princípio de Norman (Norman, 2013) que enfatiza a importância de pistas claras e intuitivas. A voz subsequente da locutora Iris Lettieri atua como o *feedback* necessário, oferecendo respostas oportunas e significativas sobre o estado atual, que Norman considera vital para promover o controle e a tomada de decisões informadas pelos usuários.



A prevenção de erros e a recuperação também são essenciais no contexto de Norman (Norman, 2013). Seus resultados concluem que um design sonoro eficaz deve prevenir a confusão e permitir uma correção rápida caso a informação inicial seja mal interpretada ou perdida.

De acordo com Schaeffer (Schaeffer, 1966), a percepção psicológica que separa os sons, assim como a associação de certos sons com objetos ou eventos específicos, são influenciadas por experiências prévias e pelo contexto cultural. Chion (2019) ilustra este efeito psicológico citando que sons sintetizados que variam rapidamente de frequência podem não ter um equivalente direto no mundo natural, porém da exposição repetida em contextos específicos (como filmes de ficção científica), alguns sons passam a ser associados a tecnologias inexistentes. Chion (2019) argumenta que o uso constante destes sons em mídias populares reforça a associação, por exemplo, de um som com decaimento de frequência como o som de uma arma de raios laser, mesmo que não existam, de fato, armas de raios laser.

A elaboração e o uso de sons não naturais, semelhantemente às técnicas de cinema, para indicativos em ambientes urbanos, é uma prática comum de sinalização, independente da necessidade de utilizar voz para explicar os contextos. Por exemplo, no Metrô de São Paulo, pode-se observar o uso de gongos para sinalizar que as portas dos trens irão fechar. O som utilizado se trata, de fato, de uma só nota musical, Si bemol, tocada por três segundos antes do fechamento da porta do trem. No *QRCode 24* pode-se ouvir o gongo de portas do Metrô de São Paulo.



*QRCode 24 – gongo de portas (Si♭) do Metrô de São Paulo (o autor, 2022)*

O uso de sinais sonoros para diversas indicações em ambientes urbanos tornou-se uma necessidade inerente aos transportes públicos, segundo Ercan (2019). A prática de sinalizar ambientes urbanos com sons é utilizada em todo o mundo. Na

Alemanha os semáforos de pedestres utilizam o som de beeps intermitentes sem padrão sonoro definido para indicar aspecto verde ou aspecto vermelho, variando o som em frequência e tonalidade em lugares diferentes. No Japão, é costume a utilização de sons de pássaros para indicar semáforo de pedestres com aspecto verde, variando-se o tipo de canto de pássaro. Ercan (2019) cita que não há padrões definidos, os sons utilizados dependem exclusivamente de decisões de ordem política ou por deliberação dos designers, de forma semelhante à comunicação simbólica citada por Taylor (2009).

Ainda que não existam padrões definidos para indicações por alertas sonoros, a utilização de sons de alerta faz parte do cotidiano de usuários de *smartphones*. Estes aparelhos portáteis se utilizam constantemente de notificações por sons para alertar o usuário. Segundo Chen; Huang (2021), os sons de notificação têm assumido um papel importante na percepção humana, ao ativarem sensações sinestésicas. Estas sensações têm sido amplamente exploradas no design de produtos digitais ao longo das últimas décadas, de forma provocativa, ou seja, criando-se associações que, utilizadas de forma repetitiva, levam o usuário a relacionar determinado som de notificação a determinada ação. Por exemplo, o som de pratos quebrando pode representar objetos virtuais sendo apagados de um computador, enquanto o som de uma porta batendo pode indicar que um usuário remoto foi desconectado da internet.

O conceito de utilização de sons compostos, como os exemplificados por Chen; Huang (2021), ao invés de alertas e gongos simples, como os sinais sonoros de fechamento de portas do Metrô de São Paulo, foi explorado por Walker (2005) e Garzonis *et al.* (2009), nos quais sons compostos tiveram um desempenho significativamente melhor em termos de intuitividade, capacidade de aprendizagem, capacidade de memorização e preferência do usuário, porque os usuários naturalmente associam, de forma metafórica, os sons compostos a situações e coisas.

Paralelamente, Owczarzak (2019) cita que a associação metafórica que o usuário obtém com o uso dos sons compostos apresenta vantagens ante o modelo do uso de gongos e beeps para notificações: o uso de sons de natureza simples, em situações que demandem de diferentes ações do usuário, frequentemente demandam de mais treinamento dos usuários do que os índices auditivos. Devido à natureza metafórica dos sons compostos, Owczarzak (2019), semelhantemente à Gaver (1986),

compara este modo de associação sonora à associação visual que os usuários fazem dos ícones gráficos, relacionando funcionalidades, aplicativos e ações às representações gráficas dos ícones.

Por outro lado, o uso dos sons simples, como beeps e sinos em frequências sonoras pré-definidas, pode ser adequado para situações as quais as interfaces possuem poucas funções, além de demandarem ações imediatas. A teoria do condicionamento clássico de Pavlov (2010) fornece evidências da compreensão de como variações de frequência sonora podem induzir estados psicológicos. Em São Paulo, equipamentos semafóricos de indicação de travessia de pedestres, denominados como “botoeira sonora” (Cardoso, 2023), emitem sons para indicar, auditivamente, o estado do aspecto do semáforo de pedestres. A reprodução do som de travessia iniciada desta botoeira sonora (*QRCode 25*), especificada pela CET São Paulo (2019), resultam em um apito intermitente, configurado em decaimento de frequência sonora, repetindo-se a cada segundo.



*QRCode 25* – sinal sonoro de travessia iniciada – o autor (2023) com base em CET São Paulo (2019)

Este tipo de sinal sonoro é empregado em sinalleiras de pedestres por razões específicas, que se relacionam tanto com a eficácia em capturar a atenção quanto com a acessibilidade, criando-se um alerta sonoro distinto do som ambiental. De acordo com Bouvier; Susini (2023) sons modulados em amplitude na faixa de aspereza, comuns tanto em sinais de alarme naturais quanto artificiais, são melhor detectados devido ao espaço privilegiado que ocupam na paisagem comunicativa. Sons ásperos também são conhecidos por aumentar a aversividade por meio de processamento neural específico. Essas descobertas sugerem que variações nesses atributos do timbre podem desempenhar um papel significativo no processo da atenção.

Os efeitos psicológicos evocados por características específicas de um som (variação de frequência, duração, intermitência) decaem sobre a capacidade humana de interpretar e reagir a estímulos sonoros em contextos variados. O uso de determinados modelos de som pode incutir sensações, por exemplo, de alerta. De forma análoga, Parmentier (2013) demonstra que sons não familiares ou que mudam de propriedades (como a frequência) podem capturar automaticamente a atenção, pois o cérebro os considera potencialmente relevantes para ação ou avaliação.

Complementarmente, Edworthy; Hellier (2006) sugerem que a maneira como um som é estruturado (por exemplo, um ciclo sonoro seguido por silêncio) pode influenciar a percepção de urgência. Edworthy; Hellier (2006) citam que a psicologia do tempo e a percepção da urgência indicam que sinais intermitentes podem ser mais eficazes em comunicar uma necessidade de ação sem causar sobrecarga ou ansiedade excessiva.

Em ambientes complexos, como por exemplo os espaços urbanos, Edworthy; Adams (1996) abordam como o uso de sinais de aviso com características sonoras específicas no design de sinalização podem facilitar a compreensão e o direcionamento das ações dos indivíduos. Edworthy; Adams (1996) destacam que diferentes tipos de sinais auditivos podem ser usados para orientar comportamentos em ambientes complexos, destacando a importância da clareza e distinção dos sinais. Zwicker; Fastl (1999) citam que a percepção das características físicas do som, como por exemplo, sua faixa de frequências, é afetada em ambientes ruidosos, evidenciando que os sons dentro de certas faixas de frequência podem ser mais facilmente discriminados em meio ao ruído de fundo, o que é importante para a eficácia comunicativa de sinais sonoros em contextos urbanos.

Por outro lado, o uso indiscriminado de quaisquer faixas e volumes sonoros pode não ser uma opção viável para superar os desafios impostos pelo ruído ambiental. Guski; Felscher-Suhr; Schuemer (1999) destacam que a interação entre as pessoas e seus ambientes, incluindo a exposição a sons e ruídos, gera efeitos comportamentais significativos. Sons de sinalização que combinam frequências e volumes de maneira exagerada, embora visem superar o ruído natural do ambiente, podem ser percebidos como poluição sonora, impactando negativamente o bem-estar das pessoas ao redor por não estarem devidamente adaptados ao contexto ambiental.

Esta reflexão sobre a modulação de sinais sonoros em meio ao ruído urbano pondera a complexidade da experiência humana em ambientes construídos e naturais. A compreensão de como os indivíduos interpretam e respondem a estímulos auditivos em contextos diversos abre caminho para uma investigação mais aprofundada sobre a orientação espacial e navegação. Tal transição de foco convida à exploração de como, além dos índices auditivos, outros elementos sensoriais e cognitivos contribuem para a capacidade humana de orientar-se e mover-se em ambientes complexos, ressaltando a importância de uma abordagem integrada no estudo da interação humano-ambiente.

### 2.2.5. Inteligência artificial

A busca pelos antecedentes e desenvolvimentos subsequentes à moderna Inteligência Artificial (IA) revela uma diversidade de nomes, conceitos e técnicas que, embora possam parecer sinônimos para os iniciantes, representam disciplinas distintas, cada qual contribuindo de maneira única para o campo da IA. Estes principais conceitos são *big data*, redes neurais, aprendizado de máquina, aprendizado profundo e processamento de linguagem natural.

*Big Data*, a terminologia mais frequentemente associada à IA, é caracterizado pela coleta e análise de conjuntos de dados de grande escala, possibilitando insights profundos e fundamentais para o aprendizado de máquinas (Mayer-schönberger; Cukier, 2013).

As redes neurais, assim chamadas por serem inspiradas na estrutura e funcionamento dos neurônios biológicos humanos, são métodos computacionais fundamentais para o desenvolvimento de modelos de aprendizado profundo, contribuindo significativamente para a capacidade de reconhecimento de padrões e tomada de decisão baseada em dados (Lecun; Bengio; Hinton, 2015).

A relação entre *big data* e redes neurais está intrinsecamente ligada às fundamentações e aplicações práticas dessas tecnologias no campo da ciência de dados e da inteligência artificial

- *Big Data*

*Big data* refere-se ao vasto volume de dados que são gerados continuamente por várias fontes, incluindo transações comerciais, sensores, dispositivos móveis,

vídeos, redes sociais e mais. Big data é caracterizado pelos três “V”: “Volume” (quantidade massiva de dados), “Velocidade” (rapidez com que os dados são gerados e processados), e “Variedade” (diferentes tipos de dados, estruturados e não estruturados). A figura 48 mostra um diagrama simplificado da coleta, processo e uso de dados no modelo *big data* (Bulian; Alencar, 2017).

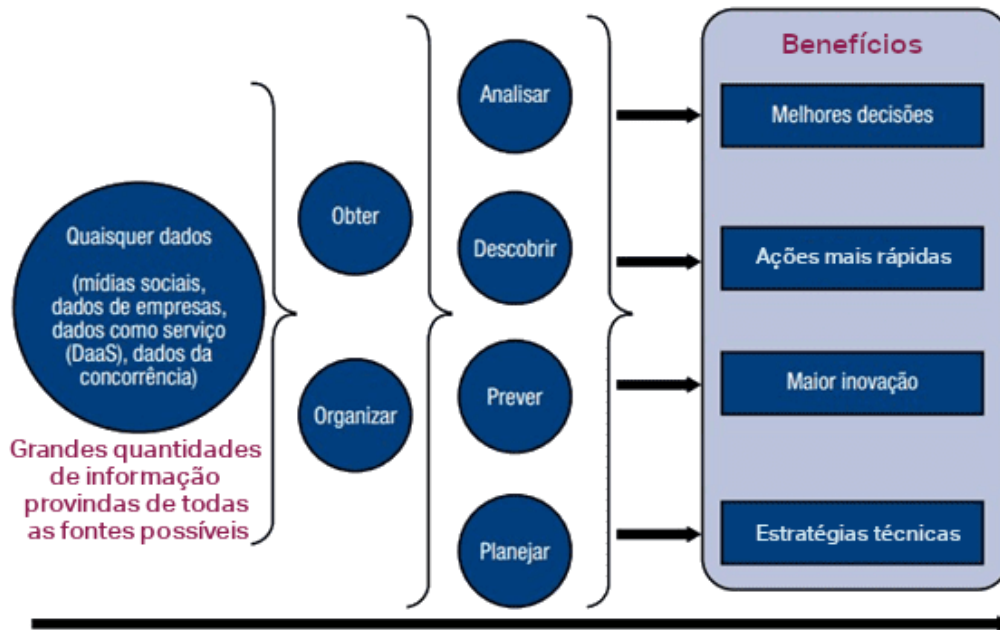


Figura 48 – exemplo de processo de dados no modelo *big data* (Bulian; Alencar, 2017)

Segundo a Oracle (2021), o *Big Data* é caracterizado por um grande volume de dados gerados e coletados, processados rapidamente e com uma variedade significativa de tipos e formatos. O volume de dados no *Big Data* é medido em bytes, variando de terabytes a zettabytes<sup>9</sup> (Silva, 2023). A velocidade dos dados é medida em segundos, milissegundos ou até nanossegundos, sendo influenciada pelo avanço das tecnologias de comunicação. A variedade de dados refere-se aos diferentes tipos e formatos, que podem ser estruturados, não estruturados ou semiestruturados. De acordo com Miranda (2022), diversas tecnologias foram desenvolvidas para lidar com os desafios do *Big Data*, dentre elas, as redes neurais da moderna inteligência artificial.

<sup>9</sup> 1 terabyte, ou 1 milhão de megabytes, é o equivalente à capacidade de quase 213 DVDs de filme. 1 zettabyte equivale a quase 213 bilhões de DVDs de filme.

## • Redes Neurais

Como citado anteriormente, são modelos computacionais inspirados pelo funcionamento do cérebro humano, projetados para reconhecer padrões e resolver problemas complexos. Estas redes são compostas por nós, denominados neurônios artificiais, interligados em uma estrutura que simula o modo como os neurônios biológicos processam informações. As redes neurais são particularmente proficientes em tarefas que envolvem reconhecimento de padrões, aprendizado de máquina e inteligência artificial. A figura 49 é um exemplo simplificado de diagrama de rede neural artificial, apresentado por Coelho (2017). Trata-se de uma ilustração de uma arquitetura de rede neural onde as conexões entre os nós não formam ciclos.

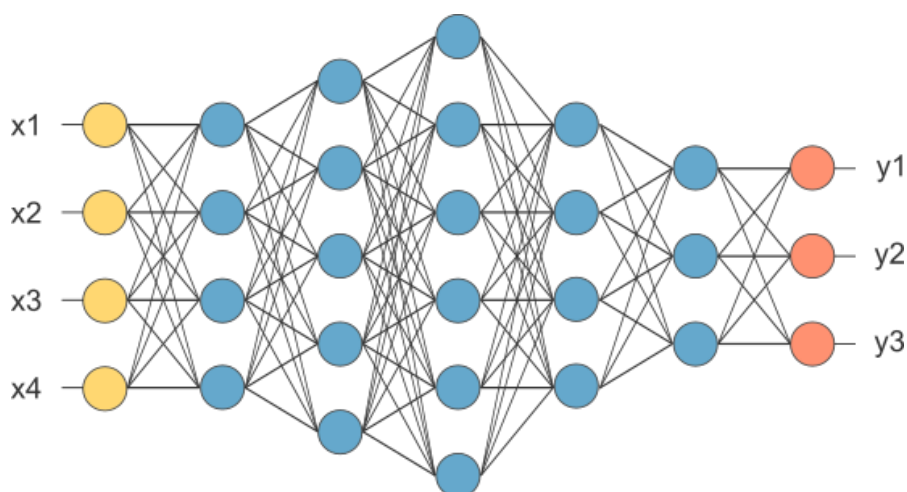


Figura 49 – exemplo de arquitetura de rede neural (Coelho, 2017)

Neste exemplo da figura 49, a rede neural é composta por camadas distintas, cada uma contendo várias unidades, chamadas neurônios ou nós, e apresentam a camada de entrada de dados, as camadas ocultas e a camada de saída de dados.

A camada de entrada (*input layer*), indicada pelos nós rotulados como x1, x2, x3 e x4, representam os atributos ou características de entrada que são alimentados na rede para processamento. Na prática, as entradas são valores numéricos representando dados do problema que se deseja modelar ou analisar (Coelho, 2017; Singh, 2023).

As camadas ocultas (*hidden layers*) são as cinco camadas intermediárias representadas no diagrama 2.3.1.a como nós azuis. Essas camadas realizam a maior

parte do processamento por meio de uma combinação linear dos valores de entrada, seguida pela aplicação de uma função de ativação não linear. Cada neurônio em uma camada oculta transforma os valores recebidos da camada anterior por meio de pesos sinápticos, adiciona um viés (bias), e aplica a função de ativação (Coelho, 2017; Singh, 2023). O número de camadas ocultas e o número de neurônios em cada camada são parâmetros definidos durante a concepção da rede e podem afetar significativamente o seu desempenho.

A camada de saída (*output layer*), representada pelos nós rotulados como  $y_1$ ,  $y_2$  e  $y_3$ , fornece o resultado da rede. A função desta camada é condensar as informações processadas pelas camadas ocultas para formar uma saída que é compatível com o formato desejado para o problema, como uma classificação ou um valor contínuo (Coelho, 2017; Singh, 2023).

Os nós de diferentes camadas estão interconectados por linhas que representam os pesos sinápticos. Estes pesos são ajustados durante o treinamento da rede por meio de um processo chamado retropropagação (*backpropagation*), no qual o erro da saída é utilizado para atualizar os pesos de forma a minimizar este erro em iterações subsequentes (Singh, 2023).

O design e a complexidade de uma rede neural podem variar amplamente, com a escolha da arquitetura dependendo intrinsecamente da natureza e da complexidade do problema a ser resolvido. A eficácia da rede neural depende do adequado treinamento e ajuste de seus parâmetros, um processo que geralmente requer uma grande quantidade de dados e poder computacional.

Em resumo, as redes neurais e *big data* são complementares e interdependentes em muitos aspectos. As redes neurais fornecem o mecanismo analítico e preditivo, enquanto *big data* oferece o combustível informacional necessário para alimentar e aprimorar esses mecanismos. Juntos, eles constituem um pilar central na evolução da inteligência artificial e na análise de dados avançada. Najafabadi; Villanustre *et al.* (2015) elencam a inter-relação entre redes neurais e big data sob as perspectivas da capacidade de processamento, melhoria contínua, aplicação em diversos setores e resolução de aplicações escaláveis.

Sobre capacidade de processamento, as redes neurais são ferramentas poderosas para analisar, interpretar e extrair insights de grandes conjuntos de dados



(*big data*). Elas são capazes de aprender e identificar padrões complexos em um volume massivo de dados, que seriam impraticáveis ou impossíveis de serem analisados manualmente ou por métodos estatísticos tradicionais (Najafabadi; Villanustre; *et al.*, 2015). A performance das redes neurais melhora significativamente com a quantidade e qualidade dos dados disponíveis. *Big data* fornece um rico conjunto de informações que alimenta as redes neurais, permitindo-lhes refinar e aperfeiçoar seus modelos preditivos (Najafabadi; Villanustre; *et al.*, 2015).

A combinação de redes neurais e *big data* tem sido aplicada em uma variedade de campos, incluindo, mas não limitado a saúde, finanças, transporte e marketing (Najafabadi; Villanustre; *et al.*, 2015). Por exemplo, na saúde, redes neurais podem analisar grandes conjuntos de dados de pacientes para auxiliar no diagnóstico precoce de doenças.

Sobre a escalabilidade de aplicações, embora a combinação de redes neurais e *big data* ofereça potencial significativo, ela também traz desafios, especialmente em termos de escalabilidade computacional e questões de privacidade e segurança dos dados (Najafabadi; Villanustre; *et al.*, 2015).

- **Aprendizado de máquina**

Tradução direta do termo original *Machine learning (ML)*, o aprendizado de máquina trata-se de uma subárea da IA, que enfoca no desenvolvimento de algoritmos que permitem que as máquinas aprendam e melhorem com experiências, sem a necessidade de programação explícita para cada tarefa específica (Mitchell, 1997).

De acordo com Brown (2021) o uso do ML para o design de produtos e serviços envolve o uso de técnicas que permitem que programas de computador aprendam padrões ou tendências a partir de dados históricos. Essas técnicas são usadas para realizar tarefas complexas como previsão, classificação e agrupamento. Para isso Brown (2021) cita que ML é mais bem aplicado em situações com grande volume de dados (*big data*), como por exemplo registros de entrevistas com voluntários, captura de dados de sensores de comportamento, anotações realizadas pelos pesquisadores, gravações de voz e de vídeo e quaisquer fontes de dados relacionadas ao design cujo volume e quantidade seja virtualmente impossível ou ao menos extremamente trabalhosa para análise por pessoas. Exemplos notáveis incluem a tradução do Google,

que foi treinada com uma vasta quantidade de informações na web, e a pesquisa do Google, que opera em uma escala e velocidade inatingíveis manualmente. Por este motivo que os subcampos associados ao ML incluem as redes neurais e o aprendizado profundo, este último que permitiu o processamento de linguagem natural, que são utilizados em aplicações de computação avançada, como por exemplo veículos autônomos, em *chatbots* e até mesmo em diagnósticos médicos.

A decisão do uso de inteligência artificial, e consequentemente ML, para o design de produtos ou serviços deve corresponder ao ciclo de vida do desenvolvimento de ML (Murphy, 2012). Este ciclo de vida pode ser dividido em algumas etapas fundamentais, que devem ser alinhados com os objetivos de design de produto ou serviço. Cada uma dessas etapas é importante no ciclo de vida de um modelo de aprendizado de máquina, contribuindo para o seu desenvolvimento, avaliação e aplicação efetiva.

envolvidas no desenvolvimento e implementação de um modelo de ML. Um modelo básico de ML tem as seguintes etapas:

- **Coleta de Dados:** Esta fase envolve a identificação, aquisição e armazenamento de dados a partir de fontes diversas, seguida pela limpeza e anotação dos dados. Estes passos são fundamentais para garantir a qualidade e a relevância dos dados que serão usados no treinamento de modelos de ML.
- **Pré-processamento de Dados:** Esta etapa abrange a integração, transformação, redução e seleção de recursos, além da engenharia de recursos. O objetivo é refinar os dados para que possam ser efetivamente utilizados pelos algoritmos de ML, otimizando sua estrutura e relevância.
- **Treinamento de Modelo:** Inclui a seleção do tipo de modelo apropriado, a preparação dos dados de treinamento, a escolha de métricas de desempenho, o treinamento propriamente dito do modelo e seu subsequente ajuste. Esta fase é importante para o desenvolvimento de um modelo preciso e eficaz.
- **Avaliação de Modelo:** Compreende a seleção e cálculo de métricas de desempenho, validação cruzada, análise de erros e análise comparativa.

Também envolve testes em cenários do mundo real. Essas atividades são essenciais para assegurar a precisão, robustez e confiabilidade do modelo.

- **Implementação em Design:** Esta fase inclui o planejamento de integração do modelo de ML, sua implementação em um ambiente de produção, o design da experiência do usuário, o monitoramento de desempenho e a melhoria contínua. O foco aqui é garantir que o modelo seja integrado de maneira eficiente e eficaz em aplicações do mundo real, proporcionando uma experiência de usuário otimizada e mantendo um desempenho consistente.

Considerando-se o design de produtos eletrônicos para a acessibilidade de pessoas com deficiência visual, a inserção da inteligência artificial e, conseqüentemente, do ML, tem avançado para aplicações de reconhecimento de imagens, referenciados por Cao; Seelman *et al.* (2022) como sistemas de *visual question answering* (VQA), em tradução direta, sistemas de sistemas de respostas visuais a perguntas.

O uso de ML para pesquisas em sistemas de resposta Visual a Perguntas (VQA) tem se concentrado significativamente em adaptar a tecnologia para melhorar a acessibilidade para pessoas com deficiências visuais. Em estudos realizados pela equipe da Universidade de Maryland, evidencia-se uma abordagem centrada no ser humano, com ênfase na aplicação prática de modelos VQA em contextos reais para usuários com deficiências visuais. Esta pesquisa, reconhecida em conferências internacionais e com prêmios de mérito, destaca-se pelo seu enfoque inovador e necessário na intersecção entre a visão computacional, o processamento de linguagem natural e as necessidades específicas de usuários com deficiência visual.

- **Aprendizado profundo**

Semelhantemente ao *Machine learning*, o termo “aprendizado profundo” é a tradução direta de *deep learning*. Ainda que não seja, de fato, uma evolução do ML, o aprendizado profundo se diferencia por utilizar redes neurais de múltiplas camadas para analisar grandes conjuntos de dados, sendo importante para progressos em áreas

como visão computacional e reconhecimento automático de voz (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016).

- **Processamento de Linguagem Natural**

Com o advento do aprendizado profundo, tornou-se possível a evolução do Processamento de Linguagem Natural, cujo principal desenvolvimento é facilitar a compreensão e resposta às linguagens humanas, um componente vital para interfaces de usuário de IA (Jurafsky; Martin, 2023).

Essas disciplinas, embora inter-relacionadas, distinguem-se por seus métodos, aplicações e históricos evolutivos, formando um mosaico complexo para a Inteligência Artificial moderna.

Considerando-se o design de produtos eletrônicos para a acessibilidade de pessoas com deficiência visual, a inserção da inteligência artificial tem avançado para aplicações de reconhecimento de imagens, referenciados por Cao; Seelman *et al.* (2022) como sistemas de *visual question answering* (VQA), em tradução direta, sistemas de respostas visuais a perguntas. VQA é um campo interdisciplinar de esforços por meio de inteligência artificial cujo objetivo é combinar as forças da visão computacional e do processamento de linguagem natural para o reconhecimento de imagens.

Os sistemas VQA são projetados para responder a perguntas formuladas em linguagem natural sobre o conteúdo de uma imagem, ensinando efetivamente as máquinas a interpretar e articular informações visuais. Cao; Seelman *et al.* (2022) citam que, mesmo em sua forma mais comum, o VQA é uma tarefa multimodal desafiadora, onde um computador deve fornecer a resposta para uma pergunta baseada em uma imagem. Essa tarefa requer um entendimento mais geral das imagens, isto é, o sistema deve ser capaz de responder a perguntas completamente diferentes e abordar vários aspectos sobre determinada imagem fornecida pelo usuário.

O uso de inteligência artificial para pesquisas em sistemas VQA tem se concentrado significativamente em adaptar a tecnologia para melhorar a acessibilidade para pessoas com deficiências visuais. De acordo com Antol; Agrawal *et al.* (2015) e Brachfeld (2022) os desenvolvimentos em VQA evidenciam uma

abordagem centrada no ser humano, com ênfase na aplicação prática de modelos VQA em contextos reais, considerando-se usuários com deficiência visual, com enfoque na intersecção entre a visão computacional, o processamento de linguagem natural e as necessidades específicas relacionadas à deficiência visual.

Existe um conceito surgido com as pesquisas com IA chamado “superajuste”, ou, no original em inglês, “*overfitting*”. O superajuste, de acordo com Ying (2019), é um problema fundamental na aprendizagem de máquina, onde um modelo aprende de forma excessiva os dados de treino, incluindo ruídos e detalhes específicos, o que prejudica sua capacidade de generalizar e performar bem em novos dados.

No objetivo de combater o superajuste, Ying (2019) cita técnicas como a parada antecipada, ou seja, o programador cria mecanismos que interrompe o treinamento antes do modelo se ajustar demais aos dados, mecanismos de redução de redes neurais, que envolve a poda de partes do modelo para reduzir a complexidade e o aprendizado de ruído, ou mesmo a inserção de novos dados para treino da máquina, de forma a ajudar a melhorar a generalização do modelo.

Antol; Agrawal *et al.* (2015) e Cao; Seelman *et al.* (2022) revelam a complexidade de adaptar modelos VQA originalmente desenvolvidos para "compreensão" de máquina para aplicações em acessibilidade, identificando lacunas significativas no desempenho entre a compreensão da máquina e as necessidades dos usuários, com uma preocupação crescente ao superajuste dos modelos desafiadores, posto que o aprendizado excessivo aos detalhes, no caso dos modelos VQA, leva apenas a modestas melhorias para acessibilidade e, em casos extremos, ocorre até mesmo degradação do desempenho.

O trabalho de Antol; Agrawal *et al.* (2015) e Cao; Seelman *et al.* (2022) envolve a avaliação de diferentes modelos de VQA e conjuntos de dados, incluindo um específico para a compreensão por máquinas e outro coletado de pessoas com deficiência visual. Os desafios notáveis incluem o tratamento de perguntas que requerem habilidades de reconhecimento de texto e questões ambíguas, sugerindo a necessidade de uma atenção especial tanto na coleta de dados quanto no design do modelo.

Esta linha de pesquisa sublinha a importância de desenvolver tecnologias de VQA que sejam não apenas tecnicamente avançadas, mas também práticas e úteis

para usuários com deficiências visuais. Além disso, ressalta-se a necessidade de uma abordagem mais inclusiva e humanizada no design de produtos de tecnologia assistiva. Linn (2016) cita, como exemplo, a necessidade de determinado designer em construir um aplicativo que ajude os ciclistas a reconhecer quando os carros estão chegando por trás da bicicleta. Neste exemplo, o computador seria alimentado com centenas de fotos de carros, então a linguagem de aprendizagem computacional por rede neural, que faz uma análise destas fotos, aprenderia a reconhecer a diferença entre um carro e, digamos, uma placa de sinalização sinal ou uma árvore. Note que, neste caso, o computador não tem o conhecimento amplo sobre o que é, de fato, um carro, com todas as características, nuances, faixas de conhecimento e de utilidade inerentes a um carro. Porém o processo é suficiente para avisar da presença de um carro se aproximando do ciclista.

Linn (2016) evidencia que o principal desafio da inteligência artificial, no contexto de descrição de ambientes para pessoas com deficiência visual, não é a precisão do reconhecimento do objeto, é ajudar a tecnologia a entender o que uma pessoa pensaria ser mais importante, sobre o que vale a pena dizer acerca do ambiente monitorado. Por exemplo, um computador com inteligência artificial poderia descrever a figura 50 como “um grupo de pessoas que estão sentadas uma ao lado da outra”, enquanto uma pessoa real pode dizer que a imagem se trata de “pessoas se divertindo”, conforme exemplo disponível no *QRCode 26*, demonstrando que há uma nítida separação entre o que a inteligência artificial reconhece e o que é importante de fato para os seres humanos.



Figura 50 – imagem de Iconade (FREEPIK, 2023) para ilustrar a diferença entre a descrição humana e a descrição realizada por IA, de acordo com Antol *et al.* (2015), Linn (2016) e Cao *et al.* (2022)



*QRCode 26* – exemplo de descrição da AI

Estes exemplos de funcionamento demonstram, de forma simplificada, o modo de funcionamento e as dificuldades inerentes ao uso das linguagens computacionais de inteligência artificial e sua diferenciação para a percepção humana, diferença que pode impactar no modo de descrição dos ambientes para a acessibilidade de pessoas com deficiência visual.

## 2.2.6. Orientação e navegação

A palavra "navegar" possui múltiplas definições, cada uma relacionada a contextos distintos. Originária do latim "navigatio", ela é comumente associada à ação, ciência e a arte de viajar por água, ar ou espaço, como citado em diferentes fontes (LÉXICO, 2009; OQUEÉ, 2011; PRIEBERAM, 2023), ou seja, implica em viajar ou conduzir uma embarcação em corpos d'água, seja mar, rio ou lago. Essa atividade pode envolver barcos à vela, a remo, a motor, entre outros, e requer conhecimento técnico para navegação e superação de intempéries.

Com o advento da aviação, a palavra "navegar" foi adotada para as práticas, técnicas e procedimentos necessários para que uma aeronave decole de uma origem e atinja seu destino, pois, ainda que pelo meio aéreo, a condução em trajetórias na aeronáutica assemelha-se, em vários aspectos, à condução marítima. Ambas as formas de navegar, marítima e aérea, exigem habilidades específicas para garantir a segurança e integridade da tripulação e dos passageiros.

No âmbito da informática, "navegar" adquire um significado metafórico, referindo-se ao ato de percorrer páginas ou recursos da Internet, geralmente utilizando um navegador e seguindo hiperligações. Esta forma de navegação é virtual, não envolvendo movimento físico, mas sim o deslocamento de um local a outro dentro da rede de computadores.

Dessa maneira, "navegar" é um termo versátil, adaptando-se a diversos contextos e atividades, desde o tradicional deslocamento em veículos marítimos ou aéreos até a moderna navegação digital na Internet, passando, inclusive, como designação da capacidade de as pessoas se localizarem nos espaços, percorrendo trajetos entre origens e destinos.

Neste contexto, Barbosa (2016) aprofunda o estudo sobre métodos de navegação em ambientes públicos aplicado à mobilidade de pessoas com deficiência visual no Brasil, destacando a necessidade de ambientes urbanos mais inclusivos e acessíveis, enquanto Pereira (2015) ressalta a importância do planejamento holístico para melhorar o bem-estar dos cidadãos nas áreas urbanas.

A capacidade de navegação da pessoa pode requer elementos de sinalização, como sistemas de áudio e marcações táteis que permitam que o usuário se desloque



com autonomia e segurança, principalmente em locais desconhecidos. (Gibson, 2014). Um exemplo contemporâneo de navegação é a pessoa utilizar mapas com GPS em *smartphones* para se orientar pelas ruas das cidades (figura 51).

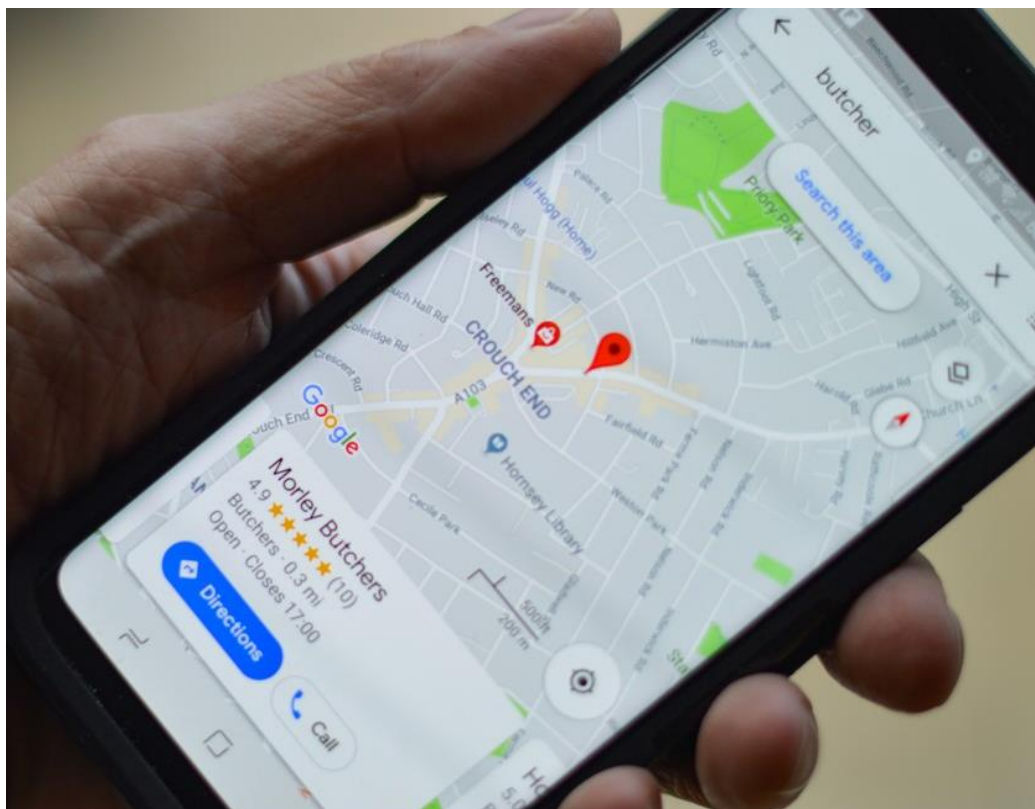


Figura 51 – uso de mapa com GPS para se orientar nas cidades – ilustração por Perks (2022)

A navegação em espaços urbanos para pessoas com deficiência visual representa um desafio significativo; no entanto, de acordo com Vasconcelos *et al.* (2020), as tecnologias de *wayfinding*, como aplicativos em dispositivos inteligentes, oferecem meios para facilitar essa navegação. O levantamento realizado por Vasconcelos *et al.* (2020) indica que, apesar dos desafios enfrentados com a falta de integração e interoperabilidade das tecnologias existentes, os resultados de seu desenvolvimento estão se tornando valiosos tanto na utilidade medida quanto na percepção de utilidade informada pelos usuários com deficiência visual, possibilitando o uso de avanços tecnológicos, como sons e voz sintetizada, para fornecer informações ambientais dinâmicas e específicas, potencializando a experiência sensorial e cognitiva de usuários com deficiência visual, contribuindo para uma maior autonomia e equidade no acesso a espaços urbanos para pessoas com deficiência visual.

Assim, as percepções visuais, em particular, podem desempenhar um papel fundamental. Por exemplo, a cor é uma parte essencial da percepção visual e pode ser usada como uma ferramenta eficaz de comunicação (Csillag, 2021). Além disso, os aspectos cognitivos e sensoriais também são fundamentais para a inclusão de pessoas com deficiência no transporte público. Tecnologias adaptadas, como os dispositivos de navegação, podem oferecer assistência significativa para essas pessoas, aumentando sua autonomia e independência (Lopes; De Marchi, 2015; Esteves, 2019). Portanto, ao se considerar os fenômenos cognitivos e sensoriais dentro da biologia humana, a integração desses aspectos na criação e design de cidades inteligentes e inclusivas torna-se uma necessidade cada vez mais reconhecida (Feitosa; Righi, 2016).

Machado; Medeiros (2019) discutem como o design de sinalização pode ajudar a facilitar a mobilidade de pessoas com deficiência visual no transporte público, alavancando a importância de considerar os diferentes modos de percepção sensorial ao criar ambientes urbanos. Ao considerar todos esses aspectos, torna-se claro que a biologia humana, assim como os fenômenos cognitivos e sensoriais que emergem dela, devem desempenhar um papel importante no planejamento e design de cidades inteligentes e inclusivas (Feitosa; Righi, 2016).

Essa abordagem não apenas beneficia aqueles com deficiências, mas também tem o potencial de melhorar a experiência de todos os usuários, já que o design inclusivo busca criar ambientes urbanos que sejam acessíveis e utilizáveis para todos, independentemente de suas habilidades físicas ou cognitivas.

#### 2.2.6.1. COGNIÇÃO AMBIENTAL

Os sentidos humanos desempenham o principal papel na percepção e interação dos indivíduos com o mundo ao seu redor. Os principais sentidos humanos envolvem a capacidade sensorial direta, obtida por meio de receptores nervosos especializados: visão, audição, paladar, olfato, tato e, de forma composta, os sentidos da cinestesia, também conhecidos como ou propriocepção.

A compreensão do sentido humano da visão, diretamente envolvida com a captação de imagens por meio dos olhos, tem suas raízes na antiga filosofia grega, nas mãos de filósofos como Empédocles e Euclides, que discutiram as propriedades da luz

e da visão. No entanto, os avanços significativos na pesquisa da visão ocorreram mais tarde, com cientistas como Alhazen (Ibn al-Haytham) na Idade Média e Johannes Kepler durante o Renascimento, que contribuíram para a compreensão da óptica e dos processos visuais (Harris; Carnevale; *et al.*, 2015).

A audição, de forma semelhante, tem sido objeto de estudo científico extenso, especialmente em relação à teoria da onda sonora. Cientistas como Hermann von Helmholtz desempenharam um papel significativo na explicação dos princípios físicos e fisiológicos da audição. A compreensão da localização do som e sua relação com a orientação da cabeça são aspectos críticos da pesquisa auditiva (Harris; Carnevale; *et al.*, 2015).

O paladar e o olfato são sentidos interligados e captados por sensores especializados na face. As papilas gustativas e os receptores olfativos são os principais responsáveis pela percepção desses sentidos. Eles trabalham em conjunto para formar nossa percepção de sabores e aromas.

O tato é um importante sentido de interação direta com o ambiente, e a propriocepção (ou cinestesia) é um campo de estudo mais recente, mas igualmente importante. A compreensão da propriocepção tem avançado significativamente, principalmente no campo da neurociência e biomecânica (Spence, 2020).

Os fenômenos cognitivos e sensoriais exercem um papel importante na forma como as pessoas interagem e percebem o ambiente em que vivem. Este é especialmente o caso para as pessoas com deficiência, cujas experiências e percepções podem ser substancialmente diferentes daquelas sem deficiência. Como observado por Barbosa (2016), as interações cotidianas com o ambiente urbano, especialmente no que se refere à mobilidade, podem ser significativamente afetadas pela presença de deficiências físicas ou cognitivas, enquanto Andrade; Galvão (2016) citam a importância de considerar que os aspectos biológicos desses fenômenos, pois influenciam significativamente a maneira como as pessoas interagem e percebem seu ambiente.

De acordo com Zangwill (2004), o cérebro processa informações sensoriais, incluindo aquelas obtidas pela audição, o que lança luz sobre a capacidade do cérebro de mapear espaços e objetos com base em informações sonoras. Zangwill (2004) considera a percepção e enganos sensoriais como amplamente presentes no

quotidiano é particularmente relevante no design de sistemas de audionavegação, onde informações sonoras precisas são cruciais para a orientação segura das pessoas com deficiência visual, tornando a interpretação de informações sensoriais um objeto do estudo da elaboração da audionavegação. Por exemplo, a mimetização de sons ambientes pode interferir na localização e na natureza de obstáculos narrados na audionavegação. Assim, os sons ambientes, ainda que não considerados ruídos, podem criar expectativas inesperadas no usuário de audionavegação. Assim, o estudo dos sons ambientais precisa figurar na elaboração da audionavegação.

Zangwill (2004) aborda a neurociência cognitiva como importante na percepção ambiental, correspondendo, portanto, a ponto chave para que sistemas de audionavegação se alinhem com os processos cognitivos das pessoas com deficiência visual, permitindo uma melhor adaptação aos seus padrões de pensamento. Considere uma pessoa com deficiência visual que utiliza um sistema de audionavegação em um ambiente urbano: os designers podem aproveitar os conhecimentos da neurociência cognitiva para projetar interfaces que apresentem informações de maneira organizada e que se alinhem com a forma como o cérebro processa informações espaciais, facilitando a compreensão do ambiente:

- 1. Variação Individual:** Zangwill (2004) identifica a existência de variações individuais significativas no processamento de informações entre pessoas. Esta variabilidade assume particular importância no âmbito do design de sistemas de audionavegação destinados a indivíduos com deficiência visual. Preferências variadas quanto à apresentação de informações auditivas, tais como frequência, cadência e timbre dos sons, necessitam de uma abordagem de design flexível. Essa flexibilidade pode se manifestar na oferta de opções personalizáveis que atendam às necessidades e preferências específicas dos usuários, incluindo ajustes nas configurações de áudio para otimizar a experiência do usuário.
- 2. Percepção Espacial e Mapeamento Mental:** a habilidade de formar mapas mentais do ambiente a partir de informações sensoriais, conforme explorado por Zangwill (2004), é essencial para a orientação e mobilidade de pessoas com deficiência visual. No contexto de sistemas de audionavegação, é proposto que o design desses sistemas tire proveito deste entendimento, apresentando informações

auditivas de modo a refletir a organização espacial do ambiente. A utilização de sons e sinais sonoros específicos para indicar direção, distância de obstáculos e localizações de interesse pode facilitar a construção de mapas mentais precisos, promovendo uma navegação mais segura e eficaz.

- 3. Memória de Trabalho:** a memória de trabalho, que desempenha um papel vital na retenção temporária de informações, deve ser uma consideração primária no design de sistemas de audionavegação, conforme aponta Zangwill (2004). Dada a capacidade limitada da memória de trabalho de indivíduos com deficiência visual, é recomendado que as informações sejam apresentadas de maneira clara e sucinta. Estruturar a entrega de informações em sequências lógicas e de fácil digestão pode auxiliar os usuários a reter e aplicar as informações de forma eficiente durante a navegação.
- 4. Atenção Seletiva:** a capacidade de focalizar a atenção seletivamente, com base no contexto, como discutido por Zangwill (2004), pode informar o design de sistemas de audionavegação. A aplicação deste princípio sugere a importância de direcionar a atenção do usuário para informações ambientais críticas. Sistemas de audionavegação podem ser projetados para enfatizar automaticamente a presença de obstáculos iminentes ou mudanças importantes na direção, assegurando que informações pertinentes sejam fornecidas no momento apropriado para facilitar a orientação e mobilidade do usuário.
- 5. Aprendizado e Neuroplasticidade:** a neuroplasticidade, a capacidade adaptativa do cérebro para aprender e reconfigurar-se em resposta a novas informações, destacada por Zangwill (2004), tem implicações significativas para o design de sistemas de audionavegação. Sugerindo a incorporação de elementos que promovam o aprendizado incremental e o *feedback*, os sistemas podem ser projetados para permitir que os usuários, com o tempo, aprimorem suas habilidades na interpretação de sinais sonoros e informações de navegação.

No contexto das interações cotidianas, os indivíduos estão constantemente engajados em tomadas de decisão, as quais são fundamentadas em processos cognitivos. Estes processos, conforme delineado por Penna (1987, p. 40), englobam

decisões tanto conscientes quanto inconscientes, que são influenciadas pelas características formais dos objetos e instintos individuais. Os processos cognitivos são, portanto, uma amalgama de fatores psicológicos, físicos e sensoriais que orientam a tomada de decisão.

A cognição é a capacidade de compreender informações percebidas pelos sentidos e processá-las mentalmente. A percepção do mundo ao redor envolve diversos sentidos, que vão além dos cinco tradicionais (visão, audição, tato, olfato e paladar), incorporando o sistema háptico e o sentido vestibular, fundamentais para a cinestesia (Schiffman, 2005, p. 313).

Os processos cognitivos são particularmente relevantes no contexto de pessoas com deficiência visual, especialmente no que tange à audionavegação em ambientes urbanos. Rogers, Sharp e Preece (2013) enfatizam a importância dos processos cognitivos na interação com o ambiente, delineando especificidades que são cruciais para o design de soluções inclusivas.

- 1. Atenção:** Este processo envolve a seleção de ações ou situações dentre várias possíveis, mantendo foco em situações desejadas. A atenção é mediada pelos sentidos da visão e da audição, e é essencial para estabelecer prioridades e metas com base em informações relevantes (Rogers; Sharp; Preece, 2013, p. 67).
- 2. Percepção:** Refere-se à interpretação e assimilação de informações recebidas pelos sentidos, integrando-as a outros processos cognitivos como memória, atenção e linguagem. A percepção é importante no desenvolvimento de interfaces digitais e deve ser otimizada para pessoas com deficiência visual para evitar ambiguidades interpretativas (Rogers; Sharp; Preece, 2013, p. 71).
- 3. Memória:** Este processo está diretamente relacionado à capacidade de recordar fatos, objetos e ações vivenciadas. A memória filtra e seleciona informações para evitar sobrecarga cognitiva e é importante no desenvolvimento de interfaces, pois facilita o reconhecimento da informação e a redução da necessidade de memorização direta (Rogers; Sharp; Preece, 2013, p. 72).
- 4. Aprendizado:** Relaciona-se à compreensão de situações e é um dos fomentadores da memorização. O aprendizado é potencializado pela manipulação direta de

objetos e situações, permitindo experimentar os resultados de cenários derivados dessa manipulação (Rogers; Sharp; Preece, 2013, p. 81).

**5. Linguagem:** Envolve a propagação do conhecimento e da informação por meio de signos, símbolos e representações padronizadas. A linguagem é essencial para a comunicação efetiva em interfaces digitais, especialmente quando consideramos as necessidades de pessoas com deficiência visual (Rogers, Sharp e Preece, 2013, p. 83).

**6. Raciocínio e Tomada de Decisões:** Estes processos implicam em pensar no que fazer e refletir sobre assuntos, sendo parte da cognição reflexiva. O raciocínio e a tomada de decisões utilizam intensamente todos os outros processos cognitivos e são fundamentais para o planejamento e resolução de problemas (Rogers; Sharp; Preece, 2013, p. 84).

Em consonância com os estudos de Carpman; Grant (2003, p. 427), *wayfinding* é um campo de pesquisa que se dedica à análise da habilidade das pessoas em navegar de um ponto de origem a um destino específico, utilizando o reconhecimento dos elementos presentes no ambiente circundante. Essa capacidade está intrinsecamente ligada às habilidades cognitivas individuais, que permitem o reconhecimento das características do espaço e a seleção do percurso mais adequado. Segundo Baumann (2010), o *wayfinding* assume o papel de informar os indivíduos sobre o ambiente não familiar em que se encontram, além de orientá-los de maneira eficaz.

No âmbito da pesquisa sobre *wayfinding*, Istomin; Dwyer (2009, p. 30) destacam duas abordagens divergentes. Uma delas tem suas raízes nos fundamentos de Tolman (1948), cujos estudos na psicologia da orientação humana resultaram na concepção do "mapa mental". Este conceito baseia-se na percepção individual das relações espaciais entre elementos do ambiente, contribuindo para a formação de representações abstratas. A perspectiva de Tolman (1948) influenciou o trabalho de geógrafos e urbanistas renomados, como Lynch (1960) e outros estudiosos subsequentes.

Tolman (1948) é amplamente reconhecido por sua contribuição ao campo da psicologia por meio do desenvolvimento da teoria dos mapas cognitivos, destacada

pela sua abordagem inovadora na compreensão da aprendizagem e da navegação espacial. Em seus experimentos com ratos, Tolman (1948) demonstrou que estes animais eram capazes de formar representações mentais do ambiente, ou seja, mapas cognitivos, que lhes permitiam navegar eficientemente por labirintos para encontrar comida. Este achado foi significativo porque desafiou a visão behaviorista da época, que considerava que o comportamento dos animais era meramente uma resposta a estímulos externos, sem a intervenção de processos mentais internos.

Um dos experimentos chave de Tolman (1948) envolveu um labirinto em forma de Y, onde ratos aprendiam a localização de comida e água em braços opostos do labirinto. Os resultados mostraram que os ratos eram capazes de escolher o caminho correto baseando-se em suas necessidades (fome ou sede) no momento do teste, mesmo sem terem recebido reforços diferenciados durante o treinamento. Esta capacidade de aprender sobre o ambiente sem reforço imediato foi denominada por Tolman como "aprendizagem latente", sugerindo que a aprendizagem pode ocorrer na ausência de recompensas e se manifestar posteriormente quando necessário.

No entanto, uma visão alternativa foi proposta por Gell (1985), que, fundamentado nas teorias de Bourdieu (1977), introduziu a noção de "domínio prático". Segundo essa perspectiva, a capacidade de orientação espacial é resultado da familiarização com o "espaço prático". Este espaço é concebido mentalmente pelas pessoas por meio de suas atividades, percepções, atitudes corporais e sensações sensoriais, como visão, tato, audição e olfato, além da propriocepção (consciência corporal), memória e aprendizado ao longo do tempo. Essa abordagem culmina na formação do "espaço cartesiano", onde os objetos têm posições absolutas independentemente da presença do indivíduo no espaço.

Gell (1985) explorou a lógica prática envolvida na navegação e na interpretação de mapas, investigando como indivíduos utilizam mapas com artefatos na formação da cognição para navegar no espaço, destacando a interação entre a cognição humana, a cultura e a utilização de artefatos na navegação. Sua análise concentrou-se na maneira como as pessoas leem e interpretam mapas, sugerindo que a compreensão e a navegação espacial são influenciadas por uma lógica prática que transcende a simples representação espacial.



Gell (1985) argumentou que, ao contrário dos mapas mentais, que são estudados por psicólogos e geógrafos sociais interessados em cognição espacial, os mapas com artefatos desempenham funções distintas e não se assemelham necessariamente às representações mentais do espaço. Seu trabalho ressaltou a importância de considerar as dimensões sociais e culturais na interpretação de mapas, indicando que a navegação é um processo complexo que envolve mais do que a capacidade de interpretar símbolos cartográficos; envolve também a capacidade de situar esses símbolos dentro de contextos sociais e culturais mais amplos.

Ambos os trabalhos, de Tolman (1948) e de Gell (1985), contribuem significativamente para a compreensão da cognição espacial e da navegação, oferecendo insights valiosos sobre os processos mentais e práticos envolvidos na interpretação do espaço e na utilização de mapas. Estas teorias ressaltam a complexidade do comportamento e da cognição humana e animal, e a importância de considerar tanto os processos mentais internos quanto os contextos sociais e culturais na análise do comportamento de navegação.

O próprio conceito da navegação, apontado por Tolman (1948) e Gell (1985), é objeto para definição. Segundo Foltz (1998, p. 59), navegar significa mover-se em um espaço, seja esse físico, como um ambiente público ou privado, ou virtual, como na internet ou entre as páginas de um livro. Foltz (1998, p. 59) argumenta que a navegabilidade está associada à possibilidade de a pessoa mover-se com êxito no espaço, a partir da sua localização atual até um destino estabelecido, mesmo que a localização deste destino seja pouco conhecida. Foltz cita três princípios do design de espaços que determinam a navegabilidade de um espaço (Foltz, 1998, p. 59-69):

- **Consciência situacional:** associada à capacidade da pessoa para descobrir ou inferir sua localização atual. Este critério diz respeito à recuperação bem-sucedida da sua atual localização, que é a origem do percurso. Este conhecimento está associado à capacidade de responder corretamente às questões “onde estou?” e “para que lado eu estou?” com respostas concretas e definitivas, como “estou na saída do edifício, de frente para o ponto de táxi”.

- **Estratégia de navegação:** associada à capacidade de encontrar uma rota para o destino. Este critério é importante para a capacidade de realizar com êxito a tarefa de *wayfinding*, e está associada à correta tomada de decisão que levará a pessoa da sua localização atual ao seu destino. Pode-se citar como exemplos de tomadas de decisão a capacidade de a pessoa escolher se continua em frente no trajeto, se deve virar à direita ou à esquerda em uma bifurcação ou se deve retornar, e até mesmo se precisa parar e encontrar mais informações sobre o caminho para confirmar se o trajeto está correto. Em momento passado, Arthur; Passini (1992) haviam elencado este processo de resolução de problemas como um dos fundamentos para o conceito de organização ambiental para a orientação de pessoas, denominado *wayfinding*.
- **Formação de mapas mentais:** O terceiro critério está associado à navegabilidade, que se refere ao acúmulo de experiências da pessoa sobre o trajeto e os espaços durante a navegação, permitindo a criação de mapas mentais que familiarizem as pessoas com o trajeto.

O urbanista Lynch (1960) investigou a relação das características de um espaço urbano com a capacidade das pessoas de se lembrarem destas características, pedindo para moradores de Boston, Los Angeles e Nova Jersey desenharem esboços de mapas de suas cidades usando somente a memória. Lynch (1960) comparou os esboços dos mapas, as entrevistas e o mapa real destas cidades, descobrindo que os voluntários usavam um conjunto de características comuns, como caminhos, pontos de referência, locais específicos, esquinas e intersecções para a memorização da cidade.

O experimento de Lynch (1960) concluiu que as cidades oferecem centenas de pontos de referência para navegação, tornando-se comum que as pessoas utilizem estes pontos de referência para tomar decisões de confirmação ou de mudanças de direção até atingirem o destino, argumentando que, quando a navegação é necessária em locais sem pontos visuais de referência diretos, como o mar, um deserto ou uma floresta, faz-se necessário o uso da navegação cinestésica.

Avançando as observações de Lynch (1960), Loomis; Klatsky; Golledge (2001) citam que a navegação, tanto humana como de quaisquer espécies, abrange duas

formas distintas: navegação por pontos de referência e navegação por integração de trajeto. Na navegação por pontos de referência, as pessoas utilizam os sentidos sensoriais de visão, olfato, tato e audição, associando referências existentes no ambiente com mapas mentais cognitivos ou a mapas físicos disponíveis em ferramentas externas. Na navegação cinestésica, a qual Loomis; Klatsky; Golledge (2001) nomearam “integração de trajeto”, a pessoa utiliza-se de percepções cinestésicas como meio eficaz de identificar uma rota, seguindo determinado trajeto por meio do tempo de percurso, da distância percorrida e da direção pretendida, utilizando-se de pontos de referência somente de forma esporádica para confirmar ou ajustar seu trajeto.

#### 2.2.6.2. AUTONOMIA

A autonomia é uma situação importante da independência humana. Originada do grego "autos" (próprio) e "nomos" (regra ou autoridade), autonomia define a independência da pessoa em realizar tarefas cotidianas, permitindo que a pessoa conduza com liberdade sua vida pessoal e social. Essa autonomia se reflete em na liberdade de conduzir diversas áreas da vida, incluindo lazer, cultura, educação, profissão e relações interpessoais.

Ao considerar o conceito de autonomia às condições humanas efetivas, com toda a diversidade de limitações, a promoção de ambientes urbanos acessíveis e inclusivos não apenas atende a um imperativo de direitos humanos, mas também enriquece a diversidade e a resiliência das comunidades, permitindo que todos os cidadãos, independentemente de suas habilidades físicas ou sensoriais, possam contribuir plenamente para o bem-estar coletivo.

À medida que exploramos este tema, pode-se reconhecer a evolução notável do design de sinalização, que desempenhou um papel significativo na melhoria da acessibilidade para pessoas com deficiência visual em ambientes urbanos. O quadro 8 da página 154 destaca os marcos históricos dessa evolução no último século, demonstrando sua interconexão com a audionavegação e a criação de espaços mais inclusivos.

Ano	Marcos na evolução do Design de Sinalização
Década de 1930	Início da padronização de sinais de trânsito e sinalização viária em países como os Estados Unidos.
Década de 1950	Introdução da sinalização tátil em escadas e degraus em edifícios públicos para auxiliar na segurança de pessoas com deficiência visual.
1970	Desenvolvimento das primeiras tecnologias de voz para orientação de cegos em ambientes fechados, como museus – audionavegação.
1980	Início da implementação de sinalizações sonoras em semáforos para auxiliar a travessia segura de pedestres com deficiência visual.
Década de 1990	Avanços na tecnologia GPS ( <i>Global Positioning System</i> ) tornam possível a navegação por satélite, abrindo possibilidades para a audionavegação em ambientes externos.
2000	Introdução de aplicativos móveis de audionavegação que permitem aos usuários receber orientações em tempo real em seus <i>smartphones</i> .
2010	Desenvolvimento de tecnologias de reconhecimento de ambiente baseadas em sensores e câmeras, tornando a audionavegação mais precisa e adaptada aos ambientes urbanos.
2020 até 2023	Integração da audionavegação em ambientes inteligentes, como casas inteligentes e espaços urbanos conectados.

Quadro 8 – evolução do design de sinalização no último século

A orientação em espaços urbanos para facilitar a identificação de caminhos e destinos vai além da simples sinalização de ambientes. D'Agostini (2021) destaca que o design de sinalização é um campo multidisciplinar que envolve design, arquitetura, engenharia e comunicação, buscando criar relações entre os usuários e os espaços construídos. Isso inclui a utilização de comunicação visual, tátil, sonora e olfativa para melhorar a eficiência do uso dos ambientes.

No entanto, é importante reconhecer que nem todos os usuários podem aproveitar o design de sinalização convencional, especialmente as pessoas com deficiência visual, que não podem depender das sinalizações visuais tradicionais. Mesmo com sinalizações sonoras, olfativas e táteis complementares, a capacidade perceptiva limitada das pessoas sem visão torna difícil compreender a informação principal da sinalização visual.

Em situações de deficiência visual, a habilitação e o suporte familiar são fundamentais para a construção da identidade pessoal e social, minimizando o isolamento frequentemente ocasionado pela deficiência visual. Neste processo, o fomento à autonomia é essencial para aumentar a segurança em relação ao mundo e às pessoas, facilitando atividades autônomas e independentes, como a orientação e mobilidade para uma locomoção segura e eficiente.

As pessoas com deficiência visual necessitam da autonomia na locomoção por uma variedade de motivos essenciais, que incluem acessar serviços de saúde, educação e emprego, participar de atividades sociais e culturais, assim como realizar tarefas cotidianas como fazer compras e cuidar de assuntos pessoais (Silva Filho, 2017). Neste universo, a ausência de recursos de acessibilidade que fomentem a segurança em ambientes urbanos pode criar obstáculos significativos, limitando a autonomia e a capacidade de pessoas com deficiência visual de viverem de forma independente e ativa. Portanto, é importante que os espaços urbanos sejam projetados ou adaptados para atender às necessidades específicas dessa população, incluindo a implementação de recursos como sinalização tátil e sinais sonoros em semáforos, assim como outros tipos de tecnologias assistivas apropriadas.

A mobilidade urbana, como descrita por Carvalho (2016), é um desafio em muitos cenários brasileiros, especialmente para pessoas com deficiência, pois as características físicas e estruturais do ambiente urbano influenciam diretamente na interação e na percepção dos usuários. As barreiras arquitetônicas são um dos principais problemas enfrentados por pessoas com deficiência, como observado por Feitosa; Righi (2016). O conceito de acessibilidade arquitetônica envolve a adequação e o projeto de espaços que permitam a circulação de todos os indivíduos, independentemente de suas condições físicas ou sensoriais. A ausência dessas adequações pode limitar seriamente a mobilidade urbana de pessoas com deficiências.

As calçadas, por exemplo, são um elemento-chave no ambiente urbano que pode impactar diretamente a mobilidade de pessoas com deficiência. Silva; Angelis Neto (2019) apresentam o Índice de Serviço das Calçadas (ISC), uma ferramenta que pode ser usada para avaliar a qualidade das calçadas em termos de mobilidade para pedestres, incluindo pessoas com deficiências. Durante a avaliação do método para cálculo do ISC, Silva; Angelis Neto (2019) demonstraram que, na cidade de São Tomé no estado do Paraná, de um total de 570 quadras avaliadas, somente 1 (uma) obteve pontuação de excelente, na avaliação calculada com base tanto na pesquisa obtida com os usuários destas calçadas quanto na avaliação direta dos espaços avaliados. A avaliação realizada na cidade de São Tomé está mostrada na tabela 3 da página 156.

NS*	Condição	Número de quadras	Comprimento total (m)
A	Excelente	1	95
B	Ótimo	32	2.846,4
C	Bom	78	6.604,5
D	Regular	88	6.459,6
E	Ruim	106	9.517,9
F	Péssimo	265	21.732,4

\*Nível de serviço

Tabela 3 – número de quadras e comprimento de calçadas conforme atribuição do NS (Silva; Angelis Neto, 2019)

O método de avaliação proposto por Silva; Angelis Neto (2019) avalia tanto a qualidade das calçadas, no quesito conservação, método de construção e presença de obstáculos, quanto pode servir para avaliação de existência ou ausência de pisos táteis, auxiliando na adequação de conteúdos da voz sintetizada para cada situação observável pelo pesquisador e perceptível pelos usuários. A figura 52 demonstra o mapa resultante da avaliação de Silva e Angelis Neto para a cidade de São Tomé.

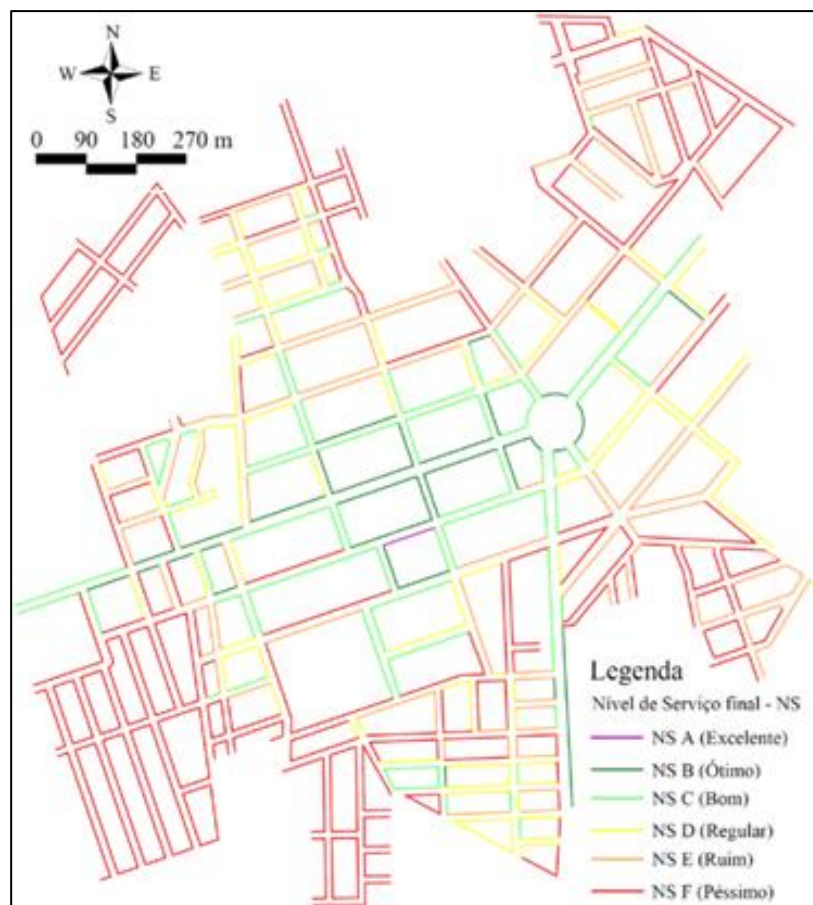


Figura 52 – representação do nível de serviço percebido pelos pedestres nas calçadas de São Tomé, PR (Silva; Angelis Neto, 2019)

No campo da arquitetura, o design inclusivo procura desenvolver espaços que sejam acessíveis a todos. Por exemplo, Gurgel (2020) discute a importância do projeto de interiores residenciais adaptados para as necessidades de todos os habitantes. Os aspectos físicos do ambiente residencial, como a largura das portas, a altura dos interruptores de luz e a disposição dos móveis, podem ter um grande impacto na experiência dos residentes.

A construção de ambientes que promovam a orientação espacial independente para pessoas com deficiência visual demanda uma abordagem diferenciada do design tradicional, que é predominantemente visual. O modo de orientar pessoas com deficiência visual se apoia predominantemente no uso de recursos táteis e auditivos para possibilitar a percepção espacial e o deslocamento seguro e autônomo.

As superfícies táteis são ferramentas eficientes para a orientação de pessoas com deficiência visual em espaços urbanos, particularmente em sistemas de transporte. O uso de pisos táteis visa fornecer um caminho seguro para os pedestres com deficiência visual, por meio de texturas diferenciadas no solo, indicando que o caminho percorrido é conhecido e planejado para o seu trajeto (Mariani, 2016; Bentzen; Emerson; *et al.*, 2020). A figura 53 demonstra um exemplo de piso tátil na Estação Tatuapé do Metrô de São Paulo, que direciona o usuário com deficiência visual desde os acessos e bloqueios (catracas) até um elevador.

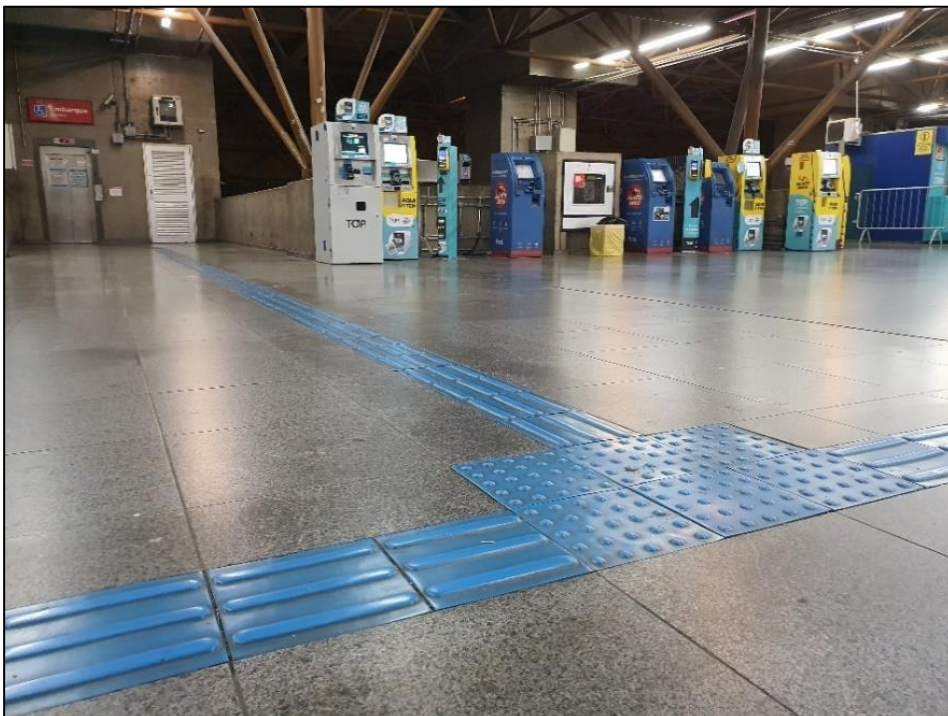


Figura 53 – Piso tátil na Estação Tatuapé do Metrô de São Paulo (o autor, 2023)

Apesar de sua indiscutível utilidade, o piso tátil não informa ao usuário qual é o destino, conforme pode ser visto na figura 53 da página 157, oferecendo, predominantemente, somente uma linha que passa por um local seguro, a chamada linha-guia (ABNT, 2020). Na mesma figura, observa-se uma bifurcação, que também não informa quais os destinos de cada caminho disponível. Esta limitação do piso tátil exige que o pedestre, sem a capacidade de informação visual, conheça previamente o caminho percorrido, ou, de forma paliativa, questione outros pedestres e funcionários como ele deve seguir o piso tátil para chegar ao destino pretendido.

O piso tátil também pode representar um obstáculo às pessoas idosas. Thies *et al.* (2011) informam que, comparado ao pavimento liso, o piso tátil causa uma importante perturbação no padrão rítmico da caminhada de pessoas idosas, comprometendo, inclusive, a capacidade de parar em resposta a um semáforo de trânsito de pedestres, destacando a importância de considerar os impactos do piso tátil, não apenas em pessoas com deficiência visual, mas também em outras pessoas, com ou sem limitações físicas ou sensoriais, avaliando o impacto da instalação do piso tátil em cada localidade planejada, da mesma forma que as suas implicações no design urbano.

Conforme apontado por Machado; Medeiros (2019), os princípios do design de sinalização podem ser adotados no desenvolvimento de soluções não visuais para a mobilidade de pessoas com deficiência visual em espaços urbanos, como por exemplo, o desenvolvimento de ferramentas que utilizam o tato. Neste conceito, Lopes; de Marchi (2015) afirmam que o uso da cartografia tátil pode ajudar a mitigar os desafios que esses indivíduos enfrentam ao navegar em ambientes urbanos. Semelhantemente, Castreghini (2016) destaca a importância da cartografia tátil na orientação e mobilidade de pessoas com deficiência visual.

A inserção de elementos táteis como o Braille em mapas e sinalizações fornece informações adicionais sobre o ambiente, auxiliando na identificação de locais e recursos importantes. Ottink *et al.* (2022) afirmam que a associação entre o Braille e mapas táteis potencializam o resultado de ambas as ferramentas, pelas quais os usuários com deficiência visual podem adquirir uma compreensão mais aprofundada do espaço e dos recursos disponíveis, tais como plataformas de embarque e desembarque, entradas e saídas de estações de transporte, promovendo uma navegação mais autônoma (Ottink; Raalte; *et al.*, 2022).



No entanto Cole (2021) afirma que não há um padrão definido de como devem ser feitos os mapas táteis, tornando a confecção destas ferramentas em objetos de adaptação e personalização com base em dados geoespaciais variados e no contexto de uso, evidenciando a importância de considerar o ambiente, os recursos disponíveis e as capacidades dos usuários com deficiência visual na criação de mapas táteis.

Desta forma, os designers e arquitetos possuem uma ampla gama de métodos de confeccionar mapas táteis. A figura 54 mostra um tipo possível de mapa tátil para ambientes internos.

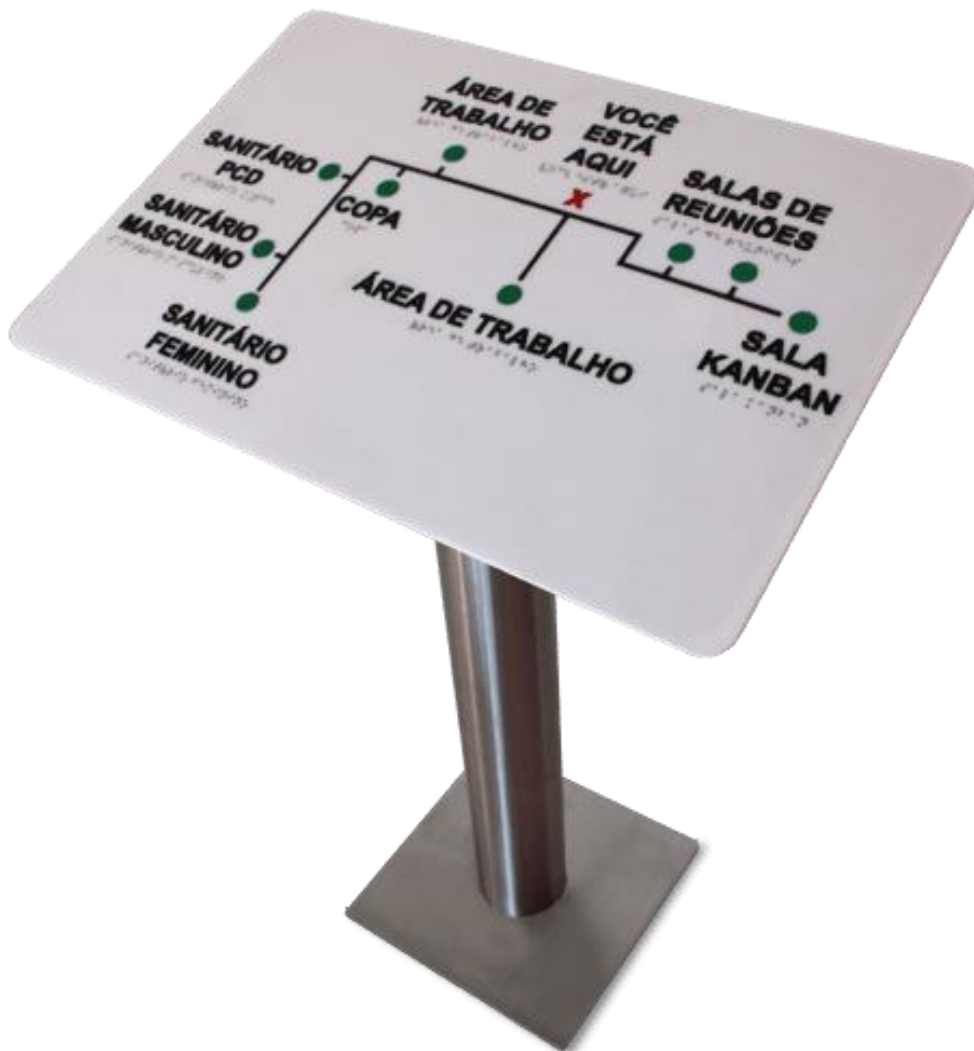


Figura 54 – mapa tátil com linhas (MOVER, 2017)

A figura 55 mostra outra sinalização tátil. Comparando com a figura 54 da página 159, pode-se observar que os mapas táteis não são semelhantes, realizando indicações por meios diferentes: enquanto o mapa da figura 54 da página 159 representa uma área interna, traçando linhas entre pontos que representam salas e ambientes, o mapa da figura 55 representa uma região externa, a Avenida Paulista, apresentando hapticamente os formatos dos quarteirões como pontos de referência.



Figura 55 – mapa tátil da Avenida Paulista, na cidade de São Paulo (Monteiro; Casagrande, 2009)

Estas diferenças nos mapas ocorrem tanto pelo ambiente o qual se pretende representar quanto pelas limitações inerentes à capacidade de representação tátil. O tato não diferencia cores, diferencia texturas. As cores nos mapas táteis existem para possibilitar o uso de todas as pessoas, não somente pessoas cegas: pessoas com baixa visão são beneficiadas pelo contraste de cores, e pessoas videntes podem consultar o mapa totalmente, inclusive o entorno.

Ao consultar-se as normas técnicas na busca por padronizações, observa-se que não há especificação de quais os tipos de conteúdo devem ser incorporados aos mapas táteis, as normas técnicas somente especificam o tipo de sinalização que deve existir (ABNT, 2020).

A tabela 4 reproduz a norma NBR 9050 (ABNT, 2020), na qual está citada a necessidade de uso de ferramentas de vários tipos na acessibilidade, incluindo-se as indicações táteis, que representam os mapas táteis.

Aplicação	Instalação	Categoria	Tipos		
			Visual	Tátil	Sonoro
Edificação Espaço Equipamentos	Permanente	Direcional Informativa*	✓	✓	
		Emergência	✓	✓	✓
	Temporária	Direcional Informativa	✓	✓	
		Emergência*	✓		✓
Mobiliários	Permanente	Informativa	✓	✓	
	Temporária	Informativa	✓	✓	

NOTA: as peças de mobiliário contidas nesta tabela são aquelas onde a sinalização é necessária, por exemplo, bebedouros, telefones etc.

\* Apresenta duas formas de aplicação: linha superior ou linha inferior.

Tabela 4 – aplicação e formas de informação e sinalização (ABNT, 2020)

Conforme Ottink *et al.* (2022), tanto pessoas com deficiência visual quanto pessoas videntes têm bom desempenho nas tarefas espaciais, com capacidades semelhantes de formar um mapa cognitivo igualmente preciso com base em mapas táteis, inclusive adotando naturalmente estratégias de navegação similares, o que se correlacionou com o desempenho em algumas tarefas e adquiriram conhecimento de rota e levantamento igualmente preciso. Ottink *et al.* (2022) sugerem que, embora os participantes videntes possam ter a capacidade de se lembrar visualmente dos mapas, essa vantagem não se traduziu em uma diferença significativa de desempenho em comparação com as PDVs, indicando que os mapas táteis, quando projetados adequadamente, podem ser uma ferramenta eficiente de *wayfinding* e navegação para pessoas com e sem deficiência visual.

O estudo de Ottink *et al.* (2022) também sugere, por meio dos resultados obtidos de forma empírica, que a capacidade de formar e se lembrar de um mapa cognitivo baseado em informações táteis não depende exclusivamente da visão, e que as PDVs são capazes de desenvolver representações espaciais precisas e úteis de ambientes com base na informação tátil.

Outro componente não visual presente no *wayfinding design* são os sinais sonoros. Eles oferecem orientação espacial por meio de anúncios sonoros em estações de transporte, sinais sonoros de travessia para pedestres e informações gravadas em áudio (Machado & Medeiros, 2019). Os sinais sonoros indicam o estado do semáforo de pedestres, aberto para travessia e fechado para aguardar na calçada, por meio de diferentes formatos de som. Em Belo Horizonte, no Estado de Minas Gerais, um sinal sonoro se mantém em silêncio quando o semáforo de pedestres está fechado, e emite um apito intermitente quando o semáforo de pedestres está aberto. A Figura 56 mostra um destes dispositivos de Belo Horizonte.



Figura 56 – semáforo sonoro utilizado em Belo Horizonte/MG (Vieira, 2019)

Em São Paulo, um dos projetos piloto sobre acessibilidade no trânsito se trata da instalação de semáforos sonoros. A figura 57 ilustra um destes equipamentos em funcionamento nos cruzamentos semaforicos de pedestres da região do bairro da Vila Mariana (Cardoso, 2023).



Figura 57 – botoeira sonora em São Paulo (Cardoso, 2023)

Batizados de “botoeiras sonoras”, atualmente estão instalados 165 equipamentos de semáforos sonoros, indicando sonoramente o estado de 35 semáforos de pedestres, de acordo com Cardoso (2023).

Os entrevistados de Cardoso (2023) citam algumas observações acerca dos equipamentos. Dentre estas observações, foi citado o contraste entre o som das botoeiras sonoras e o ruído dos locais onde estão instaladas, com potencial de causar confusão auditiva quando o ruído sobrepõe os sinais sonoros.

As especificações públicas desta botoeira de São Paulo possibilitam compreender seu ciclo de funcionamento, em sequência, de cada um dos eventos possíveis durante cada fase da sinalização. Este ciclo está representado no quadro 9:

Sinal	Tipo	Descrição
Localização	Sonoro: 950Hz	Intermitente: pulsação 0,5Hz Duração: 60ms
	Visual: luz azul	
Advertência	Visual: luz azul	A luz deverá acender e permanecer acesa até o início do verde de pedestres, indicando que a demanda foi solicitada
	Tátil: vibração entre 100 e 200 Hz	Iniciada após a ativação do modo sonoro, permanecendo acionado enquanto o botão estiver pressionado, limitado ao tempo máximo de 3 segundos
Demanda solicitada	Visual: luz azul	A luz deverá acender e permanecer acesa até o início do verde de pedestres, indicando que a demanda foi solicitada
Instrução como ativar modo sonoro	Voz	“para ativar o modo sonoro, manter o botão pressionado por três segundos” Repetição: 1 vez após o acionamento do botão
Instrução travessia solicitada aguarde	Voz	“Travessia solicitada aguarde” Repetição: 1 vez após o acionamento do botão
Instrução travessia iniciada	Sonoro Início: 2000 Hz até 500 Hz	Contínuo: 160 ms: no início do período de verde do foco semafórico de pedestres
	Sonoro Início: 2000 Hz até 500 Hz	Intermitente: pulsação 1Hz duração de 160 ms durante o período de verde do foco semafórico de pedestres
Instrução concluir travessia	Sonoro 2000 Hz + 500 Hz	Intermitente: pulsação 2 Hz de 160ms durante o período de vermelho intermitente do foco semafórico de pedestres

Quadro 9 – especificação de sinais da botoeira sonora de São Paulo (CET SÃO PAULO, 2019)

Com o intuito de sintetizar o quadro 9 por meio de uma análise preliminar dos elementos visuais e táteis da botoeira sonora, observa-se que a interface em questão é dotada de uma luz azul e um mecanismo de vibração que respondem ao engajamento do usuário. A ativação da luz azul, desencadeada pelo toque, constitui uma forma de comunicação visual que se mantém constante por meio das distintas etapas do processo de travessia. Este sinal visual pode ser interpretado como uma indicação do estado operacional do dispositivo, servindo como um recurso informativo adicional para pessoas com surdez.

Concomitantemente, a botoeira proporciona uma resposta tátil, na forma de vibração, ao pressionar-se o botão. Esta sensação háptica, embora inicialmente possa parecer um reforço à percepção mecânica do ato de pressionar, oferece uma

confirmação física que transcende o simples contato, assinalando efetivamente a recepção do comando pelo sistema. Para pessoas com deficiência visual, a vibração torna-se significativa, pois embora a sinalização luminosa possa não ser discernível, a confirmação tátil assegura que a ação de pressionar o botão foi bem-sucedida e o pedido de travessia foi registrado.

Tais elementos de design, observados na botoeira sonora, refletem uma integração de estímulos visuais e táteis que podem ser considerados na concepção de interfaces interativas. A luz azul e a vibração surgem como características que, embora não sejam o foco do trabalho, contribuem para a experiência geral do usuário ao interagir com o dispositivo.

Quanto aos sons, além do modo de operação listado no quadro 9 da página 164, a especificação do equipamento (CET SÃO PAULO, 2019) delimita como devem ser construídos os apitos de cada pulso, com referência ao volume sonoro relativo:

- 1. Fase de Ascensão do Pulso:** inicialmente, o pulso se caracteriza por uma amplitude nula, evoluindo progressivamente para alcançar sua amplitude máxima. Este processo de ascensão deve ser concluído em um intervalo temporal não excedente a 5 milissegundos (ms). Esta fase evidencia um incremento controlado da intensidade do pulso, partindo do silêncio absoluto até o seu pico de amplitude.
- 2. Manutenção da Amplitude Máxima:** após a ascensão, o pulso atinge um platô de amplitude máxima. A especificação não delinea explicitamente um intervalo de tempo fixo para esta manutenção; ao invés disso, sugere que a manutenção da amplitude máxima é indiretamente determinada pela subsequente fase de decaimento. O período de manutenção da amplitude máxima, portanto, é implícito e estende-se até o início da fase de decaimento.
- 3. Fase de Decaimento do Pulso:** a conclusão do ciclo do pulso inicia-se a partir da amplitude máxima, com a amplitude decrescendo progressivamente até retornar a zero. Este processo de decaimento deve ocorrer nos últimos 10% do tempo total restante do pulso. Para ilustrar com um exemplo, considerando um pulso de duração total de 160 ms, e descontando os 5 ms utilizados na fase de ascensão, restam-nos 155 ms. A fase de decaimento, correspondendo a 10% deste tempo restante, deve, portanto, ocorrer nos últimos 15,5 ms do ciclo do pulso. Assim, o

início da fase de decaimento se dá a 144,5 ms (160 ms - 15,5 ms) a partir do início do pulso, estendendo-se até a conclusão do mesmo aos 160 ms.

A especificação da CET (CET SÃO PAULO, 2019) possibilita a construção de uma simulação do funcionamento auditivo da botoeira sonora. Para esta simulação, foi considerado um ciclo de 1 minuto, deste o semáforo em aspecto vermelho fixo, passando pelo pressionamento do botão, solicitação para aguardar, semáforo comutando para aspecto verde, semáforo comutando para aspecto vermelho intermitente e, finalmente, encerrando em vermelho fixo. Esta simulação pode ser ouvida por meio do *QRCode* 27.



*QRCode* 27 – sons simulados da operação da botoeira sonora de São Paulo - o autor (2023), com base em CET SÃO PAULO (2019)

Nota-se, por meio da simulação, as características auditivas de cada tipo de sinalização. Enquanto sinal de localização, utilizado para a pessoa com deficiência visual encontrar a botoeira, corresponde a um apito intermitente, os sinais de O desenvolvimento de equipamentos, sistemas e serviços que possam ser utilizados por todas as pessoas, independentemente da existência ou não de deficiências físicas ou sensoriais, possui diversas vertentes no design, na engenharia e na arquitetura. Especificamente na elaboração de espaços públicos, as mais abrangentes discutem as diferenças entre “design acessível” e “design universal”.

Design acessível e design universal são conceitos no desenvolvimento de produtos, serviços e ambientes que buscam ser inclusivos e acessíveis a todos os usuários, independentemente de suas capacidades ou limitações. Embora



compartilhem objetivos similares de inclusão e acessibilidade, eles se diferenciam em sua abordagem e aplicação.

O design acessível, conforme descrito por Goldsmith (1976), foca na adaptação de ambientes e produtos para serem utilizáveis por pessoas com deficiências específicas, seguindo diretrizes e normas específicas, como a NBR 9050 (ABNT, 2020). Este conceito procura modificar designs existentes para atender às necessidades de indivíduos com limitações físicas, sensoriais ou cognitivas.

Por outro lado, o design universal visa a criação de produtos, ambientes e sistemas que sejam utilizáveis pelo maior número de pessoas possível, sem necessidade de adaptação ou design especializado. Mace *et al.* (1991) salientam a importância de incorporar considerações de acessibilidade e usabilidade para todos no início do processo de design, defendendo uma abordagem mais holística e inclusiva, que transcende a simples adaptação para deficiências específicas, visando simplificar a vida de todos os usuários.

O design universal teve suas raízes na era pós-segunda Guerra Mundial, evoluindo com o tempo para abranger um escopo mais amplo de design para todos. Esta evolução reflete uma mudança do foco exclusivo em acessibilidade para uma inclusão mais ampla, conforme demonstrado pela expansão do conceito para incluir educação, tecnologia e outros serviços públicos. Os princípios de design universal, desenvolvidos no Centro de Design Universal da Universidade Estadual da Carolina do Norte em 1977 (COLLEGE OF DESIGN, 2022), fornecem uma estrutura para essa abordagem inclusiva, delineando diretrizes para o desenvolvimento de soluções que sejam acessíveis e utilizáveis pela maior variedade de pessoas:

1. Uso equitativo
2. Flexibilidade no uso
3. Uso simples e intuitivo
4. Informação perceptível
5. Tolerância ao erro
6. Esforço físico mínimo
7. Tamanho e espaço para acesso e uso

Assim, design universal é uma abordagem que busca criar produtos, ambientes e serviços que sejam acessíveis e usáveis por todas as pessoas, independentemente de sua idade, tamanho, habilidade ou deficiência. O objetivo do design universal é maximizar a usabilidade, conforto e eficiência para o maior número possível de usuários. Também conhecido como design inclusivo ou design para todos, é uma abordagem que visa criar ambientes, produtos e serviços acessíveis e utilizáveis por pessoas de todas as habilidades e idades, sem a necessidade de adaptações especiais ou design especializado (Schreffler; Vasquez; *et al.*, 2019).

Com o advento do design universal, Goldsmith ampliou visão do design acessível (Goldsmith, 1976) para abarcar a abordagem holística e inclusiva do design universal, introduzindo o conceito de "desabilitação arquitetônica" como um novo paradigma do design acessível (Goldsmith, 1997), baseado no modelo social que reconhece as barreiras ambientais e sociais como as principais fontes de desabilitação, em vez de focar unicamente nas limitações individuais. Goldsmith argumentou que a desabilitação arquitetônica não afeta apenas pessoas com deficiências físicas, mas também outras populações, como mulheres (devido a desigualdades na provisão de instalações sanitárias públicas) e pessoas com carrinhos de bebê, indicando uma necessidade de "acesso para todos" em vez de focar apenas em "acesso para pessoas com deficiência".

Busca-se aplicar os conceitos do design universal em uma variedade de contextos, incluindo educação, tecnologia, arquitetura e design de produto. Um exemplo prático do design universal é o projeto e construção de edifícios e espaços urbanos com recursos como rampas de acesso, sinalização em Braille e sinalização tátil no piso, de forma a atender a uma ampla gama de usuários, incluindo pessoas com deficiências físicas e sensoriais (Cassi; Kajita; Larsen, 2021). Na tecnologia, isso se manifesta no desenvolvimento de *software* e websites com recursos de acessibilidade, como leitores de tela e teclados adaptativos. Em um sentido mais amplo, o design universal refere-se à criação de designs que não apenas atendem às necessidades de pessoas com deficiências, mas também consideram a maior variedade possível de usuários. Isso inclui aspectos como idade, gênero, capacidades físicas e culturais (Burgstahler, 2020).

Steinfeld; Maisel (2012, p. 69) elencam algumas diferenças entre a abordagem do design acessível e do design universal por meio de exemplos, conforme tabela 5.

ACESSÍVEL	UNIVERSAL
Uma casa projetada sob medida baseada em um plano existente, mas que requer custos adicionais para o redesenho e detalhes construtivos personalizados para acessibilidade.	Uma casa com design universal abrange todas as necessidades e tem o mesmo custo de qualquer outro plano de construção que qualquer um pode comprar.
Reformas em edificações exigem contratar profissionais que cobram mais por seu conhecimento especializado em acessibilidade.	Serviços de melhoria de edificações que já incorporam o design universal podem contratar serviços comuns.
Modificações em veículos para acessibilidade exigem tecnologia assistiva usada para, por exemplo, adaptar um display de automóvel para pessoas com necessidades especiais.	Se o veículo possui instrumentos e controles automotivos customizáveis, já pode acomodar diferenças em habilidades perceptivas, estatura, mobilidade e preferências.
Uma entrada de edifício com uma rampa segregada está fora do caminho comum para todos os visitantes.	Em uma entrada de edifício sem degraus, todos podem usar facilmente e juntos.
Para cumprir normas, um hotel investe em acomodações diferenciadas para cumprir apenas a porcentagem exigida pelas leis de quartos acessíveis.	Um hotel que tem 100% dos quartos com design universal pode investir em uma variedade de tipos para todas as pessoas.

Tabela 5 – exemplos de diferenças entre acessível e universal (2012, p. 69 - trad. livre pelo autor, 2023)

No entanto, a aplicação efetiva do design universal exige mudanças estruturais nos processos de desenvolvimento moderno, por isso tem sido objeto de estudo e análise no design, na engenharia e na arquitetura. Rodrigues (2019) aborda os desafios da implantação do design universal no contexto de conjuntos habitacionais de interesse social, destacando inconsistências das normas técnicas relativas à acessibilidade, além da dificuldade de implementar os conceitos de design universal de forma abrangente em projetos arquitetônicos.

Embora alguns princípios do Design Universal tenham sido alcançados em setores específicos do projeto analisado, conclui-se que ainda é necessário um investimento substancial em projetos para atender a todos os usuários de maneira eficaz. Pötter *et al.* (2023) destacam a importância da inclusão de usuários desde a etapa de problematização dos projetos e examina os métodos, técnicas e ferramentas empregados para promover maior inclusão e empatia no design. Mesmo que revelem existência de métodos inovadores e atualizações de técnicas já utilizadas no desenvolvimento de produto, Pötter *et al.* (2023) demonstram a complexidade e os desafios envolvidos na prática efetiva do design universal.

### 2.2.7. *Wayfinding design*

Enquanto a navegação, em um sentido mais amplo, abrange os aspectos cognitivos e físicos da locomoção, a execução física da movimentação no espaço, dependendo dos sentidos sensoriais e motores que interagem com o ambiente circundante, o *wayfinding* concentra-se na cognição e planejamento do percurso a ser seguido. A diferenciação entre *wayfinding* e navegação encontra-se nas operações cognitivas e comportamentais que cada processo engloba, destacando a complexidade e interdisciplinaridade do estudo da interação humana com o espaço, integrando componentes cognitivos, sociais e físicos.

Um exemplo de *wayfinding* é o planejamento de rotas em um shopping center, aeroporto ou campus, desenvolvido para o usuário encontrar facilmente o que procura sem se perder. O *wayfinding* pode incluir elementos de sinalização visual, tátil e sonora, sendo essencial para a criação de ambientes acessíveis e compreensíveis (Calori; Vanden-eynden, 2015).

Por outro lado, navegação refere-se à orientação espacial em tempo real, à capacidade de o usuário identificar as informações necessárias para se deslocar de sua origem para o destino. Navegação, portanto, tem foco na ação do usuário do ambiente (Baker, 2019). A navegação depende da qualidade das informações que o projetista do ambiente fornece ao usuário e ocorre em tempo real durante a navegação (Bruner *et al.*, 1956). Para a navegação, a pessoa utiliza de guias, pontos de referência e o *wayfinding* para se deslocar de um ponto ao outro.

Embora inter-relacionados e frequentemente usados de forma intercambiável, Pereira (2015) destaca as diferenças entre esses conceitos. *Wayfinding* se refere ao planejamento prévio de uma ou mais rotas entre dois pontos distintos, enquanto a navegação está relacionada à orientação espacial em tempo real, permitindo que a pessoa se desloque de sua origem para seu destino. No entanto, a literatura muitas vezes associa esses termos como sinônimos em suas definições.

O *wayfinding* diz respeito ao projeto do ambiente e depende do conhecimento do projetista sobre o conjunto completo de informações entre a origem e o destino, enfatizando o projeto do ambiente para facilitar a orientação espacial (Golledge, 1999). De acordo com Baker (2019), *wayfinding* é o processo de os designers

determinarem rotas em determinado ambiente para que os usuários sigam. Assim, o *wayfinding* depende do conhecimento do projetista sobre o layout e a sinalização do ambiente, no qual as referências são previamente planejadas (Carpman; Grant, 2003), envolvendo a habilidade de oferecer orientação por meio de pontos de referência ao criar representações acerca do espaço que o usuário possa memorizar, processar e tomar decisões sobre a melhor rota a seguir.

A interação do *wayfinding* com a navegação é evidenciada pelo foco diferenciado entre o design do ambiente e a ação do usuário, pela interdependência entre o conhecimento do projetista e a qualidade das informações fornecidas, pelo contraste entre o planejamento prévio e a ação em tempo real, bem como pela distinção nos elementos de sinalização requeridos para cada processo. A união destes fatores possibilita a compreensão da experiência espacial de indivíduos em diversos ambientes e contextos.

O quadro 10 destaca as diferenças e semelhanças entre os conceitos de *wayfinding* e navegação, ressaltando como ambos os conceitos são complementares na orientação e acessibilidade das pessoas enquanto circulam em ambientes urbanos.

	<b>Wayfinding</b>	<b>Navegação</b>
Definição	Planejamento prévio de rotas entre pontos distintos em um ambiente.	Orientação espacial em tempo real, onde o usuário identifica informações necessárias para se deslocar de sua origem para o destino.
Foco Principal	Projeto do ambiente.	Ação do usuário no ambiente.
Dependência Mútua	Depende do conhecimento do projetista sobre o layout e sinalização.	Depende da qualidade das informações que o projetista do ambiente fornece ao usuário.
Momento de Referência	Previamente planejado.	Em tempo real durante a navegação.
Exemplo	Planejamento de rotas em um shopping center, aeroporto ou campus.	Utilização de guias sonoros para navegar em uma cidade desconhecida.
Integração com a Sinalização	Pode incluir elementos de sinalização visual, tátil e sonora.	Requer elementos de sinalização, como sistemas de áudio e marcações táteis.
Resultado Esperado	Usuário encontra facilmente o que procura sem se perder.	Usuário é capaz de se deslocar com autonomia e segurança.

Quadro 10 – diferenças e semelhanças entre *wayfinding* e navegação

*Wayfinding* refere-se especificamente ao componente de planejamento e tomada de decisão envolvido na navegação. De acordo com Dalton; Hölscher; Montello (2019) o processo de *wayfinding* é central para a pesquisa em cognição

espacial humana e envolve uma série de funções cognitivas, incluindo percepção, memória (declarativa e não declarativa), imaginação, linguagem, raciocínio e tomada de decisão. O *wayfinding* é, portanto, uma atividade que requer a identificação da localização atual, o destino desejado e o melhor caminho para alcançá-lo, especialmente quando o destino não pode ser diretamente percebido no momento. Além disso, aspectos sociais, tais como a presença ou interação com outras pessoas, podem influenciar significativamente o processo de *wayfinding*, enfatizando seu caráter não apenas cognitivo, mas também social.

Com base nos conceitos de Lynch (1960), o designer Paul Arthur e o arquiteto Romedi Passini formularam o conceito do *wayfinding design* (Arthur; Passini, 1992), destacando que a informação navegacional acerca do ambiente deve ser concebida com base em critérios como legibilidade, visibilidade, compreensibilidade, estética, cor e forma. Estes critérios, segundo Arthur; Passini (1992), integram três categorias de informações necessárias para o *wayfinding design*:

- 1. Informações para a tomada de decisões:** tratando-se da definição do trajeto a ser seguido, esta categoria envolve fornecer aos usuários informações suficientes para que possam decidir qual caminho seguir. Isso inclui a identificação de rotas possíveis, pontos de referência, e a clareza sobre a direção e o destino. Por exemplo, em um hospital, essa informação pode ser um mapa ou sinalização que indica a localização de diferentes departamentos.
- 2. Informações para a execução das decisões:** são informações apresentadas após a tomada de decisão, oferecendo informações ao longo do trajeto para que os usuários possam executar sua decisão. Desta forma, estas informações incluem a sinalização ao longo do caminho escolhido, confirmando a direção correta e auxiliando a navegação por interseções ou escolhas de caminho subsequentes;
- 3. Informações para a conclusão da tomada de decisões:** esta categoria de fornece informações que confirmam aos usuários que alcançaram seu destino. Pode incluir sinalização ou outros indicadores visuais no ponto de destino que confirmam sua localização, como um sinal com o nome do departamento em um hospital ou um número de sala em um edifício de escritórios.

Arthur; Passini (1992) consideram que a simplicidade da classificação dos critérios de *wayfinding design* em três categorias possibilita aos profissionais uma forma de focar nos passos da elaboração das informações. De acordo com O'Neill (1991), o foco na elaboração da sinalização e configuração do layout no *wayfinding*, de modo a simplificar as informações sem perda de eficiência, pode facilitar a compreensão do usuário, pois a complexidade do layout e do tipo de sinalização afetam significativamente a eficiência do *wayfinding*.

Por outro lado, Başkaya; Wilson; Ozcan (2004), ao analisarem o comportamento de orientação espacial em pessoas inseridas em ambientes desconhecidos, destacam a relevância dos pontos de referência e diferenciação espacial como informações fundamentais na aquisição do conhecimento ambiental, em detrimento a instruções de orientação ambiental. No entanto, Padgitt; Hund (2012) e Alansari (2022) reforçam a ideia de que a qualidade das instruções de *wayfinding* ao longo do trajeto influencia a eficácia da orientação no ambiente interno

Os conceitos de aplicação de *wayfinding*, tradicionalmente associado à orientação e à navegação em ambientes físicos, expande seu escopo para abarcar também o design de interfaces digitais, como elucidado por Kalbach (2009), que explora a aplicabilidade dos princípios de *wayfinding* no contexto do design de ambientes virtuais, como por exemplo interfaces de aplicativos e websites, enfatizando a necessidade de fornecer meios eficientes e intuitivos para orientar os usuários em ambientes digitais. A abordagem do *wayfinding* reside nos meios de facilitar a navegação dos usuários de um ponto a outro, independentemente da natureza física ou virtual do espaço.

Kalbach (2009) ressalta a importância de estabelecer caminhos claros e compreensíveis no design de navegação em ambientes virtuais, permitindo que os usuários transitem de forma lógica e intuitiva por websites e aplicações online. Tais caminhos podem ser representados por menus, *links*, *breadcrumbs*<sup>10</sup>, entre outros elementos de interface. Em ambientes físicos, é propício recorrer aos estudos de Lynch

---

<sup>10</sup> “*Breadcrumbs*”, ou em tradução direta “migalhas de pão”, são elementos de navegação em aplicativos e internet que indicam o caminho percorrido pelo usuário, possibilitando encontrar o caminho de volta, no objetivo de melhorar a orientação e a experiência de navegação. (Patel, 2019; Sant, 2023).

(1960), que identifica cinco elementos-chave na legibilidade de um ambiente urbano: caminhos, limites, bairros, pontos nodais e marcos. Estes elementos são fundamentais na formação de uma imagem mental do espaço e na orientação dos indivíduos dentro dele.

Em um exercício de comparação dos conceitos de orientação em espaços físicos de Lynch (1960) com os conceitos de Kalbach (2009) para de orientação em espaços virtuais, observa-se uma notável convergência:

- 1. Caminhos:** Kalbach (2009) enfatiza a importância de caminhos lógicos e claramente definidos no *wayfinding* para a navegação virtual, enquanto Lynch (1960) destaca a identificação de caminhos públicos, como ruas e trilhas, como elementos fundamentais na orientação urbana.
- 2. Limites e Bairros:** Kalbach (2009) sugere a implementação de seções e categorias bem delimitadas no design digital, auxiliando na percepção do usuário sobre sua localização e possíveis destinos. Paralelamente, Lynch (1960) aborda os limites físicos (exemplo: muros, edifícios) e geográficos (exemplo: vilas, bairros) como elementos delimitadores que contribuem para a organização espacial.
- 3. Pontos Nodais e Marcos:** Kalbach (2009) propõe o uso de elementos visuais distintos e áreas de interação chave, como páginas de destino ou funcionalidades principais, como marcos de navegação. Analogamente, Lynch (1960) considera os pontos nodais em cidades, como praças ou marcos artísticos, como referências facilmente reconhecíveis pelos usuários.

Em síntese, ainda que aparentemente interligados e interdependentes, o advento das interfaces digitais evidenciou que os processos cognitivos envolvidos no *wayfinding* emergem como um elemento importante no processo de navegação humana, tornando-os independentes da navegação, seja em contextos ambientais ou virtuais. A capacidade inata de localização e orientação do ser humano é evidenciada pela necessidade de criar ambientes, físicos ou virtuais, que sejam intuitivos, de fácil navegação e que ofereçam orientação clara.

A comparação entre os elementos de *wayfinding* ambiental e virtual ilustra a aplicabilidade dos princípios de design e orientação espacial em ambos os domínios,



visando aprimorar a experiência e a eficiência do usuário por meio de conhecimentos de especializações de cada modal.

A análise dos conceitos de *wayfinding* em interfaces virtuais, conforme apresentados por Kalbach (2009), e o *wayfinding* em ambientes físicos, como descrito por Lynch (1960), possibilita a identificação de alguns pontos divergentes importantes. Percebe-se, nos comparativos, que as diferenças emergem principalmente devido às características intrínsecas existentes nos ambientes físicos, menos proeminentes ou inexistentes nos ambientes virtuais.

- 1. Percepção Sensorial:** Uma diferença fundamental entre o *wayfinding* na web e o ambiental é a percepção sensorial envolvida. Segundo Lynch (1960), os indivíduos utilizam uma variedade de sentidos (visão, audição, tato, até mesmo olfato) para orientação por ambientes físicos. Em contraste, Kalbach (2009) cita que o *wayfinding* nos ambientes virtuais, ou seja, em interfaces digitais, principalmente telas de computadores e de *smartphones*, é predominantemente visual, com limitações significativas em termos de experiência sensorial.
- 2. Flexibilidade e Reconfiguração:** Websites e aplicações digitais oferecem alto grau de flexibilidade e reconfiguração em comparação com ambientes físicos. Elementos de navegação na web podem ser rapidamente modificados, atualizados ou personalizados (Kalbach, 2009), enquanto mudanças no layout urbano ou arquitetônico são, em geral, processos mais lentos e complexos (Lynch, 1960).
- 3. Interatividade e *Feedback* Imediato:** A navegação em aplicativos e páginas web muitas vezes inclui uma interatividade maior e *feedback* imediato (Kalbach, 2009). Por exemplo, *links* podem mudar de cor quando clicados, ou menus podem expandir e colapsar. Em ambientes físicos, a interação e o *feedback* são mais limitados e indiretos (Lynch, 1960).
- 4. Escala e Dimensões:** A escala e as dimensões nos ambientes físicos são limitadas pela realidade das distâncias, enquanto na web, a navegação pode ocorrer em uma escala muito mais ampla ou abstrata. Na interface, o usuário pode se deslocar instantaneamente entre várias opções sem a percepção real de distância ou tamanho, beneficiando-se da flexibilidade e da acessibilidade que a navegação virtual proporciona.

**5. Experiência de Aprendizado e Memória Espacial:** No *wayfinding* ambiental, a memória espacial desempenha um papel mais abrangente, as pessoas aprendem a navegar no espaço ao longo do tempo (Lynch, 1960). No meio virtual, embora a familiaridade também seja importante, a navegação frequentemente depende de sistemas de busca e orientação mais explícitos, dado que os usuários podem não visitar o mesmo site ou aplicação com frequência suficiente para desenvolver uma memória espacial forte.

**6. Desorientação e Recuperação:** A desorientação pode acontecer tanto em ambientes físicos quanto em ambientes virtuais, mas as estratégias de recuperação são diferentes. Em ambientes físicos, as pessoas podem recorrer a mapas ou pesquisar direções. Nos ambientes virtuais, as pessoas dependem diretamente dos designers e programadores, pois necessitam de recursos como a função de busca ou botões de "home" para recuperar o caminho.

Essas divergências destacam como o *wayfinding* em ambientes virtuais e físicos, embora compartilhem princípios similares de design e orientação, operam em contextos fundamentalmente diferentes, com desafios e soluções específicos para cada um.

Ao abordar a questão da audionavegação em ambientes inadequados para a acessibilidade de pessoas com deficiência visual, é importante integrar os conceitos de "*wayfinding*" e "navegação" para criar soluções que facilitem a orientação espacial em tempo real, permitindo que essas pessoas se desloquem com autonomia e segurança em espaços urbanos. Essas soluções devem considerar não apenas o design de sinalização, mas também o planejamento do ambiente, garantindo uma experiência eficaz e inclusiva para todos os usuários.

*Wayfinding design* é um campo multidisciplinar que engloba o planejamento espacial e a comunicação. O planejamento espacial refere-se à organização e disposição das informações para facilitar a tomada de decisões, transformando a relação estática com o espaço em uma interação dinâmica. A comunicação no *wayfinding design* abrange a percepção do espaço, a circulação, os fluxos (horizontal e vertical), as referências, os marcos e, principalmente, a informação.

O conceito de design no campo da arquitetura foi bastante aprimorado pelas contribuições de vários pesquisadores e seus estudos (Feitosa; Righi, 2016; Gurgel, 2020), posto que o design tem um papel importante para atender aos desejos e necessidades das pessoas, destacando a importância na criação de espaços ajustáveis que englobam as diferenças de cada indivíduo (Gurgel, 2020).

Ao considerar as necessidades das pessoas no projeto de espaços, Gurgel (2020) enfatizando a customização e adaptação como princípios fundamentais, resultando na criação de ambientes funcionais e esteticamente agradáveis. Gurgel (2020) destaca a influência de elementos como cores, texturas e iluminação, citando seu desempenho como papel importante na criação de ambientes convidativos e confortáveis, argumentando que o design ambiental não é apenas uma questão de aparência, posto que envolve a disponibilização de espaços atrativos e inspiradores para melhorar a vida das pessoas.

Paralelamente, ao examinar a importância de criar espaços que atendam a todas as pessoas independentemente de limitações físicas ou cognitivas, Sancar (Sancar, 1988) e Feitosa; Righi (2016) enfatizam a importância da acessibilidade arquitetônica e do design universal, por meio da adoção dos princípios do design para a acessibilidade como forma de eliminar obstáculos e promover a inclusão, resultando em ambientes mais convidativos e práticos.

As premissas de Gurgel (2020), Feitosa; Righi (2016) podem ser unificados conforme Gomes; Quaresma (2020), que argumentam que pesquisadores e desenvolvedores em design buscam soluções que obtenham resultados atraentes, eficientes e úteis, por meio da observação da importância da estética visual, da funcionalidade e da experiência do usuário, com foco na estética, funcionalidade e ergonomia. Para isso, consideram aspectos como forma, cor, textura, layout, usabilidade, ergonomia e sustentabilidade, utilizando-se de várias ferramentas e técnicas, incluindo *software* de design, prototipagem, pesquisa de mercado, análise de tendências e estudos de usabilidade, para desenvolver projetos ambientais funcionais e acessíveis.

A aplicação dos conceitos de *wayfinding design* no contexto da deficiência visual requer uma abordagem distinta, tendo em vista que as teorias de *wayfinding* propostas por Tolman (1948), Bourdieu (1977) e Gell (1985) se baseiam

predominantemente na memorização visual do ambiente. Neste contexto, Silva Filho (2017) propõe o uso do design de voz sintetizada para auxiliar indivíduos com deficiência visual, por meio de descrições vocais automatizadas das opções disponíveis no ambiente, sem a necessidade do uso da visão, no objetivo de possibilitar com que pessoas com deficiência visual alcancem seus destinos em ambientes não familiares. Este método, nomeado como "audionavegação" por Silva Filho (2017, p. 172), emerge da fusão das palavras "áudio" e "navegação", designando a orientação de indivíduos por meio de descrições geradas por dispositivos eletrônicos, de modo a facilitar a localização e a escolha de trajetos por pessoas enquanto transitam em ambientes urbanos.

- **Design de comunicação**

Os elementos visuais são essenciais para transmitir mensagens e informações de forma eficaz, tornando o design de comunicação um componente fundamental. Examinando a interação entre comunicação e design, Flusser apud Cardoso (2013) investiga as complexidades da decodificação e codificação de componentes visuais. Notavelmente, o autor destaca como o design de comunicação serve como canal para a transmissão de mensagens e informações.

Ao comunicar de forma eficaz sobre rotas, direções, regras de trânsito e perigos potenciais, o design de comunicação de tráfego busca um incremento na segurança dos usuários, por meio da redução de erros e confusões que poderiam levar a acidentes. Para isso, as informações precisam ser claras e concisas. O uso de elementos visuais bem projetados permite que os usuários tomem decisões e circulem pelos ambientes com confiança (Cardoso, 2013).

Os projetos de trânsito urbano utilizam sinalização para ajudar as pessoas a se movimentarem e interagirem com segurança e clareza em espaços urbanos, tornando fundamental o uso do design de sinalização para a comunicação e orientação. Ao abordar conceitos de legibilidade, identificação e hierarquia da informação, D'Agostini (2021) enfatiza a importância da comunicação visual nos espaços físicos, de forma a facilitar a orientação e promover uma experiência segura e agradável para os usuários.

Semelhantemente, Vasconcelos (2017) enfatiza a importância da sinalização para orientar e regular o fluxo de tráfego com eficácia. Além disso, destaca a

importância da sinalização de trânsito na promoção da segurança e fluidez nas vias públicas, garantindo a máxima segurança do usuário por meio de projetos de sinalização que priorizem a incorporação de elementos gráficos que contenham informações de forma clara e eficaz, enfatizando a importância da legibilidade, identificação, contextualização e segurança no design de sinalização (Vasconcelos, 2017).

Quanto aos recursos gráficos e formais, estes incluem tipografia, ilustrações, pictogramas e cartografia. A tipografia é um recurso primário, pressupondo alfabetização e capacidade de compreensão visual. Arthur; Passini (1992) questionam a eficácia restrita às fontes sem serifa, argumentando que diversas fontes tipográficas são igualmente eficientes. Eles ressaltam a importância da legibilidade das fontes à distância, propondo que uma fonte deve ser legível a 15 metros com 25 mm de altura.

Outra classificação relativa à informação diz respeito aos recursos gráfico e formais disponíveis que podem ser:

- Tipográficos
- Ilustrações a mão livre, por computador, fotografia
- Pictográficos
- Cartográficos

O uso de tipografia (palavras, frases, textos) é certamente o principal recurso adotado na transmissão de mensagens e seu uso baseia-se na premissa de que todas as pessoas são alfabetizadas, e podem ver e compreender as informações. Arthur; Passini (1992) questionaram os paradigmas do design de sinalização ao defenderem que existem várias fontes tipográficas igualmente eficientes, discordando da premissa existente de que somente as fontes sem serifa são eficientes.

Arthur; Passini (1992) sugerem a realização de pesquisas, caso a caso, para determinar efetivamente o que constitui a "boa letra". Segundo os autores, o critério até então utilizado para determinar se uma fonte tipográfica funcionava ou não, correspondendo à relação matemática entre a altura e a largura do tipo, é um critério equivocado, uma vez que a família tipográfica helvética, sempre citada como exemplo de eficiência, não apresentava a relação matemática preconizada como ótima. O uso da helvética teve grande aceitação, principalmente nos anos 70, quando era a

preferida de designers e arquitetos. Arthur; Passini (1992) recomendam a observância da resposta à distância de leitura: uma fonte tipográfica deve ser legível a 15 m, tendo 25 mm de altura. Definiram algumas fontes tipográficas (quadro 11), independente de terem ou não serifa, como igualmente legíveis:

Nome da fonte	Exemplo
Century Schoolbook	Navegação acessível habilitada
Palatino Bold	<b>Navegação acessível habilitada</b>
Palatino Bold Italic	<i>Navegação acessível habilitada</i>
Frutiger Roman	Navegação acessível habilitada
Frutiger Regular	<b>Navegação acessível habilitada</b>
Helvetica regular	Navegação acessível habilitada
Helvetica Bond Condensed	<b>Navegação acessível habilitada</b>
Eras Medium	Navegação acessível habilitada
Eras Demi	<b>Navegação acessível habilitada</b>

Quadro 11 – fontes tipográficas legíveis a distância, segundo Arthur e Passini (1992)

O uso de caixa alta, caixa alta e baixa ou somente caixa baixa, nas informações é outra questão discutida pelos autores. Arthur; Passini (1992) comentam os resultados de pesquisas realizadas que apontam para a preferência do uso de tipos em caixa alta em hospitais, mas que, para textos longos, o uso de caixa alta não seria o preferencial, evidenciando que o contraste proporcionado pelo uso diferenciado de fontes pode depender do contexto, além da simples visibilidade.

O uso da caixa alta para a elaboração de textos longos é fonte de pesquisas na psicologia da percepção. Choi; Jang *et al.* (2018) citam que as fontes têm um impacto significativo na forma como processamos, compreendemos e reagimos ao texto. Em particular, o uso de caixa alta pode interferir na compreensão do texto devido ao aumento do processamento ortográfico, o que, em última análise, sobrecarrega os recursos neurais disponíveis para processamento de nível superior envolvido na compreensão. Além disso, Juni; Gross (2008) demonstraram que as fontes podem

carregar qualidades emocionais e antropomórficas, modificando a percepção emocional do conteúdo escrito, o que pode variar de acordo com a cultura e a idade dos leitores.

De acordo com Silveira (2010, p. 62), orientação é a capacidade de utilizar os sentidos disponíveis para obter informações sobre o ambiente, aprendendo a reconhecer padrões que permitam identificar onde a pessoa está, para onde quer ir e como fazer para chegar ao lugar desejado. Ao aplicar-se o conceito de orientação ambiental à pessoa com deficiência visual, encontra-se o processo no qual utiliza-se os sentidos do tato, da audição, assim como de um possível resíduo visual em caso de pessoas com baixa visão, de forma a colher a informação necessária sobre o local o qual se está imerso, de forma a possibilitar sua mobilidade para que seja possível utilizar a mobilidade para atingir o local pretendido, enquanto a mobilidade é a capacidade de deslocar-se no ambiente, mantendo-se a direção pretendida (Mendonça; Miguel; *et al.*, 2008, p. 68).

Segundo Loomis; Klatzky *et al.* (1993), entre os desafios ambientais que pedestres com deficiência visual enfrentam, destaca-se a dificuldade em identificar elementos no ambiente a partir de uma distância. Isso ocorre porque, para aqueles que não contam com o sentido da visão, a percepção espacial é predominantemente mediada por estímulos táteis, que estão limitados ao alcance imediato das mãos, e por estímulos audíveis e olfativos, cujas fontes, embora detectáveis, não permitem uma definição precisa de forma, tamanho ou distância. Consequentemente, esses elementos, embora sinalizem a presença de objetos ou entidades no ambiente, oferecem informações limitadas sobre suas características físicas ou a dinâmica de movimento, como a velocidade. Tal limitação implica em uma redução da capacidade do indivíduo de planejar eficazmente suas rotas de forma autônoma e segura, dado que a estimativa precisa de posição e movimentação de objetos e pessoas nas proximidades torna-se significativamente desafiadora.

As dificuldades ambientais enfrentadas por pessoas com deficiência visual podem ser mitigadas ou até mesmo eliminadas por meio da aplicação de tecnologias ambientais coletivas e individuais de acessibilidade (Golledge, 1983, p. 500; Santos; Lucena; Lins, 2018, p. 394; Machado; Neto; *et al.*, 2018, p. 243; Pereira; Passos; *et al.*, 2018, p. 2253; Vieira; Ramos; *et al.*, 2018, p. 97). A acessibilidade é o principal meio da

obtenção da autonomia, por este motivo a aplicação de ferramentas de acessibilidade pode ser considerada uma forma de fomento a mais autonomia a pessoas com deficiência visual.

Em suas observações em pessoas com deficiência visual, Apelt; Crawford; Hogan (2007, p. 1) consideram de alta importância as pistas sonoras e aromáticas como referências de *wayfinding*, úteis para que as pessoas com deficiência visual possam se orientar e navegar por ambientes urbanos, e em segunda importância as pistas táteis, que exigem, em sua maioria, a proximidade com o objeto, corroborando com Barroso; Lay (2014, p. 2089), que afirmam que o cheiro dos ambientes pode fornecer pistas para a identificação dos locais e edificações, correspondendo, assim, a mais uma característica que pode ser explorada no auxílio à pessoa com deficiência visual, por meio das relações que o cheiro pode vincular seu aroma à função do local. Segundo Barroso; Lay (2014, p. 2086), 73% das pessoas com deficiência visual utilizam o cheiro como referência para orientação espacial, em maior ou menor grau de importância.

Barroso; Lay (2014, p. 2089) também destacam o uso do cheiro como referência para a orientação espacial. Quase 73% das pessoas com deficiência visual utilizam o cheiro como um meio de identificar e reconhecer locais e edifícios. Portanto, os sistemas de audionavegação podem incluir informações sobre o aroma dos ambientes como parte das pistas de *wayfinding*.

A avaliação do ambiente físico, incluindo o movimento de pessoas e veículos, a arquitetura do local e as restrições existentes, é uma etapa essencial para entender o contexto antes de iniciar o projeto de sinalização. Em um estudo de caso, Melo e Bastos (2018) investigam abordagens metodológicas para o projeto de sinalização urbana que enfatizam a importância de compreender os atributos e especificidades do local, os requisitos e expectativas dos usuários e os nuances culturais e sociais para criar um sistema de sinalização que seja eficaz e adequado ao contexto.

A centralidade do usuário no processo de sinalização é um conceito enfatizado por Kasperek (2014), Polger (2021) e D'Agostini (2021). Enquanto Kasperek (2014) busca aplicações de princípios de design para resolver desafios específicos de sinalização, D'Agostini (2021) tem foco na interação entre espaços, usuários e



tecnologia, enquanto Polger (2021) propõe a criação de ambientes acolhedores e intuitivos por meio de uma abordagem UX.

A sustentabilidade e a tecnologia emergem como pontos de diferenciação. D'Agostini (2021) destaca-se pela incorporação de tecnologias digitais e preocupações sustentáveis, aspectos menos enfatizados por Kasperek (2014). Polger (2021), por sua vez, aplica critérios de UX para o design de sinalização, com ênfase em acessibilidade e clareza, sem, contudo, focar explicitamente na sustentabilidade, destacando a importância da experiência do usuário (UX) e da acessibilidade na concepção de sinalização para bibliotecas.

Enquanto D'Agostini (2021) enfoca uma visão holística e interdisciplinar, considerando a relação entre os espaços construídos, seus usuários e a tecnologia de materiais, valorizando a inovação e a sustentabilidade, integrando tecnologias digitais como *QR Codes* e displays digitais, promovendo uma interação rica e atualizada com os usuários, Kasperek (2014) concentra-se na aplicação prática dos princípios de design, visando melhorias diretas na funcionalidade e experiência do usuário por meio de contrastes, alinhamento, repetição e conformidade com os padrões ADA<sup>11</sup>.

Estas abordagens, embora distintas em ênfases e aplicações, são complementares e revelam a complexidade do design de sinalização em contextos de bibliotecas e espaços públicos. A integração dessas perspectivas pode oferecer uma visão holística que abarca desde a teoria abrangente e inovadora até a prática focada e aplicada, todas visando melhorar a navegação, acessibilidade e experiência do usuário nesses ambientes.

Polger (2021) coloca a experiência do usuário (UX) no centro de sua abordagem para o design de sinalização e orientação em bibliotecas. Ele argumenta que sinalizações bem projetadas são claras, diretas e reduzem a confusão e frustração entre os usuários da biblioteca e os trabalhadores, além de cumprir com a *Americans with Disabilities Act (ADA)*, aumentando a acessibilidade.

---

<sup>11</sup> Os padrões de acessibilidade da ADA garantem que instalações públicas e comerciais nos EUA sejam acessíveis a pessoas com deficiências. Estabelecidos por órgãos reguladores federais, definem diretrizes para a acessibilidade, cobrindo uma ampla gama de áreas, desde entradas e banheiros até sinalizações e estacionamentos, visando a inclusão de todos os usuários (ADA, 2021).

Os princípios essenciais do design de sinalização incluem a legibilidade prioritária, a evitação do excesso visual, o equilíbrio entre texto e gráficos, o uso de cores contrastantes adequadamente, a simplicidade das fontes e a fidelidade à marca. Esses princípios visam garantir que as sinalizações não só capturem a atenção, mas também comuniquem eficazmente a mensagem desejada, mantendo uma harmonia visual que respeite a identidade visual da marca ou do espaço, além da experiência do usuário (*UX*), que visa a criação de sistemas de sinalização intuitivos e acessíveis que melhorem a compreensão e a experiência do espaço pelo usuário (D'Agostini, 2021). Isso implica em uma abordagem centrada no humano, que leva em consideração as necessidades e comportamentos dos usuários, desde a fase de programação e planejamento até a implementação de planos de circulação eficientes e a utilização de princípios de design claros e consistentes (D'Agostini, 2021).

Um dos conceitos do design enfatiza a importância de considerar todos os usuários, incluindo aqueles com diversas capacidades, oferecendo acessibilidade no design de sinalização Polger (2021). Isso se traduz na escolha de cores de alto contraste para melhorar a legibilidade, na utilização de fontes simples para facilitar a leitura e na incorporação de elementos visuais, como imagens de alta qualidade, para enriquecer a comunicação sem sobrecarregar o espectador. A acessibilidade é ainda reforçada pela consistência e pela utilização intuitiva dos elementos de sinalização, permitindo que todos naveguem pelo espaço de maneira eficaz e segura por meio de uma sinalização que seja clara e direta, minimizando a confusão e frustração entre os usuários Polger (Polger, 2021).

#### 2.2.8. Design de sinalização

A documentação sobre design de sinalização e sua imersão no *wayfinding design* revela uma ampla gama de considerações teóricas e metodológicas que fundamentam estas práticas. A literatura aponta para a importância da percepção sensorial, clareza, consistência, design inclusivo, foco no usuário, hierarquia da informação, redução de ambiguidade, adaptação ao contexto, integração e contextualização, facilitação da navegação, e atualização e flexibilidade como

elementos cruciais no desenvolvimento de sistemas eficazes de *wayfinding* e sinalização.

Além da visão abrangente do design de sinalização por D'Agostini (2021), Berger (2009) e Gibson (2014) discutem os aspectos de design gráfico e navegacional, enquanto Bernardi; Kowaltowski (2018) enfatizam o desenho universal e sua aplicabilidade em arquitetura e design para promover a inclusão e acessibilidade, explorando como criar espaços acessíveis, ressaltando a importância de considerar as necessidades diversas dos usuários.

A abordagem centrada no usuário é destacada por Merino (2014) e Padovani (2008) como importante no processo projetual do design, enquanto Passini (1984) e Passini; Proulx (1988) investigam a *wayfinding* sob uma perspectiva psicológica e comportamental, focando em como as pessoas se orientam e navegam em espaços complexos sem o uso da visão.

Os conceitos elencados destacam a multidisciplinaridade do design de sinalização, evidenciando a necessidade de abordagens que integrem considerações estéticas, funcionais, psicológicas e tecnológicas para desenvolver sistemas que atendam efetivamente às necessidades dos usuários em diversos contextos:

**1. Percepção sensorial como fundamento:** Norman (2013) discute amplamente a importância da percepção sensorial no design de objetos e sistemas, o que pode ser aplicado ao design de sinalização e *wayfinding*, enquanto Brock (2013) aborda o desenvolvimento de mapas interativos para pessoas com deficiência visual, destacando a importância da usabilidade e cognição espacial (figura 58).



Figura 58 – percepção sensorial em mapa interativo (Fernandes, 2021)

**2. Clareza e distinção:** Tufte (1997) aborda a importância da clareza e distinção na apresentação de dados, o que é diretamente aplicável ao design de sinalização, enquanto Berger (2009) aborda a criação de sistemas de navegação gráfica que garantam a clareza para incrementar a usabilidade. Gibson (2014) ao detalhar estratégias para projetar sistemas de *wayfinding* em espaços públicos que sejam intuitivos e de fácil compreensão. Como exemplo de clareza e distinção, pode-se inserir as placas de sinalização de trânsito, com ícones simples e texto legível contra um fundo de alto contraste, possibilitando sua visualização mesmo em ambientes cujos elementos são dinâmicos (figura 59).



Figura 59 – clareza e distinção em placa de trânsito (CARGOBR, 2019)

**3. Consistência e reconhecibilidade:** Nielsen (1999), Norman (2013) e D’Agostini (2021) discutem princípios de design consistentes e reconhecíveis para a experiência do usuário. Passini (1984) e Passini; Proulx (1988), por sua vez, exploram a lógica, aplicação e considerações universais no *wayfinding design*, com foco especial na arquitetura e na criação de ambientes compreensíveis e navegáveis (figura 60).



Figura 60 – consistência e reconhecibilidade em sinalizações de aeroporto (D'Agostini, 2015)

**4. Design inclusivo:** Mace; Hardie *et al.* (1991) enfoca em criar designs acessíveis a todas as pessoas, independentemente de suas habilidades, enquanto Merino (2014) propõe uma métodos de aplicação do design com ênfase especial na inclusão. Brock (2013) aborda o desenvolvimento de mapas interativos para pessoas com deficiência visual, destacando a importância da usabilidade e cognição espacial. Bernardi; Kowaltowski (2018) explorando como o design universal pode ser integrado ao processo de projeto arquitetônico para promover a acessibilidade (figura 61).



Figura 61 – design inclusivo, piso tátil no Ministério da Educação em Brasília/DF (João, 2023)

**5. Foco no usuário:** Merino (2014) propõe métodos que colocam o usuário no centro do processo de design, concordando com Cooper (2004), que destaca a importância de centrar o design no usuário, entendendo suas necessidades e comportamentos para criar sistemas eficazes e satisfatórios (figura 62).



Figura 62 – foco no usuário, sinais de direção facilmente reconhecíveis (THAPCOM, 2022)

**6. Hierarquia de informação:** (Wurman, 1997; Wurman, 1990) discute como organizar informações de forma hierárquica para facilitar a compreensão e o processamento pelo usuário. Gibson (2014) ao detalhar estratégias para projetar sistemas de *wayfinding* em espaços públicos que sejam intuitivos e de fácil compreensão (figura 63).



Figura 63 – hierarquia de informações, painéis informativos com títulos destacados seguidos de detalhes em texto menor (THAPCOM, 2022)

**7. Redução de ambiguidade:** Miller (1956) fornece insights sobre como reduzir a ambiguidade por meio da limitação da quantidade de informações apresentadas, o que é relevante para o design de sinalização, ao sugerir que a eficácia da comunicação pode ser maximizada ao limitar a informação dentro de uma faixa manejável (figura 64).

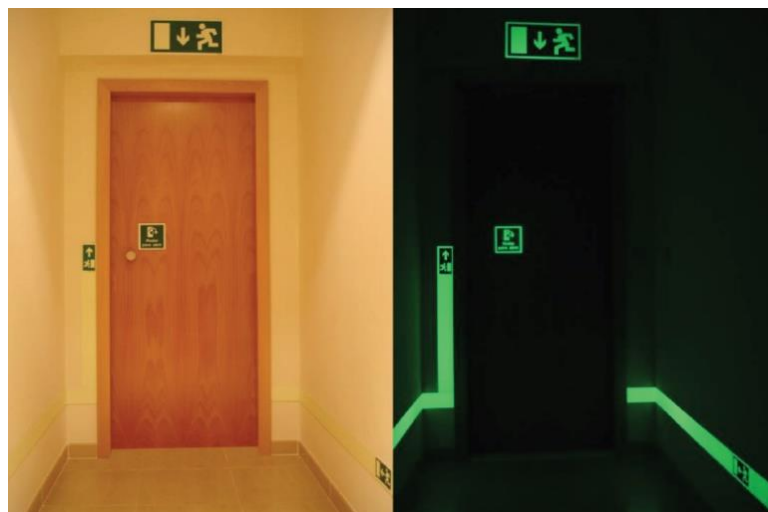


Figura 64 – redução de ambiguidade, sinalização de saída claramente marcada (SINALUX, 2012)

**8. Adaptação ao contexto:** Lynch (Lynch, 1960), Passini (1984) e Passini; Proulx (1988) exploram a lógica da percepção humana nos conceitos de organização espacial, assim como estes conceitos influenciam a capacidade de navegação dentro de ambientes urbanos, enfatizando a importância de adaptar a sinalização ao contexto ambiental e cultural (Carpman; Grant, 2003), oferecendo uma visão ampla sobre *wayfinding* e sua aplicação em diversos ambientes (figura 65).



Figura 65 – adaptação ao contexto, sinalização visual de Cauduro e Martino do Zoológico de São Paulo (Migliani, 2014)

**9. Integração e contextualização:** Gehl (2010) discute como o design urbano e arquitetônico pode ser orientado para promover uma maior integração entre o espaço e seus usuários, princípio que se estende ao design de sinalização, assegurando que o design de sinalização não apenas oriente eficazmente, mas também se harmonize com o ambiente em que está inserido, enriquecendo a experiência do usuário sem causar interrupções visuais ou contextuais (figura 66).



Figura 66 – integração e contextualização, refletindo a arquitetura cultural do ambiente (Sbrana, 2022)

**10. Facilitação da navegação:** Passini (1984) e Passini; Proulx (1988) fornecem extensas discussões sobre como projetar ambientes que facilitam a navegação, destacando a importância de um sistema de sinalização que guie os usuários de maneira intuitiva através dos espaços complexos (Carpman; Grant, 2003), oferecendo uma visão ampla sobre *wayfinding* e sua aplicação em diversos ambientes (figura 67).



Figura 67 - facilitação da navegação, sinalização direcional guia os visitantes por diferentes andares e seções (APEX, 2021)



**11. Atualização e flexibilidade:** Moggridge (2006) e Rogers; Sharp; Preece (2013) exploram o design de sistemas interativos e a necessidade de adaptabilidade e flexibilidade em design. Embora com foco em design de interação, o princípio de projetar sistemas que possam ser facilmente atualizados e adaptados pode ser relevante para o design de sinalização, posto que as informações podem precisar ser atualizadas ou modificadas em resposta a mudanças no ambiente ou nas necessidades dos usuários (figura 68).

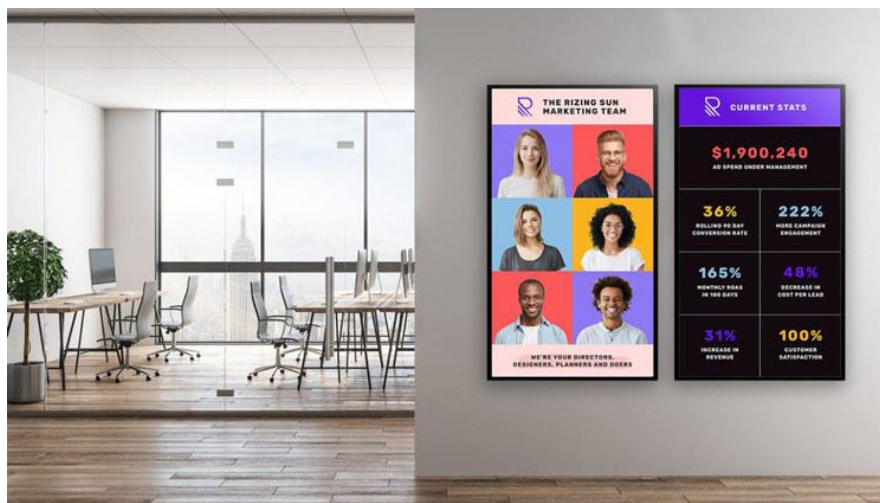


Figura 68 - atualização e flexibilidade, sinalização digital que pode ser atualizada dinamicamente com informações para o usuário (Nobrega, 2021)

Cada autor e obra contribui significativamente para a compreensão e aplicação dos conceitos chave no design de sinalização e *wayfinding*, oferecendo perspectivas que podem ser aplicadas para melhorar a orientação espacial, a acessibilidade, e a experiência geral dos usuários em diversos ambientes oferecendo métodos, princípios e insights essenciais no campo do design de sinalização e *wayfinding* de modo a promover ambientes mais acessíveis, intuitivos e inclusivos.

Assim, o design de sinalização visual explora a possibilidade de compreensão e reconhecimento de mensagens gráficas por meio de palavras, cores, símbolos e pictogramas universalmente reconhecidos, buscando-se ampliar a compreensão para mais pessoas, independentemente do idioma ou alfabetização.

### 2.2.9. Equipamentos de acessibilidade

O avanço nas pesquisas em eletrônica e na Internet das Coisas (IoT) tem impulsionado a criação de novas ferramentas de acessibilidade, reforçando a importância destas na promoção da autonomia e independência. Contudo, as tecnologias tradicionais de orientação e mobilidade permanecem fundamentais para pessoas com deficiência visual. A bengala longa, o cão-guia, o piso tátil e os mapas táteis, embora tradicionais, são indispensáveis na facilitação da navegação e autonomia desses indivíduos.

A bengala longa, o cão-guia, o piso tátil e os mapas táteis são destacados como recursos essenciais que promovem a autonomia e a independência. Ao resumir as origens, funcionalidades e o impacto destas ferramentas, oferecemos uma visão geral de como cada uma contribui para a navegação e o bem-estar dos usuários.

- **Cão guia:**

A utilização de cães treinados para guiar pessoas cegas, conhecida formalmente como "cão-guia" ou "cão de serviço" (figura 69), remonta ao século XVI na Europa. Entretanto, foi somente após a Primeira Guerra Mundial, que essa prática ganhou significativa popularidade, em resposta à crescente quantidade de soldados que retornaram ao lar com deficiências visuais graves (Ascarelli, 1962).



Figura 69 – cão guia (PETFRIENDLY, 2020)

A sistematização do treinamento de cães para essa finalidade iniciou-se na Alemanha em 1916, e a primeira escola de cães-guia do mundo foi fundada por Dorothy Harrison Eustis em 1929 na Suíça, denominada Escola Suíça de Cães-guia para Cegos (Ascarelli, 1962). Desde então, a prática se espalhou globalmente, com numerosas organizações dedicadas ao treinamento desses animais para assistência à navegação de pessoas com deficiência visual.

- **Bengala longas:**

Este dispositivo é um bastão, frequentemente produzido a partir de variados materiais, destinado a prover informações táteis sobre o ambiente imediato à pessoa que o utiliza (figura 70).



Figura 70 – bengala longa (Aldesco, 2021)

Segundo Assis (2018, p. 121), a bengala longa não apenas previne quedas e colisões, mas também auxilia na orientação espacial, mantendo a direção pretendida pelo usuário.

O piso tátil, especialmente em contextos urbanos, serve como complemento à bengala, oferecendo orientação adicional por meio de sua textura diferenciada.

- **Piso tátil:**

Inventado no Japão em 1965 por Seiichi Miyake, o piso tátil consiste em blocos táteis instalados no piso cuja principal função fornece informações táteis para as

pessoas com deficiência visual sobre a direção a seguir, obstáculos a evitar e outros recursos do ambiente urbano (González; Gongoal, 2022, p. 377), como mostrado na figura 71.



Figura 71 – piso tátil (Paulino, 2018)

Pisos táteis são frequentemente encontrados em calçadas, plataformas de transporte público, entradas de edifícios e outras áreas públicas. Utilizados em conjunto com a bengala longa e com outros recursos de tecnologias analógicas<sup>12</sup>, o piso tátil também facilita o uso de outro recurso de acessibilidade para pessoas com deficiência visual: o mapa tátil.

- **Mapa tátil:**

Utilizando-se de um ramo específico da cartografia, o mapa tátil trata-se de um produto cartográfico com o objetivo de poder ser lido por pessoas cegas ou com baixa visão. Consistem em representações gráficas em textura e relevo para pessoas com

---

<sup>12</sup> Tecnologias analógicas refere-se a recursos utilizam sinais ou processos mecânicos, físicos ou químicos para realizar uma função, sem recorrer à eletrônica digital. Alguns exemplos de tecnologias analógicas incluem relógios mecânicos, máquinas de escrever, termômetros de mercúrio, dispositivos de medição mecânica, entre outros (Kline, 2015).

deficiência visual (figura 72), contendo informações de orientação e localização de lugares e objetos (Loch, 2008).



Figura 72 – mapa tátil (MS ACESSIBILIDADE, 2020)

Os mapas táteis presentes em alguns ambientes urbanos precisam ser encontrados por pessoas com deficiência visual, por isso sua localização está normalmente associada a pisos táteis, além de serem posicionados em totens, para rápida percepção com a bengala longa.

#### 2.2.9.1. AVANÇOS TECNOLÓGICOS

A utilização de meios eletrônicos na sinalização e indicações para a mobilidade urbana tem se tornado cada vez mais comum e eficiente. De acordo com Gurgel (2020), a tecnologia digital oferece oportunidades para melhorar a experiência dos usuários ao fornecer informações em tempo real e de forma personalizada, tornando a mobilidade mais acessível e conveniente.

Uma das principais vantagens da utilização de meios eletrônicos na mobilidade urbana é a possibilidade de atualização em tempo real das informações ambientais. Segundo Tischer; Polette (2019), os sistemas de informações para a mobilidade em cidades de referência, em transportes e mobilidade urbana sustentável, permitem que as informações sobre rotas, horários e condições de transporte sejam constantemente

atualizadas, proporcionando aos usuários informações precisas e confiáveis para planejarem suas viagens.

Além disso, a sinalização eletrônica pode ser facilmente adaptada para atender às necessidades específicas de diferentes grupos de usuários. Melo; Bastos (2018) ressaltam que a utilização de sistemas de sinalização digital permite que as informações sejam apresentadas em formatos e tamanhos de fonte ajustáveis, tornando-as mais acessíveis para pessoas com visão reduzida ou outras limitações sensoriais e cognitivas.

Outra vantagem dos meios eletrônicos na sinalização para a mobilidade urbana é a possibilidade de integração com outros sistemas de transporte. Lopes; De Marchi (2015) destacam que a tecnologia digital permite a interconexão de diferentes modais de transporte, possibilitando que os usuários planejem suas viagens considerando diversos meios, como ônibus, metrô, bicicleta e até mesmo compartilhamento de carros.

A utilização de meios eletrônicos na mobilidade urbana também contribui para a redução do impacto ambiental. Netto; Ramos (2017) apontam que a adoção de sistemas de informação eletrônicos pode diminuir o uso de papel na sinalização e na emissão de bilhetes físicos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental das cidades. Entretanto, é importante considerar que a implantação de sistemas eletrônicos na mobilidade urbana também apresenta desafios, como a necessidade de garantir a segurança cibernética dos sistemas e a inclusão digital de todos os usuários. De acordo com Rodrigues; Souza (2020), é importante que os sistemas de sinalização eletrônica sejam protegidos contra-ataques cibernéticos para garantir a segurança dos usuários e a confiabilidade das informações.

Os estudos que objetivam a incorporação de tecnologias digitais para promover a acessibilidade de pessoas com deficiência visual têm se intensificado nas últimas décadas, principalmente após o advento e popularização dos *smartphones*, posto que os recursos da computação digital, antes legada a computadores de mesa, se tornou cada vez mais portátil e disponível nas mãos das pessoas. Com isso e com a incorporação aos *smartphones* de recursos antes existentes em equipamentos específicos, como por exemplo a sintetização de voz, a geolocalização planetária e a

internet, os designers têm mais um aliado no desenvolvimento de ferramentas de acessibilidade para pessoas com deficiência visual.

Além dos *smartphones* como aliados no desenvolvimento de aplicações de acessibilidade, a própria microeletrônica evoluiu, em parte para possibilitar a existência dos próprios *smartphones*, porém com o efeito colateral de disponibilizar novos componentes eletrônicos com capacidade de processamento e de sensoriamento eletrônico que ampliam ainda mais as possibilidades de desenvolvimento de ferramentas digitais de acessibilidade.

Existem três grandes grupos de ferramentas digitais para orientação de pessoas com deficiência visual: ferramentas de orientação espacial, ferramentas de identificação de obstáculos e ferramentas de navegação.

- As ferramentas de orientação espacial são equipamentos digitais que possibilitam ou facilitam o reconhecimento do local onde a pessoa com deficiência visual se encontra.
- As ferramentas de identificação de objetos são equipamentos digitais dedicados a oferecer informações acerca dos objetos ao redor da pessoa, principalmente obstáculos que podem significar alguma insegurança física.
- As ferramentas de navegação, talvez as mais conhecidas do público, são os equipamentos digitais que oferecem recursos que facilitam a obtenção de um caminho origem-destino ao usuário com deficiência visual.

Vasconcelos; Teti *et al.* (2020) indicam que os últimos anos são marcados pelo constante aumento de pesquisas de equipamentos digitais de orientação e identificação espacial para pessoas com deficiência visual, com ênfase para os EUA, com a maioria das pesquisas em caráter inédito. De acordo com os autores, os experimentos com equipamentos digitais se concentram, na maioria das vezes, em aplicativos de *smartphone*, portáteis, seguido em menor grau de equipamentos digitais incorporados a mapas e pisos táteis, deixando os equipamentos portáteis dedicados, ou seja, externos a *smartphones*, em último nas pesquisas encontradas.

Tanto os aplicativos de *smartphones* quanto os equipamentos digitais em mapas táteis fazem uso massivo de voz sintetizada como principal interface com o usuário com deficiência visual, enquanto os equipamentos hápticos fazem uso quase que exclusivamente de pequenos aparelhos de vibração. A voz sintetizada tem evidente vantagem informativa sobre os equipamentos de vibração, posto que as possibilidades de informação de equipamentos que se utilizam de vibração estão limitadas à sensação tátil, enquanto equipamentos digitais com voz podem fornecer quaisquer informações traduzíveis em palavras, desde informações de direção até descrições completas de objetos ou, recentemente, identificação de pessoas por meio de reconhecimento facial por meio de em sistemas mais complexos e de maior capacidade computacional.

No caso de pessoas com deficiência visual, os estudos sobre a cartografia tátil mostram como as representações espaciais podem auxiliar a orientação e mobilidade (Castreghini, 2016), demonstrando que o design pode contribuir de forma eficaz para a inclusão ao considerar a diversidade humana, visando a acessibilidade e usabilidade dos espaços urbanos (Gomes; Quaresma, 2020), que apontam o design como responsável por considerar a diversidade humana na criação de espaços urbanos acessíveis e utilizáveis para todos, por meio da observação dos variados modos de interação cognitiva e sensorial que as pessoas podem ter com seu ambiente.

Em suma, a utilização de meios eletrônicos na sinalização e indicações para a mobilidade urbana apresenta inúmeras vantagens, como a atualização em tempo real das informações, a adaptação para diferentes grupos de usuários, a integração com outros sistemas de transporte e a redução do impacto ambiental. No entanto, é essencial abordar os desafios relacionados à segurança cibernética e à inclusão digital para garantir o pleno funcionamento e benefícios desses sistemas.

De forma a ilustrar um exemplo de projeto para orientar pessoas com deficiência visual em espaços urbanos, pode-se citar Esteves (2019), que descreve o SEEstem, um dispositivo de navegação criado para melhorar a mobilidade de pessoas com deficiência visual em espaços públicos, avaliando-o junto aos usuários conforme o quadro 12 da página 199.



Pergunta	1º Voluntário	2º Voluntário	3º Voluntário
O que achou de usar este dispositivo?	“Gostei da iniciativa”	“Legal, interessante”	“Muito bom!”
Houve algum tipo de dificuldade na sua utilização?	Não.	Não.	Não.
Foi mais fácil se locomover pelo espaço público utilizando o dispositivo?	Não fez muita diferença.	Foi diferente, para melhor.	Fiquei mais preocupado que o normal.
As mensagens e instruções foram claras e precisas?	Não.	Sim.	As do vestível sim, as do aplicativo não.
Você continuaria utilizando o dispositivo no seu dia a dia?	Por enquanto não, teria que melhorar.	Sim, mas teria que me acostumar.	Com os ajustes necessários sim.
Você se sentiu confiante ao utilizar o dispositivo?	Não muito.	Me senti à vontade e desconfortável ao mesmo tempo.	Por enquanto não muito.
Seu uso dispensa algum método tradicional (bengala, cão guia, etc.)?	Da forma que está hoje em dia não.	Não.	Somente após me tornar confiante.
O dispositivo apresentou algum tipo de incômodo? Qual?	Sim. O boné incomodou um pouco, e o colete estava apertado.	Não.	Não.
O dispositivo apresentou algum erro ou falha?	Sim, alguns. Não alertou todos os obstáculos e o aplicativo não deu instruções.	Não.	Sim, o aplicativo não apresentou as instruções esperadas.

Quadro 12 – avaliação da iniciativa “SEEstem” (Esteves, 2019, p. 73)

Os resultados, sintetizados no quadro 12, mostraram que, enquanto a iniciativa do SEEstem foi recebida predominantemente de forma positiva pelos voluntários, há espaço substancial para melhorias, posto que a confiança no dispositivo e a sua eficácia são áreas carentes de aprimoramento.

O atual grau de tecnologia tem oferecido vastas oportunidades de desenvolvimento em mobilidade e acessibilidade. De acordo com Senjam (2021), existe uma parcela significativa de pessoas com deficiência visual que utilizam *smartphones* para atividades como chamadas, mensagens, navegação na web e leitura de e-mails, enfatizando que o uso dos *smartphones* auxiliam na vida independente, educação, atividades sociais e melhoria da qualidade de vida para esses indivíduos. Na mesma linha, Kim (2022) aborda aplicativos como *Seeing AI*, *TapTapSee* e *BeMyEyes*, projetados para auxiliar pessoas com deficiência visual a navegar em ambientes desconhecidos, ler textos, identificar objetos e pessoas. O artigo discute como esses

aplicativos são úteis para realizar atividades diárias e como contribuem para a vida independente.

A aplicação *Seeing IA* (figura 73), em desenvolvimento pela Microsoft (Linn, 2016), utiliza visão computacional e processamento de linguagem natural para descrever o ambiente no entorno do usuário, ler textos, responder perguntas e até mesmo identificar emoções nos rostos das pessoas, utilizando-se de técnicas computacionais de redes neurais, conhecidas popularmente como “inteligência artificial”.

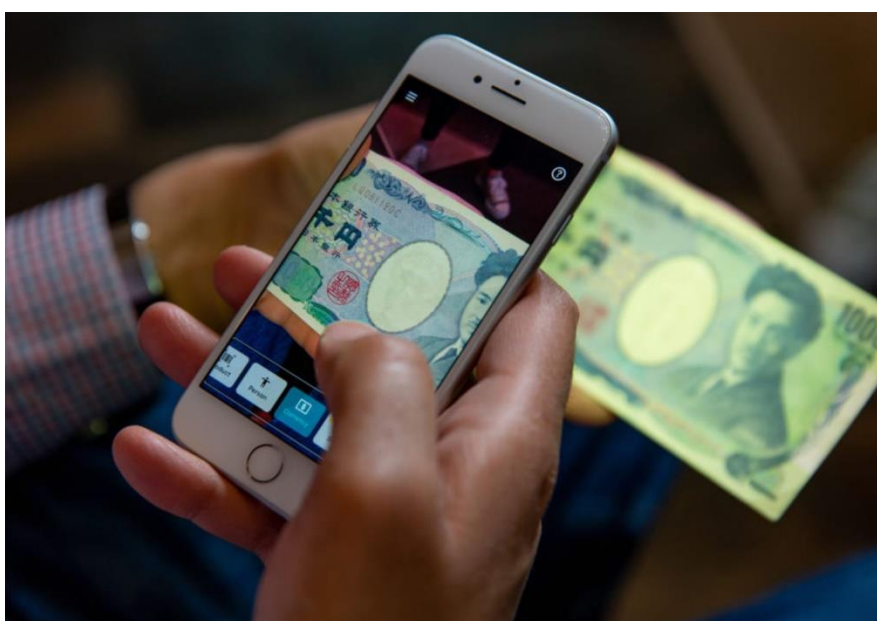


Figura 73 – Seen IA da Microsoft (Posey, 2021)

A ferramenta *Be My Eyes* (figura 74 da página 201) é um aplicativo móvel em desenvolvimento para orientação de pessoas com deficiência visual. Esta ferramenta conecta pessoas com deficiência visual a voluntários com visão normal por meio de uma chamada de vídeo ao vivo.

De acordo com Kim (2022) e Avila; Wolf *et al.* (2016), o aplicativo permite que pessoas com deficiência visual peçam ajuda para tarefas que requerem assistência visual, como ler rótulos, navegar em ambientes desconhecidos ou identificar objetos. Os voluntários, que podem ser de qualquer lugar do planeta, usam as câmeras do *smartphone*, possibilitando descreverem, verbalmente, o que a pessoa com deficiência visual está apontando com o *smartphone*.



Figura 74 - aplicativo *Be My Eyes* (Salam, 2019)

No entanto, Avila, Wolf *et al.* (2016) citam importantes limitações no *Be My Eyes*, limitações estas que julgaram contribuir para resultados de baixo registro de uso do aplicativo entre os usuários pesquisados:

- **Dependência da conexão de internet:** O aplicativo requer uma conexão de internet estável para funcionar eficazmente.
- **Limitações de privacidade:** Embora existam medidas de privacidade, alguns usuários podem se sentir desconfortáveis compartilhando vídeos de seus ambientes pessoais com estranhos. Cabe salientar que a pessoa com deficiência visual pode não ter o controle total sobre o que a pessoa voluntária que está de fato visualizando em seu ambiente, principalmente se for sua residência ou seu local de trabalho.
- **Variação na qualidade da ajuda:** A experiência do usuário pode variar dependendo da habilidade e entendimento do voluntário.

Outro aplicativo com potencial de orientação na mobilidade de pessoas com deficiência visual é o *Lookout*, cuja interface é mostrada na figura 75 da página 202. Desenvolvido pela empresa Google Inc., o *Lookout* trata-se de uma ferramenta de acessibilidade projetada para auxiliar pessoas com deficiência visual a obter informações sobre seu ambiente.



Figura 75 – aplicativo *Lookout* (Coldewey, 2020)

Utilizando a câmera do *smartphone*, o *Lookout* forneceria, em tese, *feedback*<sup>13</sup> auditivo sobre objetos, textos e pessoas ao redor do usuário. Semelhantemente ao *Seeing IA* da Microsoft, o *Lookout* usa IA como linguagem de aprendizado de máquina para identificar itens de interesse e fornecer informações úteis sobre o entorno do usuário. Como importante ponto divergente do *Seeing IA* e do *Be My Eyes*, o *Lookout* funciona mesmo quando o *smartphone* não está conectado à Internet, processando os dados no próprio dispositivo, de modo a oferecer auxílio ao usuário com deficiência visual mesmo em locais onde a internet não está disponível.

Quase semelhante ao *Be My Eyes*, o *Aira* integra um aplicativo para *smartphones* a um equipamento vestível, um par de óculos com câmera embutida (figura 76).

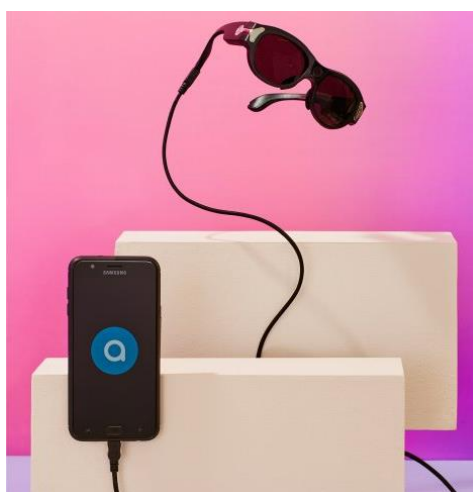


Figura 76 – equipamento *Aira* (Myers, 2019)

<sup>13</sup> *Feedback* é uma resposta ou avaliação sobre algo ou alguém, com o objetivo de melhorar o desempenho, comportamento, produto ou serviço (Furbino, 2023).

O Aira tem sido objeto de estudos que avaliam sua eficácia e impacto na qualidade de vida dos usuários. De acordo com Nguyen *et al.* (2018) o uso do Aira resultou em melhorias significativas na qualidade de vida de indivíduos com deficiência visual. No entanto, os resultados têm por fonte principal os *feedbacks* positivos dos voluntários. Avaliações rigorosas sobre o efeito desses aplicativos no desempenho de tarefas diárias e na qualidade de vida são relativamente raras, principalmente, de acordo com Nguyen *et al.* (2018), à dificuldade de estabelecer critérios de avaliação devido à heterogeneidade das tarefas e das necessidades dos usuários.

Nguyen *et al.* (2018) ressaltam a importância de integrar o *feedback* dos usuários com deficiência visual no processo de desenvolvimento e aprimoramento das ferramentas de acessibilidade, evidenciando que a contribuição direta desses usuários é importante para identificar falhas, necessidades não atendidas e oportunidades de otimização nas tecnologias existentes. Nguyen *et al.* (2018) sugerem uma abordagem mais inclusiva e participativa no design de tecnologias acessíveis, onde a experiência do usuário com deficiência visual é colocada no centro do processo de desenvolvimento.

De forma semelhante, Parker *et al.* (2021) reiteram a necessidade de envolver pessoas com deficiência visual em estudos sobre tecnologias de orientação, destacando a ampla gama de dispositivos e tecnologias analisadas, incluindo aplicativos de *wayfinding* e mapas táteis. De acordo com Parker *et al.* (2021), participação desses indivíduos não só contribui para avaliar a eficácia das soluções propostas, mas também garante que as necessidades específicas sejam atendidas, oferecendo *insights* valiosos sobre como as soluções podem ser aprimoradas para atender melhor às demandas deste grupo específico, promovendo uma maior autonomia e inclusão.

Além de aplicativos para *smartphones* como o *Seeing AI*, *TapTapSee*, *BeMyEyes*, *Lookout* e *Aira*, o uso de tecnologias eletrônicas tem sido objeto de pesquisas na promoção da mobilidade urbana para pessoas com deficiência:

## **1. Dispositivo vestível assistivo com sistema de suporte à decisão Fuzzy:**

Bouterraa (2021) propõe um dispositivo vestível que incorpora um sistema de suporte à decisão fuzzy<sup>14</sup> para ajudar pessoas cegas e com deficiência visual, visando facilitar a mobilidade urbana ao fornecer informações táteis e auditivas sobre o ambiente circundante. Os resultados de percepção dos voluntários que testaram o sistema sugerem que, embora o equipamento proposto pareça ser bem recebido em termos de facilidade de uso e assistência que oferece, há preocupações específicas com o custo proposto para o equipamento, com a ausência de funcionalidades importantes na percepção do usuário e, principalmente, com a segurança no uso do equipamento, o que sugere a necessidade de melhorias adicionais para o desenvolvimento futuro do produto (Bouterraa, 2021, p. 14).

## **2. Guia Eletrônico de Viagem para Deficientes Visuais:**

Buscando um contexto mais conservador em termos de equipamentos urbanos de acessibilidade, Noorjahan; Punitha (2020) propõem um sistema de reconhecimento de sinalizações de destino de ônibus por meio de técnicas de visão computacional, projetado para atuar como um guia eletrônico. Diferentemente de outros projetos de orientação e mobilidade para pessoas com deficiência visual, este sistema é fixo em paradas de transportes públicos, oferecendo informações a medida em que os ônibus chegam à parada. De acordo com Noorjahan; Punitha (2020), o objetivo do sistema é contribuir para uma navegação mais segura ao fornecer informações sobre veículos que se aproximam, assim como contribuir para uma navegação mais segura, oferecendo uma alternativa para quem não se sente confortável ou não tem condições de adquirir dispositivos de navegação portáteis ou vestíveis.

---

<sup>14</sup> A lógica fuzzy é uma disciplina da matemática e da eletrônica que permite que as variáveis tenham um grau de verdade entre 0 e 1, facilitando decisões em situações com incerteza ou imprecisão (Zadeh, 1965).

### **3. Dispositivos de Detecção de Obstáculos e Navegação:**

O estudo de Ong *et al.* (2013) teve como objetivo o desenvolvimento de dispositivos de detecção de obstáculos para auxiliar na navegação de usuários com deficiência visual. No estudo, foi proposto um novo esquema de posicionamento de sensores de alcance, e com base neste esquema, dois protótipos foram desenvolvidos, visando diferentes grupos de usuários. O artigo discutiu as questões de design, os módulos funcionais e os testes de avaliação realizados para ambos os protótipos.

Do ponto de vista da experiência do usuário, Ong *et al.* (2013) afirmam que o design de dispositivos para auxílio de pessoas com deficiência visual deve se concentrar na facilidade de uso, conforto e *feedback* intuitivo para os usuários, observando-se aspectos como a ergonomia dos dispositivos, a clareza e utilidade do *feedback* fornecido e até mesmo estudos que busquem incremento à facilidade de interpretação dos sinais pelos usuários.

### **4. Sistemas de Navegação Interna para Pessoas com Deficiência Visual:**

Plikynas *et al.* (2020) investigam dispositivos assistivos que utilizam tecnologia sensorial para detectar obstáculos e fornecer orientações de navegação para usuários com deficiência visual, com o objetivo de avaliar alguns sistemas de navegação para áreas internas existentes, mapeando suas características em relação às necessidades dos usuários com deficiência visual. Os autores realizaram uma meta-análise que incluiu uma pesquisa com especialistas cegos e análises qualitativas de sistemas baseados em visão e híbridos para navegação interna.

Plikynas *et al.* (2020) revelam que, apesar do avanço tecnológico e da variedade de sistemas disponíveis, muitos dispositivos assistivos raramente são utilizados por não atenderem completamente às necessidades e expectativas dos usuários com deficiência visual. De acordo com Plikynas *et al.* (2020), os sistemas baseados em visão artificial, por meio de câmeras, tendem a ser mais versáteis e não requerem infraestrutura interna instalada, sendo bem avaliados pelos especialistas.

No entanto, Plikynas *et al.* (2020) apontam que ainda existe uma lacuna no mercado para o desenvolvimento de dispositivos táteis e auditivos adequados para

navegação interna que atendam às expectativas dos usuários finais, tanto em termos de usabilidade quanto de confiança no equipamento.

## **5. Gadget de Navegação Baseado em IoT**

O objetivo do estudo apresentado por Mala *et al.* (2017) era desenvolver um dispositivo de navegação portátil e vestível baseado em Internet das Coisas (IoT) para auxiliar pessoas com deficiência visual em sua mobilidade. Este dispositivo inclui um bastão com GPS e um headset Bluetooth, proporcionando assistência por meio de reconhecimento de voz e direcionamento ao usuário.

As análises de Mala *et al.* (2017) sobre os resultados do estudo revelam que o dispositivo proposto parece ser leve e fácil de carregar, o que é benéfico para a mobilidade do usuário, enquanto a interação por reconhecimento de voz pode oferecer uma experiência de usuário intuitiva, mas a precisão do reconhecimento de voz e a clareza das instruções precisam de aprimoramento, pois, como correspondem ao único meio de interação, seu funcionamento adequado torna-se essencial para a eficácia do dispositivo.

Em outra esfera, Mala *et al.* (2017) citam que a utilização de vibrações para indicar a presença de obstáculos, neste dispositivo em especial, não representaram clareza e discernimento esperado para a compreensão do usuário.

Sobre a engenharia do modelo funcional, Mala *et al.* (2017) reconhecem as limitações de descrição do dispositivo, posto que este apenas informa a presença de obstáculo, não descrevendo-o, limitando a capacidade do usuário de entender completamente o ambiente, o que se converteu em certo receio de uso pelos voluntários com deficiência visual que testaram o equipamento.

## **6. Tecnologia de Robótica Móvel para Cegos e Deficientes Visuais:**

No estudo de Shoval *et al.* (2003) estão representados dois projetos para auxiliar a navegação de pedestres cegos ou com deficiência visual. Estes projetos, "NavBelt" e o "GuideCane", são dispositivos baseados em tecnologias avançadas de robótica móvel para evitar obstáculos.

O "NavBelt" é descrito como um cinto equipado com sensores ultrassônicos e um sistema de *feedback* acústico por meio de fones de ouvido estéreo, que guia o



usuário ao redor de obstáculos, fornecendo o que os autores chamaram de “imagem acústica” ou fornece uma imagem acústica panorâmica virtual do ambiente circundante (figura 77). No entanto, uma limitação significativa do *NavBelt* é a dificuldade de compreensão dos sinais acústicos em tempo hábil para permitir uma caminhada rápida.



Figura 77 – *NavBelt* (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003, p. 2)

Cabe contextualizar a "imagem acústica" referida por Shoval *et al.* (2003). Trata-se de uma representação sonora do ambiente circundante do usuário, gerada a partir dos dados captados pelos sensores ultrassônicos montados no dispositivo, cuja intenção é fornecer aos usuários cegos ou com deficiência visual uma compreensão espacial do ambiente ao seu redor por meio de sinais acústicos, oferecendo uma ferramenta que possa servir para a pessoa mapear, cognitivamente, os obstáculos detectados pelos sensores.

Os sons gerados por meio da “imagem acústica” compõem-se de sinais acústicos estereofônicos que variam em amplitude, frequência e lateralidade, por meio da geração sonora entre o fone de ouvido esquerdo ou direito, que variam de acordo com a distância e a localização dos obstáculos: a amplitude do som torna-se

mais forte na medida em que os obstáculos se tornam mais próximos, e sua direção varia no fone em graduações entre esquerda, centro e direita. A frequência do som, mais agudo ou mais grave, pode ser usada para representar a altura ou outros atributos dos objetos. Assim, a ferramenta “imagem acústica” oferece um método de o usuário ouvir uma representação simplificada dos obstáculos no seu entorno sem a necessidade do uso da visão.

A abordagem de Shoval *et al.* (2003) para a “imagem acústica” exige treinamento para a compreensão original e prática para tornar seu uso habitual. Shoval *et al.* (2003) citam que esta necessidade de treinamento e habitualidade do uso das “imagens acústicas” pode ser desafiadora, exigindo períodos significativos de treinamento e adaptação por parte do usuário para alcançar uma navegação eficaz.

O “*GuideCane*” (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003), por sua vez, supera as limitações de exigência de treinamento e habitualidade exigido para o uso da “imagem sonora”, por meio da incorporação da robótica em um equipamento com rodas que é empurrado à frente do usuário. Ao detectar determinado obstáculo, o *GuideCane* (figura 78) realiza um desvio automático, permitindo que o usuário sinta a ação de direção e siga o novo caminho do dispositivo sem esforço consciente.



Figura 78 – *GuideCane* (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003, p. 5)

Esta abordagem promete uma interação mais intuitiva e imediata com o dispositivo, potencialmente aumentando a velocidade e a segurança da navegação para indivíduos cegos ou com deficiência visual. Assim, o *GuideCane* não necessita do uso de sons para que a pessoa possa desviar de obstáculos em seu caminho.

Ao analisar-se os resultados experimentais de Shoval *et al.* (2003), revelam-se várias considerações importantes no contexto da experiência do usuário. Ainda que ambos os dispositivos demonstrem métodos inéditos de orientação com relação a outros sistemas de orientação pra pessoas com deficiência visual, a necessidade de treinamento do usuário para utilização da imagem sonora do *NavBelt* (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003) enfrenta desafios relacionados à interpretação dos sinais acústicos e à necessidade de conhecimento preciso da posição do usuário em tempo real para uma navegação eficaz no modo de orientação.

Além disso, sobre o *GuideCane* (Shoval; Ulrich; Borenstein, 2003), a pesquisa ressalta a importância de considerar a possibilidade de ampliação de reconhecimento de mais obstáculos, como objetos suspensos e degraus, que a tecnologia atual do *GuideCane* não abrange. Pode-se observar também que, em ambos os sistemas, não há, de fato, orientação ambiental envolvida, posto que tanto o *NavBelt* quanto o *GuideCane* limitam-se a oferecer formas diferenciadas de desviar de obstáculos, nenhum dos sistemas oferece informação sobre o trajeto. Assim, a contribuição do "*NavBelt*" e o "*GuideCane*" para a orientação de pessoas com deficiência visual depende da superação de desafios técnicos, da melhoria da interação usuário-dispositivo e da integração com outras tecnologias e sistemas de apoio à navegação.

A perspectiva de centrar o desenvolvimento no usuário é importante para a elaboração de soluções tecnológicas, assegurando não apenas a eficiência, mas também a inclusão e a relevância do usuário no processo. Contudo, Parker *et al.* (2021) evidenciam que muitos estudos negligenciam o usuário foco, posto que, além de serem conduzidos integralmente em ambientes controlados, o que limita a compreensão do emprego da tecnologia em contextos da vida cotidiana, há uma tendência de recorrer a voluntários videntes que utilizam vendas para simular a deficiência visual. Parker *et al.* (2021) criticam este método por sua limitação representativa, uma vez que não reflete adequadamente as necessidades e

preferências da população com deficiência visual. A experiência de vida desses indivíduos não se restringe à ausência da visão, é a experiência do uso dos outros sentidos que desempenha o papel primordial na sua interação com o mundo. Portanto, ao desconsiderar as experiências vividas por pessoas cegas ou com baixa visão, esses estudos negligenciam aspectos fundamentais no design de produtos e serviços destinados a este grupo, subestimando a importância da vivência sensorial ampliada que caracteriza esses indivíduos.

Portanto, Parker *et al.* (2021) enfatizam a imperatividade de conduzir pesquisas em ambientes autênticos, envolvendo diretamente indivíduos com deficiência visual. Tal abordagem é essencial para fomentar o desenvolvimento de tecnologias genuinamente eficazes e responsivas. Ao integrar esses participantes no processo de pesquisa e design, é possível gerar soluções tecnológicas mais precisas e adaptadas às suas necessidades específicas. Esta prática não apenas assegura a criação de produtos tecnológicos mais adequados, mas também contribui significativamente para a melhoria da qualidade de vida dessas pessoas. A inclusão direta desses indivíduos nos processos de pesquisa e desenvolvimento garante uma compreensão mais profunda de suas experiências e requisitos, levando à inovação de produtos que não só atendem às suas necessidades, mas também respeitam e valorizam suas vivências únicas.

Com esta premissa, a disponibilização de voz torna-se uma característica fundamental em interfaces para a audionavegação, oferecendo uma alternativa às informações visuais por meio de descrições e sinalizações auditivas, buscando-se um modo eficiente de orientar pessoas com deficiência visual enquanto se deslocam em espaços urbanos. A utilização de tecnologias de voz abrange uma ampla gama de aplicações e dispositivos com diferentes formas de auxílio vocal. De acordo com Phillips; Proulx (2018), as tecnologias de auxílio vocal podem ser categorizadas principalmente em duas: voz humana gravada e voz sintetizada.

Piva; Rossi (2017) lembram que, quando o usuário possui deficiência visual, a aplicação do conceito de *wayfinding* precisa extrapolar o planejamento rotineiro do design gráfico para a ergonomia cognitiva, pois não é possível que estes usuários tomem decisões para planejarem e executarem sua orientação e rota somente com sinalizações gráficas, mesmo se estiverem utilizando bengala ou cão-guia, haja visto que o processo de *wayfinding* exige informações elencadas por Padovani e Moura

(2008), nas quais a representação mental, por meio dos processos cognitivos, demandam de conhecimentos prévios, seja por meio da interação direta ou da consulta prévia. Para a pessoa com deficiência visual, estas interações reivindicam principalmente do uso dos sentidos da audição, do tato e do olfato.

A percepção ambiental humana faz um intenso uso dos sentidos (SANCAR, 1988), Carlin; Ely (2005). Adotando-se este conceito com os preceitos levantados por Pezzin (2013, p. 28) cita que, para o design de comunicação visual, torna-se importante a inclusão de fatores ambientais relacionados aos outros sentidos além da visão, seja ela auditiva, tátil e até mesmo olfativa. Transfigurar o fator visual do design de sinalização para um modelo totalmente verbal auditivo reconhecido por pessoas que não podem fazer uso de estímulos visuais pode exigir, por este motivo, a necessidade de majorar a atenção aos elementos do ambiente, porém sem expandir em demasia a informação para não prejudicar a capacidade de memorização.

Ainda que a combinação entre informação vocal e informação tátil ofereçam vantagens para pessoas com deficiência visual, a informação auditiva pode ser uma ferramenta menos eficaz nestes equipamentos estáticos como o mapa tátil, posto que a informação vocal se resume à repetição da representação dos pontos de interesse e do caminho que ainda será seguido (Papadopoulos; Koustriava; Koukourikos, 2017). Desta forma, a informação vocal pode ser mais bem aproveitada para oferecer informações em tempo real, ao longo do trajeto e quando é necessária ao usuário com deficiência visual.

Outro tipo de equipamento comum em pesquisas práticas e acadêmicas é a chamada “bengala eletrônica”. Considerando que se trata de equipamento de acessibilidade cuja principal funcionalidade resume-se a expandir o alcance da bengala longa, a bengala eletrônica é um equipamento háptico que oferece tanto o retorno tátil mecânico, pelo toque da ponta com o solo e com os obstáculos à frente que podem ser sentidos no nível do solo, quanto o retorno tátil eletrônico, por meio de vibração, quando o obstáculo está acima do alcance da ponta da bengala. Este retorno tátil vibratório é possível porque o equipamento possui sensores eletrônicos,

normalmente do tipo sonar<sup>15</sup>. Outras designações conhecidas para a “bengala eletrônica” são “óculos sonar”, “olho biônico”, “bengala inteligente”, “cão guia eletrônico” e diversos outros nomes, comerciais ou não, para designar o equipamento que vibra para informar à pessoa com deficiência visual da presença de obstáculos à sua frente. A figura 79 mostra um modelo funcional de bengala eletrônica.

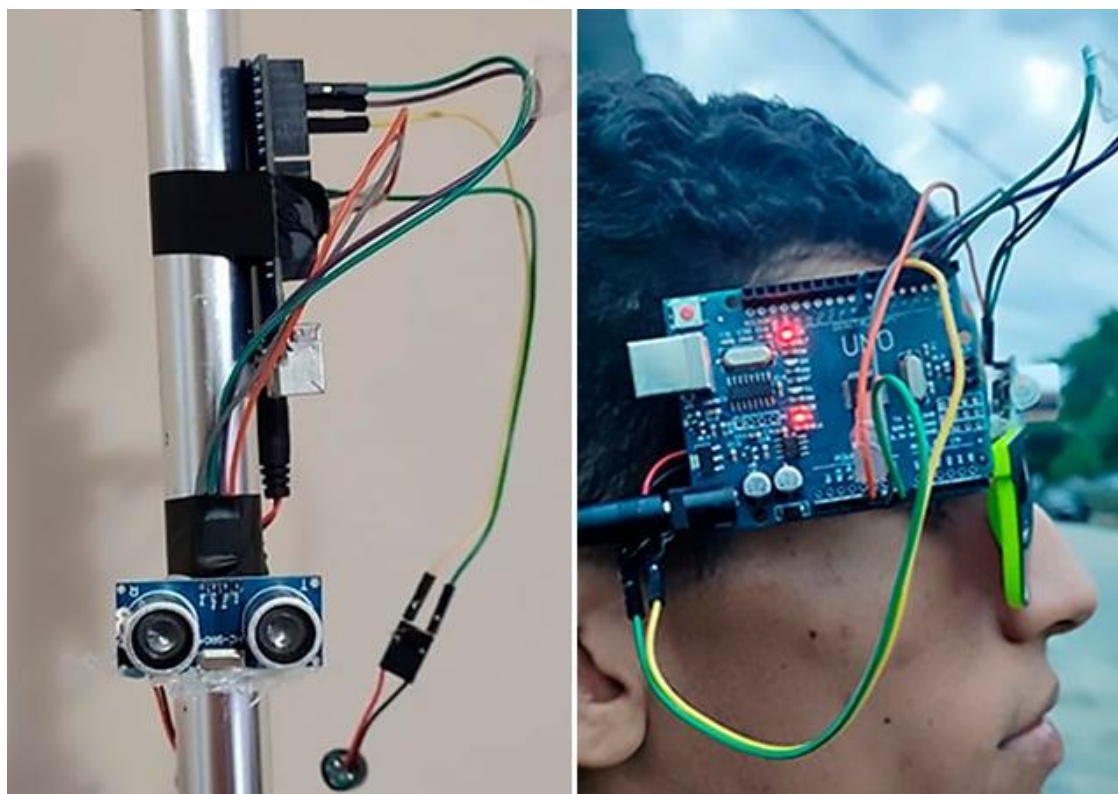


Figura 79 – modelo funcional de bengala eletrônica (Paiva, 2021)

Todos os tipos de sensoriamento possíveis de serem incorporados à bengala eletrônica são equipamentos que demandam de precisão que dependem de condições ideais para o correto funcionamento, pois trata-se de equipamentos de segurança para a pessoa com deficiência visual. Libanio; Machado (2014) realizaram um levantamento dos tipos de sensores possíveis para detecção de obstáculos e suas principais peculiaridades, que possam ser utilizados em equipamentos portáteis, incorporando-os aos dispositivos do tipo “bengala eletrônica”. Dentre os sensores possíveis, eletromagnético, térmico, infravermelho, laser e ultrassônico (sonar), os autores

---

<sup>15</sup> Sonar é um equipamento que emite ondas sônicas, normalmente a frequências fora da capacidade da audição humana, que pressente objetos por meio do som refletido resultante da reflexão do objeto. O tempo entre a emissão do som e a recepção do eco define a distância que o objeto está do sonar.

consideraram que o sensor ultrassônico seria o único aplicável a equipamentos do tipo bengala eletrônica (Libanio; Machado, 2014, p. 4).

As primeiras pesquisas com equipamento do tipo “bengala eletrônica” datam da década de 1950, no entanto a criação de produtos práticos e eficazes não evoluiu, este tipo de equipamento não é comum devido a diversos fatores como a ineficiência de sensoriamento, a falta de portabilidade do equipamento devido ao peso do equipamento ou fatores relacionados ao modo de indicação, por vibração, que torna o equipamento desconfortável para uso contínuo. Porém, acima de tudo, normalmente o custo é o principal impeditivo para a popularização deste equipamento, posto que a bengala longa mecânica e comum sofre constantes danos, não raro é inutilizada por pequenos acidentes, o que torna necessário seu baixo custo e fácil substituição, algo difícil de obter-se com equipamentos eletrônicos que dependem de sensores, cujo custo soma-se à da bengala, tornando o valor naturalmente mais elevado.

Sendo o sonar um tipo de sensor “obstáculo presente ou obstáculo ausente”, a indicação possível ao usuário é somente um sinal de presença ou ausência do obstáculo, não indicando tamanho, forma ou mesmo direção, podendo assim limitar-se ao conhecido equipamento háptico que vibra a bengala do usuário. No entanto, as pesquisas com equipamentos eletrônicos para orientação na mobilidade de pessoas com deficiência visual têm evoluído para funcionalidades além do simples sonar. Esta evolução carrega outras funcionalidades, como por exemplo a geolocalização por GPS para áreas abertas e por beacons de rádio ou balizas infravermelhas para áreas internas, oferecendo a possibilidade de muito mais informação além da presença ou ausência de obstáculos.

Este avanço dos sistemas eletrônicos, digitais, de orientação e mobilidade para pessoas com deficiência visual exige formas mais elaboradas de interface de comunicação com o usuário para além de simples vibrações, de modo a comunicar com mais eficiência os diversos elementos presentes nos ambientes, além de possibilitar a navegação propriamente, por meio da audiodescrição do ambiente, possibilitando que a pessoa com deficiência visual possa escolher o caminho a ser seguido, além de poder também identificar os diversos serviços presentes nos ambientes, como por exemplo locais de aquisição de bilhetes de transportes, serviços de alimentação, lojas nos arredores e toda e qualquer opção disponível, tornando

possível que utilizem os ambientes de forma igualitária às pessoas que possuem visão, tornando assim os ambientes efetivamente acessíveis a pessoas com deficiência visual.

A inclusão de pessoas com deficiência visual no design de produtos e serviços é um desafio importante que deve ser considerado pelos designers. É importante lembrar que cada pessoa com deficiência visual tem necessidades e preferências diferentes, portanto não existe uma solução única que funcione para todos.

De acordo com Morris (2015, p. 102), a avaliação individual das pessoas com deficiência visual, na busca por pontos fortes e fracos em relação à mobilidade, é importante para a seleção das melhores estratégias de desenvolvimento de serviços e ferramentas para a orientação e mobilidade de cada caso. Na mesma linha, Silva; Farias (2019, p. 40) consideram que a seleção adequada de ferramentas de orientação e mobilidade é obtida por meio da observação individual de pessoas com deficiência visual, considerando suas habilidades e limitações concordando também com Ferrari; Silva *et al.* (2020, p. 327), que afirmam que cada pessoa com deficiência visual tem necessidades únicas de mobilidade, tornando fundamental a colaboração entre a pessoa, sua família e os profissionais envolvidos no desenvolvimento das ferramentas de mobilidade.



### 3. CONCLUSÃO

A deficiência visual é definida como uma redução significativa da capacidade visual de um indivíduo, que não pode ser corrigida completamente com óculos convencionais, lentes de contato, medicamentos ou cirurgias. A definição abrange um espectro que inclui desde a baixa visão até a cegueira total, distinguindo-se principalmente pela acuidade visual e pelo campo visual do indivíduo afetado. Essas condições impactam consideravelmente as atividades diárias, exigindo adaptações e suportes específicos para facilitar a inclusão e autonomia (BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008; OMS, 2019).

A deficiência visual afeta substancialmente a capacidade de mobilidade e independência das pessoas, especialmente em ambientes urbanos. A navegação e a orientação em espaços desconhecidos ou complexos tornam-se desafios consideráveis, exigindo adaptações e suportes específicos para garantir a segurança e a autonomia das pessoas com deficiência visual (OMS, 2019).

Além dos obstáculos físicos, as pessoas com deficiência visual enfrentam barreiras sociais que podem limitar sua participação plena na sociedade. A inclusão social e a igualdade de oportunidades são impactadas, exigindo esforços conscientes para superar preconceitos e facilitar o acesso à educação, emprego e lazer (OMS, 2019).

Bernardo; Muñoz *et al.* (2020) sugerem que os métodos de acessibilidade utilizados em ambientes virtuais podem ser adaptados para melhorar a mobilidade urbana das pessoas com deficiência visual. Isso implica em estratégias inovadoras que minimizem os desafios enfrentados e promovam uma maior inclusão, enquanto Mariani (2016) e Silva Filho (2017) ressaltam a importância de buscar a superação das dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência visual como meio de garantir sua inclusão plena e a igualdade de oportunidades. Isso envolve não apenas adaptações físicas no ambiente, mas também mudanças culturais e de atitude na sociedade.

Este trabalho tem como finalidade estabelecer preceitos teóricos de design de audionavegação, disponibilizando base teórica para a elaboração de sistemas de orientação e ambientes sonorizados para orientação e mobilidade de pessoas com deficiência visual por ambientes urbanos. Com foco neste objetivo, as fundamentações

teóricas consideraram aspectos do som e da voz, formas com que se produzem vozes eletrônicas, índices auditivos para elaboração de sinalizações sonoras não vocais, preceitos de orientação e navegação, *wayfinding design* e design de sinalização.

### 3.1. SOM E RUÍDO

O som é descrito como uma manifestação de energia que se propaga por meio de vibrações em diferentes meios (ar, água, sólidos), sendo essencial para a comunicação e a percepção do ambiente ao nosso redor. O ruído, por sua vez, pode ser considerado como qualquer som indesejado ou que interfere negativamente na audição ou no bem-estar das pessoas (Everest; Pohlmann, 2015).

A frequência e a amplitude são características fundamentais do som que determinam, respectivamente, o tom (a percepção de grave ou agudo) e a intensidade ou volume do som. Estas propriedades físicas são cruciais para a concepção de sistemas de audionavegação e tecnologias assistivas, pois influenciam diretamente na maneira como o som é percebido e interpretado pelo ouvinte (Berger, 2022).

A distinção entre som e ruído é frequentemente subjetiva e dependente do contexto e da percepção individual. O ruído sonoro é compreendido como uma forma de som, tal como o som é uma onda mecânica que se propaga através de um meio físico, como o ar ou a água.

A principal distinção, contudo, reside no fato de que o ruído é caracterizado como som indesejado, perturbador ou espúrio. Em ambientes urbanos, a variação do ruído pode ser significativa, influenciando tanto na percepção quanto na compreensão da fala (Beranek, 2004; Cox; D'Antonio, 2016).

A percepção humana do ruído é um componente importante na interpretação dos sons, incluindo na interpretação da fala, podendo ser substancialmente prejudicada em contextos ruidosos, um fenômeno conhecido como mascaramento. Este ocorre quando sons de determinadas frequências obscurecem outros sons de frequências próximas, afetando negativamente a inteligibilidade da fala.

Assim, enquanto som, o ruído pode ser mensurado objetivamente em termos de sua amplitude e frequência (em decibéis e hertz, respectivamente), porém também em aspectos subjetivos, contextuais e multifacetados que vão além de simples

descrições acústicas, englobando desde incômodos sensoriais até impactos na saúde e bem-estar (Zhang, 2016; Berger, 2022).

Em ambientes controlados, a redução de ruídos arquitetônicos envolve a implementação de estratégias de design e materiais de construção que minimizem o impacto acústico adverso dentro dos ambientes construídos. Estas estratégias incluem a seleção de materiais que absorvam o som, o design cuidadoso da geometria dos espaços para evitar a propagação excessiva de som e a gestão de fontes de ruído para criar ambientes acústicos agradáveis e confortáveis para os ocupantes. Por exemplo, em salas de concerto, a reflexão sonora é intencionalmente utilizada para distribuir o som de maneira uniforme pelo espaço, utilizando superfícies de madeira e formas arquitetônicas específicas que refletem o som de maneira ideal, reduzindo ruídos e ampliando as reflexões instrumentais para enriquecer a experiência sonora do espectador (Beranek, 2004; Kuttruff, 2016; Cox, 2020).

A reverberação, definida como a continuação da onda sonora mesmo após a cessação da emissão da fonte devido à reflexão dos impulsos sonoros através das superfícies, é um aspecto importante da acústica arquitetônica que pode impactar significativamente na qualidade sonora dos ambientes. O tempo de reverberação, também conhecido como "RT60", é um parâmetro chave no projeto acústico que indica o tempo necessário em um ambiente para que o volume da reverberação decaia em 60 decibéis após a fonte sonora ter sido interrompida. O controle eficaz da reverberação garante a clareza do som e o conforto acústico dos ambientes, exigindo um planejamento cuidadoso e o uso de materiais que absorvam o som (Kuttruff, 2016)

Por outro lado, em ambientes urbanos, a presença acentuada de eco e reverberação excessiva pode diminuir a inteligibilidade do som, prejudicando a comunicação e a orientação espacial, além de causar desconforto acústico e impactos negativos à saúde auditiva. A gestão eficaz dos ruídos arquitetônicos, portanto, é importante para a criação de espaços urbanos habitáveis e confortáveis, que promovam a saúde e o bem-estar dos indivíduos (Schaefer, 1994; Kang, 2006).

As técnicas de cancelamento de ruído para ambientes abertos, por meio de tecnologias utilizadas em fones de ouvido e outros dispositivos de áudio, buscam reduzir o impacto de ruídos indesejados do ambiente, proporcionando uma experiência auditiva mais clara e concentrada ao usuário. A tecnologia opera por meio

de um conjunto de componentes eletrônicos que geram controles de ruídos ativos e dinâmicos, ou seja, se adaptam aos ruídos ambientes. Microfones embutidos nos dispositivos capturam os sons do ambiente e o sistema gera uma onda sonora "anti-ruído" que é precisamente invertida em relação ao ruído captado. Quando o ruído original e o anti-ruído se encontram, eles se cancelam mutuamente, diminuindo significativamente a percepção do ruído pelo usuário (Schroy, 1998; Kates, 1999; Song, 2022).

O processo de cancelamento de ruído é especialmente eficaz contra ruídos constantes e de baixa frequência, como zumbidos de motores ou o barulho do tráfego, melhorando a qualidade da escuta sem necessidade de aumentar o volume do dispositivo nestas situações. A eficácia do cancelamento de ruído varia conforme a frequência do som ambiente e o design do dispositivo, sendo uma área de intensa pesquisa e desenvolvimento para aprimorar a experiência auditiva em ambientes ruidosos (Schroy, 1998; Kates, 1999; Song, 2022).

### 3.2. RUÍDO AMBIENTAL URBANO

No objetivo de conhecer algumas características de ruídos urbanos, foi realizada uma coleta e compilação de dados em ambiente urbano, pois Schafer (2001) e Blesser; Salter (2007), ressaltando a importância de explorar a relação entre ruídos ambientais e a percepção auditiva, citam que torna-se essencial entender como o ruído interfere na percepção auditiva e na capacidade de processar informações sonoras, assim como Hersh; Johnson (2008), que destacam a importância de compreender os efeitos do ambiente acústico na percepção humana.

As mensurações de ruídos foram realizadas entre 17 e 21 de outubro de 2022, por meio de equipamentos adequados e calibrados para captação de ruídos ambientais, em cinco estações do Metrô de São Paulo: Ana Rosa, Jabaquara, Luz, Paraíso e Sé, escolhidas por tratarem-se de estações com maior circulação de passageiros, pois possuem interligações com outros modais de transportes urbanos.

Os dados obtidos foram compilados em médias por frequência de ruídos nem cada estação, posto que, caso se considerasse os máximos, alguns sons espúrios que não são ruídos do ambiente poderiam interferir nas medições. Os resultados das

freqüências de ruídos das cinco estações foram tabelados em escala de 1/3 de oitava de som, em decibéis, obtendo-se e os maiores volumes de ruído em cada faixa de freqüência. Estas faixas de ruídos estão mostradas na figura 80:

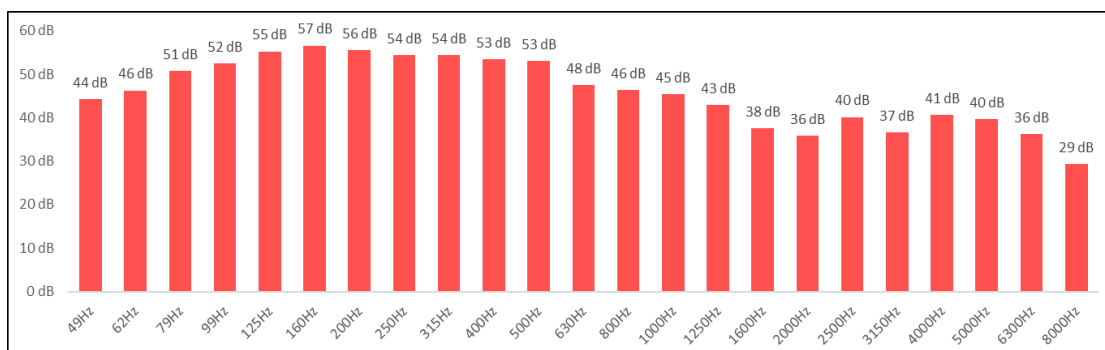


Figura 80 – gráfico as freqüências e intensidades de ruído nas estações (o autor, 2024)

Sobrepondo-se, numericamente, as faixas de freqüência sonora de ruído das estações ao gráfico representativo da capacidade de audição humana, obtém-se a figura 81.

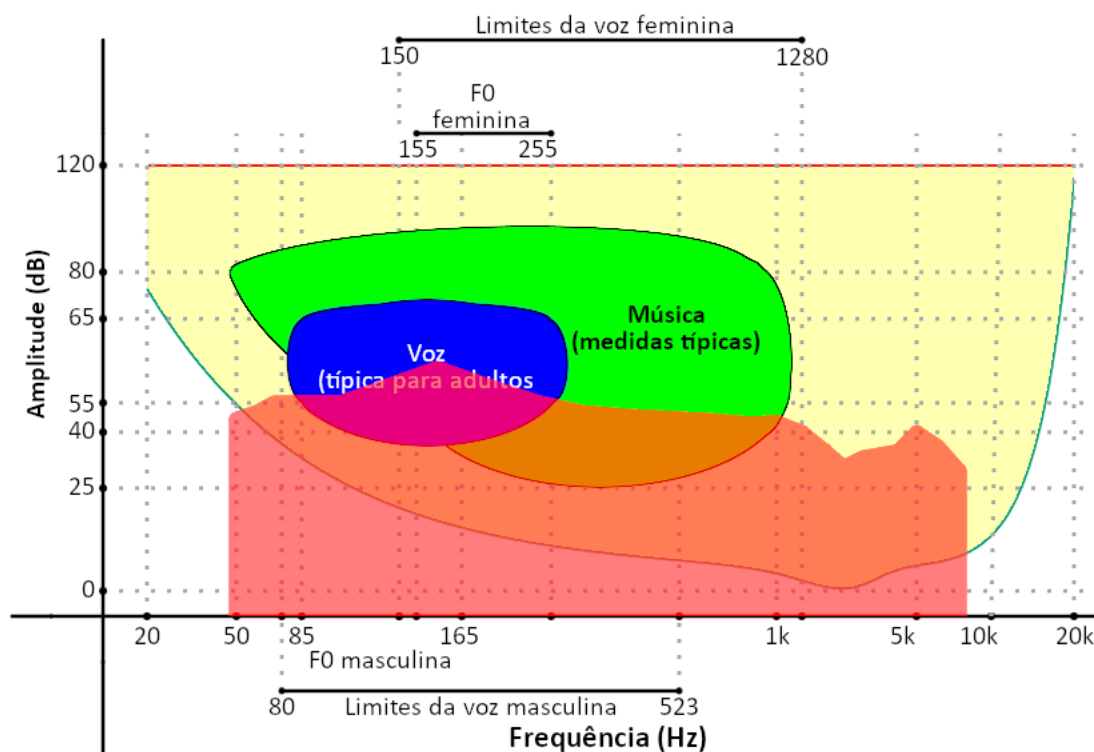


Figura 81 – sobreposição do ruído das estações no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024)

A figura 81 demonstra que ruído medido nas estações do Metrô influencia na capacidade de compreensão de fala e de sons, tratando-se, portanto, de importante conhecimento para ações de design de audionavegação, no objetivo de mitigar o ruído

ou readequar a voz e os índices sonoros para faixas de frequência e intensidade com menor probabilidade de interferência.

### 3.3. O RUÍDO SILENCIOSO

A questão do silêncio é um tema que pode ser abordado dentro do campo da psicologia do design, bem como da filosofia da percepção e da estética. A questão do silêncio e sua relação com o conceito de incômodo, demanda de uma análise dos conceitos de som, ruído e silêncio, bem como de sua interpretação contextual.

Primeiramente, é importante reconhecer que o som é uma onda mecânica que se propaga através de um meio (como o ar), capaz de ser percebida pelo sistema auditivo. O ruído, por sua vez, também é som, porém frequentemente definido como um som indesejável ou perturbador, cuja caracterização depende, em boa parte, do contexto e da subjetividade do ouvinte. Assim, o que é considerado música para um indivíduo pode ser considerado ruído por outro, dependendo de variáveis como preferência pessoal, estado emocional, contexto cultural e situação específica.

Aprofundando-se na análise do silêncio, este pode ser compreendido não apenas como a ausência de som, mas também como uma entidade ou estado com significado próprio. Do ponto de vista da psicologia do design, tanto o som quanto o silêncio são ferramentas poderosas que podem ser utilizadas para influenciar a percepção, a experiência e o comportamento do usuário. A manipulação do silêncio pode ser realizada de forma a destacar elementos visuais, criar tensão, promover reflexão, ou proporcionar um momento de calma e introspecção, assim como o silêncio pode ser empregado de maneira estratégica para criar atmosferas, influenciar estados emocionais e cognitivos, ou comunicar mensagens específicas. O silêncio pode, portanto, representar harmonia ou incômodo, dependendo de seu contexto e da intenção por trás de sua utilização.

Ao considerar o silêncio como um "ruído" no sentido filosófico, estamos expandindo a definição tradicional de ruído para abranger qualquer estímulo auditivo (ou a falta dele) que possa ser interpretado como perturbador ou indesejável em um determinado contexto. Neste sentido, a ausência de som pode ser tão impactante

quanto sua presença, provocando reações emocionais, cognitivas e comportamentais variadas.

Conclui-se, portanto, que tanto o som quanto o silêncio possuem qualidades intrínsecas que transcendem a simples presença ou ausência de ondas sonoras. Sua interpretação e valor são profundamente influenciados pelo contexto, pelas expectativas, pelas necessidades e pela subjetividade do indivíduo. Assim, a ausência de som pode, de fato, ser considerada tanto "ruído" quanto "harmonia", dependendo das circunstâncias e da interpretação do receptor, desafiando a compreensão tradicional desses conceitos e abrindo novas perspectivas para a aplicação na psicologia do design e áreas afins.

No design de audionavegação, o silêncio também tem seu significado próprio. Considerando que o usuário com deficiência visual está utilizando sons para se locomover pelos espaços, pode-se afirmar que boa parte da sua cognição ambiental está relacionada à confiabilidade da interface.

Considerando que nenhum aparelho é infalível, existe a possibilidade de o equipamento falhar durante o uso, ou seja, no momento em que o usuário com deficiência visual está utilizando. Dado ao fato de que a falha em aparelhos, especificamente eletrônicos, significam em boa parte das vezes, que se desligarão, a consequência é que a interface auditiva cessará de funcionar, tornando-se silenciosa.

No entanto, o silêncio da interface nem sempre significa sua falha: podem existir situações as quais simplesmente não há indicações sonoras a informar, portanto a interface permanecerá em silêncio. Esta ausência de vocalização ou sonorização da interface pode ser inserida no contexto do ruído do silêncio, posto que longos períodos de ausência de informação podem causar ansiedade no usuário com deficiência visual.

Desta forma, no objetivo de mitigar a ansiedade devido ao ruído silencioso, o design de audionavegação deve considerar mecanismos que forneçam evidências de funcionamento do equipamento. O uso de som contínuo, ou de índices sonoros intermitentes, como por exemplo beeps, ainda que ofereçam relativa eficiência na informação de funcionamento, podem se tornar ruídos, no contexto do incômodo, ao longo do tempo de funcionamento. Silva Filho (2017) pesquisou o funcionamento do uso de mensagem vocal, disponibilizada ao usuário em certos intervalos de tempo,

como evidência de continuidade do funcionamento da interface, o que pode se um indicativo de eficiência na mitigação do ruído silencioso.

Mesmo que o ruído seja geralmente definido como qualquer som indesejado ou perturbador para o ouvido, quando expandido para a comunicação sonora o ruído é percebido como sinônimo de qualquer som que interfira na comunicação entre as pessoas ou em suas atividades. Este conceito de interrelação entre ruído e perturbação depende de diversos fatores, desde desconforto físico, desconforto psicológico e até mesmo situações culturais e de opinião pessoal, fazendo com que ocorram situações intrigantes, como por exemplo, a mesma música percebida como agradável em um momento pode ser percebida como ruído em outro momento pela mesma pessoa, mudando-se somente o contexto e o momento, ilustrando como o contexto e a subjetividade desempenham papéis fundamentais na percepção do ruído.

### 3.4. VOZES EM INTERFACES

A voz humana é descrita como um instrumento complexo e altamente adaptável que transmite informações linguísticas, emoções e nuances sociais. Zhang (2016) discute como inflexões, hesitações e variações de tom são características intrínsecas da fala humana, refletindo estados emocionais, intenções comunicativas e características pessoais. Este ponto é complementado por Simonyan; Ackermann et al. (2016), que ressaltam a capacidade da voz humana em comunicar diferentes emoções através de variações na tonalidade, ritmo, volume e qualidade. De Koning (2023) adiciona que a voz humana é única, refletindo a idade, sexo, saúde vocal, sotaque e estilo pessoal do locutor, uma diversidade que Hays (Hays, 2016) também enfatiza como fundamental, destacando a combinação de fatores biológicos, sociais e ambientais na definição da voz humana.

- **Características da Voz Humana Gravada:**
  - **Complexidade e Adaptabilidade:** A voz humana é um instrumento complexo capaz de transmitir uma ampla gama de informações, incluindo nuances linguísticas, emocionais e sociais. Esta complexidade permite uma expressão rica e variada,



tornando-a uma ferramenta poderosa de comunicação (Zhang, 2016; Simonyan; Ackermann; *et al.*, 2016).

- **Unicidade:** Cada voz humana é única, refletindo características pessoais como idade, sexo, saúde vocal, sotaque e estilo pessoal de fala. Esta diversidade é importante na definição da identidade vocal de cada indivíduo (Hays, 2016; De Koning, 2023).
- **Capacidade de Expressar Emoções:** A voz humana pode comunicar uma variedade de emoções por meio de inflexões, hesitações, variações de tom, ritmo, volume e qualidade (Zhang, 2016; Simonyan; Ackermann; *et al.*, 2016).

A voz gravada não apenas facilita a comunicação e a disseminação de informações, mas também desempenha um papel importante na promoção da inclusão e acessibilidade.

Por outro lado, a voz sintetizada oferece recursos não disponíveis no uso de voz sintetizada. A voz sintetizada é um conjunto de tecnologias que permitem a geração artificial de fala humana por meio de sistemas computacionais. Utilizando algoritmos e técnicas de processamento digital, essa tecnologia converte texto em fala (TTS - Text to Speech) ou utiliza modelos de síntese baseados em amostras de voz para criar falas que se assemelham à voz humana. A voz sintetizada é caracterizada por sua flexibilidade e adaptabilidade, permitindo ajustes em velocidade, tom, estilo de fala e até mesmo idioma ou sotaque, conforme as necessidades dos usuários (Arnott; Gray; Renals, 2013; Makishima; Suzuki; *et al.*, 2022; Noufi; May; Berger, 2022).

Um dos principais avanços da voz sintetizada é a sua capacidade de replicação e distribuição em larga escala, tornando-a uma ferramenta valiosa para diversas aplicações, desde assistentes virtuais e sistemas de resposta automática até aplicações de acessibilidade para pessoas com deficiência. A tecnologia de voz sintetizada representa um marco na interação entre humanos e máquinas, oferecendo uma interface mais natural e intuitiva para a comunicação e realização de tarefas (Lopes; De Marchi, 2015; Lewis, 2021).

A voz sintetizada não apenas facilita o acesso à informação e a interação com dispositivos tecnológicos, mas também promove a inclusão, ao tornar a tecnologia

mais acessível para pessoas com limitações visuais ou de leitura. Ao longo do tempo, os avanços nesta área têm levado à melhoria significativa na qualidade e naturalidade da fala sintetizada, aproximando-a cada vez mais da complexidade e expressividade da voz humana (Machado; Medeiros, 2019).

- **Características da Voz Sintetizada:**

- **Tecnologia de Geração:** A voz sintetizada é gerada por algoritmos e sistemas computacionais capazes de converter conteúdo linguístico em informações fonéticas e linguísticas, criando uma sequência de ondas sonoras que se assemelham à fala humana (Dale, 2022).
- **Consistência e Flexibilidade:** Diferentemente da voz humana, a voz sintetizada pode ser ajustada em termos de velocidade, tom, e até mesmo emulação de diferentes estilos de fala (Arnott; Gray; Renals, 2013; Makishima; Suzuki; *et al.*, 2022).
- **Replicabilidade e Distribuição:** A voz sintetizada pode ser facilmente replicada e distribuída, tornando-a uma opção viável para aplicações em larga escala, como sistemas de resposta automática, navegação, e assistentes virtuais (Noufi; May; Berger, 2022).
- **Adaptabilidade:** Esta tecnologia pode ser ajustada para diferentes idiomas, sotaques, e velocidades de fala conforme as necessidades do usuário, oferecendo ainda uma variedade de tipos de vozes disponíveis (Lewis, 2021).
- **Escalabilidade e Acessibilidade:** Uma vez desenvolvida, a tecnologia de voz sintetizada pode ser acessada e expandida sem os custos e tempo adicionais necessários para cada gravação de vozes e frases, tornando a tecnologia mais acessível e viável para uma ampla gama de aplicações (Lewis, 2021). Estas características destacam a importância da voz sintetizada na criação de interfaces de comunicação mais eficientes, acessíveis e adaptáveis, atendendo às necessidades variadas de usuários em diferentes contextos e aplicações.

No entanto, por se tratarem de tecnologias de sintetização, as tecnologias de voz digital possuem características limitantes, que podem incluir:

- **Incapacidade de Replicar Plenamente as Emoções e Nuances Humanas:** A voz sintetizada enfrenta dificuldades significativas em incorporar a gama completa e as sutilezas das expressões e emoções humanas, um desafio tecnológico extremamente complexo (Yoshimura; Tokuda; *et al.*, 1999; Oord; Dieleman; *et al.*, 2016; Wang; Skerry-ryan; *et al.*, 2017)
- **Complexidade da Composição Vocal Humana:** A voz humana reflete um amplo espectro de emoções, muitas vezes relacionadas a contextos e experiências pessoais, conferindo uma riqueza emocional que as vozes sintetizadas ainda lutam para alcançar (Ciccarelli, 2023).

### 3.5. TIPOS DE VOZ SINTETIZADA

A evolução da síntese de voz demonstra uma progressão notável desde suas origens mecânicas até as modernas implementações digitais, impulsionada por avanços em diversas disciplinas. Aqui está um resumo dessa evolução:

- **Origens Mecânicas:** A síntese de voz começou com experimentos mecânicos, exemplificados pela "The Speaking Machine" de Wolfgang von Kempelen em 1769, que produzia sons semelhantes à voz humana por meio de um complexo sistema de bolsas de ar, tubos e uma língua artificial. Este dispositivo destacou o entendimento inicial da mecânica da fala humana e pavimentou o caminho para futuras pesquisas na área (Dudley; Tarnóczy, 1950).
- **Primeiros Dispositivos Eletrônicos:** A primeira tentativa comercial de uso de voz sintetizada foi demonstrada na Feira Mundial de Nova York, EUA, em 1939, com o "VODER" (voice operating demonstrator). Este dispositivo, embora limitado, representou um marco significativo na transição para a eletrônica analógica na síntese de voz (Cardoso, 2017).
- **Avanço para a Eletrônica Digital:** Com o advento dos computadores digitais modernos, a voz sintetizada tornou-se uma tecnologia funcional, capaz de converter textos digitados diretamente para a voz sintetizada,

oferecendo uma forma audível de ler informações digitais. Este desenvolvimento marcou um divisor de águas, permitindo a criação de voz sintetizada mais natural e inteligível (Taylor, 2009).

- **Interdisciplinaridade e IA:** A produção de voz sintetizada digital tornou-se um campo interdisciplinar, abrangendo ciência da computação, linguística computacional, processamento de sinal, fonética, inteligência artificial e mais. A aplicação de IA e aprendizado de máquina, especialmente através de redes neurais profundas, trouxe avanços significativos na qualidade e naturalidade da voz sintetizada, permitindo interpretações mais precisas e humanizadas (Barenkamp; Rebstadt; Thomas, 2020; Obianyó; Udeala; Alaneme, 2023).

As atuais tecnologias de voz sintetizada, desde o advento da eletrônica digital, ainda estão em uso. As mais antigas, de método formante, ainda possuem vasto uso em aparelhos eletrônicos com recursos limitados.

## 1. Método Formante

Este método foca na replicação das propriedades acústicas dos formantes do trato vocal humano, o que o torna conhecido como síntese de voz formante. A síntese formante simula o trato vocal humano através de uma série de filtros em cascata, com uma estrutura paralela usada principalmente para a síntese de consoantes. A configuração automática das amplitudes formantes é uma vantagem significativa deste sintetizador, embora possa haver dificuldades em corresponder detalhadamente os espectros naturais e sintetizados devido ao modelo simplificado (Holmes, 1983; Carlson; Fant; *et al.*, 1989; Lin; Fant, 1990; Fant; Kruckenberg; Nord, 1991; Fant, 1991; Fant, 1992).

- **Vantagens:** simula o trato vocal humano através de filtros eletrônicos simples, oferecendo um modelo acessível para a síntese de consoantes. A configuração automática das amplitudes formantes é uma vantagem significativa deste sintetizador (Carlson; Fant; *et al.*, 1989; Fant; Kruckenberg; Nord, 1991).

- **Desvantagens:** pode ser difícil corresponder detalhadamente aos espectros naturais e sintetizados devido ao modelo simplificado. Além disso, a voz sintetizada resultante frequentemente tem um timbre mecanomórfico, podendo ser incompreensível para algumas pessoas (Yea; Childers, 1982).

## 2. Método Concatenativo

Este método é mais recente do que o formante e consiste em sintetizar som pela junção de amostras curtas de som gravado. A técnica envolve a detecção de partes periódicas do som, identificando-as com marcas de altura de tom ou "pitch marks", que são essenciais para modificar a duração e o tom do som sintetizado. A manipulação dessas marcas ajusta a intensidade durante a concatenação dos fonemas. A síntese concatenativa enfrenta desafios relacionados à coarticulação e escala, sendo necessária a segmentação cuidadosa de unidades de fala como dífonos ou trífonos para superar esses problemas (Hunt; Black, 1996; Rabiner; Schafer, 2007).

- **Vantagens:** capaz de produzir fala relativamente natural, embora limitada pela qualidade e variedade de tipos de vozes possíveis. Utiliza amostras curtas de som gravado para gerar padrões de som definidos pelo designer, permitindo uma alta naturalidade sonora e superando desafios de coarticulação e escala por meio da segmentação cuidadosa de unidades de fala (Hunt; Black, 1996; Rabiner; Schafer, 2007; Bäckström; Räsänen; *et al.*, 2022).
- **Desvantagens:** a qualidade sonora e a naturalidade da voz podem ser limitadas pela seleção de unidades de som e pelo processo de concatenação, por isso a voz mecanomórfica ainda não foi completamente eliminada, e sua identificação pelo usuário pode influenciar negativamente a percepção de risco em situações de tomada de decisão (Tamura; Kuriki; Nakano, 2015; Chua; Liaw; *et al.*, 2024)(Tamura *et al.*, 2015; Chua *et al.*, 2024).

### 3. Inteligência Artificial por Rede Neural

Com o avanço da programação computacional em direção ao modelo de redes neurais, houve um desenvolvimento significativo na criação de respostas mais precisas e com nuances mais humanizadas. Este método utiliza algoritmos de inteligência artificial para interpretar padrões complexos e gerar síntese de voz com características mais próximas da fala humana, resultando em uma melhoria qualitativa na habilidade de criar vozes sintetizadas mais naturais (Barenkamp; Rebstadt; Thomas, 2020; Obianyó; Udeala; Alaneme, 2023).

Cada um desses métodos contribui para a diversidade e riqueza da síntese de voz, oferecendo diferentes possibilidades para aplicações que vão desde assistentes virtuais até sistemas de navegação e dispositivos de acessibilidade.

- **Vantagens:** a aplicação de IA e aprendizado de máquina, especialmente por meio de redes neurais profundas, trouxe avanços significativos na qualidade e naturalidade da voz sintetizada, permitindo interpretações mais precisas e humanizadas. Este avanço facilitou a interação entre seres humanos e máquinas, além de contribuir significativamente para o desenvolvimento da ciência de dados e da inteligência artificial (Barenkamp; Rebstadt; Thomas, 2020; Obianyó; Udeala; Alaneme, 2023).
- **Desvantagens:** considerando-se que o processo de inteligência artificial está mais relacionado ao conteúdo dito do que na qualidade da fala, pode-se inferir que desafios relacionados à inteligibilidade gerada eletronicamente, especialmente em situações complexas, são relevantemente custosas para a inteligência artificial, podendo ser particularmente desafiadores para sistemas baseados em IA, que devem aprender a interpretar e reproduzir nuances humanas complexas (Na; Joo; *et al.*, 2022; Baese-berk; Levi; Engen, 2023).

Em conclusão, a integração da voz humana gravada e da voz sintetizada em interfaces modernas destaca a sinergia entre a riqueza emocional inerente à voz humana e a flexibilidade tecnológica da voz sintetizada. Enquanto a voz humana

fortalece conexões pessoais e promove a inclusão, a voz sintetizada amplia as possibilidades de interação e acessibilidade em um espectro digital crescente. Juntas, essas vozes compõem a tessitura de uma comunicação mais inclusiva, eficiente e adaptável, refletindo o avanço contínuo em direção a interfaces mais humanizadas e tecnologicamente avançadas.

### 3.6. ÍNDICES AUDITIVOS

A transposição dos conceitos de design de sinalização e *wayfinding design* para o design de audionavegação passa pelos conceitos visuais da sinalização, dentre eles, os ícones visuais.

De acordo com Norman (2013), a importância de interfaces intuitivas e claras fundamenta-se em quatro pilares essenciais do design centrado no usuário: significadores, *feedback*, prevenção de erros e recuperação e design centrado no humano. No âmbito do som do som, estes pilares sublinham a necessidade de sistemas de alerta e notificações sonoras que sejam imediatamente compreensíveis e úteis para o usuário, enfatizando a importância de uma comunicação eficaz que minimize erros e maximize a eficiência da interação.

Explorando a comunicação icônica e simbólica, Taylor (2009) evidencia como símbolos e imagens podem transmitir informações de maneira rápida e efetiva. A comunicação icônica, ao aproveitar a capacidade humana de interpretar visualmente sinais, e a comunicação simbólica, que estabelece significados por convenção, são abordagens complementares no design de interfaces. Adicionalmente, Noth (1998) introduz a importância dos índices, que se diferenciam dos ícones e símbolos por sua relação de contiguidade, servindo como uma poderosa ferramenta de comunicação em interfaces sonoras.

No conceito prático, Gaver (1986) cunha o termo "earcons" para descrever índices auditivos em interfaces eletrônicas, comparando sua funcionalidade com a dos ícones visuais. Enquanto Gaver (1986) cita que os earcons são projetados para comunicar informações específicas por meio do som, sem a necessidade de uma explicação verbal ou textual, Chen; Huang (2021) destacam a importância dos sons de

notificação na percepção humana, argumentando que estes podem ativar sensações sinestésicas e ser explorados de forma provocativa no design de produtos digitais.

Walker (2005) e Garzonis *et al.* (2009) examinam a eficácia dos sons compostos em comparação com alertas simples, concluindo que os sons compostos são preferidos pelos usuários devido à sua maior intuitividade e capacidade de memorização, semelhantemente a Owczarzak (2019), que argumenta que a associação metafórica com sons compostos apresenta vantagens sobre o uso de sons simples, reduzindo a necessidade de treinamento dos usuários.

Sobre aspectos psicoacústicos e conforto sonoro dos índices auditivos, Edworthy; Hellier (2006), Parmentier (2013) e Bouvier; Susini *et al.* (2023) discutem como características específicas dos sons, como a modulação de amplitude, podem aumentar a percepção do som e, conseqüentemente, de urgência de ação, enquanto Zwicker; Fastl (1999), e Guski; Felscher-Suhr; Schuemer (1999) abordam a percepção das características físicas do som em ambientes ruidosos e destacam a importância da seleção cuidadosa de faixas de frequência para evitar a poluição sonora.

Este detalhamento ilustra a complexidade dos índices auditivos em diversos contextos, desde a teoria e conceituação até a aplicação prática e avaliação da eficácia, reforçando a complexidade e a riqueza dos índices auditivos e seu uso no design de interfaces auditivas.

A busca por promover a inclusão social e aprimorar a qualidade de vida das pessoas com deficiência visual tem sido central nos estudos e desenvolvimentos da mobilidade autônoma, com foco na voz sintetizada como um meio fundamental de orientação. A disponibilização de soluções inovadoras e tecnologias de apoio tem como objetivo superar os obstáculos enfrentados por este grupo em diferentes ambientes, garantindo-lhes independência e autonomia em seus deslocamentos (Esteves, 2019).

Para alcançar a autonomia e independência desejadas, a mobilidade autônoma se vale de diversas ferramentas e tecnologias, com a audionavegação como protagonista. Sistemas de navegação e orientação, dispositivos móveis, comunicação por voz e sensores desempenham papéis essenciais neste contexto (Silva; Freitas; Araújo, 2019). Essas tecnologias permitem a identificação de obstáculos, fornecem



informações precisas de rota e direção, garantindo um movimento seguro e confiante para pessoas com deficiência visual.

O cerne da mobilidade autônoma reside nos sistemas de localização e mapeamento, que são integrados à audionavegação. A utilização de ferramentas como GPS e mapeamento digital possibilita a coleta precisa de informações sobre a localização do indivíduo e a elaboração de trajetos adequados (Esteves, 2019). Esses sistemas desempenham um papel importante ao garantir viagens seguras e orientadas, aumentando a autonomia das pessoas com deficiência visual.

As interfaces táteis e auditivas, quando integradas ao contexto da audionavegação, também contribuem substancialmente para a mobilidade dos deficientes visuais. Essas interfaces fornecem *feedback* físico e auditivo, permitindo que eles naveguem em seus arredores, reconheçam barreiras e se desloquem nas direções apropriadas (Silva; Freitas; Araújo, 2019).

O quadro 13 destaca a diversidade de *feedback* tátil e auditivo que podem ser disponibilizados em equipamentos de audionavegação, de modo a oferecer informações de orientação e mobilidade de pessoas com deficiência visual.

Tipo de <i>feedback</i>	Descrição
Vibrações suaves	Dispositivos de audionavegação podem emitir vibrações suaves para indicar direções ou ações, como uma vibração curta para virar à direita. Isso permite ao usuário sentir as instruções.
Sons de ambiente	Alguns sistemas incorporam sons ambientais para fornecer informações adicionais, como o som de um rio próximo ou uma rua movimentada, “ilustrando” a orientação espacial.
Instruções de voz	A voz sintetizada fornece instruções claras e específicas, orientando o usuário em tempo real. As instruções de voz são fundamentais para a audionavegação eficaz, indicando direções e pontos de referência.
<i>Feedback</i> textual	Em dispositivos com interfaces de tela, o <i>feedback</i> textual pode ser oferecido por meio de leitores de tela que convertem informações visuais em texto auditivo para o usuário.
Comandos de voz	Alguns sistemas permitem que o usuário dê comandos de voz para interagir com o dispositivo, como solicitar informações sobre o entorno ou planejar rotas alternativas.
<i>Feedback</i> háptico	Além de vibrações, dispositivos podem oferecer <i>feedback</i> tátil mais elaborado, como toques ou padrões de vibração específicos para alertar sobre obstáculos iminentes.
Indicadores de direção	Dispositivos podem indicar a direção a ser seguida usando uma série de sons ou vibrações, como um som contínuo para seguir em frente e vibrações alternadas para virar à esquerda.
<i>Feedback</i> de proximidade	Este tipo de <i>feedback</i> alerta o usuário sobre a proximidade de obstáculos, como paredes ou veículos, garantindo uma navegação segura.
Informações contextuais	Em alguns dispositivos, são fornecidas informações contextuais, como descrições de pontos de interesse nas proximidades, enriquecendo a experiência do usuário.

Quadro 13 – tipos de *feedback* tátil e auditivo em dispositivos de audionavegação – o autor (2023) com base em Esteves (2019) e Silva; Freitas; Araújo (Silva; Freitas; Araújo, 2019)

A integração da audionavegação com o design inclusivo e a acessibilidade arquitetônica também desempenha um papel importante na mobilidade autônoma para pessoas com deficiência visual (Esteves, 2019). A navegação independente e segura é possibilitada por recursos como sinalização tátil, rampas de acesso, rotas acessíveis e estruturas arquitetônicas adequadamente projetadas (Silva; Freitas; Araújo, 2019).

Ainda que o uso de sons para orientação de pessoas com deficiência visual seja realizado por meio de inovações nos campos da engenharia eletrônica, da engenharia mecânica, da tecnologia da informação (TI), internet das coisas (IoT) e até mesmo robótica, no objetivo de fornecer ferramentas de acessibilidade para incrementar a autonomia, observa-se que os trabalhos predominantes de pesquisa e desenvolvimento no campo da interação humano-computador para pessoas com deficiência visual tratam design de interação humano-computador, especificamente para o design de interfaces auditivas para pessoas com deficiência visual, em sua maioria, estão restritos à descrição das imagens mostradas na tela de computadores e *smartphones*, ou a formatos de descrição de objetos e situações por meio do uso da câmera do celular, seja utilizando-se de voluntários para auxiliar nestes reconhecimentos, seja pela utilização de tecnologias de inteligência artificial.

A maioria das interfaces para informações para navegação pelos ambientes estão legadas a equipamentos e aplicativos para *smartphone*, que se utilizam dos sistemas de geolocalização (GPS) para navegação ambiental, incorporando preceitos multidisciplinares da TI, da IoT, do design de sinalização e do *wayfinding design*, no objetivo de formar caminhos dinâmicos, por meio de mapas digitais, sinalizando informações de localização e de caminhos por áreas urbanas. Este modelo de navegação, que utiliza interfaces visuais e auditivos, demonstra-se indubitavelmente eficiente para pessoas videntes, o amplo uso de *smartphones* para orientação na mobilidade de veículos corrobora o sucesso destes equipamentos.

No entanto, somente as sinalizações vocais disponíveis nos aplicativos de navegação ambiental não abrangem toda a informação necessária para uma navegação completa: diversas vezes se faz necessário que o usuário consulte visualmente o mapa na tela do *smartphone*, ou confirme a informação observando o ambiente. Ao se buscar utilizar aplicativos de *smartphones* ou de equipamentos com

interfaces sonoras para serem utilizados na orientação na mobilidade urbana de pessoas com deficiência visual, ou seja, que demandam de orientação exclusivamente pelas interfaces sonoras, percebe-se tratarem-se de esforços com intenções louváveis, porém metodologicamente limitados: ao utilizarem-se de iniciativas preliminares, abordagem empíricas específicas ou até mesmo de preceitos tradicionais do design de sinalização e do *wayfinding design*, limitam a abrangência da informação navegacional proporcionada pela interface sonora, pois o sentido da visão se mantém como o principal meio de informação, sem a qual a orientação provinda dos aplicativos pode se tornar dificultosa ou impossível.

A audionavegação, ou seja, orientar-se em ambientes por meio de instruções auditivas, tem o potencial de responder essa necessidade, contribuindo para uma utilização urbana mais equitativa e eficaz.

Embora a audionavegação seja um conceito mais abrangente do que a simples emissão de voz, a relevância do componente do som na audionavegação é preeminente, particularmente quando consideramos a natureza descritiva das informações necessárias para orientar o usuário com deficiência visual durante sua mobilidade em espaços urbanos.

### 3.7. SINALIZAÇÃO E DESIGN

O design de sinalização e o *wayfinding design* constituem elementos fundamentais na configuração de espaços públicos e privados, possibilitando ferramentas que promovem melhorias a orientação, na navegação e a experiência geral dos usuários. Esses sistemas de design não apenas facilitam a movimentação eficiente dentro de ambientes complexos, mas também contribuem para a segurança, o conforto e a acessibilidade. Por meio de uma abordagem multidisciplinar, que integra conhecimentos da psicologia, da arquitetura, do design gráfico e da tecnologia da informação, os profissionais buscam criar soluções que atendam às necessidades variadas dos usuários, promovendo uma interação intuitiva e satisfatória com o espaço.

A complexidade do *wayfinding design* reside na sua capacidade de sintetizar informações essenciais de forma clara, direta e acessível, garantindo que pessoas de

diferentes origens, habilidades e necessidades possam se orientar e navegar sem dificuldades. Isso envolve não apenas a seleção cuidadosa de símbolos, cores e tipografias, mas também a consideração estratégica da localização das sinalizações e do fluxo de movimento dentro do espaço. Além disso, o design inclusivo emerge como um princípio fundamental, assegurando que o sistema de *wayfinding* seja acessível a todos, incluindo pessoas com deficiências visuais, auditivas, motoras ou cognitivas.

No design de sinalização e *wayfinding* abordam-se temas como a percepção sensorial, a clareza e distinção das informações, a consistência e reconhecibilidade dos elementos de design, a importância do foco no usuário, a hierarquia de informação, a redução de ambiguidade, a adaptação ao contexto, a integração e contextualização no ambiente, a facilitação da navegação, e a atualização e flexibilidade dos sistemas. Por meio da análise de teorias, se oferece uma visão abrangente dos desafios e soluções no campo do design de *wayfinding*, destacando a importância de uma abordagem holística e centrada no usuário para criar ambientes mais acolhedores, seguros e navegáveis.

**1. Percepção Sensorial como Fundamento:** Norman (2013) enfatiza a importância de considerar a percepção sensorial no design de objetos e sistemas, argumentando que um design eficaz deve levar em conta como os usuários percebem e interagem com o ambiente ao seu redor. Isso é particularmente relevante para o design de *wayfinding*, onde a facilidade de navegação e a clareza das informações são fundamentais, enquanto Brock (2013) discute o desenvolvimento de mapas interativos para pessoas com deficiência visual, destacando a necessidade de designs que sejam acessíveis e levem em conta diferentes tipos de percepção sensorial. Esta pesquisa sublinha a importância da inclusão e da usabilidade no design de sistemas de *wayfinding*.

**2. Clareza e Distinção:** Tufte (1997) aborda a importância da clareza e distinção na apresentação de dados, um princípio diretamente aplicável ao design de sinalização. A capacidade de transmitir informações de forma clara e distintiva é essencial para evitar confusão e facilitar a navegação. Berger (2009) e Gibson (2014) discutem a criação de sistemas de navegação gráfica que garantam a clareza para incrementar a usabilidade. Gibson (2014), especificamente, detalha

estratégias para projetar sistemas de *wayfinding* em espaços públicos que sejam intuitivos e facilmente compreensíveis, como placas de sinalização de trânsito com ícones simples e texto legível.

- 3. Consistência e Reconhecibilidade:** Nielsen (1999) e Norman (2013) discutem a importância da consistência e reconhecibilidade para a experiência do usuário, princípios essenciais no design de *wayfinding*. A consistência nas diretrizes de design ajuda os usuários a reconhecer padrões e orientar-se mais facilmente, enquanto Passini; Proulx (1988) exploram a aplicação de considerações universais no *wayfinding design*, com um foco especial na arquitetura e na criação de ambientes compreensíveis e navegáveis. Eles destacam a importância de criar um sistema de sinalização que seja facilmente reconhecível e consistente em todo o ambiente.
- 4. Design inclusivo:** Mace; Hardie *et al.* (1991) enfatizam a importância de criar designs acessíveis a todas as pessoas, independentemente de suas habilidades, argumentando que os princípios de design inclusivo são importantes para garantir que os sistemas de *wayfinding* sejam acessíveis e utilizáveis por um amplo espectro de usuários. Com outro foco no mesmo conceito, Merino (2014) propõe métodos de aplicação do design com ênfase na inclusão, reforçando a necessidade de considerar as diversas necessidades dos usuários ao projetar sistemas de *wayfinding*. Enquanto Brock (2013) foca no desenvolvimento de mapas interativos para pessoas com deficiência visual, destacando a importância da usabilidade e cognição espacial, Bernardi; Kowaltowski (2018) exploram como o design universal pode ser integrado no processo de projeto arquitetônico para promover acessibilidade, destacando a importância de criar espaços acessíveis que considerem as necessidades diversas dos usuários.
- 5. Foco no usuário:** Merino (2014) e Cooper (2004) destacam a importância de colocar o usuário no centro do processo de design, compreendendo suas necessidades e comportamentos para criar sistemas eficazes e satisfatórios. Este enfoque no usuário garante que o design de *wayfinding* responda efetivamente às demandas e expectativas dos usuários, promovendo uma experiência de navegação mais intuitiva e agradável.

- 6. Hierarquia de Informação:** Wurman (1997) discute como organizar informações de forma hierárquica para facilitar a compreensão e o processamento pelo usuário, enquanto Gibson (2014) detalha estratégias para projetar sistemas de *wayfinding* em espaços públicos que sejam intuitivos e de fácil compreensão, enfatizando a importância de estabelecer uma hierarquia clara de informações.
- 7. Redução de Ambiguidade:** Miller (1956) fornece insights sobre como reduzir a ambiguidade por meio da limitação da quantidade de informações apresentadas. Este princípio é relevante para o design de sinalização, sugerindo que a eficácia da comunicação pode ser maximizada ao limitar a informação a uma faixa manejável.
- 8. Adaptação ao Contexto:** Lynch (1960) e Passini; Proulx (1988) exploram a percepção humana e conceitos de organização espacial, assim como estes conceitos influenciam a capacidade de navegação dentro de ambientes, enfatizando a importância de adaptar a sinalização ao contexto ambiental e cultural.
- 9. Integração e Contextualização:** Gehl (2010) discute como o design urbano e arquitetônico pode ser orientado para promover uma maior integração entre o espaço e seus usuários. Este princípio se estende ao design de sinalização, assegurando que não apenas oriente eficazmente, mas também se harmonize com o ambiente em que está inserido, enriquecendo a experiência do usuário.
- 10. Facilitação da Navegação:** Passini; Proulx (1988) fornecem extensas discussões sobre como projetar ambientes que facilitam a navegação, destacando a importância de um sistema de sinalização que guie os usuários de maneira intuitiva através de espaços complexos.
- 11. Atualização e Flexibilidade:** Moggridge (2006) e Rogers; Sharp; Preece (2013) exploram o design de sistemas interativos e a necessidade de adaptabilidade e flexibilidade em design. Este princípio é relevante para o design de sinalização, pois as informações podem precisar ser atualizadas ou modificadas em resposta a mudanças no ambiente ou nas necessidades dos usuários.

Cada um desses tópicos reflete a complexidade e a multidisciplinaridade envolvidas no design de *wayfinding*, sublinhando a necessidade de uma abordagem holística que considere aspectos estéticos, funcionais, psicológicos e tecnológicos. A

inclusão de referências bibliográficas específicas oferece um fundamento teórico robusto para os conceitos discutidos, demonstrando a importância de basear o design de *wayfinding* em pesquisas e teorias estabelecidas.

## 4. DISCUSSÃO

Ao discutir as diferenças entre voz sintetizada e voz humana gravada, Lewis (2021) cita indiretamente questões relacionadas a custos, mencionando que a tecnologia de voz sintetizada, uma vez desenvolvida, pode ser replicada e distribuída sem os custos e tempo adicionais necessários para cada gravação de vozes e frases. Esta observação sugere que uma das desvantagens potenciais do uso de voz humana gravada em certos designs pode ser o maior custo e tempo necessários para produzir gravações autênticas, especialmente quando são necessárias múltiplas gravações para diferentes contextos ou aplicações.

A voz sintetizada oferece maior flexibilidade e eficiência em termos de replicação e distribuição, tornando-a uma opção mais viável para aplicações em larga escala, como sistemas de resposta automática, navegação e assistentes virtuais. Esta capacidade de ajuste em termos de velocidade, tom e emulação de diferentes estilos de fala, sem a necessidade de novas gravações, destaca-se como uma vantagem significativa da voz sintetizada em relação à voz humana gravada, especialmente em contextos que exigem adaptabilidade e escalabilidade.

Conclui-se, por meio da análise das limitações de cada tipo de voz, seja voz humana gravada ou voz sintetizada por método formante, concatenativo ou inteligência artificial, destacam-se importantes distinções entre a voz humana gravada e a voz sintetizada. Enquanto a voz humana gravada pode capturar e transmitir com fidelidade as inflexões, hesitações, variações sutis de tom e a complexidade emocional inerente à fala humana (Hays, 2016; De Koning, 2023), a voz sintetizada, apesar de suas vantagens em termos de flexibilidade, replicabilidade e adaptabilidade (Arnott; Gray; Renals, 2013; Lewis, 2021), ainda enfrenta desafios significativos em replicar essas qualidades humanas complexas e nuances emocionais com a mesma profundidade e autenticidade.

A integração da voz humana e da voz sintetizada em interfaces tem sido um campo de exploração vasto e multifacetado, refletindo uma evolução contínua nas maneiras pelas quais interagimos com a tecnologia.

A voz humana, com sua capacidade intrínseca de transmitir informações complexas, emoções e nuances sociais, permanece insuperável em sua habilidade de



estabelecer conexões pessoais profundas, seja na publicidade, educação ou acessibilidade.

No entanto, a voz sintetizada, impulsionada por avanços significativos em inteligência artificial e processamento digital, oferece um leque de possibilidades anteriormente inimagináveis, desde a escalabilidade e adaptabilidade até a inclusão de pessoas com deficiências visuais em um mundo cada vez mais digital.

Esta dualidade não apresenta uma escolha exclusiva entre um ou outro, mas sim destaca a complementaridade entre a autenticidade da voz humana e a inovação da voz sintetizada. O desafio e, simultaneamente, a oportunidade residem em harmonizar estas duas vertentes para criar interfaces que não apenas facilitem, mas enriqueçam a comunicação humana, promovendo uma inclusão mais ampla e uma experiência de usuário mais intuitiva e natural.

#### 4.1. TIPOS DE VOZ

Com base nas características dos tipos de voz existentes em tecnologias de disponibilização de voz em interfaces, é fundamental reconhecer a audição como um canal primordial para a disponibilização de informações detalhadas em interfaces de audionavegação, principalmente para pessoas com deficiência visual, onde a audição não apenas suplementa, mas frequentemente substitui as funções visuais. Um exemplo notável é a implementação do recurso de orientação vocal aplicada por Silva Filho (2017), no qual fornece anúncios verbais durante nos trajetos, auxiliando na tomada de decisão do usuário com deficiência visual ao oferecer descrições detalhadas sobre o ambiente e sobre o caminho a ser seguido. Tal aplicação sublinha a grande importância da voz na audionavegação para indivíduos com deficiência visual, demonstrando como a tecnologia pode facilitar a mobilidade urbana independente e segura.

Portanto, conclui-se que a exclusão da voz na audionavegação resultaria na perda de um elemento essencial, afetando significativamente a funcionalidade da ferramenta, posto que a voz transcende sua função básica como um componente da audionavegação, estabelecendo-se como o veículo primordial por meio do qual a navegação se torna não apenas viável, mas eficaz para usuários com deficiência visual.

Assim, disponibilizar descrições ambientais por meio de voz é elemento central e insubstituível no processo de audionavegação.

A adoção de assistentes de voz e tecnologias relacionadas tem se mostrado benéfica não apenas para a mobilidade, mas também para uma ampla gama de atividades diárias, como controlar dispositivos inteligentes, realizar transações bancárias e manter conexões sociais, destacando a crescente importância e impacto dessas tecnologias na vida das pessoas com deficiência visual.

Ainda que possam parecer semelhantes, principalmente para o usuário, a escolha entre utilizar voz humana gravada e voz sintetizada no design de audionavegação influencia diretamente tanto na elaboração quanto no modo de funcionamento desejado para o equipamento de audionavegação ambiental.

A voz humana gravada, substancialmente, trata-se da utilização de vozes gravadas de pessoas, no objetivo de capturar a voz natural para utilização em diversas aplicações. Este método de utilização de voz tem como principal limitante a falta de flexibilidade, visto que as gravações são fixas, exigindo-se novas gravações em mesmo na ocorrência de pequenas mudanças, impossibilitando alterações ou adaptações em tempo real para atender a diferentes contextos ou necessidades específicas de cada usuário.

Por outro lado, a voz sintetizada é um método de criação de voz por meio de equipamento artificial, atualmente por computadores. Sua principal vantagem é a maior versatilidade com relação à voz humana gravada, pois permite personalizações e adaptações em tempo real, conforme as necessidades dos usuários. Além disso, a evolução dos sistemas de inteligência artificial tem reduzido significativamente a percepção do usuário acerca das diferenças entre voz humana natural e voz sintetizada.

A disponibilidade tecnológica de replicação, adaptação, alteração e distribuição em tempo real da voz sintetizada oferece funcionalidades impossíveis com a voz humana gravada, permitindo que toda a gama de mensagens seja transmitida com uniformidade em tom, ritmo e clareza, o que é essencial em ambientes de audionavegação, de forma a minimizar ambiguidades e erros de interpretação.

Em resumo, enquanto a voz humana gravada oferece clareza e naturalidade, ela é limitada pela sua inflexibilidade. Em contraste, a voz sintetizada, embora

inicialmente menos natural, evoluiu significativamente para oferecer uma experiência rica e adaptável, essencial para a inclusão e autonomia de pessoas com deficiência visual no uso de tecnologias digitais.

No entanto, considerando-se o design de audionavegação como foco, a questão de se as vantagens suplementam as desvantagens no uso de voz sintetizada, não encontra uma resposta unívoca, pois depende da perspectiva adotada. Pode-se argumentar que a eficiência, a flexibilidade e a redução de custos oferecidas pela voz sintetizada são fundamentais para tornar a tecnologia acessível e prática, favorecendo uma maior inclusão e democratização do acesso a informações em ambientes urbanos.

Por outro lado, a possibilidade de redução na emoção da fala e a possível redução na riqueza da experiência humana destacam um questionamento ético e existencial sobre a qualidade das interações mediadas pela tecnologia e o valor da humanidade na comunicação. Assim, pode-se conceber que tanto as vantagens quanto as desvantagens se suplementam mutuamente, refletindo a tensão entre eficiência tecnológica e autenticidade da experiência humana, cada uma destacando a importância da outra na busca por soluções equilibradas.

- **Vantagens da voz sintetizada:**

- **Redução de custos:** A síntese de voz diminui significativamente os custos associados à produção de audiodescrições, eliminando a necessidade de contratar talentos vocais e estúdios de gravação.
- **Flexibilidade e rapidez na produção:** A capacidade de gerar e modificar rapidamente descrições de áudio permite atualizações ágeis e adaptações a diferentes idiomas e dialetos sem esforço adicional.
- **Acessibilidade:** Facilita a disponibilização de conteúdo acessível para pessoas com deficiência visual, oferecendo uma ferramenta valiosa para a inclusão.

- **Desvantagens da voz sintetizada:**

- **Falta de emoção:** A voz sintetizada pode carecer da expressividade e nuances emocionais encontradas na voz humana, o que pode diminuir a qualidade da experiência do usuário.

- **Erros de pronúncia:** Ainda que avançada, a tecnologia de síntese de voz pode apresentar falhas na pronúncia correta de palavras específicas, afetando a clareza da comunicação.
- **Percepção de artificialidade:** Usuários podem perceber a voz sintetizada como menos pessoal ou menos agradável em comparação com gravações humanas, potencialmente afetando a aceitação da tecnologia.
- **Vantagens da voz gravada:**
  - **Naturalidade e expressividade:** A voz humana gravada oferece riqueza emocional e nuances que enriquecem a experiência auditiva, transmitindo informações de maneira mais envolvente.
  - **Precisão na pronúncia:** A gravação com vozes humanas garante uma pronúncia correta e natural, fundamental para a compreensão clara do conteúdo.
- **Desvantagens da Voz Gravada:**
  - **Custos elevados:** A produção envolvendo talentos vocais e estúdios de gravação resulta em custos significativamente maiores em comparação com a síntese de voz.
  - **Menor flexibilidade:** Alterações ou atualizações no conteúdo de áudio exigem novas sessões de gravação, implicando em mais tempo e custos adicionais.
  - **Escalabilidade limitada:** A produção de audiodescrições em múltiplos idiomas ou dialetos pode ser logisticamente desafiadora e economicamente inviável.

Considerando-se os argumentos, pode-se concluir que não há uma resposta definitiva sobre qual modelo de voz utilizar no contexto de design de audionavegação, pois o uso de voz gravada ou sintetizada para descrever o entorno em espaços urbanos depende intrinsecamente do contexto e da finalidade da comunicação. A escolha entre uma ou outra reflete um equilíbrio entre a necessidade de eficiência, praticidade e custo, e o desejo por uma experiência autêntica e emocionalmente rica.

A funcionalidade de prover descrições sucintas não elimina a importância das emoções na comunicação humana, mesmo em contextos aparentemente objetivos. A decisão deve considerar as necessidades e expectativas dos usuários, bem como as implicações éticas e existenciais da tecnologia na sociedade. Portanto, a escolha entre voz gravada e sintetizada é um reflexo de valores e prioridades, onde cada contexto pode demandar uma abordagem diferente para otimizar tanto a eficiência quanto a qualidade da experiência humana.

Assim, ao considerar a implementação de voz, é importante o designer de audionavegação ponderar tanto as vantagens operacionais e de custo quanto as limitações relacionadas à expressividade e personalização da experiência do usuário.

#### 4.2. DESIGN DE AUDIONAVEGAÇÃO

A integração de índices auditivos no design de sistemas de audionavegação, que inclui a utilização de sons vocais e índices auditivos, pode ser aplicada de maneira eficaz em dispositivos de orientação destinados a ambientes urbanos. Essa estratégia visa enriquecer a experiência de navegação, facilitar a comunicação e otimizar a interação humano-computador.

De acordo com Norman (2013), o uso de sons em sistemas de alerta é eficiente quando centrado no usuário, considerando a percepção, cognição e comportamento humanos. Norman (2013) destaca a importância de interfaces fornecerem *feedbacks* claros e intuitivos, categorizando-os em significadores, *feedback*, prevenção de erros e recuperação, e design centrado no humano. Dentre os tipos de sons possíveis em interfaces humano-computador, Gaver (1986) diferencia os sons de comunicação clara ou para ensejarem uma ação, como por exemplo notificações e alertas, efetivamente índices sonoros, de sons de fundo, que visam criar atmosfera sem transmitir uma mensagem específica, enquanto Schaeffer (1966) e Chion (2019) citam que a percepção psicológica dos sons e a associação de certos sons com objetos ou eventos são influenciadas por experiências prévias e contexto cultural.

Desta forma, para o design de audionavegação, pode-se buscar a criação de sons que intuitivamente indicam ações ou estados sem a necessidade de descrições vocais explícitas.

Sobre o contraste sonoro para vencer ruídos, Edworthy; Hellier (2006), Zwicker; Fastl (1999), Guski; Felscher-Suhr; Schuemer (1999) discutem a importância da escolha adequada de características sonoras, como faixa de frequência e volume, de forma a superar o ruído ambiental sem causar poluição sonora, enfatizando a necessidade de um design sonoro que esteja adaptado ao contexto ambiental e que facilite a orientação e ação dos indivíduos em ambientes complexos. Neste aspecto, a análise inclui reflexões sobre a modulação de sinais sonoros em meio ao ruído urbano, ponderando a complexidade da experiência humana em ambientes construídos e naturais.

Para analisar as semelhanças entre ruído e voz no contexto de orientação de mobilidade para pessoas com deficiência visual e os conceitos de contraste visual do design de sinalização, é necessário considerar diversos aspectos que interligam o design sonoro e visual.

**1. Percepção sensorial como fundamento:** Tanto o contraste visual no design de sinalização quanto a diferenciação entre ruído e voz em orientações sonoras são baseados na premissa de que a percepção sensorial, tanto visual quanto auditiva, é importante para a interpretação e compreensão do ambiente. Assim como o contraste visual destaca elementos importantes, a distinção entre ruído e voz serve para enfatizar mensagens críticas.

- Sinalização Visual: utilização de cores vibrantes e contrastantes em faixas de pedestres para garantir visibilidade em diferentes condições de iluminação, destacando a importância da segurança dos pedestres.
- Sinalização auditiva vs. ruído: implementação de sinais sonoros distintos em semáforos, que alternam entre sons de pulsos rápidos e lentos para indicar, respectivamente, "pare" e "ande" facilitando a compreensão por pessoas com deficiência visual.

**2. Clareza e distinção:** No design de sinalização, o contraste visual é utilizado para criar clareza e distinção entre o sinal e seu fundo, facilitando o reconhecimento e a compreensão. Analogamente, na orientação sonora, a voz clara e distinta sobreposta ao ruído de fundo permite que usuários com deficiência visual

identifiquem e entendam instruções. A necessidade de compreensão enfatiza a importância do contraste, alinhamento e repetição no design de sinalização para melhorar a comunicação visual. Analogamente, na orientação sonora, a clareza da voz em contraste com o ruído de fundo é essencial para garantir que as informações sejam percebidas e entendidas. Assim como o contraste visual ajuda a destacar a sinalização, a clareza da voz se destaca do ruído ambiente.

- Sinalização Visual: utilização de contrastes visuais fortes para destacar informações importantes.
- Sinalização Auditiva vs. Ruído: distinção clara entre o som (informação vocal ou sonora) e o ruído de fundo (ambiente), garantindo que o som seja claramente ouvido e compreendido.

**3. Consistência e reconhecibilidade:** Assim como a consistência no design de sinalização, o design de audionavegação reflete a necessidade de uma voz consistente e reconhecível em sistemas de orientação sonora. Assim como uma sinalização consistente ajuda na identificação e orientação, uma voz padronizada e familiar ajuda na orientação sonora.

- Sinalização Visual: Uso de elementos de design consistentes para facilitar o reconhecimento e a compreensão.
- Sinalização auditiva vs. Ruído: Utilização de sons e vozes consistentes e reconhecíveis para facilitar a familiarização e orientação dos usuários.

**4. Design inclusivo:** Ambos os métodos têm como objetivo a inclusão. O design de sinalização com alto contraste visa atender às necessidades de pessoas com baixa visão, enquanto a orientação sonora visa incluir aqueles com deficiência visual.

- Sinalização Visual: Design inclusivo para atender a um amplo espectro de usuários, incluindo aqueles com deficiências visuais.
- Sinalização auditiva vs. Ruído: Orientação sonora acessível e inclusiva, permitindo que pessoas com deficiência visual naveguem de forma independente e segura.

**5. Foco no usuário:** enfatizando-se a importância de um design centrado no usuário, o design de audionavegação deve considerar o foco nas necessidades específicas dos usuários com deficiência visual, considerando como eles distinguem a voz do ruído e como isso afeta sua navegação.

- Sinalização Visual: Design focado nas necessidades e percepções dos usuários.
- Sinalização auditiva vs. Ruído: Orientação sonora projetada com foco nas necessidades específicas de usuários com deficiência visual, considerando como eles percebem e diferenciam sons.

**6. Hierarquia de informação:** Assim como o contraste visual é utilizado para organizar informações visualmente, priorizando as mais importantes, a diferenciação entre voz e ruído em orientações sonoras serve para estabelecer uma hierarquia auditiva, onde a informação mais crítica é destacada.

- Sinalização Visual: aplicação de tamanhos variados de letras em placas de orientação, onde informações críticas como direções são destacadas com letras maiores em relação a informações secundárias.
- Sinalização auditiva vs. ruído: priorização de mensagens em sistemas de anúncio público, onde instruções de emergência são transmitidas com sinais acústicos distintos antes da mensagem verbal, garantindo atenção imediata.

**7. Redução de ambiguidade:** O objetivo principal do contraste visual no design de sinalização é minimizar a ambiguidade, tornando as informações facilmente interpretáveis. De maneira similar, a distinção clara entre voz e ruído em sistemas de orientação sonora reduz a ambiguidade auditiva, facilitando a compreensão.

- Sinalização visual: utilização de ícones padronizados e internacionalmente reconhecidos para instalações sanitárias, reduzindo a ambiguidade para visitantes estrangeiros.



- Sinalização auditiva vs. ruído: implementação de descrições sonoras detalhadas em guias de museus, esclarecendo o contexto e significado das peças expostas para visitantes com deficiência visual.

**8. Adaptação ao contexto:** Tanto no design de sinalização quanto na orientação sonora, é essencial considerar o contexto. No design visual, isso pode significar ajustar o contraste conforme a iluminação e o ambiente. Na orientação sonora, pode envolver ajustar o volume e a clareza da voz de acordo com o ruído ambiental.

- Sinalização visual: ajuste do brilho das telas digitais de informação em aeroportos conforme a variação da luz natural durante o dia, otimizando a visibilidade.
- Sinalização auditiva vs. ruído: adaptação do volume dos anúncios em sistemas de transporte conforme o nível de ruído ambiental, assegurando que sejam audíveis mesmo em condições variáveis.

**9. Integração e contextualização:** A aplicação dos princípios de design mostra a importância da integração e contextualização da sinalização no ambiente. Da mesma forma, o som utilizado no design de audionavegação deve ser integrado e contextualizado de acordo com o ambiente, considerando o tipo e o nível de ruído presente.

- Sinalização Visual: Sinalização integrada ao ambiente, respeitando o contexto e a estética do espaço.
- Sinalização auditiva vs. Ruído: Adaptação da orientação sonora ao ambiente específico, considerando os níveis de ruído e as características acústicas do local.

**10. Facilitação da navegação:** O objetivo, tanto do contraste visual quanto da distinção entre voz e ruído, é facilitar a navegação e a orientação no espaço. Ambos buscam criar um caminho claro e compreensível para o usuário, seja por meio de visuais ou de áudio.

- Sinalização visual: Implementação de mapas táteis em espaços públicos, proporcionando orientação espacial para pessoas com deficiência visual por meio do toque.
- Sinalização auditiva vs. ruído: Desenvolvimento de aplicativos de navegação que fornecem instruções sonoras passo a passo baseadas na localização do usuário, facilitando a movimentação em ambientes desconhecidos.

**11. Atualização e flexibilidade:** ressaltando a necessidade de sinalizações serem "documentos vivos", sujeitos a atualizações e renovações, é semelhante à necessidade de sistemas de orientação sonora serem adaptáveis e atualizáveis para refletir mudanças no ambiente, como variações no ruído de fundo ou alterações nas rotas de navegação.

- Sinalização Visual: Necessidade de atualização constante para refletir mudanças no ambiente ou nas informações.
- Sinalização auditiva vs. Ruído: Adaptação e atualização da orientação sonora em resposta a mudanças no ambiente acústico ou na configuração espacial.

Sobre as características do design de sinalização a serem implementadas no design de audionavegação, pode-se elencar:

### **1. Escolha de tamanhos:**

A legibilidade é essencial. O tamanho da fonte e do sinal deve ser proporcional à distância de visualização. Sinais maiores são necessários para visualização a distâncias maiores.

- Exemplo: em um aeroporto, as placas indicativas de portões de embarque são grandes e visíveis a longa distância, permitindo que os passageiros as identifiquem rapidamente, mesmo em meio a multidões e em grandes halls.

## **2. Formas e cores de tipos:**

Tipos de letra simples são geralmente mais legíveis. Cores contrastantes entre texto e fundo melhoram a legibilidade. A cor do texto deve ter um alto contraste com o fundo, mas sem causar ofuscamento.

- Exemplo: Sinais de saída de emergência frequentemente utilizam letras brancas em fundo verde. A fonte é geralmente simples e sem serifa para rápida leitura e reconhecimento.

## **3. Cores de fundo:**

Cores de fundo devem ser escolhidas para maximizar o contraste com o texto. Evitar cores brilhantes ou vibrantes que possam ser distrativas ou difíceis de ler.

- Exemplo: placas de sinalização em parques nacionais muitas vezes utilizam cores de fundo em tons de marrom ou verde, que harmonizam com o ambiente natural e ainda proporcionam um contraste eficaz com letras brancas ou amarelas.

## **4. Símbolos e iconografia:**

Símbolos universais são preferíveis para a compreensão imediata. A iconografia deve ser simples, clara e facilmente reconhecível. Consistência na utilização de índices e símbolos é importante para evitar confusão.

- Exemplo: Símbolos universais como o ícone de uma cadeira de rodas em banheiros acessíveis ou o pictograma de uma xícara em placas indicando cafeterias são exemplos de iconografia simples e reconhecível.

## **5. Contraste e visibilidade:**

O contraste é fundamental para a visibilidade, não se limitando apenas às cores, mas também ao contraste espacial no design. A visibilidade também é afetada pela iluminação, que deve ser considerada na localização dos sinais.

- Exemplo: Placas de trânsito que utilizam cores fortemente contrastantes, como preto sobre amarelo ou branco sobre vermelho, garantem alta visibilidade em diversas condições de iluminação.

## **6. Direcionalidade e fluxo:**

Os sinais devem indicar claramente a direção e fluir logicamente de um ponto a outro. A sinalização deve guiar o usuário através de um espaço de maneira intuitiva.

- Exemplo: em hospitais, a sinalização que inclui setas apontando para diferentes alas como "Emergência", "Radiologia" ou "Maternidade" orienta o fluxo de visitantes e pacientes de forma intuitiva.

## **7. Acessibilidade**

Deve-se considerar a utilização de Braille sempre que possível. Os sinais devem considerar a visibilidade para pessoas com visão reduzida.

- Exemplo: sinalizações que incluem informações em Braille nas portas dos quartos em hotéis ou em placas de elevadores, permitindo que pessoas com deficiência visual identifiquem os espaços e andares.

## **8. Consistência e padrão:**

A consistência em design, cores, fontes e símbolos em toda a sinalização é importante para evitar confusão. Seguir padrões estabelecidos, como os definidos pela NBR, garante acessibilidade e compreensão.

- Exemplos: cadeias de lojas frequentemente utilizam a mesma paleta de cores, fontes e estilos de sinalização em todas as suas localidades, criando uma experiência de marca consistente para os clientes.

## **9. Contexto e ambiente:**

A sinalização deve ser apropriada ao ambiente e ao contexto no qual está inserida. Deve-se considerar o ambiente cultural, histórico e funcional.

- Exemplo: em áreas históricas, as placas de sinalização podem utilizar fontes e cores que refletem o período histórico da região, enquanto em um contexto moderno, podem ser adotados designs mais contemporâneos e minimalistas.

## **10. Durabilidade e manutenção:**

Os materiais utilizados devem ser duráveis e fáceis de manter. A sinalização deve permanecer legível e em bom estado ao longo do tempo.

- Exemplo: sinalizações em estações de metrô ou áreas externas sujeitas a intempéries ou vandalismo utilizam materiais resistentes como aço inoxidável ou plásticos de alta durabilidade para assegurar sua longevidade e legibilidade ao longo do tempo.

Estes fundamentos formam a base para o design eficaz de sinalização, garantindo que as informações sejam comunicadas de maneira clara, acessível e útil. A aplicação correta desses princípios é essencial para criar um ambiente navegável e compreensível para todos os usuários. Cada um desses exemplos ilustra como os princípios de design de sinalização são aplicados em contextos específicos, enfatizando a importância da legibilidade, acessibilidade, consistência e contextualização para criar um sistema de sinalização eficaz e compreensível.

Transpondo os princípios do design de sinalização para o design de audionavegação, podem-se considerar alguns aspectos análogos:

### **1. Escolha de tamanhos (volume e clareza sonora):**

- O volume e a clareza das instruções sonoras devem ser ajustados de acordo com o ambiente, garantindo que sejam claramente audíveis em áreas ruidosas e sutis em ambientes mais silenciosos.

Por exemplo, considerando-se a figura 82 da página 252, gráfico da capacidade humana de sons e voz, a compreensão da fala está localizada com conforto entre os extremos de 40 dB e 65 dB. Volumes sonoros próximos ou abaixo dos 40 dB são considerados sussurros, com possibilidade de falhas de compreensão, enquanto

volumes sonoros próximos ou acima de 65 dB são equivalentes a gritos, cujo uso constante pode causar irritação, estresse ou até mesmo danos ao aparelho auditivo.

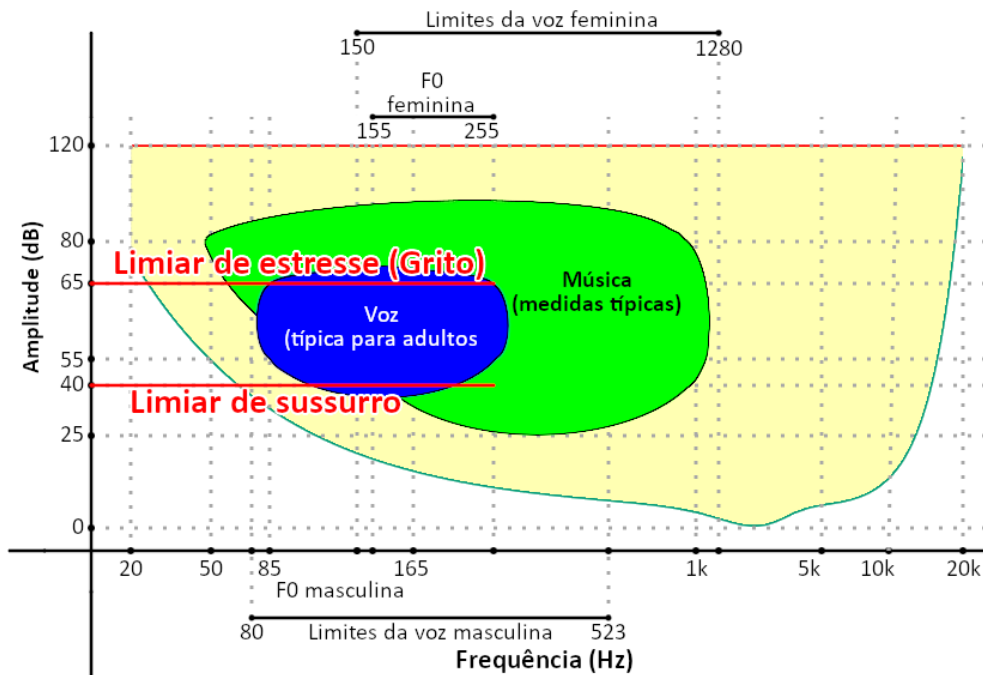


Figura 82 – limiar de amplitude vocal no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024)

Assim, a faixa de trabalho ideal de volume sonoro fica compreendido em qualquer ponto acima de 40 dB e abaixo de 65 dB para melhor compreensão da audionavegação, deixando uma ampla margem para preferências pessoais e para situações as quais se precise vencer ruídos ambientais, por exemplo

## 2. Formas e cores de tipos (tom e modulação de voz):

- O tom e a modulação da voz utilizada devem ser agradáveis e fáceis de entender. Evitar tons monótonos que podem ser difíceis de discernir, ou muito agudos que podem ser desconfortáveis.

Considerando-se novamente o gráfico de capacidade humana de audição, na figura 83 da página 253, observa-se que a voz humana masculina está compreendida entre 85 e 165 Hz, enquanto a voz feminina encontra-se entre 155 e 255 Hz. Ainda que a capacidade humana possa ultrapassar essas frequências, o reconhecimento auditivo é mais bem atendido quando a voz utiliza esta gama de frequências.

A voz masculina pode atingir desde 80 até 523 Hz, cujos extremos abaixo de 85 e acima de 165 Hz para pessoas treinadas para canto ou para situações específicas. Mesmo passando pela gama de frequências sonoras femininas, o timbre vocal está presente na voz masculina, possibilitando reconhecer vozes masculinas mesmo de frequências semelhantes à feminina.

De forma semelhante, a voz feminina consegue abarcar frequências desde os 150 até os 1280 Hz, cujos extremos abaixo de 155 e acima de 255 Hz ocupados por pessoas treinadas para canto ou em situações específicas. De forma similar à masculina, os timbres vocais inerentes à voz feminina possibilitam a identificação de gênero vocal mesmo em frequências semelhantes à voz masculina.

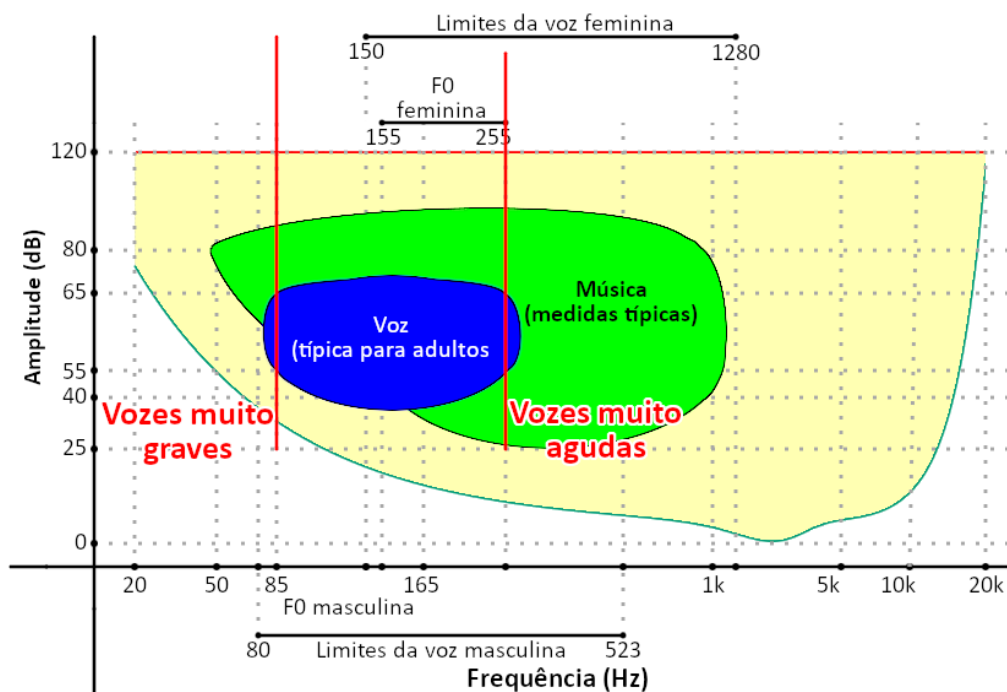


Figura 83 – limiares de frequência vocal no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024)

Vozes na faixa mais baixa da frequência sonora, ou seja, vozes grossas ou graves, tendem a sofrer com a atenuação do volume, posto que a audição humana começa a ficar menos sensível, conforme visto no limiar inferior da figura 83. Por outro lado, vozes nas frequências mais altas, ou seja, vozes finas e agudas, aproximam-se mais da faixa sonora de maior sensibilidade da audição humana, podendo tornar-se irritantes ou estressantes, indicando que a faixa ideal de trabalho para inserção de vozes no design de audionavegação está compreendida entre 85 e 255 Hz, o que deixa,

de fato, uma ampla margem de trabalho para contrastes, preferências pessoais e para vencer frequências de ruídos.

Particularmente sobre o uso de síntese de voz ao invés de voz gravada, a abrangência de frequências que os sintetizadores de voz permitem trabalhar está até mesmo acima das capacidades humanas de frequência vocal, tanto utilizando-se de vozes sintetizadas masculinas quanto vozes sintetizadas femininas. No entanto, ainda deve-se considerar o *User experience*, posto que não é a capacidade da interface que define o uso, é o conforto e usabilidade do usuário.

### 3. Cores de fundo (ambiente sonoro):

- Considerar o ambiente sonoro no design de audionavegação. Em ambientes com muitos ruídos de fundo, a voz deve ser claramente distinta para não se misturar com outros sons.

Por exemplo, utilizando-se das medições de ruído das estações do Metrô, colhidas por meio de equipamento calibrado, pode-se sobrepor ao gráfico de chegar ao gráfico de capacidade de audição humana, conforme mostrado na figura 84.

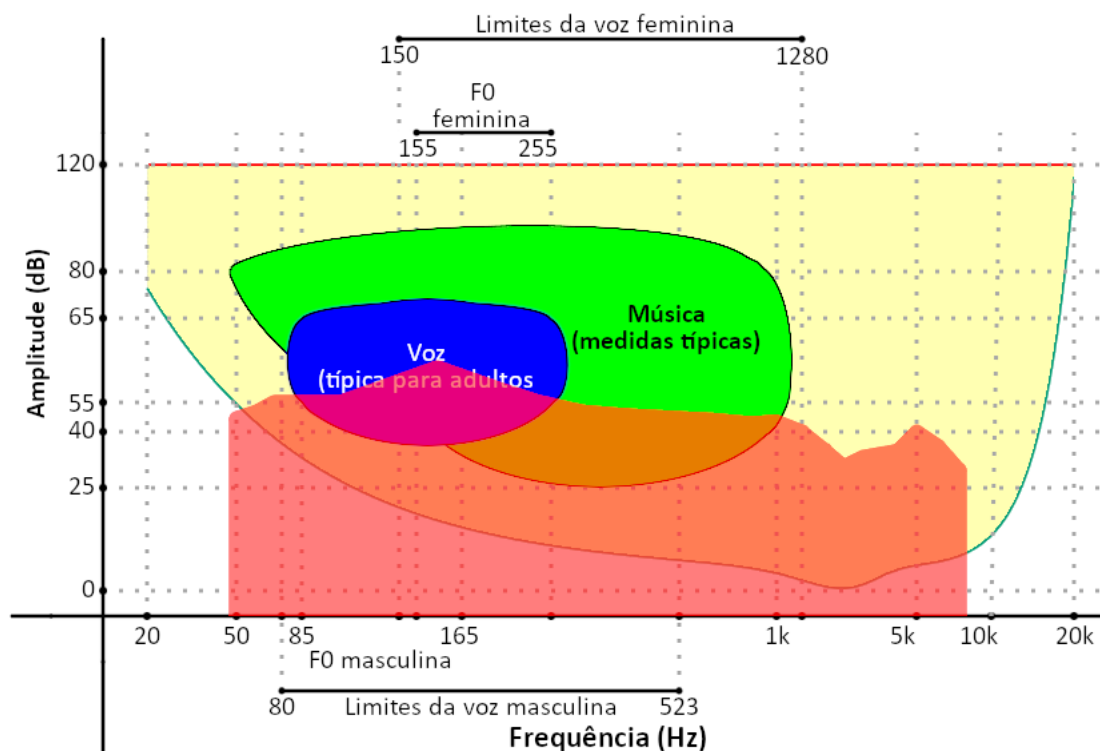


Figura 84 - sobreposição do ruído das estações no gráfico de capacidade de audição humana (o autor, 2024)



Com base nesta figura 84 da página 254, observa-se que praticamente toda a área abaixo dos 55 dB de volume sonoro está ocupado por ruído. Ainda que, de acordo com a OMS, o volume ambiental constante acima dos 55 dB podem acarretar níveis de estresse, a fala, que é som esporádico, pode ser ajustada em intensidade até os 65 dB, tornando seguro utilizar ajustes de intensidade temporária até este valor para superar o ruído, retornando o volume a valores abaixo dos 60 dB após o término do ruído para manter o conforto auditivo com segurança.

#### **4. Símbolos e iconografia (símbolos sonoros e códigos):**

- Utilizar sons ou códigos universais reconhecíveis, como um bip específico para sinalizar uma porta ou uma sequência sonora para indicar escadas.

#### **5. Contraste e visibilidade (contraste auditivo):**

- As instruções sonoras devem se destacar do ruído de fundo. Isso pode ser alcançado por meio de diferentes tons, volumes ou até mesmo utilizando música ou sons naturais como fundo de forma semelhante ao descrito no item 3, por meio da análise de ruído ambiente e adoção de medidas de mudança de volume e/ou frequência vocal (figura 84, página 254).

#### **6. Direcionalidade e fluxo (orientação sonora sequencial):**

- As instruções sonoras devem ser sequenciais e objetivas, guiando o usuário passo a passo, de forma intuitiva, através do espaço. Isso pressupõe que o designer deverá percorrer todos os caminhos para estabelecer estratégias claras de informação aos usuários. O designer deve indicar, por meio de requisitos, os tópicos importantes a serem narrados para que o caminho do usuário tenha um fluxo sem impedimentos ou ambiguidades.

## **7. Acessibilidade (inclusividade sonora):**

- Incluir opções de linguagem ou modos de comunicação que sejam inclusivos para diferentes necessidades auditivas, oferecendo-se descrições detalhadas para quem tem baixa visão.

## **8. Consistência e padrão (padronização sonora):**

- Manter uma consistência na voz, tom, e padrão das instruções sonoras em diferentes contextos para evitar confusão e facilitar o reconhecimento. Para isso o designer deve estabelecer *guidelines* claras a serem observadas durante a elaboração da redação das instruções.

## **9. Contexto e ambiente (adaptação ao ambiente sonoro):**

- Adaptação das instruções sonoras ao contexto específico, por exemplo, reduzindo o volume em ambientes mais tranquilos ou inserindo sons pré-programados que se integrem harmoniosamente com o ambiente.

## **10. Durabilidade e manutenção (atualização e manutenção do sistema sonoro):**

- Assegurar que o sistema de audionavegação seja mantido e atualizado regularmente para garantir sua eficácia e relevância ao longo do tempo.

Essa transposição de princípios do design visual para o design de audionavegação busca ressaltar a importância de adaptar as estratégias de comunicação às necessidades específicas das pessoas com deficiência visual, garantindo que a navegação seja intuitiva, segura e acessível.

Ao analisar esses princípios de design de sinalização e aplicá-los ao contexto do design de audionavegação, fica evidente a importância da clareza, consistência, atualização e foco no usuário. Estas analogias destacam como fundamentos de design bem estabelecidos podem ser aplicados de maneira interdisciplinar para melhorar a acessibilidade e a experiência do usuário em diferentes contextos.

É importante observar que, embora haja semelhanças conceituais, as modalidades sensoriais de percepção visual e auditiva operam de maneira distinta e

possuem desafios únicos. A integração eficaz desses princípios no design de espaços urbanos pode resultar em ambientes mais acessíveis e inclusivos para pessoas com deficiência visual.

Existem outros conceitos do design de sinalização que podem ser importantes no design de audionavegação, que, no entanto, não possuem uma clara analogia. Assim, considerando como uma extrapolação dos fundamentos do design de sinalização, pode-se elencar:

### **1. Intuitividade:**

Assim como a sinalização visual deve ser intuitivamente compreensível, a voz digital deve ser projetada para ser naturalmente compreendida, sem necessidade de aprendizado prévio.

### **2. Culturalmente Adequado:**

A sinalização visual leva em conta contextos culturais; similarmente, a voz digital deve ser adaptada para refletir nuances linguísticas e culturais.

### **3. *Feedback* do Usuário:**

Em algumas situações no design de sinalização, o *feedback* visual é importante. No design de interfaces para audionavegação, pode-se incorporar respostas sonoras ou táteis como *feedback* para ações do usuário.

### **4. Redundância:**

Assim como a sinalização visual pode ser reforçada com símbolos, a voz digital pode ser complementada com sinais sonoros para reforçar a mensagem.

### 4.3. CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

O design audionavegação, como fonte para o desenvolvimento de equipamentos de orientação em ambientes e transportes públicos para pessoas com deficiência visual, implica uma série de questões éticas e legais que devem ser cuidadosamente consideradas.

- **Privacidade:** colocada em primeiro lugar, pois a privacidade dos usuários é uma preocupação fundamental. A coleta de informações pessoais por meio de *smartphones* para melhorar a experiência de orientação deve ser feita de forma transparente e com o consentimento informado dos usuários. Isso é importante para garantir a conformidade com regulamentações de proteção de dados, como a Lei Geral de Proteção aos Dados Pessoais - LGPD (BRASIL, 2018). Além disso, as informações coletadas devem ser armazenadas e usadas de maneira segura, a fim de proteger a privacidade dos usuários.
- **Ruído vocal:** outra questão ética a ser considerada é a inclusão de propagandas no meio das instruções de voz. Isso pode ser intrusivo e perturbador para os usuários com deficiência visual, que dependem dessas instruções para navegar com segurança. É importante encontrar um equilíbrio entre a geração de receita por meio de anúncios e a priorização da experiência do usuário e da segurança.

Além disso, a questão da acessibilidade é de extrema importância. As normas técnicas de segurança ambiental devem ser rigorosamente seguidas para garantir que os dispositivos de orientação por voz sejam confiáveis e seguros para uso em ambientes urbanos. Isso inclui a garantia de que o sistema funcione de maneira consistente e que as instruções sejam claras e precisas para evitar acidentes ou confusões, o que pode ser incompatível, em alguns casos, com a inserção de propagandas durante o uso em trajeto.

- **Indistinção socioeconômica:** no que diz respeito aos diferentes níveis de instruções com base no poder de compra do usuário, é importante evitar qualquer forma de discriminação. Todos os usuários,

independentemente de sua situação financeira, devem ter acesso igualitário às informações de orientação. Discriminar com base no poder de compra seria eticamente questionável e pode violar leis de igualdade e não discriminação.

- **Gestão de informações sensíveis:** instruções sensíveis também são uma preocupação importante. É essencial que o design de audionavegação leve em consideração a sensibilidade das informações que estão sendo fornecidas. Por exemplo, instruções que envolvem informações médicas, informações financeiras, ou até mesmo orientações ambientais para locais sensíveis, devem ser tratadas com o mais alto grau de segurança e confidencialidade. Para os casos os quais dados pessoais podem estar envolvidos, o texto da LGPD (BRASIL, 2018), assim como consulta às agências nacionais de proteção aos dados, pode ser de grande valia para o devido respeito aos dados dos usuários.

Em resumo, o design audionavegação requer uma abordagem cuidadosa no campo da ética e da legalidade. A privacidade, a acessibilidade, a não discriminação e a segurança são princípios-chave que devem ser seguidos de perto para garantir uma experiência positiva e segura para todos os usuários.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa abordou elaboração de fundamentos do design de audionavegação, no objetivo de proporcionar técnicas de design na elaboração de interfaces auditivas para orientar a mobilidade de pessoas com deficiência visual em espaços urbanos.

Utilizando-se de uma abordagem teórica, por meio de revisão bibliográfica, adotando-se métodos qualitativos por meio da revisão integrativa, buscando princípios, teorias e práticas que, mesmo não sendo especificamente voltadas para a audionavegação ou para pessoas com deficiência visual, pudessem ser aplicáveis ou adaptáveis ao design de audionavegação, no objetivo de compreender os fenômenos estudados por meio de análise crítica e síntese das informações de fontes científicas confiáveis.

Durante a revisão, foram identificados conceitos, tecnologias, estratégias de design e práticas de inclusão passíveis de reinterpretação na busca por preceitos para o design de audionavegação, categorizando as informações de forma organizada, facilitando a identificação de novas áreas de interesse, além de confirmar as tendências de literatura pesquisável, possibilitando uma avaliação crítica dos dados, na busca por insights que pudessem enriquecer os fundamentos para o design de audionavegação.

A mobilidade é um dos aspectos que fomentam a independência das pessoas, inclusive as pessoas com deficiência visual, que, devido à condição de ausência sensorial da visão, requerem ferramentas que possibilitem o reconhecimento ambiental para que possam seguir o caminho de sua origem até seu destino. As ferramentas tradicionais de acessibilidade, em sua maioria inseridas de forma fixa nos ambientes, podem ser complementadas com o uso de tecnologias eletrônicas, ativas e com capacidade de maior transferência de informação.

Este estudo, de natureza teórica, sugere a formação de princípios do design de audionavegação, por meio da transposição dos fundamentos tradicionais do design, especificamente design de sinalização, *wayfinding design* e *user experience*, mantendo-se boa parte dos conceitos por meio de analogias, principalmente entre a sinalização visual e a sinalização auditiva, abrangendo tanto sinalizações textuais,

analogamente correspondentes com a disponibilização de voz, assim como sinalizações pictográficas, correspondentes a índices auditivos.

A relação entre design visual e auditivo merece atenção especial, destacando-se a importância de fornecer a informação de forma clara e concisa. No design de sinalização, a escolha de cores, tamanhos de fonte e tipos de fonte, são decisões fundamentais que afetam diretamente a experiência do usuário, refletindo intenções específicas do designer em transmitir sensações ou informações de forma clara e eficiente. Da mesma forma que variações visuais são empregadas para capturar a atenção e facilitar o entendimento, no âmbito auditivo, aspectos como volume, timbre e a escolha entre vozes sintetizadas ou gravadas são fundamentais para a eficácia da comunicação.

A eficácia na criação de produtos e serviços acessíveis para pessoas com deficiência visual é significativamente ampliada quando as ferramentas analógicas e os sistemas digitais são empregados para aumentar a acessibilidade, permitindo uma percepção ambiental mais rica por parte desses indivíduos. Contudo, o sucesso dessas iniciativas não repousa exclusivamente na aplicação de tecnologias avançadas; ele é fundamentalmente condicionado pela colaboração estreita entre os designers e as próprias pessoas com deficiência visual, bem como suas famílias. Essa parceria é indispensável para identificar as soluções de design mais apropriadas às necessidades específicas enfrentadas em diferentes contextos. Portanto, uma avaliação individualizada e um esforço colaborativo entre todos os participantes do processo de design e desenvolvimento são essenciais. Tais práticas asseguram que os produtos e serviços finais reflitam as necessidades e preferências tanto no âmbito coletivo quanto no individual das pessoas com deficiência visual. Isso é alcançado por meio da cuidadosa avaliação dos ambientes, dos recursos tecnológicos disponíveis e das capacidades e limitações dos usuários, garantindo assim uma acessibilidade efetiva e inclusiva.

A aplicação efetiva de tecnologias de voz em interfaces digitais, sejam elas sintetizadas ou gravadas, depende tanto da qualidade desejada quanto do custo associado. Enquanto vozes gravadas podem oferecer uma experiência mais rica, seu custo mais elevado justifica seu uso em situações específicas. Por outro lado, avanços

tecnológicos permitem que vozes sintetizadas apresentem uma qualidade aceitável a custos moderados, tornando-as uma opção viável para uma ampla gama de aplicações.

Além de todas as analogias entre design de sinalização, *wayfinding design* e o design de audionavegação, pode-se sugerir, para pesquisas aplicadas, mais alguns tipos de redundâncias tecnicamente possíveis de inserção em interfaces, por meio do design de audionavegação:

- 1. Combinação de voz e sinais sonoros:** usar uma voz para fornecer instruções detalhadas juntamente com sinais sonoros curtos e direcionais, em conjunto com fones de ouvido, para indicar ações iminentes, como virar à direita ou esquerda.
- 2. Feedback tátil:** Integrar *feedback* tátil, como vibrações em um dispositivo móvel, que correspondam às instruções verbais, pode reforçar a mensagem.
- 3. Repetição de instruções:** Repetir informações críticas, como avisos ou direções, para garantir que o usuário não perca informações importantes. Este modelo de redundância foi explorado superficialmente por Silva Filho (2017), de forma opcional a seus voluntários.
- 4. Uso de música ou som ambiental:** Quando for adequado, incorporar música suave ou sons ambientais como pano de fundo para a voz, auxiliando na orientação espacial e criando um ambiente sonoro mais rico e informativo.

Essas sugestões de estratégias de redundância podem auxiliar na compreensão de futuras pesquisas, no objetivo de ajudar a assegurar que as informações sejam compreendidas mesmo em ambientes desafiadores ou em situações onde a atenção do usuário possa estar dividida.

A percepção humana e sua capacidade de tomada de decisões não são exclusivamente dependentes da visão; mesmo na ausência deste sentido, outras dimensões psicológicas e sensoriais continuam a moldar o comportamento humano. Indivíduos com deficiência visual recorrem a um conjunto diversificado de sentidos — como audição, tato, olfato, propriocepção e paladar — e a conhecimentos previamente adquiridos, armazenados tanto na memória de curto prazo quanto na de longo prazo, bem como à sua cultura, para navegar e interagir com o mundo ao seu redor. Este processo envolve uma série de sinapses que fundamentam teorias comportamentais, da Gestalt e de affordance, sugerindo que a aplicação destas teorias



possa ser expandida e enriquecida pelo estudo de como os demais sentidos influenciam o comportamento humano. Tal compreensão pode inclusive beneficiar a análise do comportamento de pessoas videntes, ao revelar novas dimensões sobre a influência sensorial nas teorias tradicionais de psicologia e design.

Portanto, ao aplicar os conceitos da teoria do design, particularmente aqueles relacionados ao design de interação e experiência do usuário, ao âmbito do design de audionavegação, emerge a oportunidade de elucidar a forma como determinados princípios podem ser recontextualizados para favorecer experiências auditivas em vez de visuais:

- 1. Importância da acessibilidade na locomoção e navegação:** conforme Lynch (1960), a visão corresponde ao sentido mais utilizado para a interpretação dos ambientes, sugerindo a necessidade de equivalência auditiva para a orientação espacial. A audionavegação pode se valer de sons ambientais e *feedback* sonoro direcionado para simular pistas visuais de localização e movimento.
- 2. Behaviorismo e aprendizagem:** aplicado ao design de audionavegação, futuras pesquisas podem sugerir preceitos do behaviorismo acerca do *feedback* auditivo, de forma a reforçar comportamentos desejáveis durante a navegação, como sons que indicam a direção correta ou o alcance de um destino.
- 3. Princípios da Gestalt:** ainda no campo da teoria pode-se considerar pesquisas na audionavegação, como, por exemplo, proximidade e continuidade podem ser traduzidos em agrupamentos sonoros ou sequências de sons que guiam o usuário através de determinado ambiente, imitando a organização visual percebida.
- 4. Teoria das cores:** embora a cor seja um elemento visual, a teoria pode inspirar o uso de características auditivas distintas (como tom, ritmo, e textura sonora) para criar diferenciações claras entre diferentes áreas ou funções numa interface de audionavegação.
- 5. Legibilidade e estética da tipografia:** Analogamente, a clareza e estética na audionavegação podem ser alcançadas por meio da escolha cuidadosa de vozes, tonalidades e ritmos, garantindo que a informação seja facilmente compreendida e agradável de ouvir.

**6. Design centrado no usuário:** essencial para o design de audionavegação, foca em entender como os usuários interagem com sistemas auditivos, priorizando a usabilidade, a acessibilidade e a experiência auditiva agradável.

Assim, cada um desses tópicos sinaliza caminhos promissores para pesquisas multidisciplinares, fundamentais tanto para o desenvolvimento de sistemas de audionavegação intuitivos, acessíveis e eficazes, quanto para aprofundar a compreensão sobre a interação entre percepção sonora, cognição e tecnologia. Ao explorar essas áreas, abre-se a possibilidade de transcender os limites tradicionais do design, promovendo uma experiência de navegação que respeita e valoriza as capacidades e preferências dos usuários, ao mesmo tempo que se alinha às demandas de um mundo cada vez mais digital e interconectado.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Medidores de nível de som - Procedimentos de calibração periódica e de verificação em campo. In: ABNT **NBR IEC 61672-3**: Eletroacústica. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013.

ABNT. **NBR 10152 - Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos e edificações**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 22. 2020. (978-85-070-7203-4).

ABNT. **NBR 9050:2020 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 148. 2020. (978-65-5659-371-5).

ACENTECH. Studio A Boston Symphony Hall project. **Acentech**, 2017. Disponível em: <<https://www.acentech.com/project/symphony-hall/>>. Acesso em: 12 setembro 2023.

ADA. ADA Accessibility Standards. **United States Access Board - ADA**, 2021. Disponível em: <<https://www.access-board.gov/ada/>>. Acesso em: 12 janeiro 2020.

ALANSARI, A. E. Wayfinding Implementations: An Evidence-Based Design Approach to Redesign College Building. **International Design Journal**, Giza, 12, n. 1, february 2022. 69-75. ISSN 2090-9632.

ALBERCROMBIE, D. **Elements of general phonetics**. Chicago: Aldine Pub. Co, 1967.

ALDESCO, A. PL ajuda a identificar tipo de deficiência visual. **Assembléia Legislativa Espírito Santo**, 27 agosto 2021. Disponível em: <<https://www.al.es.gov.br/Noticia/2021/08/41619/pl-ajuda-a-identificar-tipo-de-deficiencia-visual.html>>. Acesso em: 25 janeiro 2022.

ALMEIDA, K. P. D. **Do Assistencialismo à luta por direitos: as pessoas com deficiência e sua atuação no processo de construção do texto constitucional de 1988**. Programa de Pós-graduação em História. [S.l.], p. 209 fl. 2019.

AMARAL, W. Tecnologia e uma “cidade inteligente” para ajudar na mobilidade de pessoas com deficiência visual. **Comissão de Legislação Participativa**, 7 dezembro 2021. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/clp/noticias/tecnologia-e-uma-201ccidade-inteligente201d-para-ajudar-na-mobilidade-de-pessoas-com-deficiencia-visual>>. Acesso em: 7 setembro 2023.

AMAZON. Amazon: Books. **Amazon**, 2024. Disponível em: <<https://www.amazon.com/books-used-books-textbooks/b?ie=UTF8&node=283155>>. Acesso em: 5 janeiro 2024.

ANDRADE, J. N.; GALVÃO, D. C. O conceito de Smartcities aliado à mobilidade urbana. **HUM@NAE**, Santo Amaro, 10, 2016. ISSN 1517-7606.

ANTOL, S. et al. **VQA: Visual Question Answering**. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). Santiago: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2015. p. 2425-2433.

ANTP TRILHOS. Metrô de São Paulo comemora 55 anos com serviços e ações culturais, na estação Sé. **ANTP Trilhos - Associação Nacional dos Transportes de Passageiros sobre Trilhos**, 24 abril 2023. Disponível em: <<https://anptrilhos.org.br/metro-de-sao-paulo-comemora-55-anos-com-servicos-e-aco-es-culturais-na-estacao-se/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

APELT, R.; CRAWFORD, J.; HOGAN, D. **Wayfinding design guidelines**. 1ª. ed. Brisbane: Cooperative Research Centre for Construction Innovation, 2007. ISBN 978-09-804-2629-8.

APEX. Floor signs. **Apex**, 2021. Disponível em: <<https://www.apexsigncompany.com/product/floor-signs/>>. Acesso em: 16 november 2023.

ARNOTT, J.; GRAY, P.; RENALS, S. Advantages/Disadvantages of Speech Synthesiscs.stir.ac.uk. Acesso em: 20 dez. 2023. **Match Home Care Technologies**, 2013.

Disponível em:

<[https://www.cs.stir.ac.uk/~kjt/research/match/resources/tutorial/Speech\\_Language/Speech\\_Synthesis/Syn\\_1.html](https://www.cs.stir.ac.uk/~kjt/research/match/resources/tutorial/Speech_Language/Speech_Synthesis/Syn_1.html)>. Acesso em: 19 December 2023.

ARTHUR, P.; PASSINI, R. **Wayfinding: people, signs, and architecture**. 1ª. ed. New York: McGraw-Hill, 1992. 238 p. ISBN 978-00-755-1016-1.

ASCARELLI, M. **Independent Vision - Dorothy Harrison Eustis and the Story of the Seeing Eye**. Lafayette: Purdue University, 1962. ISBN 978-15-575-3563-4.

ASSIS, D. C. A. **O Caminhar da pessoa cega: Análise da exploração de elementos do espaço urbano por meio da bengala longa**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Maceió, p. 139. 2018.

AVILA, M. et al. Remote Assistance for Blind Users in Daily Life: A Survey about Be My Eyes. 1-2. In: WERTHNER, H., et al. **Conference Paper - The 9th ACM International Conference**. [S.l.]: Faculty of Computer Science, 2016. Cap. 85. ISBN 978-14-503-3692-5.

BÄCKSTRÖM, T. et al. **Introduction to Speech Processing**. 2ª. ed. Otaniemi: Aalto University, 2022. Disponível em: <<https://speechprocessingbook.aalto.fi>>. Acesso em: 12 november 2023.

BAESE-BERK; LEVI, S. V.; ENGEN, K. J. V. Intelligibility as a measure of speech perception: Current approaches, challenges, and recommendations. **JASA Special Collection - Reconsidering Classic Ideas in Speech Communication**, Salt Lake, 5 january 2023. 68-76. ISSN 0001-4966.

BAKEN, R. J.; ORLIKOFF, R. F. **Clinical Measurement of Speech and Voice**. Florence: Singular Thomson Learning, 2000. ISBN 978-15-659-3869-4.

BAKER, A. Navigating Life: A Taxonomy of Wayfinding Behaviours. **The Journal of Navigation**, London, 72, n. 3, may 2019. 539-554.

BANDURA, A. **Social Learning Theory**. 1ª. ed. Saddle River: Prentice-Hall, 1976. 256 p. ISBN 978-01-381-6744-8.

BARBOSA, A. S. Mobilidade urbana para pessoas com deficiência no Brasil - um estudo em blogs. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, Curitiba, 8, jan / abr 2016. 142-154. ISSN 2175-3369.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 2ª. ed. Lisboa: Edições 70, 1977. ISBN 97-244-0898-1.

Disponível em:

<[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7684991/mod\\_resource/content/1/BARDIN\\_\\_L.\\_1977.\\_Analise\\_de\\_conteudo.\\_Lisboa\\_\\_edicoes\\_\\_70\\_\\_225.20191102-5693-11evk0e-with-cover-page-v2.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7684991/mod_resource/content/1/BARDIN__L._1977._Analise_de_conteudo._Lisboa__edicoes__70__225.20191102-5693-11evk0e-with-cover-page-v2.pdf)>. Acesso em: 16 agosto 2022.

BARENKAMP, M.; REBSTADT, J.; THOMAS, O. Applications of AI in classical software engineering. **AI Perspectives & Advances**, New York, n. 2, 26 July 2020. 15. Disponível em: <<https://aiperspectives.springeropen.com/articles/10.1186/s42467-020-00005-4#citeas>>. Acesso em: 12 november 2022.

BARHORST-CATES, E. M.; RAND, K. M.; CREEM-REGEHR, S. H. The Effects of Restricted Peripheral Field-of-View on Spatial Learning while Navigating. **PLoS ONE**, 11, n. 10, 19 OCTOBER 2016.

BARLOW, T. Colossal - An art and design blog. **Designspiration**, 2018. Disponível em: <<https://www.designspiration.com/save/1752582691703/>>. Acesso em: 23 september 2020.

BARROSO, C.; LAY, M. C. D. **Acessibilidade universal versus orientação espacial em áreas urbanas**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió: ENTAC. 2014. p. 2081 - 2090. ISSN 978-85-671-6902-6.

BAŞKAYA, A.; WILSON, C.; ÖZCAN, Y. Z. Wayfinding in an Unfamiliar Environment: Different Spatial Settings of Two Polyclinics. **Environment and Behavior**, Thousand Oaks, 36, n. 6, november 2004. 839-867. ISSN 0013-9165.

BAUMANN, S. **Introduction to wayfinding and signage design**. DesignWorkplan. Amstelveen. 2010.

BELIR, O.; ONDER, D. Accessibility en Public Spaces: Spatial legibility for visually impaired people. **Proceedings of the Ninth International Space Syntax Symp**, Seoul, 2013. 073:1 - 073:12. ISSN 978-89-861-7721-3.

BENTZEN, B. L. (. et al. Effect of Tactile Walking Surface Indicators on Travelers with Mobility Disabilities. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Washington, 2674, n. 7, 16 june 2020. 410-419.

BERANEK, L. L. **Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture**. 2<sup>a</sup>. ed. New York: Springer, 2004.

BERGER, C. **Wayfinding: Designing and Implementing Graphic Navigational Systems**. Gloucester: Rockport Publishers, 2009. 176 p. ISBN 978-28-889-3057-0.

BERGER, R. E. Sound: Physics. In: GREGERSEN., E. **Britannica Science**. [S.l.]: Britannica, 2022. Disponivel em: <<https://www.britannica.com/science/sound-physics>>. Acesso em: 22 june 2022.

BERGLUND, B.; LINDWALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for community noise**. Geneva: World health organization, 1999. Disponivel em: <<https://www.who.int/publications/i/item/a68672>>. Acesso em: 14 agosto 2022.

BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI, D. **O desenho universal como gerador de instrumental para o processo de projeto arquitetônico**: Procedimentos participativos com o uso de simbologias e infográficos táteis. Anais do V Encontro da associação nacional de pesquisa e pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Salvador: EdUFBA. 2018. p. 11932-11937. ISSN 2358-6214.

BERNARDO, C. G.; MUÑOZ, I. K.; SILVA, T. B. P. Pessoa com deficiência visual e a acessibilidade à informação para mobilidade indoor. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, 18, 11 novembro 2020. 20-36.

Disponível em:

<<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8661391>>.

Acesso em: 10 setembro 2023. ISSN 1678-765X.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo: Blücher, 2011. 384 p. ISBN 978-85-212-0581-4.

BLESSER, B.; SALTER, L. **Spaces Speak, Are You Listening?** London: The MIT Press, 2007. 437 p. ISBN 978-02-620-2605-5. Disponível em: <[https://www.agosto-foundation.org/sites/default/files/upload/spaces\\_speak\\_are\\_you\\_listening.pdf](https://www.agosto-foundation.org/sites/default/files/upload/spaces_speak_are_you_listening.pdf)>.

Acesso em: 15 agosto 2022.

BODLUND, K. A normal mode analysis of the sound power injection in reverberation chambers at low frequencies and the effects of some response averaging methods. **Journal of Sound and Vibration**, New York, 55, n. 4, 25 march 1977. 563-590.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X77811802>>. Acesso em: 2 setembro 2022. ISSN 0022-460X.

BOLL, S. F. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. **IEEE on Acoustics, Speech and Signal Processing**, New York, 27, n. 2, april 1979. 113-120.

BONONATO, A. V. **La interacción del color - Josef Albers**. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, 2020. ISBN 978-95-029-1874-7.

BONSI, D.; GONZALEZ, D.; STANZIAL, D. **Quadraphonic impulse responses for acoustic enhancement of audio tracks: measurement and analysis**. Proceedings of the ForumAcusticum. 542-1. Budapest: [s.n.]. 2005. p. 335-340.



BORGES, W. F.; MENDES, E. G. Recursos de Acessibilidade e o Uso dos Dispositivos Móveis como Tecnologia Assistiva por Pessoas com Baixa Visão. **Revista Brasileira de Educação Especial**, Rio Grande, n. 27, 3 Mar 2021.

BOSCO, A. et al. Retinopatia diabética. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, São Paulo, 49, n. 2, 12 september 2005. 217-227.

BOURDIEU, P. **The logic of practice**. Tradução de Richard Nice. Stanford: Stanford University Press, 1977. 333 p. ISBN 978-08-047-2011-3.

BOUTERAA, Y. Design and Development of a Wearable Assistive Device Integrating a Fuzzy Decision Support System for Blind and Visually Impaired People, [s.l.], v. 12, n. 9, p. 1082, 7 set. 2021. DOI: 10.3390/mi12091082. **Micromachines**, Basel, 12, n. 9, 7 september 2021. 1082. ISSN 2072-666X.

BOUVIER, B. et al. Revealing the stimulus-driven component of attention through modulations of auditory salience by timbre attributes. **Scientific Reports**, London, 13, 23 april 2023.

BRACHFELD, M. Improving Machine Learning Systems for the Visually Impaired. **Computer Science**, 9 november 2022. Disponível em: <<https://www.cs.umd.edu/article/2022/11/improving-machine-learning-systems-visually-impaired>>. Acesso em: 15 november 2023.

BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 3128 de 24 de dezembro de 2008**. Brasília, p. 19. 2008.

BRENNER, W. Os 6 princípios da gestalt no seu dia a dia. **Update or Die!**, 8 março 2017. Disponível em: <<https://www.updateordie.com/2017/03/08/os-6-principios-da-gestalt-na-sua-cara-todos-os-dias/>>. Acesso em: 12 novembro 2023.

BRINGHURST, R. **The Elements of Typographic Style**. 2ª. ed. Point Roberts: Hartley & Marks, 1996. ISBN 08-81-791-334.

BROCK, A. **Interactive Maps for Visually Impaired People: Design, Usability and Spatial Cognition**. Université de Toulouse. Toulouse, p. 359. 2013.

BROWN, S. Machine learning, explained. **MIT Management Sloan School**, Cambridge, 21 april 2021. Disponível em: <<https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained>>. Acesso em: 15 november 2023.

BULIAN, B. D. S.; ALENCAR, C. A. A Importância do Big Data para a Compreensão dos Hábitos de Compra dos Consumidores, Aumentando as Vantagens Competitivas no Comércio Varejista. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, 3, n. 2, 20 novembro 2017. 18-41. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/administracao/big-data-comercio-varejista>>. ISSN 2448-0959.

BURGSTHALER, S. E. **Creating Inclusive Learning Opportunities in Higher Education: A Universal Design Toolkit**. Washington: Harvard Education Press, 2020. 248 p. ISBN 978-16-825-3541-7.

CALORI, C.; VANDEN-EYNDEN, D. **Signage and Wayfinding Design: A Complete Guide to Creating Environmental Graphic Design Systems**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2015. ISBN 978-11-186-9299-8.

CAMBRIDGE. Cambridge University Press. **Cambridge**, 2022. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/>>. Acesso em: 3 june 2022.

CAO, Y. T. et al. What's Different between Visual Question Answering for Machine "Understanding" Versus for Accessibility? **ArXiv**, Ithaca, 26 october 2022. 10. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2210.14966>>.

CARDOSO, C. Dom Pedro II — o primeiro sintetizador de voz. **Meio Bit**, 2017. Disponível em: <<https://meiobit.com/366435/bell-labs-dom-pedro-ii-voder-o-primeiro-sintetizador-de-voz-1939/>>. Acesso em: 17 junho 2023.

CARDOSO, R. **O mundo codificado: por uma filosofia do design e da comunicação**: Vilén Fusser. Tradução de R. Abi-Sâmara. 5ª. ed. São Paulo: Cosac & Naify, 2013. 224 p. ISBN 978-85-750-3593-1.

CARDOSO, W. SP instala 35 semáforos para deficientes visuais; veja como funciona.

**Metrópoles**, São Paulo, 12 dezembro 2023. Disponível em:

<<https://www.metropoles.com/sao-paulo/sp-semaforos-para-deficientes-visuais>>.

Acesso em: 23 dezembro 2023.

CARGOBR. Placas de sinalização de trânsito: conheça a diferença entre cores e modelos. **CargoBR Blog**, 10 maio 2019. Disponível em:

<<https://blog.cargobr.com/placas-sinalizacao/>>. Acesso em: 12 novembro 2023.

CARLIN, F.; ELY, V. H. M. B. A acessibilidade espacial como um dos condicionantes ao conforto de usuários em shopping centers - um estudo de caso., Maceió, 5 - 7 out 2005. 306-315. ISSN 2175-6333.

CARLSON, R. et al. Voice source rules for text-to-speech synthesis. **Proceedings of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing**, Glasgow, 1989.

CARPMAN, J. R.; GRANT, M. A. Wayfind: a broad view. In: BECHTEL, R. B.;

CHURCHMAN, A. **Handbook of environmental psychology**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. Cap. 28, p. 427-441. ISBN 978-04-711-8847-6.

CARROLL, J. M. M. **Making Use: Scenario-Based Design of Human-Computer Interactions**. 1ª paperback. ed. Cambridge: The MIT Press, 2003. 382 p. ISBN 978-02-625-1388-3.

CARVALHO, C. H. R. **Desafios da mobilidade urbana no Brasil**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro. 2016. (1415-4765).

CASSI, R.; KAJITA, M.; LARSEN, O. P. User-Environment Interaction: The Usability Model for Universal Design Assessment. **Universal Design 2021: From Special to Mainstream Solutions**, Amsterdam, 2021.

CASTREGHINI, M. I. **Cartografia tátil e representação espacial na orientação: E mobilidade de pessoas com deficiência visual**. Jundiaí: Paco Editorial, 2016. 368 p. ISBN 978-85-814-8561-4.

CASTRO, C. C. F. et al. Avaliação de acessibilidade de espaços públicos urbanos para pessoas com deficiência visual. , São Carlos, v. 7, n. 1, p. **Revista Internacional de Acessibilidade no Ambiente Construído**, São Carlos, 7, n. 1, jan / mar 2017. 63-78. ISSN 2236-901X.

CET SÃO PAULO. **Especificação técnica GGT 001/2018 - rev 4 - Botoeira Sonora - Anexo 1 - Especificações técnicas Botoeira Sonora**. Secretaria Municipal de Mobilidade e Trânsito do Município de São Paulo. [S.l.]. 2019.

CHEN, C.; HUANG, M. The Impact of Notification Modality and Ambient Sound on Users' Mobile Interaction. **Symmetry**, Basel, 13, n. 2, 28 february 2021. 18. ISSN 2073-8994.

CHION, M. **Audio-Vision: Sound on Screen**. Tradução de C. (english version) Gorbman. New York: Columbia University Press, 2019. 296 p. ISBN 978-02-311-8589-9.

CHOI, S. et al. Neural processing of lower- and upper-case text in second language learners of English: an fMRI study. **Language, cognition and neuroscience**, New York, 33, n. 2, 28 may 2018. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23273798.2017.1384028>>. Acesso em: 24 september 2022.

CHOMSKY, N. A review of Skinner's verbal behavior. **Language**, 35, n. 1, 1959. 26-58. Disponível em: <[http://www.biolingagem.com/ling\\_cog\\_cult/chomsky\\_1958\\_skinners\\_verbalbehavior.pdf](http://www.biolingagem.com/ling_cog_cult/chomsky_1958_skinners_verbalbehavior.pdf)>.

CHUA, G. Y. P. et al. Pitch right : the effect of vocal pitch on risk. **Economics Bulletin**, Singapore, 40, n. 4, 6 january 2024. 10.

CHUN, R. Y. S.; MADUREIRA, S. A qualidade ea dinâmica de voz. In: \_\_\_\_\_ **Distúrbios da Comunicação**. [S.l.]: [s.n.], v. 15. no. 2, 2004. p. 383-392.

CICCARELLI, D. How AI Voices Differ from Natural Voices. **VOICES**, 12 April 2023. Disponível em: <<https://www.voices.com/blog/ai-vs-natural-voice/>>. Acesso em: 19 December 2023.

CLÍNICA BOLZAN. A diferença entre miopia, hipermetropia e astigmatismo. **Clínica Bolzan**, 24 fevereiro 2018. Disponível em: <<http://www.clinicabolzan.com.br/a-diferenca-entre-miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>>. Acesso em: 6 novembro 2023.

CMSP. A marca. **Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô - Institucional**, 2020. Disponível em: <<https://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/marca>>. Acesso em: 23 outubro 2020.

COELHO, B. Saiba como fazer as referências de audiobook nas normas da ABNT. **Mettzer**, 15 setembro 2021. Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/audiobook/>>. Acesso em: 6 dezembro 2023.

COELHO, M. Fundamentos de Redes Neurais. **Laboratório iMobis**, Ouro Preto, 6 junho 2017. Disponível em: <<https://www2.decom.ufop.br/imobilis/fundamentos-de-redes-neurais/>>. Acesso em: 15 novembro 2023.

COLDEWEY, D. Google's Lookout app for vision-impaired now scans food labels and long documents. **Techcrunch**, 11 august 2020. Disponível em: <<https://techcrunch.com/2020/08/11/googles-lookout-app-for-vision-impaired-now-scans-food-labels-and-long-documents/>>. Acesso em: 25 november 2023.

COLE, H. Tactile cartography in the digital age: A review and research agenda. **Progress in Human Geography**, Washington, 45, n. 4, 15 march 2021.

COLLEGE OF DESIGN. Center for Universal Design. **North Carolina State University**, 2022. Disponível em: <<https://design.ncsu.edu/research/center-for-universal-design/>>. Acesso em: 23 maio 2022.

COOPER, A. **The Inmates Are Running the Asylum: Why High Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity.** 2ª. ed. Carmel: Sams Publishing, 2004. ISBN 978-06-723-2614-1.

COOPER, A. **About Face: The Essentials of Interaction Design.** 4ª. ed. New York: Wiley, 2014. 720 p. ISBN 978-1118766576.

COUPER-KUHLEN, E. **English Speech Rhythm.** Amsterdam: John Benjamins Publishing Company, 1993. 360 p. ISBN 978-90-272-8583-6. Disponível em: <<http://digital.casalini.it/9789027285836>>. Acesso em: 19 february 2023.

COX, C. The Story of Speech Synthesis: From Talking Tubes to Neural Networks. **Lingoblog**, 10 november 2020. Disponível em: <<https://www.lingoblog.dk/en/the-story-of-speech-synthesis-from-talking-tubes-to-neural-networks-part-1-3/>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

COX, T. J.; D'ANTONIO, P. **Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design, and Application.** 3ª. ed. New York: CRC Press, 2016.

CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**, publicada em 2014 pela. 4ª. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014. 273 p. ISBN 978-10-718-1794-0.

CRYSTAL, D. **A revolução da linguagem.** Tradução de R. Quintana. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2005. ISBN 85-711-0896-X.

CSILLAG, P. **Comunicação com Cores: Uma Abordagem Científica Pela Percepção Visual.** São Paulo: SENAI-SP, 2021. 222 p. ISBN 978-85-839-3111-9.

CYPRESS HANSEN. Sounding the alarm: How noise hurts the heart, 12 february 2021. Disponível em: <<https://knowablemagazine.org/content/article/health-disease/2021/how-noise-pollution-affects-heart-health>>. Acesso em: 15 november 2022.

D'AGOSTINI, D. Sinalização Terminais Catsul. **Béhance Net**, 31 março 2015. Disponível em: <<https://www.behance.net/gallery/24942445/Sinalizacao-Terminais-Catsul>>.

Acesso em: 16 novembro 2023.

D'AGOSTINI, D. **Design de sinalização**. São Paulo: Editora Blucher, 2021. 368 p. ISBN 978-85-212-1097-9.

DALE, R. The voice synthesis business: 2022 update. **Natural Language Engineering**, Cambridge, 28, n. 3, 8 april 2022. 401-408. Disponível em:

<[https://www.cambridge.org/core/journals/natural-language-engineering/article/voice-synthesis-business-2022-](https://www.cambridge.org/core/journals/natural-language-engineering/article/voice-synthesis-business-2022-update/0E02E7E5A3934A243E84D4FD7E8A3502)

[update/0E02E7E5A3934A243E84D4FD7E8A3502](https://www.cambridge.org/core/journals/natural-language-engineering/article/voice-synthesis-business-2022-update/0E02E7E5A3934A243E84D4FD7E8A3502)>. Acesso em: 18 june 2023.

DALTON, R. C.; HÖLSCHER, C.; MONTELLO, D. R. Wayfinding as a Social Activity.

**Hypothesis and theory**, Lausanne, 10 (article 142), 4 february 2019. 14.

DE KONING, D. AI vs Human Voice Over: 8 Reasons Why We Reign Supreme. **Voquent**,

1 june 2023. Disponível em: <[https://www.voquent.com/blog/ai-vs-human-voice-](https://www.voquent.com/blog/ai-vs-human-voice-over/)

[over/](https://www.voquent.com/blog/ai-vs-human-voice-over/)>. Acesso em: 19 December 2023.

DENZIN, N. K.; LINCOLN, . Y. S. **The SAGE Handbook of Qualitative Research**. 4<sup>a</sup>. ed.

Thousand Oaks: SAGE Publications, 2011. 766 p. ISBN 978-14-129-7417-2.

DEPINÉ, Á.; TEIXEIRA, C. S. **Eficiência urbana em cidades inteligentes e sustentáveis:**

conceitos e fundamentos. São Paulo: Perse, 2021. 172 p. ISBN 978-65-587-9203-1.

Disponível em: <<http://via.ufsc.br/>>.

DM9DDB. **Campanha publicitária "Vase" para FedEx**. DM9DDB. São Paulo. 2009.

DOMINGUES, V. O. et al. Catarata senil: uma revisão de literatura. **Revista de Medicina**

**e Saúde de Brasília**, Brasília, 1, 22 março 2016. 135-144. ISSN 2238-5339.

DPA. Human Voice Frequency. **Facts about speech intelligibility**, 03 march 2021.

Disponível em: <<https://www.dpamicrophones.com/mic-university/facts-about-speech-intelligibility>>. Acesso em: 19 december 2022.

DRUBSCKY, L. Princípios da gestalt: como melhorar a UX do seu app. **UXcam Blog**, 17 janeiro 2023. Disponível em: <<https://uxcam.com/br/blog/principios-de-gestalt>>. Acesso em: 17 novembro 2023.

DUDLEY, H.; TARNÓCZY, T. H. The Speaking Machine of Wolfgang von Kempelen. **Journal of the Acoustical Society of America**, New York, 1950. 151-166.

EDWORTHY, J.; ADAMS, A. **Warning Design: A Research Prospective**. New York: Taylor & Francis Ltd., 1996. 219 p. ISBN 978-07-484-0467-4.

EDWORTHY, J.; HELLIER, E. Alarms and human behaviour: implications for medical alarms. **British Journal of Anaesthesia**, Amsterdam, 1, July 2006. 12-17. Disponível em: <[https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912\(17\)35178-4/fulltext](https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912(17)35178-4/fulltext)>. Acesso em: 23 december 2023.

ELSEVIER B.V. Elsevier. **Elsevier**, 2024. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/>>. Acesso em: 5 janeiro 2024.

ENGLEBRETSON, R.; HOOKBOOK, M. C.; FISCHER-BAUM, S. A position paper on researching braille in the cognitive sciences: decentering the sighted norm. **Applied Psycholinguistics**, Cambridge, 44, 15 february 2023. 400-415.

ERCAN, A. M. **Auditory signs for public transportation - Accessible pleasant smart cities**. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings - InterNoise 19, p. 4999-5997. Madrid: [s.n.]. 2019. p. 5573-5578.

ERTHAL, A. A. **Articulações Sonoras: como marcas comunicam suas identidades por meio dos sons**. Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação. Rio de Janeiro: Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. 2015. ISSN 2175-4683.

ESTEVES, P. I. S. **SEEstem - Dispositivo de Navegação de Auxílio à Mobilidade de Pessoas com Deficiência Visual**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 112. 2019.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. **Master handbook of acoustics**. 6ª. ed. New York: MC Graw Hill, 2015. ISBN 978-00-718-4103-0.



EYSENCK, M. W.; KEANE, M. T. **Cognitive Psychology: A Student's Handbook**. 7ª. ed. London: Psychology Press, 2015. 856 p. ISBN 978-18-487-2416-7.

FANT, G. What can basic research contribute to speech synthesis? **Journal of Phonetics**, 1991. 75-90.

FANT, G. Vocal tract area functions of Swedish vowels and a new three-parameter model. **Proc. ICSLP-92**, 1, 1992. 807-810.

FANT, G.; KRUCKENBERG, A.; NORD, L. Temporal organization and rhythm in Swedish. **Proceedings of ICPhS**, Aix-en-Provence, 1991. 251-256.

FASTL, H.; ZWICKER, E. **Psychoacoustics - Facts and Models**. 3ª. ed. Berlin: Springer Berlin, Heidelberg, 2006. 463 p. ISBN 978-3-540-23159-2.

FEITOSA, L. D. S. R.; RIGHI, R. Acessibilidade arquitetônica e desenho universal no mundo e Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, 4, nº 28, 2016. 15-31. ISSN 2318-8472.

FEITOSA, L. S. R.; RIGHI, R. Acessibilidade Arquitetônica e Desenho Universal no Mundo e Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, 4, n. 28, 2016. 15-31. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Lucas-Feitosa-5/publication/312247395\\_Acessibilidade\\_Arquitetonica\\_e\\_Desenho\\_Universal\\_no\\_Mundo\\_e\\_Brasil/links/5fb7aa95a6fdcc6cc64f80a3/Acessibilidade-Arquitetonica-e-Desenho-Universal-no-Mundo-e-Brasil.pdf?origin=publ](https://www.researchgate.net/profile/Lucas-Feitosa-5/publication/312247395_Acessibilidade_Arquitetonica_e_Desenho_Universal_no_Mundo_e_Brasil/links/5fb7aa95a6fdcc6cc64f80a3/Acessibilidade-Arquitetonica-e-Desenho-Universal-no-Mundo-e-Brasil.pdf?origin=publ)>. Acesso em: 11 fevereiro 2022. ISSN 2318-8472.

FERNANDES, F. Geografia inclusiva: como fazer mapas táteis. **MultiRio**, 16 junho 2021. Disponível em: <<https://www.multirio.rj.gov.br/index.php/reportagens/17245-geografia-inclusiva-como-fazer-mapas-t%C3%A1teis>>. Acesso em: 12 novembro 2023.

FERRARI, L. A. S. et al. Tecnologias Assistivas para a autonomia de pessoas com deficiência visual. **Revista Brasileira de Tecnologias Assistivas**, 3, n. 2, 2020. 326-335.

FLORIDA, R. **The New Urban Crisis: How Our Cities Are Increasing Inequality, Deepening Segregation, and Failing the Middle Class-and What We Can Do About It.** 1. ed. Toronto: Hachette UK, 2017. 336 p. ISBN 978-04-650-9778-4.

FOLTZ, M. A. **Designing navigable information spaces.** 1998. 130 p. Thesis (Master of Science). Department of Electrical Engineering and Computer Science. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. 1998.

FREEPIK. Sapateiro na oficina de fazer sapatos. **Imagem de drobotdean no Freepik,** 2020. Disponível em: <[https://br.freepik.com/fotos-gratis/sapateiro-na-oficina-de-fazer-sapatos\\_7573221.htm](https://br.freepik.com/fotos-gratis/sapateiro-na-oficina-de-fazer-sapatos_7573221.htm)>. Acesso em: 2 maio 2024.

FREEPIK. Criança olhando pela janela durante a chuva. **Imagem de Annel no Freepik,** 2023. Disponível em: <[https://br.freepik.com/fotos-premium/crianca-triste-e-fofa-olhando-pela-janela-em-um-dia-chuvoso-crianca-olhando-pela-janela-durante-a-chuva\\_77016576.htm](https://br.freepik.com/fotos-premium/crianca-triste-e-fofa-olhando-pela-janela-em-um-dia-chuvoso-crianca-olhando-pela-janela-durante-a-chuva_77016576.htm)>. Acesso em: 2 maio 2024.

FREEPIK. Um grupo de pessoas sentadas em fila, rindo. **Ilustração de iconade em Freepik,** 2023. Disponível em: <[https://br.freepik.com/fotos-premium/um-grupo-de-pessoas-sentadas-em-fila-rindo-e-rindo\\_44825975.htm](https://br.freepik.com/fotos-premium/um-grupo-de-pessoas-sentadas-em-fila-rindo-e-rindo_44825975.htm)>. Acesso em: 2 maio 2024.

FURBINO, I. Aprenda o que é feedback, qual a importância para empresa e veja exemplos para aplicar no dia a dia. **Sólides,** 12 maio 2023. Disponível em: <<https://blog.solides.com.br/feedback/>>. Acesso em: 15 dezembro 2023.

GARZONIS, S. et al. **Auditory Icon and Earcon Mobile Service Notifications: Intuitiveness, Learnability, Memorability and Preference.** CHI '09: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston: The Association for Computing Machinery Digital Library. 2009. ISSN 978-16-055-8246-7.

GAVER, W. W. Auditory Icons: Using Sound in Computer Interfaces. **Human-computer interaction,** San Diego, 2, 11 november 1986. 167-177.

GBD 2019 BLINDNESS AND VISION IMPAIRMENT COLLABORATORS; VISION LOSS EXPERT GROUP OF THE GLOBAL BURDEN OF DISEASE STUDY. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. **PubMed**, 1 december 2020. 144-160.

GEHL, J. **Cities for People**. Washington: Island Press, 2010. 269 p. ISBN 978-15-972-6573-7.

GELL, A. How to Read a Map: Remarks on the Practical Logic of Navigation. **Man**, London, 20, n. 2, jun 1985. 271-286.

GHAN, J.; CAZZOLATO, B. S.; SNYDER, S. D. Expression for the estimation of time-averaged acoustic energy density using the two-microphone method (L). **The Journal of the Acoustical Society of America**, College Park, 113, n. 5, 5 may 2003. 2404–2407. ISSN 0001-4966.

GIBSON, D. **The wayfinding handbook - information design for public places**. New York: Princeton Architectural Press, 2014. 146 p. ISBN 978-15-689-8769-9. Disponível em: <<https://ratnacahayarina.files.wordpress.com/2014/02/david-gibson-the-wayfinding-handbook.pdf>>. Acesso em: 3 march 2022.

GLAESER, E. **Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier**. Chicago: Penguin Books, 2011. ISBN 978-0143120544.

GOETHE, J. W. **Theory of Colours**. Tradução de C. L. Eastlaee. London: John Murray, 1840. 487 p.

GOLD, B.; MORGAN, N.; ELLIS, D. **Speech and Audio Signal Processing: Processing and Perception of Speech and Music**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 688 p. ISBN 978-04-701-9536-9.

GOLDSMITH, F. Audiobooks and Engagement: Eliminating barriers to developing listening skills leads to civic participation. **American Libraries**, Chicago, 29 June 2017. 31-32. ISSN 0002-9769.

GOLDSMITH, S. **Designing for the disabled**. London: The Architectural Press, 1976.

GOLDSMITH, S. **Designing for the Disabled - The New Paradigm**. 1ª. ed. Milton Park: Routledge - Taylor & Francis Group, 1997. ISBN 978-07-506-3442-7.

GOLLEDGE, R. G. Personal space and territoriality in the navigation of blind persons: new insights into an old problem. **Journal of Visual Impairment & Blindness**, Reston, 77, n. 10, Oct 1983. 497-505.

GOLLEDGE, R. G. Human wayfinding and cognitive maps. In: GOLLEDGE, R. G. **Wayfinding behaviour: cognitive mapping and other spatial processes**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1999. p. 428. ISBN 978-08-018-5993-9.

GOMES, D.; QUARESMA, M. **Introdução ao design inclusivo**. Curitiba: Appris, 2020. 197 p. ISBN 978-65-552-3883-9.

GONZÁLES, J. F.; GONGOAL, A. Unidirectional Tactile Paving: Circulation for the Visually Impaired. In: GAROFOLO, I.; BENCINI, G.; ARENGHI, A. **Transforming Our World Through Universal Design for Human Development: Proceedings of the Sixth International Conference on Universal Design**. [S.l.]: IOS Press, v. 297, 2022. ISBN 1643683055, 9781643683058, 1879-8365.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. Cambridge: MIT Press, 2016. 800 p. ISBN 978-02-620-3561-3. Disponível em: <<https://www.deeplearningbook.org>>. Acesso em: 15 november 2023.

GOOGLE, INC. Google Acadêmico. **Google**, 2024. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br>>. Acesso em: 5 janeiro 2024.

GOTHELF, J.; SEIDEN, J. **Lean UX: Designing Great Products with Agile Teams**. 3ª. ed. New York: O'Reilly Media, 2021. 254 p. ISBN 978-10-981-1630-9.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria dos Transportes Metropolitanos de São Paulo. **Mapa do transporte metropolitano**, 2021. Acesso em: 11 Fevereiro 2023.

GUIMARÃES, L. **A Cor como Informação**. São Paulo: SENAC, 2018. ISBN 978-85-396-0225-0.

GURGEL, M. **Projetando espaços - guia de arquitetura de interiores para áreas residenciais**. 2020. 6. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2020. 228 p. ISBN 978-85-396-2291-7.

GUSKI, R.; FELSCHER-SUHR, U.; SCHUEMER, R. The concept of noise: how international experts see it. **Journal of Sound and Vibration**, Amsterdam, 223, n. 4, 17 June 1999. 513-527.

HARRIS, L. R. et al. How our body influences our perception of the world. **Frontiers in Psychology**, Bruxelles, 6, June 2015. 819:1-819:10. ISSN 1664-1078.

HAYS, B. Scientists attempt to measure what makes a voice unique. **Science News**, Honolulu, 2 December 2016. Disponível em:  
<[https://www.upi.com/Science\\_News/2016/12/02/Scientists-attempt-to-measure-what-makes-a-voice-unique/3161480704186/](https://www.upi.com/Science_News/2016/12/02/Scientists-attempt-to-measure-what-makes-a-voice-unique/3161480704186/)>.

HERSH, M. A.; JOHNSON, M. A. **Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People**. 1ª. ed. London: Springer London, 2008. 725 p. ISBN 978-18-462-8866-1.

HESPANHA, P. Dicionário das Crises e Alternativas. In: SOCIAIS, C. D. E. **Dicionário das Crises e Alternativas**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2012. p. 30-31. ISBN 978-972-40-4820-8.

HOLMES, J. N. Formant synthesizers: Cascade or parallel? **Speech Communication**, New York, 2, n. 4, 1 December 1983. 251-273.

HOWE, J. The Rise of Crowdsourcing. **Wired**, 14, 2006. New York. apud Wang, T. From News Receiver to News Producer - The New Relationship between Journalists and Audience in web 2.0. *Advances in Journalism and Communication*, 4 (2), 2016. 55-66. Disponível em: <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=67074>>. Acesso em: 19 november 2023.

HUCKVALE, M. Resources and Tools in Speech, Hearing and Phonetics. **UCL Psychology and language Sciences. University College London, Faculty of Brain Sciences**, 14 february 2019. Disponível em: <<https://www.phon.ucl.ac.uk/>>. Acesso em: 10 december 2023.

HUNT, A. J.; BLACK, A. W. Unit Selection in a Concatenative Speech Synthesis System Using a Large Speech Database. **Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '96)**, Kyoto, 1, 1996. 373-376.

IBGE. **Censo demográfico 2010: características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Brasília. 2012.

IEC. **IEC 61260-1:2014 - Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters**. International Standard. [S.l.], p. 88. 2014.

IEEE. IEEE Xplore. **IEEE**, 2022. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>>. Acesso em: may 2022.

INSPIRIT. Frequency And Pitch Of Sound Study Guide. **Inspirit**, 28 March 2023. Disponível em: <<https://www.inspiritvr.com/frequency-and-pitch-of-sound-study-guide/>>. Acesso em: 25 junho 2023.

INSTITUTO PARADIGMA. Como a acessibilidade deve integrar as cidades inteligentes. **Instituto Paradigma**, 3 junho 2023. Disponível em: <<https://iparadigma.org.br/como-a-acessibilidade-deve-integrar-as-cidades-inteligentes/>>. Acesso em: 7 setembro 2023.

ISTOMIN, K. V.; DWYER, M. J. Finding the Way - A critical discussion of anthropological theories of human spatial orientation with reference to reindeer herders of Northeastern Europe and Western Siberia. **Current Anthropology**, Chicago, 50, n. 1, 2009.

ITTEN, J. **The Art of Color: The Subjective Experience and Objective Rationale of Color**. 2ª. ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1973.

JOÃO, P. Para que serve o piso tátil e por que é importante cuidar dele? **CNN**, 12 dezembro 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/saude/para-que-serve-o-piso-tatil-e-por-que-e-importante-cuidar-dele/>>. Acesso em: 22 dezembro 2023.

JUNG VON MATT. **Campanha Publicitária "Imagine" para Lego**. LEGO System A/S. Hamburgo. 2012.

JUNI, S.; GROSS, J. S. Emotional and persuasive perception of fonts. **National Library of Medicine**, New York, 106, n. 1, february 2008. 35-42.

JURAFSKY, D.; MARTIN, J. H. **Speech and Language Processing - An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition**. Palo Alto - Silicon Valley: Stanford University, 2023. Disponível em: <<https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ed3book.pdf>>. Acesso em: 15 november 2023.

KALBACH, J. **Design de Navegação Web: Otimizando a Experiência do Usuário**. Tradução de E. K. Piveta. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 425 p. ISBN 978-85-778-0491-7.

KANG, J. **Urban Sound Environment**. Boca Raton: CRC Press, 2006.

KASPEREK, S. Sign Redesign: Applying Design Principles to Improve Signage in an Academic Library, *Mansfield*, 2, n. 1, 2 may 2014. 48-63. ISSN 2324-7878.

KATES, J. M. Constrained adaptation for feedback cancellation in hearing aids. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, 106, n. 2, 1 august 1999. 1010–1019. ISSN 0001-4966.

KIM, H. N. User experience of Assistive apps among people with visual impairment. **Technology and Disability**, Amsterdam, 34, 22 August 2022. 165-174. Disponivel em: <<https://content.iospress.com/articles/technology-and-disability/tad220377>>.

KLINE, R. (2015). The Push and Pull of Technology: Analog vs. Digital. , 123-133. **The Routledge Companion to Remix Studies**, New York, 2015.

KOFFKA, K. **Principles of Gestalt Psychology**. New York: Harcourt, Brace and Company, 1935.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. 6<sup>a</sup>. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. 322 p. ISBN 978-13-153-7215-0.

LADD, R. **Intonational Phonology**. 2<sup>a</sup>. ed. Cambridge: Cambridge University Press , 2008. ISBN 978-05-118-0881-4.

LANDRY, C. **The Creative City: A Toolkit for Urban Innovators**. 2<sup>a</sup>. ed. [S.l.]: Routledge, 2008. 352 p. ISBN 978-18-440-7598-0.

LANGELLA, M. Designing For User Interfaces: Icons As Visual Elements For Screen Design. **Smashing Magazine**, 16 february 2018. Disponivel em: <<https://www.smashingmagazine.com/2018/02/user-interfaces-icons-visual-elements-screen-design/>>. Acesso em: 29 november 2023.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, New York, 27 may 2015. 436-444.

LEEDY, P. D.; ORMROD, J. E. **Practical research - planning and design**. 11<sup>a</sup>. ed. Edinburg: Pearson Education Limited, 2015. ISBN 978-12-920-9587-5. Disponivel em: <[https://pce-fet.com/common/library/books/51/2590\\_%5BPaul\\_D.\\_Leedy,\\_Jeanne\\_Ellis\\_Ormrod%5D\\_Practical\\_Res\(b-ok.org\).pdf](https://pce-fet.com/common/library/books/51/2590_%5BPaul_D._Leedy,_Jeanne_Ellis_Ormrod%5D_Practical_Res(b-ok.org).pdf)>. Acesso em: 11 fevereiro 2021.



LENZO, K. A.; BLACK, A. W. Diphone Collection And Synthesis. **Sixth International Conference on Spoken Language Processing - Interspeech**, Beijing, 16 october 2000. 306-309.

LERNER, J. **Urban Acupuncture**. Washington: Island Press, 2014. 160 p. ISBN 978-1-61091-583-0.

LETTIERI, I. **Rêlou Chamada Aeroporto**. Guarulhos: Youtube Inc., 2019.

LEWIS, E. Pros and Cons of Synthesized Speech for Audio Description. **3Play Media**, 16 March 2021. Disponível em: <<https://www.3playmedia.com/blog/pros-cons-synthesized-speech-audio-description/>>. Acesso em: 19 December 2023.

LÉXICO. Significado de Navegar - O que é, Sinónimos e Conceito no Dicionário. **Dicionário de português online**, 2009. Disponível em: <<https://www.lexico.pt/navegar>>. Acesso em: 6 Novembro 2023.

LIBANIO, J. C.; MACHADO, C. R. Utilização de sensores em dispositivos para deficientes visuais. **Anais da - V Feira de Iniciação Científica e Extensão - V FICE**, Camboriú, 2014. 6.

LIMA, M. Gestalt ou Lei de Gestalt. **Digital Plus**, 2020. Disponível em: <<https://digitalplus.design.blog/2020/01/18/gestalt/>>. Acesso em: 16 setembro 2020.

LIN, Q.; FANT, G. A new algorithm for speech synthesis based on vocal tract modeling. **STL-QPSR**, 1990. 45-52.

LINN, A. Decades of computer vision research, one 'Swiss Army knife'. **The IA Blog**, 30 march 2016. Disponível em: <<https://blogs.microsoft.com/ai/decades-of-computer-vision-research-one-swiss-army-knife/>>. Acesso em: 8 December 2022.

LIU, F. et al. On the definition of noise. **Humanities and Social Sciences Communications**, New York, 8 november 2022. 17. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41599-022-01431-x>>. Acesso em: 13 january 2023. ISSN 2662-9992.

LOCH, R. E. N. Cartografia tátil: mapas para deficiências visuais. **Portal da Cartografia**, Londrina, 1, n. 1, mai. 2008. 35-58. ISSN 1983-6546.

LOFFT, A. Audio Oddities: Frequency Ranges of Male, Female and Children's Voices. **Axion**, 19 may 2020. Disponível em: <<https://www.axiomaudio.com/blog/audio-oddities-frequency-ranges-of-male-female-and-childrens-voices>>. Acesso em: 8 december 2022.

LOOMIS, J. M. et al. Nonvisual navigation by blind and sighted: assessment of path integration ability. **Journal of Experimental Psychology General**, n. 122, Março 1993. 73-91.

LOOMIS, J. M.; KLATSKY, R. L.; GOLLEDGE, R. G. Navigating without vision: basic and applied research. **Optometry and vision science**, Santa Barbara, 78, n. 5, may 2001. 282-289.

LOPES, B. G.; DE MARCHI, P. M. A tecnologia como meio de inclusão dos deficientes visuais no transporte público. **Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística. Edição Temática em Tecnologia Aplicada**, São Paulo, 5, n. 4, dezembro 2015. ISSN 2179-474X.

LUPTON, E. **Thinking with type**: a critical guide for designers, writers, editors, & students. 1ª. ed. New York: Princeton Architectural Press, 2004. 176 p. ISBN 1-568-984-480.

LYNCH, K. **The Image of the City**. Illustrated Edition. ed. Massachusetts: The Mit Press, 1960. 208 p. ISBN 978-02-626-2001-7.

MACE, R.; HARDIE, G. J.; PLACE, J. P. **Accessible Environments - toward universal design**. Raleigh: North Carolina State University, 1991. 44 p. ISBN 919-51-5308-2.

MACHADO, A. P. F.; MEDEIROS, D. P. O design de sinalização auxiliando na mobilidade de pessoas com deficiência visual no transporte público. **Revista Vincici - Periódico cinetífico do UniSATC**, Criciúma, 2019. 48-80. Disponível em: <<http://repositorio.satc.edu.br/handle/satc/354>>. Acesso em: 26 maio 2023.

MACHADO, R. S. et al. Acessibilidade de deficientes visuais no ambiente construído: percepções, desafios e oportunidades. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 18, n. 2, abr./jun. 2018. 235-253.

MAKISHIMA, N. et al. Speaker consistency loss and step-wise optimization for semi-supervised joint training of TTS and ASR using unpaired text data. **Arxiv**, Ithaca, 11 July 2022.

MALA, N. S.; THUSHARA, S. S.; SUBBIAH, S. Navigation Gadget for Visually Impaired Based on IoT. **Second International Conference On Computing and Communications Technologies (ICCCT'17)**, New York, 23-24 february 2017. 334-338. ISSN 978-15-090-6221-8.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2003. ISBN 85-224-3397-6.

MARIANI, E. **Delineamento de sistemas eletrônicos para guiar pessoas com deficiência visual em redes de metrô**. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, p. 362. 2016.

MARQUES, E. Como é usar o Google Maps com o recurso de realidade aumentada. **Mac Magazine**, 2019. Disponível em: <<https://macmagazine.com.br/post/2019/03/28/como-e-usar-o-google-maps-com-o-recurso-de-realidade-aumentada/>>. Acesso em: 12 outubro 2023.

MATCH PROJECT. Advantages/Disadvantages of Speech Synthesis. **MATCH Technology Tutorial**, Stirling, 31 October 2013. Disponível em: <<https://www.cs.stir.ac.uk/~kjt/research/match/resources/tutorial/Main/Main/Tutorial.html>>. Acesso em: 2 December 2023.

MAYER-SCHÖNBERGER, V.; CUKIER, K. **Big Data: A Revolution that Will Transform how We Live, Work, and Think**. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2013. 242 p. ISBN 97-80-544-0026-92.

MEDTEC. Decibelímetro digital GM1351. **Medtec instrumentos de medição**, [s.i.]. Disponível em: <<https://medtec.com.br/produto/decibelimetro-digital-gm1351/>>. Acesso em: 15 november 2023.

MELO, A. C. F.; BASTOS, H. R. Design de sistema de sinalização para o bairro do Alecrim, Natal, RN - abordagens metodológicas. **Ergotrip Design - Revista dos encontros internacionais de estudos luso-brasileiros**, Aveiro, 2018. ISSN 2183-928X.

MENDES, A. B. **Avaliação das condições de acessibilidade para pessoas com deficiência visual em Brasília - estudos de casos**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília - FAU UNB. Brasília, p. 288. 2009.

MENDONÇA, A. et al. **Alunos cegos e com baixa visão: orientações curriculares**. Lisboa: Ministério da Educação. DGIDC - Direcção Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular, 2008. Disponível em: <[https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/EEspecial/publ\\_alunos\\_cegos.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/EEspecial/publ_alunos_cegos.pdf)>.

MENGHANI, G. Efficient Deep Learning: A Survey on Making Deep Learning Models Smaller, Faster, and Better. **ArXiv**, Ithaca, n. 2, 21 june 2021. 44. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2106.08962v2>>. Acesso em: 12 november 2023.

MERINO, G. S. A. D. **Metodologia para a prática projetual do design: com base no projeto centrado no usuário e com ênfase no design universal**. Universidade Federal de Santa Catarina. Blumenau, p. 212. 2014.

MICROSOFT. Criador de imagens do Bing. **Microsoft Bing**, 2023. Disponível em: <<https://www.bing.com/images/create>>. Acesso em: 9 outubro 2023.

MIGLIANI, A. Design Total Cauduro Martino / Celso Longo. **Arch Daily**, 20 setembro 2014. Disponível em: <[https://www.archdaily.com.br/br/627454/design-total-cauduro-martino-celso-longo/540a07fac07a808f0a000050-design-total-cauduro-martino-celso-longo-foto?next\\_project=no](https://www.archdaily.com.br/br/627454/design-total-cauduro-martino-celso-longo/540a07fac07a808f0a000050-design-total-cauduro-martino-celso-longo-foto?next_project=no)>. Acesso em: 16 novembro 2023.

MILLER, G. A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. **Psychological Review**, Harvard, 63, 1956. 81-97. Disponível em: <<https://labs.la.utexas.edu/gilden/files/2016/04/MagicNumberSeven-Miller1956.pdf>>. Acesso em: 20 setembro 2023.

MIRANDA, J. V. D. Big Data: Entenda mais sobre esse conceito. **Alura**, 17 agosto 2022. Disponível em: <<https://www.alura.com.br/artigos/big-data>>. Acesso em: 23 dezembro 2023.

MITCHELL, T. M. **Machine Learning**. 1ª. ed. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Mat, 1997. 432 p. ISBN 0070428077.

MOGGRIDGE, B. **Designing Interactions**. Massachusetts: MIT Press, 2006. 766 p. ISBN 978-02-621-3474-3.

MONTEIRO, P. R.; CASAGRANDE, B. **Mapas táteis urbanos**. Faculdades Integradas Alcântara Machado (FIAM) - FAAM. São Paulo. 2009.

MOORE, B. C. J. **An Introduction to the Psychology of Hearing**. 6ª. ed. London: Emerald Group Publishing Limited, 2013. 441 p. ISBN 978-90-042-5242-4. Disponível em: <[https://web.uvic.ca/~aschloss/course\\_mat/MUS%20511/articles/An%20Introduction%20to%20the%20Psychology%20of%20Hearing%20by%20Brian%20Moore%206th%20Edition.pdf](https://web.uvic.ca/~aschloss/course_mat/MUS%20511/articles/An%20Introduction%20to%20the%20Psychology%20of%20Hearing%20by%20Brian%20Moore%206th%20Edition.pdf)>. Acesso em: 14 novembro 2022.

MORETINI, T. A psicanálise e o inconsciente. **IBRAPSI**, 4 janeiro 2023. Disponível em: <<https://ibrapsi.com.br/a-psicanalise-e-o-inconsciente/>>. Acesso em: 23 novembro 2023.

MORRIS, A. Mobility and Orientation. In: KAPLAN, H. I.; SADOK, B. J.; GREBB, J. A. **Comprehensive Textbook of Psychiatry**. 10th. ed. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2015. p. 102-108.

MOVER. Mapa tátil acrílico. **Mover acessibilidade**, 10 outubro 2017. Disponível em: <<https://moveracessibilidade.com.br/mapa-tatil-acrilico/>>. Acesso em: 3 abril 2023.

MS ACESSIBILIDADE. O que é mapa acessível ou mapa tátil e sua importância?

**Acessibilidade & comunicação**, 3 janeiro 2020. Disponível em: <view-source:https://mscomunicacaodf.com.br/o-que-e-mapa-acessivel-ou-mapa-tatil-e-sua-importancia/>. Acesso em: 18 novembro 2023.

MUNSELL, A. H. **A color notation**. 5ª. ed. Boston: Geo. H. Hellis, Co., 1913. Disponível em: <https://ia800300.us.archive.org/16/items/colornotation00muns/colornotation00muns.pdf>. Acesso em: 2024.

MURPHY, K. P. **Machine Learning: A Probabilistic Perspective**. 1. ed. Cambridge: The MIT Press, 2012. 864 p. ISBN 978-02-620-4682-4.

MYERS, A. On-Demand Eyes for the Blind. **Time**, 11 december 2019. Disponível em: <https://time.com/collection/best-inventions-2018/5454219/aira/>. Acesso em: 23 november 2023.

NA, Y. et al. Objective speech intelligibility prediction using a deep learning model with continuous speech-evoked cortical auditory responses. **Frontiers in Neuroscience**, London, 16, 18 august 2022. 9.

NAJAFABADI, M. M. et al. Deep learning applications and challenges in big data analytics. **Journal of Big Data**, New York, 1, 24 february 2015.

NETO, C. A. A.; ROLD, C. R.; ALPERSTEDT, G. D. Acessibilidade e Tecnologia na Construção da Cidade Inteligente. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, 22, n. 2, abril/março 2018. 291-310.

NETTO, N. A.; RAMOS, H. R. Estudo da mobilidade urbana no contexto brasileiro. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, 6, n. 2, 1 agosto 2017. 59-72.

NEWTON, I. **Opticks**: or, a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. Also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures.

Commentary by Nicholas Humez (Octavo ed.). Palo Alto, Calif.: Octavo. IS. London: Printed for Sam. Smith & Benj. Walford, 1704. ISBN 458.

NGUYEN, B. J. et al. Improvement in Patient-Reported Quality of Life Outcomes in Severely Visually Impaired Individuals Using the Aira Assistive Technology System.

**Translational Vision Science & Technology**, Rockville, 7, n. 5, september 2018.

Disponível em: <<https://tvst.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2707680>>. Acesso em: 25 november 2023.

NIELSEN, J. **Designing Web Usability**. 1ª. ed. Indianapolis: New Riders Publishing, 1999.

300 p. ISBN 978-15-620-5810-4.

NIELSEN, J.; BUDIU, R. **Mobile Usability**. Indianapolis: New Riders Publishing, 2012. 203 p. ISBN 978-03-218-8448-0.

NOBREGA, G. Digital signage: sinalização digital. **GNPlay**, 16 janeiro 2021. Disponível em: <<https://gnplay.com.br/blog/digital-signage-sinalizacao-digital>>. Acesso em: 16 novembro 2023.

NOORJAHAN, M.; PUNITHA, A. An electronic travel guide for visually impaired - vehicle board recognition system through computer vision techniques. **Disability and**

**Rehabilitation: Assistive Technology**, London, 15, n. 2, february 2020. 238-241.

NORMAN, D. **Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things**. 1ª. ed. New York: Basic Books, 2005. 272 p. ISBN 978-04-650-5136-6.

NORMAN, D. **The Design Of Everyday Things**. New York: Basic Books, 2013. 368 p. ISBN 978-04-650-5065-9.

NOTH, W. **Panorama Da Semiotica - De Platao A Peirce**. 4ª. ed. São Paulo: Annablume, 1998. 150 p. ISBN 978-85-855-9636-1.

NOUFI, C.; MAY, L.; BERGER, J. The Role of Vocal Persona in Natural and Synthesized Speech. **Arxiv**, Ithaca, 31 October 2022.

O'NEILL, M. J. Effects of Signage and Floor Plan Configuration on Wayfinding Accuracy. **Environment and Behavior**, Thousand Oaks, 23, n. 5, 1991. 553-574.

OBIANYO, J. I.; UDEALA, R. C.; ALANEME, G. U. Application of neural networks and neuro-fuzzy models in construction scheduling. **Scientific Reports**, New York, n. 13, 21 may 2023. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-023-35445-5>>.

OMS. **relatório mundial sobre a visão**. Organização Mundial da Saúde - OMS. [S.l.]. 2019. (978-92-415-1657-0).

ONG, S. K.; ZHANG, J.; NEE, A. Y. Assistive obstacle detection and navigation devices for vision-impaired users. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, London, 8, n. 5, september 2013. 409-416.

OORD, A. V. D. et al. WaveNet: A Generative Model for Raw Audio, n. 2, 19 September 2016.

OPENSTAX. **University Physics Volume 1**. Houston: Rice University, 2016. ISBN 978-19-471-7220-3. Disponível em: <<https://openstax.org/details/books/university-physics-volume-1>>.

OQUEÉ. O que é navegar? Significado, Conceito e Definição. **OQUEÉ.COM**, 2011. Disponível em: <<https://www.oquee.com/navegar/>>. Acesso em: 9 Novembro 2023.

ORACLE BRASIL. O que é Big Data? **Oracle Brasil**, 4 maio 2021. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/big-data/what-is-big-data/>>. Acesso em: 15 novembro 2023.

ORPHEO INC. Mikro-LX. **Orpheo Global Visitor Solutions**, 2022. Disponível em: <<https://orpheogroup.com/es/productos/audioguia/mikro-lx/>>. Acesso em: 13 março 2022.

O'SHAUGHNESSY, D. **Speech Communications: Human and Machine**. 2ª. ed. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 1999. 548 p. ISBN 978-07-803-3449-6.



OTTINK, L. et al. Cognitive map formation through tactile map navigation in visually impaired and sighted persons. **Scientific Reports**, New York, 12, 2022.

OUWCZARZAK, M. **Perceptions of audio notifications within a mobile messaging experience**. Faculty of Purdue University. West Lafayette, p. 86. 2019.

PADGITT, A. J.; HUND, A. M. How good are these directions? Determining direction quality and wayfinding efficiency. **Journal of Environmental Psychology**, Amsterdam, 32, n. 2, June 2012. 164-172.

PADOVANI, S. **Navegação em Hipermídia. Uma Abordagem Centrada no Usuário**. 1ª ed. Niteroi: Ciência Moderna, 2008. ISBN 978-85-739-3672-8.

PAIVA, V. Bengala inteligente para deficientes visuais é novo golaço da ciência.

**Hypeness**, 15 julho 2021. Disponível em:

<<https://www.hypeness.com.br/2021/07/bengala-inteligente-para-deficientes-visuais-e-novo-golaco-da-ciencia/>>. Acesso em: 7 outubro 2022.

PAPADOPOULOS, K.; KOUSTRIAVA, E.; KOUKOURIKOS, P. Orientation & mobility aids for individuals with blindness - verbal vs. audio-tactile. **Assistive technology - the official journal of RESNA**, Washington, 30, n. 4, 4 may 2017. 191-200.

PARASURAMAN, R.; RILEY, V. Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse.

**Human Factors**, 39, 39, n. 2, 1997. 230-253.

PARKER, A. T. et al. Wayfinding Tools for People With Visual Impairments in Real-World Settings: A Literature Review of Recent Studies. **Frontiers in Education**, 6, 28 October 2021. Disponível em:

<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/educ.2021.723816>>. ISSN 2504-284X.

PARMENTIER, F. B. R. The cognitive determinants of behavioral distraction by deviant auditory stimuli: a review. **Psychological Research**, New York, 78, 21 December 2013. 321-338.

PASSINI, R. **Wayfinding in Architecture**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1984. 229 p. ISBN 978-04-422-7590-7.

PASSINI, R.; PROULX, G. Wayfinding without Vision: An Experiment with Congenitally Totally Blind People. **Environment and Behavior**, London, 20, n. 2, march 1988. 227-252.

PATEL, N. Breadcrumbs: O Que é, Por Que Usar e Como Fazer no Seu Site. **NP Digital**, 28 outubro 2019. Disponível em: <<https://neilpatel.com/br/blog/breadcrumbs-o-que-e/>>. Acesso em: 12 novembro 2023.

PAULINO, E. Transporte acessível que funciona no Metrô de São Paulo. **Mobilidade Sampa**, 2018. Disponível em: <<https://mobilidadesampa.com.br/2015/07/transporte-acessivel-que-funciona-no-metro-de-sp/>>. Acesso em: 1 maio 2024.

PAVLOV, I. (. Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex. **National Library of Medicine**, Bethesda, july 2010. 136-141. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4116985/>>. Acesso em: 23 december 2023.

PENNA, A. G. Razão e intuição. **Arquivos brasileiros de psicologia**, São Paulo, 39, n. 3, julio - setembro 1987. 36-43.

PEREIRA, A. C. V. et al. Acessibilidade urbana para pessoas com deficiência visual. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, 11, n. 6, Nov./Dez. 2018. 2252-2268.

PEREIRA, E. M. Cidade, urbanismo e mobilidade urbana. **Revista Geosul**, Florianópolis, 29, 10 abril 2015. 73-92.

PERKS, H. 7 funções úteis do Google Maps que você deveria conhecer. **Techtudo**, 2022. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/listas/2022/05/7-funcoes-uteis-do-google-maps-que-voce-deveria-conhecer.ghtml>>. Acesso em: 1 maio 2024.

PETÉPOP. Você consegue encontrar o gato escondido em menos de 10 segundos? **PETÉPOP**, 17 agosto 2023. Disponível em: <<https://petepop.com.br/voce-consegue-encontrar-o-gato-escondido-em-menos-de-10-segundos/>>. Acesso em: 12 fevereiro 2024.

PETFRIENDLY. Cão Guia – O seu guia completo sobre o assunto. **PetFriendly Turismo**, 3 dezembro 2020. Disponível em:

<<https://petfriendlyturismo.com.br/blog/2020/12/03/tudo-sobre-cao-guia/>>. Acesso em: 28 outubro 2021.

PHILLIPS, M.; PROULX, M. J. Social interaction without vision: an assessment of Assistive technology for the visually impaired. **Technology and Innovation - Proceedings of the National Academy of Inventors**, Austin, 20, 2018. 85-93.

PLIKYNAS, D. et al. Indoor Navigation Systems for Visually Impaired Persons: Mapping the Features of Existing Technologies to User Needs. **Sensors**, Basel, 20, n. 3, 23 january 2020. 636.

PNUMA. **Fronteiras 2022: Barulho, Chamas e Descompasso**. Organização das Nações Unidas (ONU). [S.l.]. 2022.

POLGER, M. A. **Library Signage and Wayfinding Design: Communicating Effectively with Your Users**. Chicago: ALA Editions, 2021. 160 p. ISBN 978-08-389-3785-3.

POSEY, B. Microsoft 'Seeing AI': Imagining a New Use for Computer Vision. **Redmond - the independent voice of the microsoft it community**, 3 december 2021. Disponível em: <<https://redmondmag.com/articles/2021/03/12/microsoft-seeing-ai.aspx>>. Acesso em: 12 december 2023.

PÖTTER, R. J. et al. A inserção do usuário em métodos no contexto do design universal: uma revisão sistemática da literatura. In: OLIVEIRA, G. G.; NÚÑEZ, G. J. Z.; PASSOS, J. E. **Design em pesquisa**. Porto Alegre: Marcavisual, 2023. p. 166-178. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/254732>>. Acesso em: 29 novembro 2023.

PRIEBERAM. Dicionário Online Priberam de Português. **Priberam Dicionário**, 2023. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/navegar>>. Acesso em: 6 Novembro 2023.

PRO VISU. Oiel et vision. **Nos dossiers sur la vision**, 2023. Disponível em: <<https://www.provisu.ch/dossiers/oeil-et-vision>>. Acesso em: 2 setembro 2023.

RABINER, L. R.; SCHAFER, R. W. **Introduction to Digital Speech Processing**. 1-2. ed. Hanover: Now Publishers Inc., v. 1, 2007. ISBN 978-16-019-8070-0.

RAMAN, T. V. **Auditory User Interfaces: Toward the Speaking Computer**. 1997th. ed. [S.l.]: Springer, 1997. 165 p. ISBN 978-07-923-9984-1.

RANE, M. et al. Quantifying headphone listening experience in virtual sound environments using distraction. J AUDIO SPEECH MUSIC PROC. 2022, 30 (2022). <https://doi.org/10.1186/s13636-022-00262-7>. **Journal on audio, speech and music processing**, New York, 30, 9 december 2022. Disponível em: <<https://asmp-erasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13636-022-00262-7#citeas>>. Acesso em: 23 october 2023.

RATTI, C. **The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life (The Future Series)**. New Haven: Yale University Press, 2016. 192 p. ISBN 978-03-002-0480-3.

RESEARCHGATE. Researchgate. **ResearchGate**, 2024. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/>>. Acesso em: 5 janeiro 2024.

RODRIGUES, C. G. **Ondas, acústica, psicoacústica e poluição sonora**. Goiânia: do autor, 2020. ISBN 978-65-000-6846-7.

RODRIGUES, I. B. **Desafios da aplicação do design universal em conjunto habitacional**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 46. 2019.

RODRIGUES, J. C.; SOUZA, S. C. Como pensar a acessibilidade em artigos de periódicos: tendências em design universal para pessoas com deficiência visual. In: SILVEIRA, L.; SILVA, F. C. C. **Gestão Editorial de Periódicos Científicos - tendências e boas práticas**. Florianópolis: Bu Publicações; Edições do Bosque, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/208695>>. Acesso em: 26 março 2021.

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. **Design de interação - além da interação homem-computador**. Tradução de I. Gasparini. 3ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 585 p. ISBN 978-85-826-0006-1.

ROSSING, T. D. R.; MOORE, F. R.; WHEELER, P. **The Science of Sound**. London: Pearson, 2014. 776 p. ISBN 97812-920-3957-2.

ROZESTRATEN, A. S. **Representações: imaginário e tecnologia**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAU USP. São Paulo, p. 228. 2017.

SACKS, H.; SCHEGLOFF, E. A.; JEFFERSON, G. A Simplest Systematics for the Organization of Turn-Taking for Conversation. **Language**, New York, 50, n. 4, december 1974. 696-735.

SALAM, E. I tried Be My Eyes, the popular app that pairs blind people with helpers. **The Guardian**, 12 July 2019. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/lifeandstyle/2019/jul/12/be-my-eyes-app-blind-people-helpers>>. Acesso em: 23 novembro 2023.

SANCAR, F. H. Rumo à Geração de Teorias na Estética da Paisagem. In: NASAR, J. **Estética Ambiental: Teoria, Pesquisa e Aplicações**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

SANT, D. O que é Breadcrumbs e como Funciona? **Planejador WEB**, 9 julho 2023. Disponível em: <<https://planejadorweb.com.br/o-que-e-breadcrumbs-e-como-funciona/>>. Acesso em: 13 novembro 2023.

SANTIAGO, K. E. Y. EQing Vocals: What's Happening in Each Frequency Range in the Human Voice. **Flypaper**, 8 July 2020. Disponível em: <<https://flypaper.soundfly.com/produce/eqing-vocals-whats-happening-in-each-frequency-range-in-the-human-voice/>>. Acesso em: 8 december 2022.

SANTIAGO, Z.; MORANO, R. L. M. V. Mobilidade de pessoas com deficiência visual: análise do entorno e acesso à Linha Sul do Metrô de Fortaleza. **Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente**, Natal, 7, n. 3, setembro 2022. 210-2325. ISSN 2448-296X.

SANTOS, J.; LUCENA, D. R.; LINS, A. Acessibilidade e mobilidade de pedestres com deficiência visual: estudo de caso na cidade de João Pessoa, Paraíba. **Revista Brasileira de Educação Especial**, Marília, 24, n. 3, Jul./Set. 2018. 391-404.

SANUSI, T. From Hawking to Siri: The Evolution of Speech Synthesis. **Deepgram**, 9 July 2023. Disponível em: <<https://deepgram.com/learn/evolution-of-speech-synthesis-tts>>. Acesso em: 10 November 2023.

SARWADE, S. Speech Synthesis: The AI-Powered Wonder That Makes Life Easier. Disponível em: <https://geekflare.com/speech-synthesis/>. Acesso em: 18 dez. 2023. **Geekflare**, 2020. Disponível em: <<https://geekflare.com/speech-synthesis/>>. Acesso em: 5 agosto 2023.

SBRANA, A. Bienal de Arquitetura de São Paulo reflete transformações. **Archtrends Portobello**, 13 junho 2022. Disponível em: <Sinalização que reflete a arquitetura e o design cultural de um local histórico.>. Acesso em: 16 novembro 2023.

SCHAEFER, R. M. **The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World**. Rochester: Destiny Books, 1994.

SCHAEFFER, P. **Traité des objets musicaux**. Paris: Sociologie Pierres vives, 1966. ISBN 978-20-200-2608-6.

SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo**. Tradução de M. T. Fonterrada. São Paulo: Fundação Editora da Unesp - FEU, 2001. 381 p. ISBN 85-7139-353-2. Disponível em: <[https://monoskop.org/images/9/93/Schafer\\_R\\_Murray\\_A\\_afinacao\\_do\\_mundo.pdf](https://monoskop.org/images/9/93/Schafer_R_Murray_A_afinacao_do_mundo.pdf)>. Acesso em: 13 agosto 2022.

SCHIAVO, F. Microfone Omnidirecional : O que é? Tudo que você precisa saber! **Magroove**, 11 julho 2019. Disponível em: <<https://magroove.com/blog/pt-br/microfone-omnidirecional/>>. Acesso em: 3 junho 2022.

SCHIFFMAN, H. R. **Sensação e Percepção**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2005. 436 p. ISBN 978-85-216-1445-6.

SCHREFFLER, J. et al. Universal Design for Learning in postsecondary STEM education for students with disabilities: a systematic literature review. **International Journal of STEM Education**, New York, 6, 4 march 2019. 10. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/331510856\\_Universal\\_Design\\_for\\_Learning\\_in\\_postsecondary\\_STEM\\_education\\_for\\_students\\_with\\_disabilities\\_a\\_systematic\\_literature\\_review](https://www.researchgate.net/publication/331510856_Universal_Design_for_Learning_in_postsecondary_STEM_education_for_students_with_disabilities_a_systematic_literature_review)>. Acesso em: 14 september 2022.

SCHROY, C. **The effectiveness of noise cancellation headphones for hearing impaired listeners**. Washington University School of Medicine. Washington, p. 40. 1998. Advisor: Carl Bohl, D.Sc.

SCIELO. Scientific Electronic Library Online. **Scielo Press Releases**, 2024. Disponível em: <<https://www.scielo.br/>>. Acesso em: 5 janeiro 2024.

SENJAM, S. S. Smartphones as Assistive technology for visual impairment. 35, 2078–2080 (2021). **Eye**, 35, 25 February 2021. 2078-2080.

SHAREAMERICA. Cidades inteligentes aumentam a acessibilidade a pessoas com deficiência. **ShareAmerica**, 3 agosto 2017. Disponível em: <<https://share.america.gov/pt-br/cidades-inteligentes-aumentam-acessibilidade-pessoas-com-deficiencia/>>. Acesso em: 7 setembro 2023.

SHOVAL, S.; ULRICH, I.; BORENSTEIN, J. Navbelt AND Guidecane - Robotics-Based Obstacle-Avoidance Systems for the Blind and Visually Impaired. **Special Issue on Robotics in Bio-Engineering**, New York, 10, n. 1, march 2003. 9-20.

SHURE. Diferença entre cardioide e supercardioide. **Shure Service & Repair**, 20 abril 2021. Disponível em: <[https://service.shure.com/s/article/Diferenca-entre-cardioide-e-supercardioide?language=pt\\_BR](https://service.shure.com/s/article/Diferenca-entre-cardioide-e-supercardioide?language=pt_BR)>. Acesso em: 15 junho 2022.

SILVA FILHO, J. **Princípios para o design de audionavegação em ambientes públicos para pessoas com deficiência visual**. 2017. 227 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo. 2017. (DOI 10.11606/D.16.2018.tde-26062017-115225).

SILVA, D. P. R.; FREITAS, E. D. V.; ARAÚJO, L. S. Acessibilidade - o uso de tecnologias Assistivas para deficientes visuais. **Interface Tecnológica**, São Paulo, 16, n. 2, 2019. 86-100.

SILVA, M. C. O.; FARIAS, L. F. A. Autonomia na mobilidade de pessoas com deficiência visual: estratégias e tecnologias Assistivas. **Revista Tecnológica**, 3, 2019. 37-44.

SILVA, O. H.; ANGELIS NETO, G. Índice de Serviço das Calçadas (ISC). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 19, n. 1, jan - mar 2019. 221 - 236. ISSN 1678-862.

SILVA, R. Big Data: Conceitos, Aplicações e Desafios. **Dio.me**, 5 dezembro 2023. Disponível em: <<https://www.dio.me/articles/big-data-conceitos-aplicacoes-e-desafios>>. Acesso em: 23 dezembro 2023.

SILVEIRA, C. M. **Professores de alunos com deficiência visual - saberes, competências e capacitação**. 2010. 137 p. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.

SIMÕES-ZENARI, M.; BITAR, M. L.; NEMR, N. K. Efeito do ruído na voz de educadoras de instituições de educação infantil. **17º Congresso Brasileiro de Fonoaudiologia em Salvador**, Salvador, 46, n. 4, agosto 2012.

SIMONYAN, K. et al. New Developments in Understanding the Complexity of Human Speech Production. **Journal of Neuroscience**, 36, n. 45, 9 November 2016. 11440-11448. ISSN 1529-2401.

SINALUX. Notas Técnicas: sinalização de segurança e plantas de emergência. **Sinalux news 24**, 17 setembro 2012. Disponível em: <<http://mktpt.sinalux.eu/gca/?id=95>>. Acesso em: 16 novembro 2023.

SINGH, H. Deep Learning 101: Beginners Guide to Neural Network. **Analytics Vidhya**, Gurgaon, 27 July 2023. Disponível em: <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/03/basics-of-neural-network/>>. Acesso em: 15 november 2023.



SKINER, B. F. **Sobre o behaviorismo**. Tradução de M. P. Villalobos. São Paulo: Cultrix, 1974.

SMITH III, J. O. Formant Synthesis Models. **Physical Audio Signal Processing**, Palo Alto, Silicon Valley, 2010. ISSN 978-0-9745607-2-4.

SOFTVOICE, INC. SoftVoice Text-to-Speech home page. **Text 2 Speech**. Disponível em: <<https://www.text2speech.com/>>. Acesso em: 12 november 2023.

SONG, Y. **Active Noise Cancellation and Its Applications**. Journal of Physics: Conference Series - International Conference on Computing Innovation and Applied Physics (CONF-CIAP 2022). [S.l.]: IOP Publishing Ltd. 2022. ISSN 1742-6588.

SPENCE, C. Senses of place: architectural design for the multisensory mind. **Cognitive Research: Principles and Implications**, New York, 46, n. 5, 18 september 2020. 26.

SPIEKERMANN, E. **A Linguagem Invisível Da Tipografia: escolher, combinar e expressar com tipos**. Tradução de L. Cardinali. 2ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2011. 193 p. ISBN 978-85-212-0615-6.

STACK, C. H.; WATSON, D. G. Pauses and Parsing: Testing the Role of Prosodic Chunking in Sentence Processing. **Languages**, Basel, 8, n. 3, 28 june 2023. 157. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2226-471X/8/3/157>>. Acesso em: 16 october 2023.

STCODESAPP. **Text To Speech (TTS). v2.1.48**. Android App. [S.l.]. 2023.

STEINFELD, E.; MAISEL, J. **Universal Design - Creating Inclusive Environments**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012. 400 p. ISBN 978-04-703-9913-2.

STUCHI, A. M. et al. Proposta de utilização do aplicativo decibelímetro em exposições itinerantes e aulas de física no ensino médio. **Researchgate**, 27 março 2023. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-a-Tela-inicial-do-Aplicativo-Decibelimetro-Sound-Meter-desenvolvido-pela-Abc\\_fig1\\_369569648](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-a-Tela-inicial-do-Aplicativo-Decibelimetro-Sound-Meter-desenvolvido-pela-Abc_fig1_369569648)>. Acesso em: 15 novembro 2023.

SUNDBERG, J. Perceptual Aspects of Singing. **Journal of Voice**, New York, 8, n. 2, 1994. 106-122. ISSN 0892-1997.

SUPERLUX. **Manual do microfone ECM888B**. Superlux Taiwan Ltd. Taipeo, p. 5. 2006.

TAMURA, Y.; KURIKI, S.; NAKANO, T. Involvement of the left insula in the ecological validity of the human voice. **Scientific Reports**, 5, 5 march 2015. 7.

TAN, X. et al. A Survey on Neural Speech Synthesis. **Arxiv**, Ithaca, 29 june 2021. 63.

TAYLOR, P. **Text-to-speech synthesis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 597 p. ISBN 978-05-218-9927-7.

THAPCOM. Wayfinding: como usar o design de sinalização para orientar seu cliente.

**Tapcom design + ideias**, 20 março 2022. Disponível em:

<<https://thapcom.com/noticias/wayfinding-como-usar-o-design-de-sinalizacao-para-orientar-o-seu-cliente/>>. Acesso em: 12 novembro 2023.

THE BEATLES. **A hard Day's Night [album cover]**. Parlophone. Londres. 1964.

THIES, S. B. et al. Biomechanics for inclusive urban design: Effects of tactile paving on older adults' gait when crossing the street. **Journal Biomech**, Bethesda, 17 may 2011. 599-604.

THORNDIKE, E. L. **Animal Intelligence: Experimental Studies**. New York: The Macmillan Company, 1911.

TISCHER, V.; POLETTE, M. Sistema de avaliação de cidades de referência em transportes e mobilidade urbana sustentável. , v. 21, p. , 2019. **Cadernos Metr pole**, São Paulo, 21, maio-agosto 2019. 481-509.

TOLMAN, E. C. Cognitive maps in rats and men. **Psychological Review**, Washington, 55, n. 4, 1948. 189-208. ISSN 0033-295X.

TOWNSEND, A. M. **Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia**. 1ª. ed. New York: W. W. Norton & Company., 2013. 400 p. ISBN 978-03-930-8287-6.

TSCHICHOLD, J. **The New Typography**. California: Berkley, 2007. ISBN 978-05-202-5012-3.

TUFTE, E. R. **The Visual Display of Quantitative Information**. 2ª. ed. Sparks: Graphics Pr, 1997. 197 p. ISBN 978-09-613-9214-7.

TULLIS, T.; ALBERT, B. **Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics**. 2ª. ed. Cambridge: Morgan Kaufmann Publishers, 2013. 301 p. ISBN 978-01-241-5781-1.

USP. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. **Teses e Dissertações**, 2024. Disponível em: <<https://teses.usp.br/>>. Acesso em: 3 janeiro 2024.

VASCONCELOS, B. M. et al. Tecnologias Assistivas destinadas à orientação espacial, identificação de obstáculos e guiamento de pessoas com deficiência visual. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, 15, n. 2, 2020. 52-68.

VASCONCELOS, E. A. **O que é trânsito**. São Paulo: Brasiliense, 2017. 79 p. ISBN 978-85-113-5069-2.

VIEIRA, M. Semáforo sonoro. In: NASCIMENTO, S. **Semáforo sonoro desligado é risco para pessoas com deficiência visual em BH**. Belo Horizonte: Jornal Hoje em Dia, 2019. Disponível em: <<https://www.hojeemdia.com.br/minas/semaforo-sonoro-desligado-e-risco-para-pessoas-com-deficiencia-visual-em-bh-1.738904>>. Acesso em: 1 dezembro 2020.

VIEIRA, M. R. et al. Análise da percepção do ambiente construído por usuários com deficiência visual: um estudo em Porto Alegre, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 18, n. 4, out./dez. 2018. 91-108.

VIVADECORA. Simetria: O Que É, Tipos + Exemplos na Natureza e Arquitetura.

**Vivadecora**, 2022. Disponível em:

<[https://www.vivadecora.com.br/pro/simetria/?utm\\_medium=social&utm\\_source&utm\\_campaign=simetria&utm\\_content](https://www.vivadecora.com.br/pro/simetria/?utm_medium=social&utm_source&utm_campaign=simetria&utm_content)>. Acesso em: 18 janeiro 2023.

VYGOTSKY, L. A. **Mind in society**. London: Harward University Press, 1978. Disponivel em: <<https://home.fau.edu/musgrove/web/vygotsky1978.pdf>>. Acesso em: 12 november 2023.

WALKER, B. N. Mappings and Metaphors in Auditory Displays: An Experimental Assessment. **ACM Transactions on Applied Perception**, New York, 2, n. 4, 1 october 2005. 407- 412. ISSN 1544-3558.

WANG, Y. et al. Tacotron: Towards End-to-End Speech Synthesis. **Arxiv CS**, n. 2, 6 April 2017.

WASTIELS, L. et al. Touching Materials Visually: About the Dominance of Vision in Building Material Assessment. **International Journal of Design**, Taipei, 7, n. 2, august 2013. 31-41. Disponivel em: <[www.ijdesign.org](http://www.ijdesign.org)>. ISSN 1991-3761.

WATSON, J. B. **Behaviorism**. New York: W.W. Norton & Company, 1925. 238 p.

WHEATSTONE, C. **The Scientific Papers of Sir Charles Wheatstone**. London: Kessinger Publishing, 2010. 416 p. ISBN 978-11-636-7304-1.

WHO. **World Report on Disability**. World Health Organization. Geneva, p. 24. 2011.

WHO. **Strategies for the prevention of blindness in national programes: a primary health care approach**. 2ª. ed. Geneva: World Health Organization, 2012. ISBN 924-154-492-9.

WHO. **World report on hearing**. World Health Organization (WHO). Geneva, p. 272. 2021. (978-92-400-2049-8).

WURMAN, R. S. **Information Anxiety**. New York: Bantam, 1990. 368 p. ISBN 978-05-533-4856-9.

WURMAN, R. S. **Information Architects by Richard Saul Wurman**. New York: Graphis Inc, 1997. 235 p. ISBN 978-18-880-0138-9.

YEA, J. J.; CHILDERS, D. G. Formant synthesis: Technique to account for source/tract interaction. **Journal of the Acoustical Society of America**, 72, n. S1, november 1982. Disponivel em: <<https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/72/S1/S79/734154/Formant-synthesis-Technique-to-account-for-source>>. Acesso em: 12 november 2023.

YING, X. **Journal of Physics Conference Series c**, Daqing, 1168, 2 january 2019. ISSN 1742-6596.

YOSHIMURA, T. et al. Simultaneous modeling of spectrum, pitch and duration in HMM-based speech synthesis. **Proc. 6th European Conference on Speech Communication and Technology**, Budapest, 1999. 2347-2350.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information Control**, New York, 1965. 338-353.

ZANGWILL, O. L. **The Oxford Companion to the Mind**. 2ª. ed. Cambridge: The Oxford Press, 2004. 920 p. ISBN 978-01-986-6224-2.

ZEMEL, T. Gestalt aplicado ao design web (parte 3): exemplos web do princípio da proximidade. **DPW**, 2008. Disponivel em: <<https://desenvolvimentoparaweb.com/design/gestalt-aplicado-ao-design-web-parte-3-exemplos-web-do-principio-da-proximidade/>>. Acesso em: 16 setembro 2020.

ZHANG, Z. Mechanics of human voice production and control. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 140, n. 4, 2016. 2614-2635.

ZWICKER, E.; FASTL, H. **Psychoacoustics - Facts and Models**. 2ª. ed. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 1999. 417 p. ISBN 0720-678X.

## GLOSSÁRIO

### TERMOS ESPECÍFICOS

- 1. Absorção:** processo pelo qual parte da energia sonora que incide sobre uma superfície é absorvida pelo material, em vez de ser refletida ou transmitida.
- 2. Acessibilidade:** conjunto de práticas e normas destinadas a tornar espaços, equipamentos e sistemas utilizáveis por todas as pessoas, independentemente da presença ou não de deficiências físicas, sensoriais ou cognitivas.
- 3. Acessível:** refere-se às qualidades de ambientes, equipamentos, ferramentas, produtos ou serviços, que possibilitam seu uso por todas as pessoas independente da presença ou não de deficiências físicas, sensoriais ou cognitivas.
- 4. Acuidade visual:** capacidade de discernir detalhes finos, geralmente medida em relação a uma norma ou escala, como a Escala de Snellen.
- 5. Amplitude:** qualidade do som que representa a magnitude máxima da variação de uma onda sonora; relacionada ao volume ou intensidade do som.
- 6. Aprendizado profundo (*Deep Learning*):** subcategoria do ML que utiliza redes neurais de múltiplas camadas para analisar grandes conjuntos de dados, sendo importante para avanços em áreas como visão computacional e reconhecimento de voz.
- 7. Aprendizagem de máquina (*Machine learning – ML*):** subcampo da IA que se concentra no desenvolvimento de algoritmos que permitem que as máquinas aprendam e melhorem a partir de experiências passadas.
- 8. Audionavegação:** orientação de pessoas por meio de sons gerados em equipamentos de orientação de forma a facilitar a compreensão dos ambientes, físicos ou virtuais, por meio de sons e vozes.
- 9. Baixa visão:** condição onde há redução significativa da função visual que não pode ser totalmente corrigida com óculos, lentes de contato, medicação ou cirurgia.
- 10. Campo visual:** área percebida pelo olho enquanto olha para um ponto fixo.
- 11. Cancelamento de frequências:** técnica que envolve a identificação e atenuação ou eliminação de frequências específicas dentro de um sinal sonoro para reduzir ruídos indesejados.

12. **Cegueira:** Perda total da visão ou capacidade visual extremamente limitada.
13. **Deficiência visual:** refere-se à perda total ou parcial, congênita ou adquirida, da capacidade de ver.
14. **Design de audionavegação:** conceito de design que se refere ao desenvolvimento de sistemas de orientação baseados em áudio, destinados a auxiliar pessoas, principalmente com deficiência visual, a se orientar em espaços físicos ou virtuais.
15. **Design universal:** princípio de design que busca criar produtos e ambientes que sejam acessíveis e utilizáveis por todas as pessoas, independentemente de suas capacidades.
16. **Difração:** fenômeno que ocorre quando uma onda sonora contorna obstáculos ou passa por aberturas, alterando sua direção de propagação.
17. **Frequência:** número de oscilações completas de uma onda sonora por segundo, medida em Hertz (Hz); determina o tom ou altura do som.
18. **Índices auditivos:** elementos sonoros utilizados para fornecer informações e orientações em sistemas de audionavegação.
19. **Inteligência artificial (IA):** campo da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas capazes de realizar tarefas que, normalmente, requerem inteligência humana, como reconhecimento de padrões, aprendizado e resolução de problemas.
20. **Intensidade:** característica sonora relacionada à medida da energia por unidade de área, frequentemente percebida como o volume do som.
21. **Locomoção urbana:** o movimento de pessoas dentro de um ambiente urbano, utilizando diferentes modos de transporte.
22. **Overfitting:** em *ML*, refere-se à situação em que um modelo aprende demais os detalhes e ruídos nos dados de treinamento, prejudicando sua capacidade de generalizar para novos dados.
23. **Processamento de Linguagem Natural (PLN):** ramo da IA e da ciência da computação que se concentra em possibilitar a comunicação entre humanos e máquinas usando a linguagem natural.
24. **Propriocepção:** a percepção do movimento e posição do corpo no espaço.
25. **Reverberação:** persistência do som em um ambiente após a fonte sonora ter cessado, devido a múltiplas reflexões das ondas sonoras nas superfícies.

26. **Ruído:** fenômeno sonoro indesejável ou perturbador que pode interferir na percepção sonora ou na comunicação.
27. **Sistema Braille:** sistema de escrita tátil para pessoas cegas, usando pontos em relevo para representar letras, números e sinais de pontuação.
28. **Som:** forma de energia produzida por vibrações, interpretadas pelo cérebro ao serem captadas pelo sistema auditivo.
29. **Timbre:** qualidade de um som que permite distinguir diferentes fontes sonoras, mesmo quando apresentam a mesma frequência e intensidade.
30. **Tom:** qualidade ou característica do som que define sua altura, determinada pela frequência da onda sonora.
31. **Visual question answering (VQA):** campo interdisciplinar de esforços em IA combinando visão computacional e PLN para interpretar e responder perguntas sobre o conteúdo de imagens.
32. **Volume:** qualidade do som que se refere à intensidade ou energia de uma onda sonora percebida pelo ouvinte, medido em decibéis (dB).
33. **Voz sintetizada:** tecnologia que converte texto em fala artificial, utilizada em sistemas de audionavegação para comunicação com o usuário.
34. **Voz:** fenômeno relacionado à propagação de som, produzido quando as cordas vocais vibram.
35. **Wayfinding design:** conceitos e estratégias utilizadas para guiar pessoas através de ambientes, enfatizando a orientação espacial e a identificação de locais.



## GLOSSÁRIO DE SIGLAS

- 1. AI:** *Artificial intelligence* (inteligência artificial), campo da ciência da computação focado no desenvolvimento de máquinas capazes de realizar tarefas que normalmente exigem inteligência humana.
- 2. ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas, responsável pela normatização técnica no país, incluindo normas de acessibilidade.
- 3. dB:** Decibel, unidade de medida usada para expressar a intensidade do som ou o nível de potência.
- 4. GPS:** *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global), um sistema de satélites satélite que fornece informações de localização e horário em todas as condições meteorológicas, utilizado principalmente como referencial para localização no planeta.
- 5. Hz:** Hertz, unidade de frequência no Sistema Internacional de Unidades, que mede o número de ciclos por segundo.
- 6. IA:** Inteligência Artificial, campo da ciência da computação focado no desenvolvimento de máquinas capazes de realizar tarefas que normalmente exigem inteligência humana.
- 7. IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- 8. ML:** *Machine learning* (aprendizado de máquina), uma aplicação de IA que fornece aos sistemas a capacidade de aprender e melhorar automaticamente a partir da experiência sem ser explicitamente programados.
- 9. PLN:** Processamento de Linguagem Natural, um subcampo de IA e ciência da computação que se concentra na interação entre computadores e linguagem humana.
- 10. OMS:** Organização Mundial da Saúde.
- 11. PNUMA:** Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, uma agência das Nações Unidas que coordena a resposta ambiental dentro do sistema da ONU.
- 12. UX:** *User experience* (experiência do usuário), uma área do design focada na criação de produtos que proporcionem experiências positivas aos usuários.
- 13. VODER:** *Voice Operating Demonstrator*, um dos primeiros dispositivos eletrônicos capazes de sintetizar a fala humana.

14. **VQA:** *Visual question answering*, uma área de pesquisa em IA que combina visão computacional e PLN para responder a perguntas sobre o conteúdo de imagens.
15. **WHO:** *World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde), uma agência especializada das Nações Unidas responsável pela saúde pública internacional.

# APÊNDICE A: AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA DE RUÍDO

**Assunto:** RES: Pedido de autorização de coleta de dados para pesquisa acadêmica  
**De:** ANTONIO MARCIO BARROS SILVA <amarcio@metrosp.com.br>  
**Data:** 14/10/2022, 11:56  
**Para:** JALDOMIR DA SILVA FILHO <jaldomir@metrosp.com.br>  
**CC:** MARCELO LEMOS <marcelo\_lemos@metrosp.com.br>, AGOSTINHO MINICUCI JUNIOR <agostinhom@metrosp.com.br>, MARCELO FERNANDO BARREIROS <mfbarreiros@metrosp.com.br>, GERMAN ALEJANDRO PALACIOS GARRIDO <garrido@metrosp.com.br>, MARCOS JURADO ROSA <marcos\_rosa@metrosp.com.br>

## Classificação: Restrita

De acordo.

Abraço.



## Companhia do Metrô - Documento Classificado como RESTRITO.

**De:** JALDOMIR DA SILVA FILHO <jaldomir@metrosp.com.br>  
**Enviada em:** segunda-feira, 5 de setembro de 2022 06:50  
**Para:** ANTONIO MARCIO BARROS SILVA <amarcio@metrosp.com.br>  
**Cc:** MARCELO LEMOS <marcelo\_lemos@metrosp.com.br>; AGOSTINHO MINICUCI JUNIOR <agostinhom@metrosp.com.br>; MARCELO FERNANDO BARREIROS <mfbarreiros@metrosp.com.br>; GERMAN ALEJANDRO PALACIOS GARRIDO <garrido@metrosp.com.br>; JALDOMIR DA SILVA FILHO <jaldomir@metrosp.com.br>  
**Assunto:** Pedido de autorização de coleta de dados para pesquisa acadêmica

## Classificação: Restrita

Eng. Antônio Marcio, bom dia.

Conforme informado anteriormente, segue anexo um pedido de autorização para coleta de dados para minha pesquisa acadêmica. O documento possui detalhes sobre o processo da coleta de dados, que, resumidamente, trata-se de utilizar um equipamento com capacidade de medição da sombra sonora de algumas estações de forma a conhecer-se as frequências sonoras presentes em situações predefinidas, como por exemplo: nas plataformas no momento de entrada e saída de trens, no interior de trens, nas linhas de bloqueio e nos acessos.

Este levantamento de dados será utilizado na compreensão das frequências sonoras que possam inferir no processo de audição de informações de sinalização vocais com conteúdo orientativo para a mobilidade do passageiro, possibilitando o conhecimento dos timbres vocais que melhor se apresentariam em equipamentos eletrônicos de orientação e mobilidade.

Peço, já de antemão, indulgência pelo envio por e-mail do Metrô, pois creio que a mensagem original, enviada há algum tempo, possa ter sido bloqueada pelo sistema antispam.

Colocando-me a disposição para quaisquer dúvidas sobre o assunto, agradeço antecipadamente.

--



Esta mensagem (incluindo seus anexos) pode conter informações confidenciais e/ou privilegiadas. Se você não for o destinatário ou a pessoa autorizada a recebê-la, solicitamos devolver ao remetente e apagar de seu sistema. Alertamos que a utilização, divulgação ou reprodução de seu conteúdo é expressamente proibida.

Atenção: "Imprima somente quando necessário: o planeta agradece - Programa 3R"

## Companhia do Metrô - Documento Classificado como RESTRITO.

# APÊNDICE B: ÍNTEGRA DO PEDIDO DE AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA DE RUÍDO

1/4



## Pedido de autorização para pesquisa acadêmica nas dependências das estações da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô

Ao  
Ilmo. Sr. Eng. Antônio Márcio Barros Silva,  
Gerente de Operações do Metrô de São Paulo

Venho através desta solicitar autorização para a realização de pesquisa acadêmica nas dependências das estações da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, de forma a possibilitar a coleta de dados de sombra sonora para o desenvolvimento da tese “Fundamentos para o design de audionavegação para pessoas com deficiência visual”.

### Objetivo:

Conforme sugere o título provisório da pesquisa, busca-se a elaboração dos fundamentos necessários para possibilitar o design de audionavegação por voz digital a ser empregado em equipamentos de orientação e mobilidade ambiental para pessoas com deficiência visual, com foco nos elementos sonoros, vocais e linguísticos da voz digital.

A coleta de dados de sombra sonora é fundamental para elencar situações em que o som ambiente pode interagir com as vozes digitais de equipamentos de orientação e mobilidade. O conhecimento destas sombras sonoras possibilita a readequação das vozes às diversas frequências sonoras das sombras, oferecendo, assim, um método de adequar as vozes para menores patamares de interferências sonoras.

### Situações a registrar

Dado à necessidade de conhecer o ruído de sombra em situações diferentes, porém comuns a todas as estações, os seguintes levantamentos serão realizados:

- Local: interior do trem. Momento: trem em movimento;
- Local: plataforma. Momento: trem em movimento, saindo da estação;
- Local: mezanino intermediário (se houver). Momento: passageiro (pesquisador) em movimento;
- Local: linha de bloqueios. Momento: passageiro (pesquisador) em movimento;
- Local: acesso à estação. Momento: passageiro (pesquisador) em movimento.

### Levantamento no interior do metrocarro

Este levantamento será realizado de forma a registrar, por meio do instrumento sensor, a média\* dos níveis de sombra sonora divididos em 1/3 de oitava. O pesquisador se posicionará no interior do primeiro metrocarro do trem (cabecreira líder), próximo à porta de embarque e desembarque de pessoas com deficiência visual. O registro se iniciará no momento em que o metrocarro fechar as portas, e este

Sc.M. Jaldomir da Silva Filho  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Denise Dantas

registro perdurará por 60 segundos, momento em que o registro deve ser interrompido e seu resultado salvo em memória.

O nome do arquivo do registro conterá os seguintes dados: data no formato aaaa-mm-dd, hora no formato hh-mm, a palavra "PLAT" em caixa alta e sigla da estação a qual o metrocarro saiu com 3 (três) letras em caixa alta, todos separados por (-). Por exemplo, um registro realizado no dia 20 de julho de 2022, às 13:30, com trem saindo da estação república (L3), será 2022-07-20-13-30-TREM-REP.

#### **Levantamento na plataforma**

O objetivo deste levantamento é registrar o ruído médio da plataforma de embarque e desembarque do trem. De acordo com o registro preliminar desta pesquisa, o momento de maior ruído na plataforma ocorre durante a saída do trem, considerando-se o pesquisador posicionado na segunda porta a partir da cabeceira do do metrocarro (local de embarque e desembarque de pessoas com deficiência visual, demarcado com piso tátil). Neste local, o pesquisador deve se posicionar em local seguro, fora da linha de circulação dos passageiros e registrar, por meio do instrumento sensor, a média\* dos níveis de sombra sonora divididos em 1/3 de oitava, até que todos os metrocarros do trem deixem a estação, momento o qual o registro deve ser interrompido e seu resultado salvo em memória.

O nome do arquivo do registro conterá os seguintes dados: data no formato aaaa-mm-dd, hora no formato hh-mm, a palavra "PLAT" em caixa alta e sigla da estação a qual o metrocarro saiu com 3 (três) letras em caixa alta, todos separados por (-). Por exemplo, um registro realizado no dia 20 de julho de 2022, às 13:30, com trem saindo da estação república (L3), será 2022-07-20-13-30-PLAT-REP.

#### **Levantamento no mezanino**

O objetivo deste levantamento é registrar o ruído médio durante a circulação do passageiro (pesquisador) enquanto circula em um possível mezanino, local onde os ruídos predominantes são das pessoas circulando. Os mezaninos, nas estações, normalmente estão localizados entre a plataforma e a linha de bloqueios (catracas) e/ou a linha de bloqueios (catracas) e os acessos. No mezanino escolhido o pesquisador deve, inicialmente, se posicionar em local seguro fora da linha de circulação dos passageiros, e iniciar o registro de ruído por meio do instrumento sensor, a média\* dos níveis de sombra sonora divididos em 1/3 de oitava. Em posse do instrumento à sua frente, sem obstruir o microfone, o pesquisador deve iniciar um caminho, seguindo o fluxo de passageiros, por cerca de 1 minuto ou, caso o mezanino seja pequeno, até o equipamento de mudança de nível/andar (escadas, elevadores, etc). Neste momento (findado o tempo ou atingido o equipamento de mudança de andar), o pesquisador deve se posicionar de forma segura, fora da circulação, e interromper o registro de ruído, salvando o resultado da coleta em memória.

O nome do arquivo do registro conterá os seguintes dados: data no formato aaaa-mm-dd, hora no formato hh-mm, a palavra "MEZ" em caixa alta e sigla da estação mensurada com 3 (três) letras em caixa alta, todos separados por (-). Por exemplo, um registro realizado no dia 20 de julho de 2022, às 13:30, em um dos mezaninos da estação república (L3), será 2022-07-20-13-30-MEZ-REP.

Sc.M. Jaldomir da Silva Filho  
Prof.ª Dr.ª Denise Dantas

**Levantamento no nível dos bloqueios**

O objetivo deste levantamento é registrar o ruído médio durante a circulação do passageiro (pesquisador) enquanto circula pelo andar dos bloqueios (catracas), local onde, de forma semelhante ao mezanino, os ruídos predominantes são das pessoas circulando, com o diferencial do aumento de densidade de pessoas devido à redução de velocidade proporcionada pelos bloqueios. O pesquisador deve, inicialmente, se posicionar em local seguro fora da linha de circulação dos passageiros e distante não menos do que 20m dos bloqueios (catracas), e iniciar o registro de ruído por meio do instrumento sensor, a média\* dos níveis de sombra sonora divididos em 1/3 de oitava. Em posse do instrumento à sua frente, sem obstruir o microfone, o pesquisador deve iniciar um caminho, seguindo o fluxo de passageiros, passando pelos bloqueios (catracas) e continuar seguindo pelo fluxo de passageiros por não menos do que 20m. Após atingir a distância, o pesquisador deve se posicionar de forma segura, fora da circulação, e interromper o registro de ruído, salvando o resultado da coleta em memória.

O nome do arquivo do registro conterà os seguintes dados: data no formato aaaa-mm-dd, hora no formato hh-mm, a palavra "BLOQ" em caixa alta e sigla da estação mensurada com 3 (três) letras em caixa alta, todos separados por (-). Por exemplo, um registro realizado no dia 20 de julho de 2022, às 13:30, em um dos mezaninos da estação república (L3), será 2022-07-20-13-30-BLOQ-REP.

**Levantamento nos acessos**

O objetivo deste levantamento é registrar o ruído médio durante a circulação do passageiro (pesquisador) enquanto entra nas estações escolhidas, local onde os ruídos predominantes têm origem na via urbana, fora das estações, compostos por ruídos de motores de veículos a combustão, pessoas no entorno, estabelecimentos comerciais nos arredores e demais sons comuns de áreas urbanas. No acesso escolhido o pesquisador deve inicialmente se posicionar em local seguro, fora da linha de circulação das pessoas e de veículos automotores / tração humana, e iniciar o registro de ruído por meio do instrumento sensor, configurado para medir a média\* dos níveis de sombra sonora divididos em 1/3 de oitava. Em posse do instrumento à sua frente, sem obstruir o microfone, o pesquisador deve iniciar o caminho, seguindo o fluxo de pessoas que estão adentrando a estação, por cerca de 1 minuto ou, caso o acesso seja pequeno, até que atinja o nível subsequente de mezanino ou nível de bloqueios. O pesquisador utilizará escadas rolantes para esta medição, caso houver, ou escada fixa como segunda opção. Ao chegar no mezanino ou andar dos bloqueios (catracas), ao fim das escadas, o pesquisador deve se posicionar de forma segura, fora da circulação dos passageiros, e interromper o registro de ruído, salvando o resultado da coleta em memória.

O nome do arquivo do registro conterà os seguintes dados: data no formato aaaa-mm-dd, hora no formato hh-mm, a palavra "ACES" em caixa alta e sigla da estação mensurada com 3 (três) letras em caixa alta, todos separados por (-). Por exemplo, um registro realizado no dia 20 de julho de 2022, às 13:30, em um dos mezaninos da estação república (L3), será 2022-07-20-13-30-ACES-REP.

Sc.M. Jaldomir da Silva Filho  
Prof.ª Dr.ª Denise Dantas

### **Instrumento de medição**

Para o registro de sombra sonora, propõe-se o uso de sonômetro com medidas separadas em 1/3 de oitava. O sonômetro proposto trata-se de aplicativo de celular iNVH, da fabricante Bosch, que possibilita a medição de sombra sonora em 1/3 de oitava e banda sonora de 125Hz até 20kHz, registrando 23 frequências: 125Hz, 160Hz, 200Hz, 250Hz, 315Hz, 400Hz, 500Hz, 630Hz, 800Hz, 1kHz, 1.25kHz, 1.6kHz, 2kHz, 2.5kHz, 3.15kHz, 4kHz, 5kHz, 6.3kHz, 8kHz, 10kHz, 12.5kHz, 16kHz e 20kHz. O aplicativo utilizado estará na versão Bosch 2.1.1.

O equipamento físico a ser utilizado é um aparelho smartphone marca Samsung modelo Galaxy Note 10, modelo de fabricante SM-N970F, e o conjunto smartphone/aplicativo iNVH serão calibrados em laboratório audiométrico por meio de equipamento fixo homologado e calibrado, cujo registro da calibração será anexado à documentação. A calibração se dará no máximo 7 dias antes das medições, e o aparelho celular não será utilizado em outras aplicações até o término das medições. Sua calibração também será reverificada após o término das medições, de forma a garantir que não houve divergências de calibração ao longo dos testes.

### **Considerações finais**

A Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô não dispenderá de nenhum valor financeiro para estas pesquisas, assim como os pesquisadores não dispenderão de valores financeiros para a execução destas pesquisas.


Configurando-se esta autorização de uma liberalidade da companhia na coleta de informações públicas em suas estações, em áreas de circulação livre ao cidadão, assim como a coleta de informações tem caráter exclusivamente acadêmico, as pesquisas não se configurarão em nenhum tipo de relação trabalhista, não tendo a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, quaisquer relações, diretas ou indiretas, com os trabalhos de coleta e/ou de tratamento dos dados coletados. A Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô também não tem obrigação de mudanças de quaisquer tipos no cotidiano de sua operação comercial e/ou de outros procedimentos, não se obrigando a oferecer quaisquer suportes técnicos ou administrativos aos pesquisadores.

Os pesquisadores se comprometem a realizarem as coletas de dados de forma discreta, sem interferências na circulação de passageiros e sem interferências no cotidiano operacional da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô.

Os resultados destas medições estarão em sigilo acadêmico, mas, em face da liberalidade da Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô, os dados brutos poderão ser compartilhados com pessoal indicado pela companhia para uso exclusivamente corporativo até a publicação da tese.

Agradecemos a atenção e colocamo-nos a disposição para quaisquer dúvidas ou esclarecimentos.

Sc.M. Jaldomir da Silva Filho – Doutorando - Fauusp

Documento assinado digitalmente  
 JALDOMIR DA SILVA FILHO  
Data: 05/09/2022 06:35:38-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Sc.M. Jaldomir da Silva Filho  
Prof.ª Dr.ª Denise Dantas

## APÊNDICE C: TODOS OS QR CODES



QRCode 1 – exemplos de altura sonora (o autor, 2023) – página 73



QRCode 2 – altura e intensidade (o autor, 2023) – página 75



QRCode 3 – volume original (o autor, 2023) – página 76



QRCode 4 – percepção do ouvinte (o autor, 2023) – página 76



QRCode 5 – timbre 1 – página 81



QRCode 6 – timbre 2 – página 81





QRCode 7 – timbre 3 – página 81



QRCode 8 – timbre 4 – página 81



QRCode 9 - texto com pausas – página 82



QRCode 10 - texto sem pausas – página 82



QRCode 11 - texto com ritmo – página 83



QRCode 12 - texto sem ritmo – página 83



QRCode 13 – gravação de voz masculina com ruído de fundo presente – página 91



QRCode 14 – gravação de voz masculina com ruído de fundo suprimido – página 91



QRCode 15 – vozes sintetizadas pelo método formante (SOFTVOICE, INC.) – página 114



QRCode 16 – vozes sintetizadas pelo método concatenativo (STCODESAPP, 2023) – página 117



QRCode 17 - esvaziar lixeira do sistema Windows – página 124



QRCode 18 – mensagem chegando (sino) – página 124



QRCode 19 – erro de sistema do Macintosh Powermac LC – página 124



QRCode 20 – chamada de telefone antigo – página 124



QRCode 21 – seleciona tela (click de um mouse) –  
página 124



QRCode 22 - CrashMac do computador  
Powermac 600 - página 125



QRCode 23 – gongo com anúncio vocal no  
Aeroporto de Guarulhos (Lettieri, 2019) – página  
126



QRCode 24 – gongo de portas (Sib) do Metrô de  
São Paulo (o autor, 2022) – página 127



QRCode 25 – sinal sonoro de travessia iniciada –  
o autor (2023) com base em CET São Paulo  
(2019) – página 129



QRCode 26 – exemplo de descrição da AI –  
página 140



QRCode 27 – sons simulados da operação da  
botoeira sonora de São Paulo - o autor (2023),  
com base em CET SÃO PAULO (2019) – página  
166