



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

LEONARDO ZANI ZAMPROGNO

T-TÁTIL

**Desenvolvimento de uma tecnologia assistiva para auxiliar pessoas com
deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis**

Tucuruí
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

LEONARDO ZANI ZAMPROGNO

T-TÁTIL

**Desenvolvimento de uma tecnologia assistiva para auxiliar pessoas com
deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Área de Concentração: Computação Aplicada

Orientador: Bruno Merlin

Coorientador: João Elias Vidueira Ferreira

Tucuruí
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)**

Z26t Zamprogno, Leonardo Zani
T-TÁTIL : Desenvolvimento de uma tecnologia assistiva
para auxiliar pessoas com deficiência visual a ler e
interpretar desenhos táteis / Leonardo Zani Zamprogno. —
2019.
203 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Bruno Merlin Merlin
Coorientador(a): Prof. Dr. João Elias Vidueira Ferreira
Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em
Computação Aplicada, Núcleo de Desenvolvimento
Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará,
Tucuruí, 2019.

1. Acessibilidade. 2. Pessoas com deficiência visual.
3. Tecnologias Assistivas. 4. Desenhos táteis. 5.
Feedback multimodal. I. Título.

CDD 004

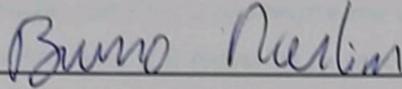
Leonardo Zani Zamprogno

T-TÁTIL

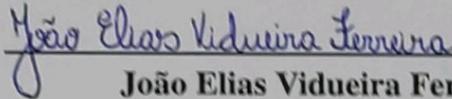
Desenvolvimento de uma tecnologia assistiva para auxiliar pessoas com deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

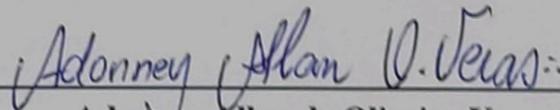
Trabalho APROVADO. Tucuruí, 12 de DEZEMBRO de 2019.



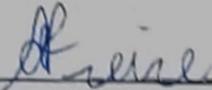
Bruno Merlin
Orientador



João Elias Vidueira Ferreira
Coorientador



Adonney Allan de Oliveira Veras
UFPA - Camtuc



André Pimenta Freire
Universidade Federal de Lavras

Tucuruí
2019

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apoiou e deu suporte para que eu conseguisse alcançar meus objetivos, e a todas as pessoas com deficiência visual que, mesmo com todas as dificuldades, se esforçam todos os dias em busca de seus desejos e objetivos, vocês são inspiração para mim!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente é justo dar o principal agradecimento a Deus por sempre me acompanhar em minhas caminhadas, me guiando, resguardando e sustentando em qualquer dificuldade que possa tentar me abalar. Para minha esposa e filhos, que mesmo com tantas ausências para execução deste trabalho, sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e dando forças para que os objetivos fossem alcançados.

Aos meus professores que sempre contribuíram significativamente com o trabalho. Em especial meu orientador Prof. Dr. Bruno Merlin, um cara fantástico e de enorme conhecimento, técnico e científico, em sua área de atuação e ao meu coorientador Prof. Dr. João Elias Vidueira Ferreira, uma pessoa sensível e de extrema generosidade, além do grande conhecimento em materiais adaptados para pessoas com deficiência visual.

Aos meus colegas de trabalho, em especial Janderson Souza, Karlay Costa, José Flávio e Edna Trindade, que sempre me deram excelentes contribuições para o desenvolvimento e melhoria deste projeto, bem como me ajudaram a solucionar eventuais problemas que foram surgindo ao longo deste trabalho.

A todos e aos que, por motivo de esquecimento, não tenham sido citados, mas que contribuíram nesta minha jornada, meu muito obrigado pelo apoio. Sem vocês, com certeza eu não teria chegado até aqui!

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*

RESUMO

O conteúdo gráfico, que compreende imagens, desenhos, esquemas e mapas, é eficaz na transmissão de uma quantidade considerável de informações concentradas em um espaço reduzido, permitindo uma melhor organização de séries de dados e informações para que elas se tornem facilmente compreensíveis. Eles são amplamente utilizados no processo de ensino em todos os níveis de ensino. Naturalmente, alunos com deficiência visual não têm acesso fácil a esse tipo de conteúdo. Outras estratégias são utilizadas por pessoas com deficiência visual para acessar conteúdos gráficos, uma delas é o uso de desenhos táteis para exploração de representações gráficas, usando o sistema sensorial de toque para esta tarefa. Porém a pessoa com deficiência visual é dificilmente autônoma na leitura de desenhos táteis e a exploração do desenho necessita geralmente do auxílio de um vidente para fornecer as informações iniciais, como a mensagem geral transmitida pelo desenho tátil, e guiar o indivíduo na leitura passo a passo do desenho. A ausência dessa pessoa pode impossibilitar ou dificultar consideravelmente o uso de desenhos táteis por pessoas com deficiência visual. Recursos de Tecnologia Assistiva foram desenvolvidas para facilitar o acesso a dados gráficos para as pessoas com deficiência visual e até mesmo para tornar as exibições mais dinâmicas. Neste trabalho são elencadas alguns dos principais Recursos de Tecnologia Assistiva para auxiliar pessoas com deficiência visual a ler e interpretar desenhos táteis utilizando várias formas de *feedback* para os sistemas sensoriais substitutos da visão. Depois de estudar diferentes estratégias para a exploração de desenhos táteis adotados por pessoas com deficiência visual, propomos o desenvolvimento de uma aplicação para *tablets* comuns explorando o benefício de interações multimodais, por meio da sobreposição de desenhos táteis impressos sobre telas sensíveis ao toque. Após confirmar que as interações com as telas sensíveis ao toque, presentes nos dispositivos atuais, são possíveis através dos papéis utilizados para exploração de desenhos táteis sobrepostos à tela. Em um estudo de caso, o protótipo da aplicação foi testado com três alunos cegos e demonstrou que a solução possui uma abordagem promissora para ajudar a melhorar exploração de desenhos táteis, bem como foram observadas oportunidades de melhorias. Após implementação das melhorias, detectadas neste estudo preliminar, foi realizado um experimento controlado com 8 participantes para comparar a exploração de desenhos táteis com legendas em braille e desenhos táteis multimodais, com a aplicação desenvolvida, além de avaliar a usabilidade desta, por meio da aplicação de um questionário SUS (*System Usability Scale*). O resultados demonstraram que a aplicação possui excelente usabilidade, conforme classificação por adjetivos propostas por alguns autores, segundo os participantes, e que a tarefa de exploração tátil é mais agradável, fácil e rápida com desenhos táteis multimodais, demonstrando um ganho de performance e de melhoria no entendimento do desenho tátil, além de demonstrar que a satisfação do usuário é maior ao utilizar a aplicação.

Palavras-chaves: Tecnologias assistivas. Pessoa com deficiência visual. Gráficos táteis. *Feedback* tátil. *Feedback* sonoro. Telas sensíveis ao toque.

ABSTRACT

Graphic content, including images, drawings, schematics and maps, is effective in providing a considerable amount of information concentrated in a small space, allowing a better organization of data and information series so that they are easily understood. They are widely used in the teaching process at all levels of education. Naturally, visually impaired people do not have easy access to such contents. Other strategies are used by visually impaired people to access graphic contents, one of them is the use of tactile drawings that enable to explore graphic representations using the sensory touch system for this task. However, it is difficult for visually impaired people to be autonomous in reading and exploring tactile drawings usually needs the help of a sighted person to provide initial information, such as the general message conveyed by the tactile drawing, and to guide the individual in step-by-step reading. The absence of such a person may make it impossible or considerably difficult for visually impaired people to use tactile drawings. Assistive technologies have been developed to make it easier for visually impaired people to access graphic data and even to make displays more dynamic. In this paper we list some of the main assistive technologies that aim at helping visually impaired people to read and interpret tactile graphs using various forms of feedback for vision substitute sensory systems. After studying different strategies for exploring tactile designs adopted by visually impaired people, we proposed to develop an application for ordinary tablets exploring the benefit of multimodal interactions by overlaying tactile designs printed on touchscreens intended to assist the visually impaired people in reading tactile drawings. After confirming that interactions with current touchscreens devices are possible through the papers used to explore tactile designs superimposed on the screen. In a case of study, the application prototype was tested with three blind students demonstrating that the solution has a promising approach to improve exploration of tactile designs. It also raised improvement requirements. After the implementation of these improvements, a controlled experiment with 8 blind participants was performed to compare the exploration of tactile designs with braille subtitles with multimodal tactile designs, using the developed application, and to evaluate the application usability through a SUS (System Usability Scale) questionnaire. The results showed that the application has excellent usability, according to the participants, and that the task of tactile exploration is more enjoyable, easier and faster with multimodal tactile designs, demonstrating also a performance gain and improved understanding of tactile design, and at last that user satisfaction was higher when using the application.

Key-words: Assistive technologies. Visually impaired people. Blind. Tactile graphics. Tactile feedback. Audio feedback. Touch Screens. Audio-tactile.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Alguns tipos de impressões táteis.	16
Figura 2 – Pessoas com deficiência matriculadas ao longo da vida acadêmica	18
Figura 3 – Diferentes formas de classificação do <i>score</i> SUS	29
Figura 4 – Recuross de Tecnologia Assistiva baseadas em <i>hardware</i> específico	30
Figura 5 – Tecnologias Assistivas baseadas em <i>hardware</i> comun	31
Figura 6 – Materiais usados nas aulas com os alunos com DV	37
Figura 7 – Outros materiais usados nas aulas com os alunos com DV	38
Figura 8 – Aulas dos alunos com deficiência visual	39
Figura 9 – Modelo de funcionamento da aplicação	42
Figura 10 – Funcionamento de telas capacitivas	43
Figura 11 – Funcionamento de telas resistivas	44
Figura 12 – Funcionamento de telas de ondas acústicas	44
Figura 13 – Desenhos táteis usados no testes com sobreposição em telas capacitivas	45
Figura 14 – Desenhos táteis usados no testes com sobreposição em telas capacitivas	46
Figura 15 – Diagrama de classes da aplicação.	47
Figura 16 – Diagrama de sequência para seleção manual	48
Figura 17 – Uso do T-TÁTIL	49
Figura 18 – Gráfico dos sistemas operacionais mais utilizados	50
Figura 19 – Estrutura básica de um arquivo SVG para ser lido pela aplicação.	54
Figura 20 – Parte de um arquivo SVG que desenha um quadrado na tela da aplicação.	54
Figura 21 – Desenhos táteis utilizados no experimento	57
Figura 22 – Desenhos táteis utilizados no experimento	58
Figura 23 – Teste do protótipo da aplicação com os três participantes	59
Figura 24 – Gráfico com o tempo de exploração dos desenhos táteis.	61
Figura 25 – Acertos e consultas para as questões sobre os desenhos táteis.	62
Figura 26 – Algumas formas de interação por gestos de toque	64
Figura 27 – Modelo 3D do mecanismo de posicionamento e trava do papel	65
Figura 28 – Capinha impressa e colocada no <i>tablet</i>	66
Figura 29 – Ciclo de codificação (1-5) e decodificação (5-1) do arquivo SVG para um QR Code	68
Figura 30 – Exemplo de codificação de um arquivo SVG	68
Figura 31 – Gráfico comparativo dos tamanhos dos arquivos SVG	69
Figura 32 – Diagrama de classes da aplicação.	69
Figura 33 – Diagrama de sequência para seleção via leitura de <i>QR Code</i>	70
Figura 34 – Diagrama sequência para seleção manual dos arquivos.	70
Figura 35 – Telas do T-TATIL <i>QRCode Generator</i>	71
Figura 36 – Geração dos <i>QR Codes</i> com o T-TATIL <i>QRCode Generator</i>	71

Figura 37 – Mensagem de alerta do T-TATIL <i>QRCode Generator</i>	72
Figura 38 – Alguns desenhos táteis multimodais utilizados no experimento. à direita estão os <i>QR Codes</i> dos arquivos impressos	76
Figura 39 – Desenhos táteis utilizados no experimento. à direita estão as legendas em braille	77
Figura 40 – Alguns participantes realizando pré teste	78
Figura 41 – Participantes realizando pós teste	79
Figura 42 – Respostas para a pergunta "Gostei de explorar o desenho"	80
Figura 43 – Respostas para a pergunta "Gostei de explorar o desenho"por desenho . . .	81
Figura 44 – Respostas para a pergunta "Tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho"	82
Figura 45 – Respostas para a pergunta "Tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho"por desenho	82
Figura 46 – Tempo de exploração no pré e pós teste	83
Figura 47 – Tempo de exploração gráfico de linhas (à esquerda) e Células (à direita) . .	84
Figura 48 – Tempo de exploração mapas (à esquerda) e Gráfico colunas (à direita) . . .	84
Figura 49 – Tempo de exploração Fluxograma	84
Figura 50 – Acertos para tarefas e respostas	85
Figura 51 – Respostas para "Consegui montar um modelo mental detalhado do desenho"	86
Figura 52 – Respostas para "Consegui montar um modelo mental detalhado do desenho"por desenho	86
Figura 53 – Tempo médio para leitura do <i>QR Code</i> e posicionamento do desenho tátil . .	87
Figura 54 – Participante realizando leitura <i>QR Code</i> e posicionando desenho tátil sobe a tela do dispositivo	87
Figura 55 – Coeficiente de usabilidade, segundo SUS	88
Figura 56 – Heurísticas de Nielsen detectadas na avaliação de usabilidade	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perfil dos participantes do estudo	74
Tabela 2 – Questionário SUS e respostas dos participantes	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PcD	Pessoa com Deficiência
RSL	Revisão sistemática da Literatura
EP	Estudos Primários
ES	Estudos Secundários
PNS	Pequisa Nacional da Saúde
PcDV	Pessoa com deficiência visual
DV	Deficiência Visual
UFPA	Universidade Federal do Pará
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
XML	<i>eXtensible Markup Language</i> - Linguagem Extensível de Marcação
SVG	<i>Scalable Vector Graphics</i> - Gráficos Vetoriais Escaláveis
API	<i>Application Programming Interface</i> - Interface de Aplicação Programável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	Deficiência visual e a substituição sensorial	21
2.2	Problemática da exploração tátil por pessoas com deficiência visual	23
2.3	Recursos de Tecnologia Assistiva	25
2.4	Testes de usabilidade	26
2.5	Trabalhos relacionados	29
3	METODOLOGIA	32
3.1	Qualificação da pesquisa	32
3.1.1	Questões de pesquisa	32
3.1.2	Hipóteses	32
3.1.3	Método científico	33
3.1.4	Abordagem da pesquisa	33
3.2	Procedimentos	33
4	ESTUDOS OBSERVACIONAIS: COMO OS ALUNOS COM DV LIDAM COM DESENHOS TÁTEIS	36
4.1	Participantes	36
4.2	Materiais	37
4.3	Observações das Aulas	38
4.4	Conclusões dos estudos observacionais	39
4.5	Implicações para o design da solução	40
5	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	42
5.1	Modelo de funcionamento da solução	42
5.2	Avaliação da viabilidade tecnológica da solução	43
5.2.1	Telas capacitivas	43
5.2.2	Telas resistivas	43
5.2.3	Telas de ondas acústicas	44
5.2.4	Teste de dispositivo com sobreposição de desenhos táteis impressos	45
5.3	Design da aplicação	47
5.3.1	Considerações Tecnológicas para o design da solução	48
5.3.1.1	Sistema Operacional Android	49
5.3.1.2	Java	50
5.3.1.3	<i>Android Studio</i>	51
5.3.1.4	Texto-fala ou Simplesmente TTS (<i>Text-to-Speech</i>)	52
5.3.2	Formato do arquivo para criação/execução	52
6	AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA SOLUÇÃO	56
6.1	Participantes	56

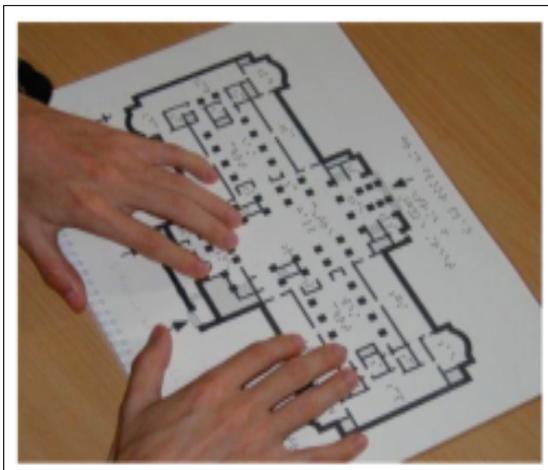
6.2	 Materiais utilizados	 57
6.3	 Metodologia	 59
6.4	 Resultados qualitativos	 59
6.4.1	Opinião sobre os desenhos táteis	59
6.4.2	Opinião sobre o T-TÁTIL	60
6.4.3	Uso da aplicação	60
6.4.4	Oportunidades de melhorias verificadas	60
6.5	 Resultados quantitativos	 61
6.6	 Discussão	 62
7	 ATUALIZAÇÃO DO PROTÓTIPO E IMPLANTAÇÃO DAS MELHO- RIAS	 64
7.1	 Ajuste na forma de interação com a aplicação	 64
7.2	 Mecanismo de posicionamento e trava do desenho tátil sobre a tela do dispositivo.	 65
7.3	 Acoplamento desenho tátil com representação das áreas clicáveis	 66
7.3.1	Design atualizado da aplicação	69
7.3.2	Aplicação para geração dos <i>QR Codes</i>	71
8	 AVALIAÇÃO FINAL E RESULTADOS	 73
8.1	 Participantes	 73
8.2	 Materiais utilizados	 74
8.3	 Metodologia	 76
8.4	 Resultados	 80
8.4.1	Preferência dos usuários	80
8.4.2	Opnião sobre os desenhos táteis e sua compreensibilidade	81
8.4.3	Opinião sobre o T-TÁTIL	85
8.4.4	Oportunidades de melhorias verificadas	86
8.4.5	Leitura do <i>QR Code</i> e posicionamento do desenho tátil	87
8.4.6	Aplicação o questionário SUS (<i>System Usability Scale</i>)	88
8.5	 Discussão	 89
8.6	 Limitações do estudo	 91
9	 CONCLUSÕES	 92
	 REFERÊNCIAS	 95
	 APÊNDICES	 104
	 APÊNDICE A – RSL TECNOLOGIAS ASSISTIVAS	 105
	 APÊNDICE B – QUESIONÁRIO PARA LEVANTAMENTO DO PER- FIL DOS PARTICIPANTES	 153

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DOS DESENHOS TÁTEIS USADOS NA AVALIAÇÃO PRELIMINAR	158
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DOS DESENHOS TÁTEIS USADOS NA AVALIAÇÃO FINAL .	176
APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DA APLICAÇÃO	197
APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO	200

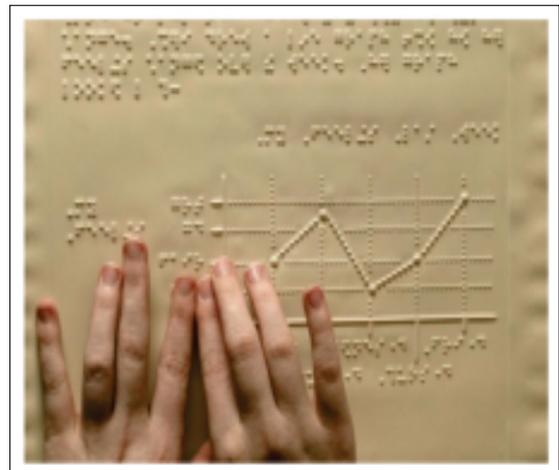
1 INTRODUÇÃO

Conteúdos gráficos são utilizados em escolas de ensino médio, fundamental e superior para transmitir conceitos abstratos aos alunos. Estes conteúdos, no sentido amplo que inclui textos, imagens, mapas, gráficos, esquemas e outros, são eficazes em transmitir uma informação de maneira rápida e organizada. Assim é possível, por exemplo, montar um gráfico que organize uma série de dados para exposição, ou mesmo criar um esquema que mostre o funcionamento de uma aplicação para um usuário e até elaborar desenhos que passam uma informação rápida como é o caso das placas de trânsito, por exemplo. Entretanto, para se ter acesso a esse tipo de conteúdo, é necessário pleno funcionamento do sentido da visão, ao passo que pessoas com deficiência visual (PcDV) não podem contar com este sentido, totalmente ou parcialmente. A substituição das respostas (*feedbacks*) sensoriais do subsistema visual por outros subsistemas, como audição e háptico (tanto tato e cinestésico) principalmente, podem auxiliar na interpretação destes conteúdos gráficos.

O acesso a conteúdo gráfico por pessoas com deficiência visual pode ser feito de várias formas, desde a descrição sonora (*feedback* auditivo) das imagens ou por meio de desenhos táteis em relevo (*feedback* háptico tátil), como pode ser visto em Tomlinson *et. al* (2016), Cohen *et al.* (2005) e Demir *et. al* (2010, até a exploração por meio de forças aplicadas a PcD que permite a criação dos mesmos modelos mentais da imagem (*feedback* háptico cinestésico), também observado em Massiel e Salisbury (1994) e Yu e Brewster (2002). Porém, atualmente é mais comum a utilização de desenhos táteis impressos, como representado na Figura 1 (A esquerda é possível observar um desenho tátil elaborado em papel microcapsulado. Já a figura da direita representa um desenho tátil elaborado em papel braille), para que pessoas com deficiência visual acessem conteúdos gráficos.



(a) Impressão táteis em papel microcapsulado. Fonte: Pinterest



(b) Impressão táteis em papel braille. Fonte: Entrelinhas comunicação acessível

Figura 1 – Alguns tipos de impressões táteis.

Outro ponto importante a ser considerado é que as combinações de *feedbacks* (respostas) de diversos sistemas sensoriais podem surtir mais efeito para facilitar a transmissão das informações gráficas para as pessoas com deficiência visual, combinando por exemplo uma resposta sensorial auditiva e tátil. Este tipo de recurso também é conhecido como multimodalidade¹ de respostas sensoriais. Soluções que utilizam deste recurso podem ser observadas em Baker *et. al* (2016), Fusco e Morash (2015), Landau e Gourgey (2001), Gardner e Bulatov (2006) e Namdev e Maes (2015), entre outros.

Para utilizar desenhos táteis, muitas vezes a pessoa com deficiência visual necessita, também, do apoio de uma pessoa com visão (vidente) que lhe forneça as informações iniciais, que lhe explique a mensagem global transmitida pelo desenho tátil, e que o oriente na exploração do desenho, como demonstram Fusco e Morash (2015) e Zebehazy e Wilton (2014). Porém, quando não existe a figura do vidente, ou ela não está disponível, a pessoa com deficiência visual pode não conseguir utilizar estes recursos. Apesar de algumas informações poderem ser fornecidas em forma de legendas em braille, sem o apoio de uma pessoa vidente, a leitura de um desenho tátil será quase impossível para uma pessoa com deficiência visual que não domine, minimamente, a leitura braille.

A descrição sonora por completo do conteúdo é uma alternativa à exploração tátil para acessar conteúdos gráficos. Porém, o áudio é preferido nas tarefas de exploração e navegação, no entanto outros estudos mostraram que as pessoas com deficiência visual tendem a preferir apresentações táteis ao áudio exclusivamente, como visto em Çoncu, Marriott e Hurst (2010) e Çoncu e Marriott (2012). Isto demonstra que as combinações de respostas para diversos sistemas sensoriais podem surtir mais efeito na transmissão das informações gráficas para as pessoas com deficiência visual, combinando por exemplo uma resposta sensorial tátil, para a exploração do desenho, e auditiva para fornecer as informações complementares.

Para auxiliar nesta tarefa de leitura e interpretação de desenhos táteis, no intuito de tornar a pessoa com deficiência visual mais autônoma e independente no acesso destas informações, há a necessidade da integração de Recursos de Tecnologia Assistiva, assim pessoa com deficiência visual não necessitaria de apoio de um vidente para compreender as orientações gerais sobre o desenho, já que estas informações poderiam ser repassadas com o auxílio da tecnologia. Além disso, os Recursos de Tecnologia Assistiva poderiam também evitar que desenhos táteis mais complexos se tornem sobrecarregados de informações táteis e exageradamente complexo para a exploração tátil, já que para os desenhos táteis que necessitam de legendas e explicações, os *feedbacks* multimodais poderiam transmitir essas mesmas informações sem a necessidade de que tudo seja escrito em braille e organizadas na impressão, permitindo assim a liberação de mais espaço útil para a diagramação do desenho tátil, tornando-o mais limpo e fácil de ser explorado pelo sentido tátil. Em síntese, isso facilitaria a separação em dois espaços sensoriais, o do que é

¹ Multimodalidade é a combinação de várias formas de *feedback* sensoriais. Por exemplo a combinação de *feedbacks* sonoros com táteis é uma forma de multimodalidade de interação para as pessoas com deficiência visual.

de domínio da diagramação e do que é do domínio das informações periféricas.

A legislação brasileira, desde a constituição de 1988 (BRASIL, 1988), estabelece em seus Artigos 205 e 206 que a educação é um direito de todos e que o ensino será ministrado com base no princípio da igualdade de condições para o acesso e permanência na escola. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 1996), em seu artigo 59, corrobora com a constituição para que a educação das pessoas com deficiência se faça presente. Esta orienta ainda que os sistemas de ensino assegurarão aos educandos com necessidades especiais currículos, métodos, técnicas, recursos educativos e organização específica para atender às suas necessidades.

Não apenas estas diretrizes, mas toda a legislação brasileira sobre inclusão das pessoas com deficiência é relativamente ambiciosa em relação à inclusão. Porém, muitas dificuldades são encontradas por parte das instituições no que tange, principalmente, ao orçamento e à capacitação do pessoal para receber alunos com deficiência e poder prestar-lhes todo o suporte necessário para o bom desenvolvimento educacional. Assim, como afirma Silva, Turato e Machado (2002), o que se observa é uma disparidade entre o discurso pregado na legislação e a realidade observada, pois a PcD enfrenta muitas dificuldades e barreiras quando depende de recursos públicos para sua educação.

Conforme mostrado na Figura 2, os dados do censo escolar de 2017, divulgados pelo Inep (2018), mostram que o acesso e a permanência de alunos com deficiência em instituições de ensino, apesar de aumentarem a cada ano, ainda precisam melhorar muito.

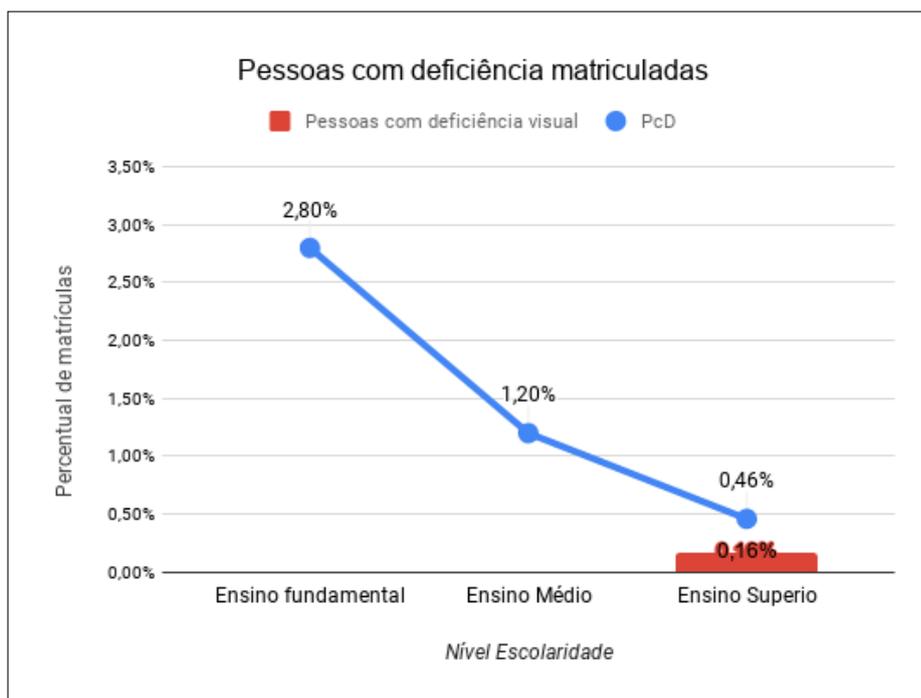


Figura 2 – Pessoas com deficiência matriculadas ao longo da vida acadêmica
Fonte: Inep (2018)

No censo, é possível observar que no ensino fundamental apenas 2,8% das matrículas

são de alunos com algum tipo de deficiência e apenas 29,8% das escolas têm dependências adequadas com acessibilidade. No ensino médio, 1,2% das matrículas são de pessoas com deficiência e apenas 46,7% das escolas possuem dependências adequadas. Já no ensino de nível superior é possível observar que apenas 0,46% das matrículas totais são de alunos com algum tipo de deficiência, sendo 0,16% de alunos com deficiência visual. Com isso, é possível perceber uma diminuição no número relativo de PcDs, incluindo as visuais, ao longo da formação acadêmica, por diversos fatores, incluindo a falta de acessibilidade e de técnicas e tecnologias que auxiliem estas pessoas a terem um acesso com mais equidade e autônomo aos meios de ensino e aprendizagem.

Para exemplificar este universo de pessoas com deficiência visual na educação superior, na Universidade Federal do Pará, em 2018, dos cerca de 56 mil alunos (incluindo a graduação e pós-graduação) apenas 106 (aproximadamente 0,21%) são alunos com deficiência visual (Cegos e baixa visão), segundo a CoAccess (Coordenação de Acessibilidade) e o relatório da CPA 2018 ano base 2017 (CPA-UFPA, 2018) da UFPA.

Sabendo disto, é preciso desenvolver metodologias e soluções para promover, ainda mais, a inclusão de alunos com deficiência, tanto visual como qualquer outra, desde a educação básica até a educação superior, permitindo que o número de alunos com deficiência não diminua ao longo da progressão educacional, seja por conta da falta de recursos de acessibilidade ou qualquer outro empecilho que afete o desempenho escolar das PcDs.

Os avanços tecnológicos ao longo dos últimos anos demonstraram a possibilidade de desenvolver tecnologias assistenciais para auxiliar as PcDs a realizar suas tarefas rotineiras com mais autonomia. A ampliação do uso deste tipo de tecnologia dentro do sistema educacional seria uma maneira útil de contrapor lacunas perante a inclusão dos alunos com deficiências e assim transpor as barreiras que os impedem de desenvolver suas atividades acadêmicas de forma autônoma e independente. Recursos de Tecnologia Assistiva permitiriam, por exemplo, universalizar o acesso a conteúdo adaptado por pessoas capacitadas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo geral avaliar o uso de *tablet* como recurso tecnológico de auxílio aos alunos com deficiência visual na leitura de desenhos táteis com a utilização de recursos multimodais (combinação de vários tipos de *feedback*). Para isto alguns objetivos específicos serão trabalhados, até o alcance do objetivo geral, dentre eles:

- (a) Verificar de que forma o aluno com deficiência visual lida com desenhos táteis no dia a dia, com ou sem auxílio de uma pessoa vidente, e tentar desenvolver uma melhor solução tecnológica para facilitar que esta atividade seja executada de forma autônoma e independente pelo aluno com deficiência visual;
- (b) Desenvolver uma aplicação que permita leitura/execução de desenhos táteis com recursos multimodais para auxiliar alunos com deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis;

- (c) Verificar se o *tablet* pode auxiliar o aluno com deficiência visual na leitura de desenhos táteis sobrepostos e produzidas nos mais diversos meios de impressão (Papel braille, papel microcapsulado, papel *thermoform Brailon*®, ou qualquer outro que venha a ser desenvolvido e possa ser utilizado com a solução proposta); Avaliar se a multimodalidade da aplicação permite mais autonomia e facilidade para a leitura e interpretação de desenhos táteis pelos alunos com deficiência visual;
- (d) Definir e/ou criar um formato de arquivo que será executado pela aplicação desenvolvida e que permita a representação das informações multimodais para auxiliar os alunos com deficiência visual na leitura dos desenhos táteis.

Os próximos tópicos do presente documento estão estruturados da seguinte maneira: Capítulo 2 traz toda a fundamentação teórica para o desenvolvimento deste trabalho, abordando temas sobre a deficiência visual, a problemática da exploração tátil, testes de usabilidade e trabalhos relacionados; no Capítulo 3 demonstramos a metodologia geral da pesquisa, juntamente com sua qualificação e procedimentos realizados da pesquisa; no Capítulo 4 são apresentados estudos observacionais necessários para levantamentos dos requisitos funcionais da solução; no Capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento da solução; no Capítulo 6 apresentamos uma avaliação preliminar da solução e os resultados obtidos, juntamente com as discussões desta avaliação; no Capítulo 7 são apresentadas as atualizações efetuadas no protótipo da aplicação, todas observadas na avaliação preliminar; no Capítulo 8 é feita uma avaliação final da solução, por meio de um experimento controlado, bem como a aplicação do teste de usabilidade. Também são exibidos os resultados e discussão; e no Capítulo 9 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar os elementos já existentes na literatura, fazendo caracterização sobre deficiência visual, Recursos de Tecnologia Assistiva, testes de usabilidade e a legislação já existentes em nível nacional, além de demonstrar as principais dificuldades na leitura de dados gráficos pelas pessoas com deficiência visual e a importância de tal tarefa para evolução do aprendizado, da autonomia e autoconfiança destes indivíduos. Apresentamos também neste capítulo os trabalhos relacionados. Note-se que no Apêndice A são apresentadas os principais Recursos de Tecnologia Assistiva para auxiliar pessoas com deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis. Estas tecnologias foram relacionadas por meio de uma revisão sistemática da literatura e os detalhes podem ser visualizados ao final deste trabalho, ou em trabalho publicado por Zamprogno *et al.* (2019b).

2.1 Deficiência visual e a substituição sensorial

Seria difícil pensar na execução de tarefas de nosso dia a dia sem o sistema sensorial humano. Este sistema é dotado de várias células conhecidas como receptores que captam estímulos e informações do ambiente para podermos interpretá-los e obter respostas para, assim, tomar algum tipo de decisão. O sistema sensorial humano possui diversos subsistemas que ajudam no desempenho desta tarefa, porém, os mais relevantes para o desenvolvimento de nosso trabalho são os sistemas sensoriais da visão, auditivo e háptico (GONCU, 2009).

Goncu (2009) descreve o subsistema visual como possuidor de receptores de luz que são responsáveis por captar e enviar estímulos para o cérebro a fim de obter informações visuais como forma, tamanho e posição de objetos observados, bem como outros tipos de informações que podem ser captadas por este subsistema sensorial. "A visão pode perceber informações tanto de uma área ampla, como também informações detalhadas de uma determinada área sem que seja preciso manter um contato físico"(GONCU, 2009).

Já o subsistema háptico pode fornecer estímulos de toque e movimento, e com isso fornece a maioria das informações que o subsistema visual capta. Porém, é preciso que haja o contato físico para que isto ocorra e as repostas não são tão rápidas e eficazes como com o subsistema visual. Como afirma Goncu (2009), "o subsistema háptico pode fornecer informações mais precisas sobre as propriedades da substância, como textura e dureza, por meio dos sensores cutâneos que estão na pele e que sentem o toque, o estímulo de temperatura e estímulos de dor". Já os sensores cinestésicos, que estão nos músculos e articulações do corpo, podem sentir os estímulos de movimentos (GONCU, 2009).

O subsistema auditivo possui sensores que recebem informações auditivas, como áudio e fala, geralmente, por dois canais (as duas orelhas), ele também pode localizar a fonte de um estímulo. O subsistema auditivo não precisa ter um contato físico com os objetos para adquirir

essa informação (GONCU, 2009).

Entre os sensores citados nos parágrafos anteriores, os sensores visuais têm capacidade de passar mais informações, logo pode ser considerado um dos principais subsistemas sensoriais, e que pessoas com deficiência visual normalmente não podem contar com ele. Ainda segundo (GONCU, 2009) os sensores visuais carregam quatro vezes mais informações do que os sensores táteis e duas vezes mais que os sensores auditivos.

Uma pessoa com deficiência sensorial é caracterizada pela ausência, ou redução, das respostas destes sistemas sensoriais e por isso necessitam de formas e métodos para substituição destas respostas sensoriais para poder realizar suas tarefas de maneira satisfatória.

Da mesma forma, para o estatuto da pessoa com deficiência (BRASIL, 2015), em seu artigo segundo, pessoa com deficiência é:

(...) aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas.

O Decreto Federal nº. 3.298/99 (BRASIL, 1999), que regulamentou a Lei nº. 7.853 (BRASIL, 1989), e garantiu direitos legais a todos os cidadãos brasileiros portadores de deficiência (Terminologia usada na época da promulgação do decreto), em seu artigo 4º, parágrafo terceiro, define a deficiência visual como:

Deficiência visual - cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60º; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores;

De acordo com os dados do IBGE (2015), levantados na última Pesquisa Nacional da Saúde realizada em 2013, cerca de 3,6% da população brasileira tem algum tipo de deficiência visual, sendo esta o tipo de deficiência com números mais representativos na população nacional.

A carta magna brasileira, constituição de 1988 (BRASIL, 1988), estabelece em seus Artigos 205 e 206 que a educação é um direito de todos e que o ensino será ministrado com base no princípio da igualdade de condições para o acesso e permanência na escola.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB (BRASIL, 1996), em seu Artigo 59, orienta ainda que os sistemas de ensino assegurarão aos educandos com necessidades especiais currículos, métodos, técnicas, recursos educativos e organização específicos para atender às suas necessidades, dando mais embasamento ao previsto na Constituição Federal de 1988.

2.2 Problemática da exploração tátil por pessoas com deficiência visual

Como já tratado anteriormente, é inegável a importância de conteúdos gráficos, não só na educação, mas durante toda a vida das pessoas. Como exemplo, os gráficos são recursos utilizados para representar dados tabelados ou de um fenômeno que possa ser mensurado, quantificado ou ilustrado de forma mais ou menos lógica. Assim como os mapas indicam uma representação espacial de um determinado acontecimento ou lugar, os gráficos apontam uma dimensão estatística sobre certos dados.

Sobre o uso de gráficos para representação de dados, Carvalho e Araújo (2011) citam que:

A apresentação dos dados estatísticos através de tabelas nem sempre pode cumprir com os objetivos da comunicação. Por isso, com a finalidade de melhorar esse processo, muitos pesquisadores recorrem ao uso dos gráficos, pois constituem uma linguagem especial que pode vir a ser de extrema utilidade, tanto na pesquisa quanto no ensino de qualquer disciplina, em virtude das possibilidades de darem mais visibilidade aos resultados de estudos e pesquisas, permitindo uma leitura direta dos seus temas (CARVALHO; ARAÚJO, 2011).

Contudo, para pessoas com deficiência visual, a leitura de gráficos nem sempre é simples como para pessoas videntes. O que ajuda pessoas com deficiência visual a conseguir interpretar dados essencialmente visuais é a substituição das respostas sensoriais do subsistema visual, por outros subsistemas que podem compensar a falta daquele. Assim, o que é mais comumente visto nos dias atuais é a utilização de desenhos táteis para as pessoas com deficiência visual acessarem conteúdos gráficos, pois, como observado na seção 2.1, o subsistema háptico, por meio do tato, pode substituir boa parte dos estímulos que o subsistema visual receberia.

A exploração de um conteúdo gráfico, seja tátil ou não, inicia-se com a visão geral da imagem por inteiro. Esta visão geral fornece um apanhado global das informações contidas na imagem, permitindo que a pessoa defina se esta é importante ou não. Depois, passa-se à navegação que é usada para obter informações sobre os elementos da imagem (BENNETT; EDWARDS, 1998). Durante a navegação, os usuários podem alterar o foco para procurar elementos ou dados específicos na imagem e assim filtrar as informações mais relevantes. Estas informações podem então ser consultadas. Cada uma dessas tarefas, de visualização das informações, também deve ser executada em conteúdos gráficos acessíveis, por um usuário com deficiência visual, para obter as informações necessárias.

Suzuki *et al.* (2017) citam que:

Embora os benefícios dos desenhos táteis estejam bem documentados, existem várias limitações. A primeira limitação de um gráfico tátil é sua capacidade finita de armazenar informações. É difícil adicionar informações, como legendas ou anotações, sem tornar um gráfico tátil excessivamente complicado.

Portanto, dois fatores importantes facilitam a leitura de um desenho tátil: o conteúdo, e o *layout/design* deste. Para a elaboração de desenhos táteis com boa usabilidade, é preciso que exista um cuidado com o tratamento dos dados para se construir o desenho, em outras palavras, deve-se refletir sobre o objetivo da informação a ser representada. É necessário também traduzir a informação da melhor maneira possível, apresentando-a por meio de formas, tamanhos e texturas que melhor transmitem, via sentido tátil, as propriedades dos dados a serem exibidos, para que a pessoa com deficiência visual a interprete corretamente.

Para isto, alguns estudos como Goncu (2009) e Goncu e Marriott (2008) citam observações que devem ser feitas no momento de elaboração de desenhos táteis, para que estes sejam gerados de maneira a permitir que todas as tarefas, naturais de uma exploração de conteúdos gráficos, sejam executadas por pessoas com deficiência visual. Pode-se citar alguns cuidados que devem ser tomados na elaboração de um desenho tátil:

- (1) Será necessário, consideravelmente, mais espaço para encaixar as etiquetas Braille, principalmente em se tratando de um eixo horizontal de um gráfico de barras, por exemplo. Para contornar essa necessidade, os rótulos poderão ser redimensionados. O mesmo problema de espaço deve ser considerado para aplicação de texturas, pois em espaços muito pequenos será difícil de perceber as características individuais de cada textura.
- (2) Informações adicionais, como linhas de grade, valores numéricos nos elementos podem melhorar a legibilidade da versão tátil, porém é preciso ter cuidado para não “poluir” demasiadamente o gráfico e não dificultar a exploração pelos deficientes visuais.

Em publicação realizada por BANA - Braille Authority of North America e Canadian Braille Authority (2011), também podem ser encontradas algumas recomendações de padrões que podem ser seguidos na elaboração de desenhos táteis, com exemplos de texturas, formatos de linhas, espaçamentos necessários entre elementos, simplificação de imagens e gráficos, entre outros. Várias diretrizes e recomendações para elaboração de desenhos táteis orientando sobre quais texturas são facilmente distinguíveis, como podem ser as linhas grossas, espaçamentos entre elementos, etc. foram desenvolvidas por transcritores táteis que eram bem experientes, como citado em Goncu e Marriott (2011) e podem ser vistas em Edman (1992) e no site da *American Foundation of Blind* (AFB)¹.

Também existem gráficos acessíveis, exclusivamente, por meio de descrições sonoras, que ajudam na interpretação dos principais dados do gráfico (CHEW; TOMLINSON; WALKER, 2013). Porém alguns estudos mostraram que os participantes cegos preferem apresentações táteis ao áudio exclusivamente, e o áudio é preferido nas tarefas de exploração e navegação (GONCU; MARRIOTT; HURST, 2010).

Como afirmado por Goncu e Marriott (2011):

¹ <http://www.afb.org/>

Uma das razões para a eficácia dos gráficos táteis é que eles permitem a descoberta de relações geométricas com ambas as mãos e permitir o uso de múltiplos dedos para sentir os atributos geométricos dos elementos gráficos. Da mesma forma, o uso de ambas as mãos permite a exploração semiparalela do gráfico, bem como o uso de uma mão como âncora ao explorar o gráfico. (GONCU; MARRIOTT, 2011)

Assim a combinação de tato e áudio pode ser alternativa pertinente para melhorar ainda mais o nível de acessibilidade em desenhos táteis.

2.3 Recursos de Tecnologia Assistiva

Para pessoas com algum tipo de deficiência, em especial neste trabalho as com deficiência visual, existe a necessidade de apoio de tecnologias assistivas para que possam desempenhar atividades corriqueiras com mais autonomia, desta maneira as tecnologias assistivas podem ser definidas como “recursos e serviços que visam facilitar o desenvolvimento de atividades da vida diária por pessoas com deficiência. Bem como procuram aumentar capacidades funcionais e assim promover a autonomia e a independência de quem as utiliza” (PUPO; MELO; FERRÉS, 2006).

A Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015), em seu artigo terceiro, ainda define Recursos de Tecnologia Assistiva como:

Produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivem a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação da pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando à sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (BRASIL, 2015)

Ainda no mesmo pensamento, em seu Artigo 28, a lei orienta que:

Incumbe ao poder público assegurar, criar, desenvolver, implementar, incentivar, acompanhar e avaliar pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos métodos e técnicas pedagógicas, de materiais didáticos, de equipamentos e de recursos de tecnologia assistiva. (BRASIL, 2015)

Das vantagens apresentadas ao se trabalhar com dados gráficos, em se tratando de educação especial voltada para pessoas com deficiência visual, e pela importância do tema na educação, formação e inclusão dos alunos com deficiência visual, torna-se necessário a criação e o aprimoramento de novos Recursos de Tecnologia Assistiva capazes de auxiliar esses alunos a ter acesso mais eficaz e autônomo a este tipo de conteúdo.

No âmbito da leitura e interpretação de desenhos táteis, por vezes a pessoa com deficiência visual necessita de apoio de uma pessoa vidente para passar algumas informações acerca do desenho tátil que será explorado, principalmente na primeira exploração, na qual informações

gerais precisam ser passadas, como pode ser observado em Fusco e Morash (2015) e Zebehazy e Wilton (2014), e quando não existe essa pessoa, ou ela não está disponível, a pessoa com deficiência visual pode não conseguir utilizar estes gráficos táteis.

Desta forma, não seria diferente para o desenvolvimento de Recursos de Tecnologia Assistiva para auxiliar na leitura e interpretação de desenhos táteis, possibilitando à pessoa com deficiência visual mais autonomia nesta atividade tão importante nos dias atuais.

É importante levar em consideração um design participativo² e centrado no usuário para o desenvolvimento de qualquer Recurso de Tecnologia Assistiva, pois quando se tem dentro do projeto participantes com a deficiência que a tecnologia busca diminuir as barreiras é muito mais provável que todos os detalhes necessários para o sucesso desta solução sejam alcançados. Com relação ao tema deste trabalho, Goncu e Marriott (2011) citam que ter pessoas com deficiência visual envolvidos é vital para qualquer projeto deste tipo. Corroborando com este pensamento, Giudice *et. al* (2012), acredita que esta abordagem evita uma armadilha de engenharia, onde desenvolvimento é impulsionado pela eficiência computacional e suposições, muitas vezes errôneas, dos projetistas sem contar com o *feedback* do usuário final, que poderá descrever, em detalhes, os requisitos funcionais da tecnologia.

2.4 Testes de usabilidade

Os testes de usabilidade de aplicações são ferramentas importantes para auxiliar no *design* de uma boa *interface* de usuário em aplicativos, possibilitando uma interação fácil e natural entre os usuários e o sistema. *Human-Computer Interaction (HCI)*, ou Interação Humano-Computador (IHC), "é a área da computação que visa o estudo de como as pessoas interagem com os sistemas computacionais a fim de estabelecer técnicas e guias mestras para projetar e desenvolver interfaces com o usuário que alcancem alta usabilidade". (FILARDI E TRAÍNA, 2008).

Assim, "usabilidade é medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso"(ABNT, 2002).

Um teste de usabilidade com usuários reais do produto pode rapidamente apontar as tarefas que geram as maiores dificuldades, mas ainda assim não consegue indicar "o quão grande" o problema de usabilidade é, em uma escala quantitativa. Vários métodos e técnicas têm

² Segundo Camargo e Fazani (2014) "O Design Participativo pode ser considerado como uma prática de desenvolvimento de sistemas de informação que visa coletar, analisar e projetar um sistema juntamente com a participação de usuários, funcionários, clientes, desenvolvedores e demais interessados", assim é podemos imaginar que, pelo fato de envolver as pessoas que irão utilizar o sistema, este será mais aceito pelos reais usuários. O autor também afirma que "o design participativo também abrange questões relacionadas à maneira de como os usuários pensam e agem, enfatiza a importância de cada participante ao decorrer de todo o processo de desenvolvimento, e considera que o usuário do sistema sabe quais funções são úteis e quais são as prioridades para sua prática profissional. "

sido propostos para avaliar a usabilidade de sistemas. Várias destas técnicas envolvem análises cognitivas de especialistas em IHC e, por não requerer o envolvimento de usuários, essas técnicas não estimam o uso real do sistema, somente preservam os aspectos relacionados à usabilidade da *interface* e, por isso, são conhecidos como inspeção de usabilidade (DIX et al., 2004).

As avaliações de *design* centrado no usuário tem como premissa básica que as necessidades dos usuários devem ser levadas em conta durante todo o ciclo de desenvolvimento do projeto, com o objetivo de auxiliar no melhoramento do *design* e avaliação da qualidade global da *interface*, de acordo com opiniões dos usuários finais do sistema (PREECE; ROGERS; SHARP, 2005). Este tipo de técnica é conhecida como teste de usabilidade, que determinam medidas quantitativas de desempenho que são importantes para avaliar se os objetivos de usabilidade foram atendidos, para comparar produtos competitivos e para realizar pesquisas em fatores humanos.

Para ajudar na realização de avaliação de usabilidade existem vários questionários disponíveis, tanto para uso acadêmico como pessoal, que ajudam a quantificar estes dados e mostrar, numericamente, o nível de usabilidade da sua solução, demonstrando diversos aspectos do *design* da *interface* dos sistemas.

Os questionários de avaliação de usabilidade mais conhecidos e que mais se destacam como produtos comerciais são: *QUIS* (*Questionnaire for User Interaction Satisfaction*)³, *SUMI* (*Software Usability Measurement Inventory*)⁴, *WAMMI* (*Website Analysis and Measurement Inventory*)⁵, e *SUS* (*System Usability Scale - criado por Brooke (1996)*).

O *QUIS* é uma ferramenta que foi desenvolvida com o objetivo de estimar a satisfação subjetiva dos usuários focando em aspectos específicos da interface humano-computador. Foi estruturado de maneira modular, podendo ser configurado de acordo com as necessidades de análise de cada interface. Cada sessão do questionário especifica alguns pontos de interesse do teste e aborda 11 fatores específicos de *interfaces*: (i) fatores da tela, (ii) terminologia e *feedback* do sistema, (iii) fatores de aprendizagem, (iv) capacidade do sistema, (v) manuais técnicos, (vi) tutoriais on-line, (vii) multimídia, (viii) reconhecimento de voz, (ix) ambiente virtual, (x) acesso a internet e (xi) instalação do software. As respostas são dadas em uma escala que varia de 0 a 9, onde o zero representa um adjetivo negativo e os demais representam adjetivos positivos. Também inclui uma opção de N/A (Não-aplicável) já que as afirmações podem não precisarem ser respondidas para determinado aspecto do questionário (FILARDI E TRAÍNA, 2008; PADILHA, 2004).

O *SUMI* é um método para estimar a qualidade do software do ponto de vista do usuário final e pode ajudar na detecção de falhas de usabilidade antes de um produto ser lançado. Consiste de 50 questões de afirmações correspondentes a três níveis: "concordo", "não sei" e

³ <http://www.cs.umd.edu/hcil/quis/>

⁴ <http://sumi.uxp.ie/>

⁵ <http://www.wammi.com/>

"não concordo". O SUMI tem sido normalizado por uma base de dados substancial de resultados, permitindo que o software de análise possa comparar, dentro de uma escala global, a percepção da qualidade de uso e medir, dentro de uma sub-escala, aspectos da satisfação do usuário referentes aos fatores de eficiência, preferência, utilidade, controle e facilidade de aprendizagem (FILARDI E TRÁINA, 2008; PADILHA, 2004).

O WAMMI é um serviço exclusivo para avaliação de *Websites on-line*, com o propósito de ajudar os proprietários do site a cumprir suas metas corporativas através da medição e monitoramento das reações do usuário sobre sua facilidade de uso. O serviço de análise de Website WAMMI é constituído por um questionário contendo 20 afirmações e uma única base de dados internacional. Um relatório eletrônico é gerado automaticamente pelo servidor no final de um período de avaliação (FILARDI E TRÁINA, 2008; PADILHA, 2004).

Apesar de todos esses tipos de questionários serem úteis e cada um possuir propósito diferente. Um dos mais utilizados para avaliação de usabilidade de um produto, e que será utilizado neste trabalho, é o SUS (*System Usability Scale*). Isto se deve, entre outros motivos, por "ser uma ferramenta robusta, confiável e por correlacionar bem com outras medidas subjetivas de usabilidade"(PADRINI-ANDRADE *et al.*, 2018) além de ao mesmo tempo não ser extremamente longo para o participante nem para o pesquisador, devido ao pequeno número de questões, fato que pode facilitar a aderência e comprometimento com a pesquisa. Os participantes poderão estar saturados e/ou cansados por conta dos experimentos com os desenhos táteis e, caso seja aplicado um questionário longo, as respostas podem não condizer com a realidade e não ter a mesma responsabilidade com a importância delas, apenas para encerramento imediato do teste. Assim o SUS pode atender às demandas de avaliação da usabilidade geral de uma solução, sem comprometer o resultado final dos experimentos.

O SUS baseia-se em um questionário simples que aborda uma visão global sobre a usabilidade e pode ser aplicado a vários tipos de tecnologias, como sistema, hardware, sites, entre outros. As questões consistem em 10 afirmações que utilizam o formato da escala *Likert*, por meio da qual é mensurada a intensidade de concordância dentro de uma escala de cinco pontos variando de discordo completamente a concordo completamente.

Para se calcular a pontuação final da avaliação realizada com a aplicação do SUS, é preciso seguir os passos abaixo, conforme descrito por Brooke (1996). Essa medida trata-se de uma medida composta que representa a usabilidade geral do sistema.

- Para os itens 1, 3, 5, 7 e 9 a pontuação é a medida na escala menos 1 ponto.
- Para os itens 2, 4, 6, 8 e 10 a pontuação dar-se-á pela medida indicada na escala - 5 pontos
- Realiza-se o somatório das pontuações de cada item;
- Multiplica-se o somatório das pontuações por 2,5 e obtém-se o valor global da usabilidade do sistema.

Após a obtenção da pontuação pelo cálculo do escore, é possível fazer a classificação do sistema avaliado. Existem várias referências que auxiliam na interpretação de seus escores, e para este trabalho usou-se uma classificação por adjetivos criada por Bangor *et al.* (2009): escore menor que 25 (pior imaginável); entre 25,5 a 38,5 (pobre); entre 39 a 52,5 (OK); entre 53 a 73,5 (bom); entre 74 a 85 (excelente); e entre 85,5 a 100 (melhor imaginável). Na Figura 3 pode ser visto um comparativo entre as formas de classificação de acordo com a escala SUS.

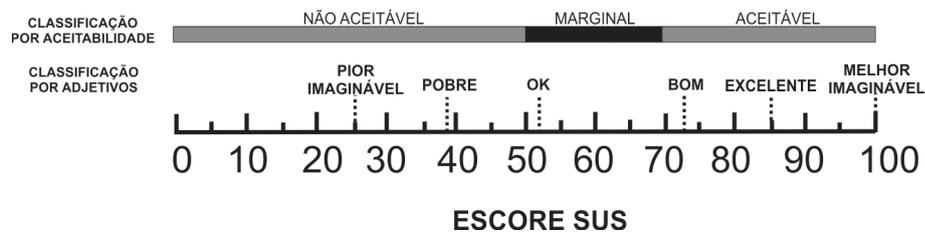


Figura 3 – Diferentes formas de classificação do score SUS

Fonte: Adaptado de Bangor *et al.* (2009)

Bangor *et al.* (2009) concluem em seu estudo que, para que um produto tenha uma boa usabilidade quando submetido à avaliação por meio do questionário SUS ele precisa ter um índice acima de 70.

Para Nielsen (2012), cinco componentes podem avaliar a usabilidade de um produto. Estes cinco componentes são:

- **Capacidade de aprendizagem:** a facilidade de utilizar o sistema/produto pela primeira vez;
- **Eficiência:** rapidez para executar as tarefas;
- **Memorização:** o processo de lembrar como utilizar o sistema/produto, após um tempo sem utilizar;
- **Erros:** ausência de erros apresentados pelo sistema;
- **Satisfação:** design agradável.

De acordo com Tenório *et al.* (2011), é possível reconhecer os componentes de qualidade indicados por Nielsen nas questões do SUS. **Facilidade de aprendizagem:** 3, 4, 7 e 10; **Eficiência:** 5, 6 e 8; **Facilidade de memorização:** 2; **Minimização dos erros:** 6; **Satisfação:** 1, 4, 9.

2.5 Trabalhos relacionados

Após a realização da revisão da literatura (completamente descrita no APÊNDICE A deste trabalho e que pode ser vista no artigo publicado por Zamprognio *et al.* (2019b), foi possível

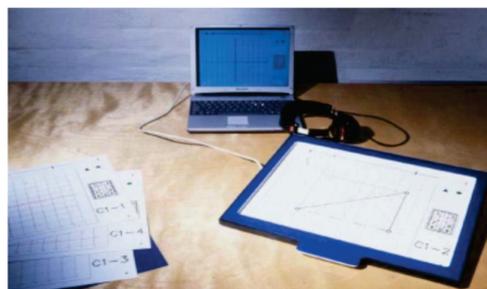
encontrar algumas soluções bem semelhantes ao que é proposto ao longo deste documento. A seguir são detalhados os trabalhos mais relevantes e expostos os pontos positivos e em que estes trabalhos relacionados se diferenciam da proposta que é apresentada posteriormente.

Inicialmente podemos citar como itens principais de trabalhos relacionados o TTT (*Talking Tactile Tablet*) e IVEO *Touchpad*. Ambas as soluções desenvolvidas por Landau, Russell e Erin (2007) e Gardner e Bulatov (2006), respectivamente, permitem a sobreposição de desenhos táteis sobre um *hardware* sensível ao toque que é conectado a um computador, via USB, que executa o *software* permitindo que o desenho tátil se torne interativo ou multimodal. À medida que o usuário interage com o desenho tátil são disparadas informações de áudio, possibilitando uma maior quantidade de informações a serem transmitidas e interpretadas.

O fato de precisar ser conectado a um computador fornece ao TTT e ao IVEO *Touchpad* poder de processamento e flexibilidade consideráveis, mas limita sua portabilidade, visto que necessita estar fisicamente ligado ao computador. Outro ponto negativo para estes dispositivos é que eles se apoiam em *hardware* específico que é utilizado apenas para uma determinada tarefa (exploração de desenhos táteis impressos e sobrepostos ao *hardware* sensível ao toque). Outro ponto a se destacar dessas soluções é o alto valor comercial destes equipamentos, fazendo com que não sejam tão bem aceitos em realidades econômicas onde não haja investimentos consideráveis em acessibilidade para as pessoas com deficiência visual.



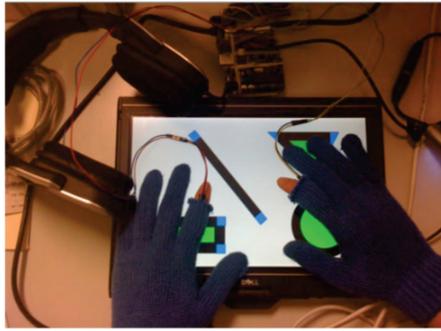
(a) IVEO *Touchpad*
Fonte: Reprodução/viewplus.com



(b) *Talking Tactile Tablet*
Fonte: Reprodução ITD *Journal*

Figura 4 – Recursos de Tecnologia Assistiva baseadas em *hardware* específico

Na contramão do *hardware* específico podemos encontrar algumas soluções que visam auxiliar pessoas com deficiência visual, na tarefa de ler e interpretar desenhos táteis, e que se apoiam em *hardware* comum, ou seja, o que pode ser utilizado para realizar outras tarefas, como navegação na *internet*, leitura de livros digitais, acessar conteúdo multimídia, etc. Duas destas soluções são: o GraVITTAS (GONCU; MARRIOTT, 2011) - Figura 5.a - e *Figure Perceiving Tools* (COSTA et al., (2015) - Figura 5.b. Ambas as soluções permitem que pessoas com deficiência visual tenham acesso a conteúdo gráfico por meio da utilização de um *tablet* com tela sensível ao toque e que podem fornecer *feedback* sonoro e háptico das informações gráficas exibidas na tela.



(a) GraVVITAS
Fonte: Reprodução (GONCU; MARRIOTT, 2011)



(b) Figure Perceiving Tool
Fonte: Reprodução (COSTA et al., 2015)

Figura 5 – Tecnologias Assistivas baseadas em *hardware* comum

Existe uma pequena diferença entre estas duas soluções, no que tange a geração dos *feedbacks* hápticos. No GraVVITAS, estes são fornecidos por meio de motores de vibração colocados em uma luva desenvolvida especificamente para este efeito. Sempre que o usuário toca algum objeto gráfico na tela sensível ao toque, o sistema fornece o *feedback* háptico por ativação do motor de vibração na luva. Para *Figure Perceiving Tools* não é necessário a utilização de uma luva pois os *feedbacks* hápticos são fornecidos pela vibração do próprio *tablet*.

Porém é difícil distinguir, em uma exploração tátil com ambas as mãos e vários dedos, em qual ponto está sendo tocado o objeto gráfico exibido na tela. Isso dificulta a exploração tátil com ambas as mãos e vários dedos, o que não é uma maneira natural de explorar desenhos táteis por pessoas com deficiência visual, como observado por Bennett e Edwards (1998), Goncu e Marriott (2011) e a seguir por meio de estudos observacionais realizados (vide Capítulo 4). Um outro aspecto dificulta a interpretação tátil do desenho apenas através das vibrações. O dedo percebe simultaneamente vários pontos do desenho tátil impresso, o que dá noção de continuidade e direção das linhas, das interseções, ou ainda permite diferenciar as linhas por tamanho e as áreas por texturas. As vibrações fornecem apenas uma informação relativa à presença ou não do dedo em um ponto e, se podemos imaginar uma semântica do *design* da vibração que permita diferenciar linhas ou áreas (pela intensidade da vibração), parece desafiante transcrever a percepção da continuidade ou das interseções mediante apenas este tipo de *feedback* háptico.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo descrever toda a metodologia utilizada para a realização deste trabalho. São definidos os objetivos, a questão de pesquisa juntamente com as hipóteses que serão avaliadas, a abordagem da pesquisa. São informados todos os procedimentos que serão seguidos para o desenvolvimento do trabalho, bem como a forma de coleta e análise dos dados colhidos durante os experimentos. Também, é descrito todo o aparato técnico e tecnológico para o desenvolvimento da ferramenta que é utilizadas nos experimentos.

3.1 Qualificação da pesquisa

O tipo de pesquisa desenvolvida é, fundamentalmente, explicativa. Possibilitando avaliar os fatores que contribuem para uma melhor compreensão dos desenhos táteis, por pessoas com deficiência visual, utilizando um *tablet* comum como Recurso de Tecnologia Assistiva.

Além disto, esta pesquisa teve uma aplicação prática, com o desenvolvimento de uma solução para auxiliar pessoas com deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis com a utilização de recursos multimodais. Esta solução tem como finalidade permitir que a pessoa com deficiência visual tenha mais autonomia na execução desta atividade. Para comprovação do resultado foram realizados experimentos controlados para comparação da exploração tátil com e sem o auxílio do Recurso de Tecnologia Assistiva desenvolvida.

3.1.1 Questões de pesquisa

Este trabalho tem como questões da pesquisa a seguinte: Um *tablet* pode ser utilizado para auxiliar alunos com deficiência visual a ler e interpretar desenhos táteis, utilizando recursos multimodais?

3.1.2 Hipóteses

O que já é comumente aceito é que um *tablet* pode fornecer acessibilidade às pessoas com deficiência visual para execução de várias tarefas do cotidiano, porém é um pouco restrito com relação à acessibilidade de desenhos táteis devido à baixa sensibilidade tátil dos elementos exibidos na tela, normalmente conseguida por descrição em áudio do elemento ou por vibração.

H1: *Feedbacks* multimodais, via um dispositivo com tela sensível ao toque em complemento à exploração tátil dos desenhos impressos em relevo, sobrepostos à tela do *tablet*, são recursos que podem melhorar a interpretação dos desenhos táteis para pessoas com deficiência visual.

H2: A combinação de *feedback* áudio e tátil poderá dar mais autonomia e independência ao aluno com DV na tarefa de exploração de desenhos táteis.

3.1.3 Método científico

O método científico para esta pesquisa será o monográfico, por aplicar os estudos e resultados ao um grupo de participantes deficientes visuais específicos, e comparativo, por comparar duas formas de exploração tátil (com e sem auxílio da ferramenta). Acreditamos que não será possível uma generalização dos resultados devido a heterogeneidade das deficiências e do nível de conhecimento dos participantes na leitura de desenhos táteis, bem como leitura braille que normalmente é necessária para estas tarefas.

3.1.4 Abordagem da pesquisa

A abordagem empregada nesta pesquisa será fundamentalmente qualitativa, baseada em um estudo de caso com experimentos controlados para o desenvolvimento de uma solução eficaz que possa auxiliar os alunos com deficiência visual na leitura de desenhos táteis utilizando recursos multimodais.

Elementos quantitativos serão acrescentados à pesquisa para mensurar alguns resultados, para fins de comparação, entre o uso do Recurso de Tecnologia Assistiva e a não utilização dela. Esta comparação tem por objetivo identificar quais os possíveis benefícios que o uso da tecnologia poderá trazer às pessoas com deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis. As variáveis que serão levadas em consideração para análise quantitativa são: percentual de acertos nos questionários, tempo para resolução das questões, número de vezes que o participante acessa o desenho tátil para resolução das questões, dentre outros que julgarmos necessários para uma melhor análise dos resultados.

Cabe ressaltar que, pela dificuldade em reunir um grande número de pessoas com deficiência visual para os testes, bem observado nos resultados do apêndice A, os dados quantitativos não terão significância estatística, mas ajudarão a embasar os resultados qualitativos no sentido de comprovar a observação do pesquisador e dados que serão colhidos por meios de questionários e entrevistas.

3.2 Procedimentos

O início da pesquisa deu-se com uma pesquisa bibliográfica acerca dos diferentes métodos e soluções que possam auxiliar pessoas com deficiência visual a ler e interpretar desenhos táteis. Esta pesquisa está completamente detalhada no Apêndice A e no trabalho desenvolvido por Zamprogno et al. (2019b).

Isto possibilitou a identificação de oportunidades de pesquisa que, em decorrência desta RSL, ajuda na proposição de uma solução técnica para auxiliar as pessoas com deficiência visual na tarefa de exploração de desenhos táteis.

A fim de realizar o levantamento de alguns pré-requisitos para este tipo de solução, é preciso realizar um estudo preliminar para analisar como as pessoas com deficiência visual lidam com a atividade de leitura de desenhos táteis atualmente, com ou sem ajuda de outra pessoa, para assim definir uma melhor solução tecnológica para auxiliar a atividade de leitura e compreensão dos desenhos táteis. Com isso, pode-se levar em consideração as observações realizadas para a criação de uma aplicação que atenda às reais necessidades da pessoa com deficiência visual. Esse estudo preliminar baseia-se em observações de aulas reais com alunos com deficiência visual, utilizando conteúdos gráficos traduzidos por meio de desenhos táteis impressos em relevo. Essas aulas, sempre que autorizadas, precisam ser gravadas em vídeo a fim de ajudar na análise observacional do pesquisador.

Após esta etapa de levantamento dos requisitos, uma aplicação para leitura/execução dos desenhos táteis previamente criados foi desenvolvida. Esta solução tem como ideia central explorar os benefícios de interações multimodais, de forma que um desenho tátil impresso seja sobreposto a tela de um dispositivo com tela sensível ao toque, e que durante a exploração tátil do desenho em relevo, o aplicativo forneça informações auditivas esclarecedoras, mediante síntese vocal, sobre a área explorada pela pessoa com deficiência visual. O objetivo é suprir a necessidade do auxílio de um vidente e fornecer plena autonomia à pessoa com deficiência visual na leitura e interpretação dos desenhos táteis, além de acrescentar mais informações a um desenho tátil sem poluir a exploração tátil com legendas em braille.

Essa aplicação visa ser executada em um *tablet* comum, mas também em qualquer outro dispositivo que atenda aos requisitos de hardware iniciais, que são: dispositivo com sistema operacional *Android*, com uma versão superior a *API 14*, tela sensível ao toque que possa ser corretamente ativada com um desenho tátil sobreposto a ela (ver seção 5.2 para mais detalhes), auto-falante ou entrada para fone de ouvido que permita a geração dos *feedbacks* sonoros para o usuário.

A avaliação do protótipo da aplicação requer a criação de sete desenhos táteis, em papel braille, juntamente com seus arquivos digitais com as informações a serem sintetizadas pela aplicação em forma de áudio. Na criação dos desenhos táteis, texturas bem diferenciadas permitem enfatizar partes distintas (linhas e áreas). Este estudo preliminar ajuda na validação da viabilidade da solução proposta, no levantamento de resultados qualitativos sobre o uso da aplicação, e também na detecção de oportunidades de melhorias, além de ajustes e correções na aplicação.

A posse dos resultados deste estudo preliminar, permitiu a realização dos ajustes necessários, bem como das melhorias na aplicação para, então partir para um experimento final da solução. Para esta avaliação final dez desenhos táteis são necessários, cinco para serem usados com a aplicação (dois impressos em papel microcapsulado e três em papel braille) e cinco com legendas em braille (dois impressos em papel microcapsulado e três em papel braille). O experimento divide-se em quatro etapas: 1ª levantamento do perfil dos participantes e realização

do pré teste para avaliar a exploração tátil com os desenhos táteis e legendas em braille; 2º treinamento para adaptar os participantes com o uso da aplicação; 3º realização do pós teste para avaliar a exploração tátil dos desenhos táteis multimodais, com a aplicação desenvolvida; e 4º Aplicação de um questionário baseado no SUS (*System Usability Scale*) para avaliação da usabilidade da ferramenta.

Para realização dos testes (pré e pós testes) são necessários questionários com perguntas e tarefas para serem realizadas com os desenhos táteis. Durante a aplicação destes questionários são medidos os tempos gastos para realização das tarefas, bem como os acertos e erros destas e se é preciso realizar a consulta ao desenho para respondê-las. Após a exploração de cada desenho tátil, outras três perguntas são feitas para ajudar na análise qualitativas dos resultados. De posse destes dados, pode ser realizada a análise dos resultados fazendo uma comparação entre as duas técnicas para exploração dos desenhos táteis.

Os detalhes metodológicos de cada etapa, brevemente descrita nos parágrafos anteriores, podem ser acompanhados nos capítulos subsequentes.

4 ESTUDOS OBSERVACIONAIS: COMO OS ALUNOS COM DV LIDAM COM DESENHOS TÁTEIS

Foram realizados 3 estudos observacionais visando analisar as estratégias de exploração dos conteúdos gráficos impressos em relevo pelos alunos com deficiência visual. Estes estudos foram realizados em momentos reais de aulas com os alunos com deficiência visual acessando conteúdos gráficos (como pode ser visualizado nas figuras da seção 4.3). Um aluno era ingressante de ensino médio, um aluno era concluinte do ensino médio e o terceiro era concluinte de curso de superior em engenharia. Os três indivíduos tinham em consequência uma experiência muito diferente em relação a desenhos táteis. O primeiro admitiu ter tido pouco contato com este recurso devido a falta de material adaptado durante o seu ensino fundamental. Os dois outros alunos tinham uma maior familiaridade por terem cursado o ensino médio e superior em instituições que buscam aprimorar o uso deste recurso de desenhos táteis.

Os estudos observacionais descritos neste capítulo foram realizados a fim de verificar de que forma o aluno com deficiência visual lida com desenhos táteis no dia-a-dia, com ou sem auxílio de uma pessoa vidente. Assim, essa fase de observação das metodologias de trabalho do usuário final visa levantar os requisitos que a ferramenta deve atender para desenvolver uma tecnologia que se integra da melhor possível na atividade de leitura de desenhos táteis, buscando que a ferramenta seja executada de forma autônoma pela pessoa com deficiência visual. Nesta etapa, buscamos identificar: (i) como o aluno com deficiência visual explora o desenho tátil (uso das mãos, etapas sucessivas da exploração), (ii) quais são as informações fornecidas pelo vidente e (iii) quando e porque essas descrições são fornecidas ao aluno. A seguir serão destacados os principais pontos observados por esse estudo.

4.1 Participantes

O primeiro participante - P1 - é um estudante do ensino médio integrado ao ensino técnico em tecnologia da informação (22 anos), totalmente cego desde os 3 anos de idade. O participante relatou que possui habilidade na leitura braille mediana bem como em desenhos táteis, utilizando material em braille todos os dias na escola e desenhos táteis de 2 a 3 vezes na semana.

O segundo participante - P2 - é um estudante que recém concluiu o ensino fundamental (15 anos), totalmente cego desde o nascimento. O participante relatou que possui habilidade na leitura braille mediana, utilizando material em braille de 2 a 3 vezes na semana. Em relação a desenhos táteis, ele informou ter “Muito pouco, até porque (os desenhos táteis) não eram trabalhados no município onde eu moro”.

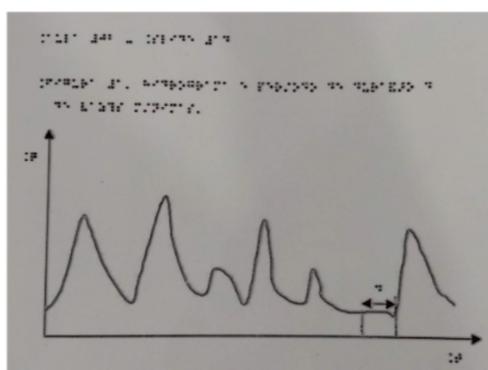
O último participante - P3 - é um estudante do ensino superior em engenharia sanitária (25 anos), totalmente cego desde os 7 anos de idade, porém já nasceu com uma deficiência em

um dos olhos e tinha apenas visão parcial do outro. O participante relatou que possui habilidade na leitura braille boa, bem como em desenhos táteis, utilizando estes tipos de recursos todos os dias na universidade.

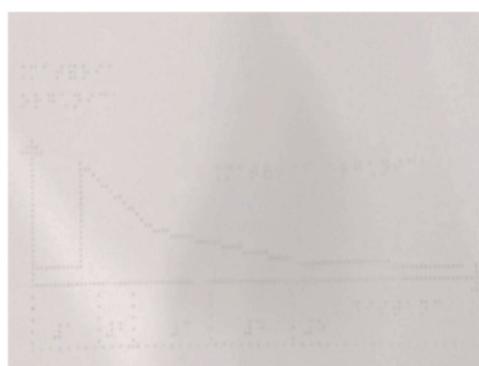
Além dos alunos, também estavam presentes os professores das disciplinas que, em sua maioria, nos indicaram não possuir muita experiência em ministrar aulas para alunos com deficiência visual, e assim não possuir experiência com desenhos táteis e braille.

4.2 Materiais

Foram usados vários tipos de imagens táteis no decorrer das aulas, feitos em papel braille e/ou microcapsulado e também utilizando o método de colagens, algumas imagens, inclusive, foram elaboradas no momento da aula a fim de ilustrar e exemplificar o que estava sendo abordado. A Figura 6 e Figura 7 apresentam algumas imagens dos desenhos táteis utilizados nas aulas deste experimento observacional.



((a)) Gráfico de linhas em papel microcapsulado



((b)) Gráfico de linhas em papel braille



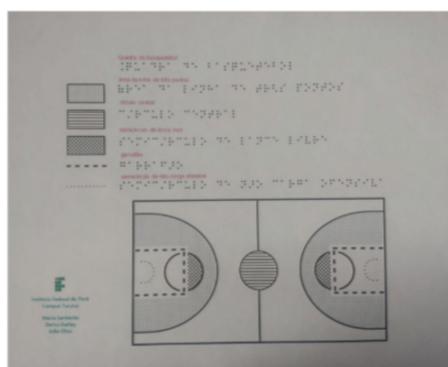
((c)) Mapa do Brasil feito com colagem



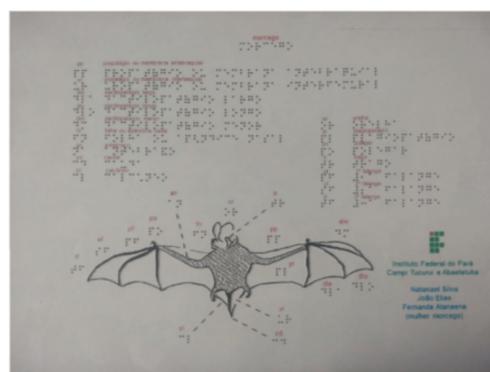
((d)) Mapa do Brasil feito com colagem

Figura 6 – Materiais usados nas aulas com os alunos com DV

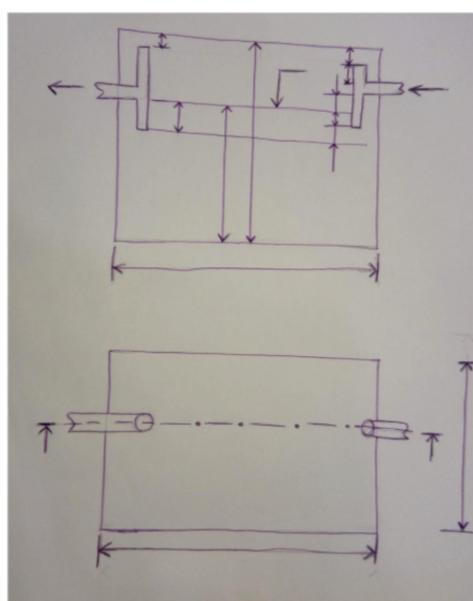
Fonte: Autor



((a)) Quadra de basquete em papel microcapsulado



((b)) Morcego em papel microcapsulado



((c)) Tanque séptico - Imagem tátil feita manualmente



((d)) Lado inverso da imagem demonstrada na figura-c

Figura 7 – Outros materiais usados nas aulas com os alunos com DV

Fonte: Autor

4.3 Observações das Aulas

Antes de uma das aulas iniciar, o participante P2 nos repassou uma visão interessante acerca da elaboração de desenhos táteis para pessoas com deficiência visual, enquanto mostrava um esquema de funcionamento de um sistema de esgoto. Segundo ele, desenhos táteis com muitas legendas e muitos detalhes podem complicar a exploração tátil, por isso é bom que tudo seja muito bem organizado e com o mínimo de legendas e detalhes possível, assim ele poderia entender o desenho de maneira mais rápida e eficaz.

Já no início da aula, primeiramente, professor e alunos se acomodaram em uma mesa ampla e com bastante espaço. Durante a aula, nas explorações do conteúdo tátil, o aluno era sempre orientado pelo professor sobre os detalhes da imagem. Este fornecia informações sobre a

parte da imagem que o aluno estava tateando e muitas vezes chegou a pegar na mão do aluno para guiá-lo ao longo da imagem e explicá-lo o caminho que deve ser percorrido para melhor entendimento desta.



((a)) Professor elaborando imagem tátil manualmente durante a aula



((b)) Professor auxiliando o aluno na exploração tátil.



((c)) Aluno explorando desenho tátil de uma quadra esportiva, com auxílio do professor.



((d)) Aluno explorando material tátil elaborado com a técnica de colagem.

Figura 8 – Aulas dos alunos com deficiência visual

Fonte: Autor

4.4 Conclusões dos estudos observacionais

Nos estudos apresentados nos tópicos anteriores pôde-se observar que, na exploração de imagens táteis por alunos com deficiência visual, o apoio da pessoa vidente é fundamental. Conforme já relatado ao longo deste trabalho, com base em consultas bibliográficas, a pessoa vidente passa algumas informações essenciais para que o aluno com deficiência visual possa realizar a exploração tátil de maneira eficiente, e muitas vezes até orienta o caminho a ser percorrido durante a exploração tátil. Toda a observação realizada corrobora com o identificado em outros estudos e demonstra que o desenvolvimento de um Recurso de Tecnologia Assistiva para auxiliar nesta tarefa pode ajudar o aluno a transpor as barreiras que o impedem de desenvolver esta atividade de maneira independente.

Apesar de ser uma aula real na qual o professor está ensinando determinado assunto, e que normalmente já é necessário explicações e orientações para qualquer aluno, para o aluno com deficiência visual é ainda mais necessário, pois este possui peculiaridades que justifica o atendimento especial. Caso os professores não tivessem a chance de ter aulas particulares com os alunos com deficiência visual, o conteúdo teria de ser ministrado por alguém que também entendesse do assunto, o que muitas vezes não é tão fácil de conseguir. A seguir são destacados os principais pontos observados nestes momentos.

- (a) Na fase inicial da exploração tátil os professores passavam uma informação geral sobre o desenho tátil, explicando de forma global o principal assunto abordado e a organização espacial do conteúdo. Simultaneamente e/ou na sequência, o aluno dedicava um tempo para uma primeira exploração geral do desenho tátil. Esta primeira etapa geral de “reconhecimento” foi realizada com uma mão ou com duas mãos. O uso de uma ou duas mãos parece ser de acordo com o nível de experiência do aluno com desenhos táteis;
- (b) Durante a exploração tátil, os alunos eram orientados pelos videntes (professores) a como explorar os desenhos táteis, qual caminho seguir, inclusive com muitos deles direcionando as mãos dos alunos;
- (c) A medida que o aluno ia explorando a imagem tátil, o vidente ia passando as informações acerca da área explorada e o aluno podia, ao mesmo tempo, explorar os detalhes gráficos-táteis desta área.
- (d) A segunda fase de exploração do gráfico tendia a continuar a ser realizada com o uso de uma mão ou duas mãos de acordo com a estratégia adotada na primeira fase. Em momentos, uma das mãos serviu como referência espacial entre os objetos.

Outro ponto observado durante estes estudos, e confirmado por um dos participantes é que desenhos táteis com muitas legendas e muitos detalhes podem complicar a exploração tátil, por isso é bom que tudo seja muito bem organizado e com o mínimo de legendas e detalhes possíveis, assim ele poderia entender o desenho de maneira mais rápida e eficaz. Alguns autores, como Götzelmann (2018) e Suzuki *et al.* (2017), também confirmam esta observação.

4.5 Implicações para o design da solução

Os estudos observacionais, citados nas seções anteriores, possibilitaram identificar várias formas e metodologias diferentes de exploração tátil por pessoas com deficiência visual, com isso é possível definir um modelo de interação para a aplicação que não prejudique tais metodologias e assim interfira o mínimo possível na forma de exploração tátil de cada usuário da aplicação.

- Observamos que as pessoas com deficiência visual realizam a exploração tátil com vários dedos, até com as duas mãos simultaneamente, raramente utilizando apenas um dedo. Isto complica consideravelmente a detecção da zona de interesse que poderia ser utilizada para reproduzir automaticamente as informações sonoras. Com isso é necessário que a descrição em áudio seja passada por demanda, ou seja, quando o usuário solicitar por meio de uma interação específica (para esta aplicação implementamos o toque duplo na área de interesse).
- Da mesma forma, deve existir uma maneira de interrupção das descrições sonoras, caso o usuário deseje. Para isso implementamos uma interação de pressionar na tela que cessa imediatamente a descrição que está sendo reproduzida. Este tipo de interação não atrapalha na exploração tátil pois a forma como o usuário a executa gera, para o sistema, eventos de deslize com um ou vários ponteiros na tela, e não eventos de pressionar a tela em um ponto único por um certo tempo.

Destaquemos alguns pré-requisitos necessários para que um Recurso de Tecnologia Assistiva se integre com naturalidade na exploração do gráfico tátil pela pessoa com deficiência visual e não exija uma mudança da sua metodologia de trabalho. Assim, a tecnologia deve: (i) ser resiliente à interação com as duas mãos; (ii) fornecer as informações gerais relativas ao gráfico ou no início ou à demanda do usuário; (iii) permitir ao usuário requisitar informações complementares sobre o gráfico sem que as informações venham a poluir o desenho impresso. A observação ressaltou também que o acompanhamento da mão do participante na exploração poderia ser relevante em certas circunstâncias mas carece de mais avaliação. É também uma funcionalidade que dificilmente dispensaria de um dispositivo específico.

5 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Neste Capítulo é apresentados todos os detalhes do *design* e desenvolvimento da solução proposta por este trabalho.

5.1 Modelo de funcionamento da solução

A aplicação, batizada de T-TÁTIL, envolve o uso de um *tablet*, com a aplicação instalada para detectar os gestos da exploração tátil realizados pela pessoa com deficiência visual (Figura 9-a). Um desenho tátil impresso é posicionado sobre a tela do dispositivo (Figura 9-b) permitindo que desenhos táteis convencionais (sem áudio) se tornem desenhos táteis multimodais, com *feedback* sonoro, que conectam o som ao toque para melhorar a tarefa de exploração do desenho tátil (Figura 9-c).

A Figura 9 é mostrado um esquema de funcionamento do projeto:

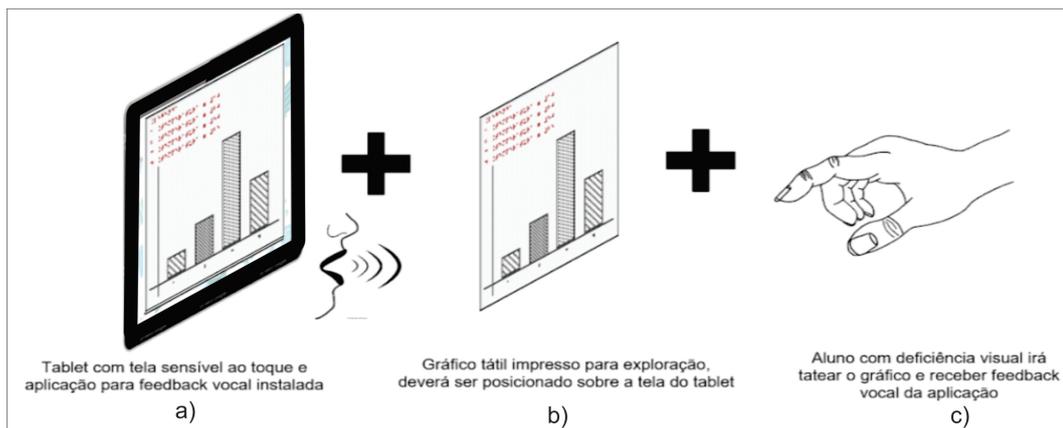


Figura 9 – Modelo de funcionamento da aplicação

Fonte: Autor

Os desenhos táteis são criados com auxílio de ferramentas de criação de gráficos vetoriais, ou ferramentas para criação de desenhos em relevo, como *Corel Draw*, *Inkscape* ou *Monet*, e em seguida são impressos em papel próprio para impressão em relevo: papel braille, microcapsulado, *thermoform* ou qualquer outro que possa ser utilizado no experimento (atendendo aos mesmos requisitos descritos na seção 5.2).

A versão digital do arquivo, em formato SVG (*Scalable Vector Graphics*), é executada no dispositivo (*smartphones*, *tablets*, ou qualquer outro que possa ser utilizado) com a aplicação instalada. O desenho tátil impresso é sobreposto à tela do dispositivo, executando a aplicação que irá ler o arquivo SVG previamente criado, o T-TÁTIL retifica as formas do desenho em áreas clicáveis e, ao ponto que a pessoa com deficiência visual for explorando o gráfico impresso e interagindo com a aplicação, o dispositivo irá reconhecer os gestos e toques e executará as leituras de informações, por síntese vocal, referentes a cada um deles.

5.2 Avaliação da viabilidade tecnológica da solução

Um dos requisitos que possibilita o desenvolvimento deste trabalho é o uso de um dispositivo (*Tablet*) com tela sensível ao toque, também conhecida como *touchscreen*. Este tipo de tecnologia permite que sejam possíveis interações com sistemas eletrônicos utilizando apenas o toque em uma tela, seja do dedo ou de uma caneta especial, sem a necessidade do uso de outro periférico como mouse e teclado.

Segundo alguns historiadores, esta tecnologia surgiu por volta dos anos de 1960, quando E. A. Johnson descreveu em dois artigos (JOHNSON, 1966, 1967) o funcionamento da primeira tela sensível ao toque. De lá para cá muitos avanços aconteceram e foram surgindo diversas formas de implementar uma tela sensível ao toque. As tecnologias mais conhecidas são telas resistivas, telas capacitivas e telas de ondas acústicas.

5.2.1 Telas capacitivas

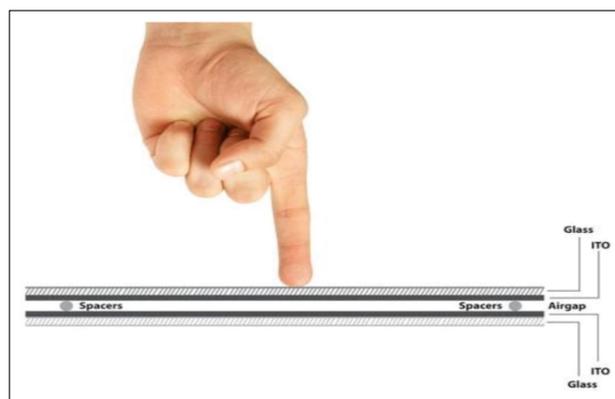


Figura 10 – Funcionamento de telas capacitivas
Fonte: Reprodução/techtudo.com.br

As telas capacitivas são as telas mais comumente encontradas nos dispositivos atualmente. Este tipo de tecnologia permite a interação com o dispositivo apenas com o uso do dedo.

Como pode ser visto na Figura 10, as telas capacitivas funcionam a partir de uma camada capacitiva, ou seja, uma camada eletricamente carregada que é posicionada sobre a tela. Ao tocar nessa camada capacitiva, parte desses elétrons é transmitida para o dedo, como se fosse um pequeno choque, porém tão leve que não é percebido pelo usuário. O dispositivo então entende essa pequena descarga de eletricidade, calcula as coordenadas e depois isso é traduzido para um comando no dispositivo, seja um toque ou um gesto específico.

5.2.2 Telas resistivas

Este tipo de tela é considerado por muitos como o mais simples para detecção do toque ou gesto. Elas funcionam através de pressão na tela que, da mesma forma como nas capacitivas, são traduzidos em um comando para o dispositivo.

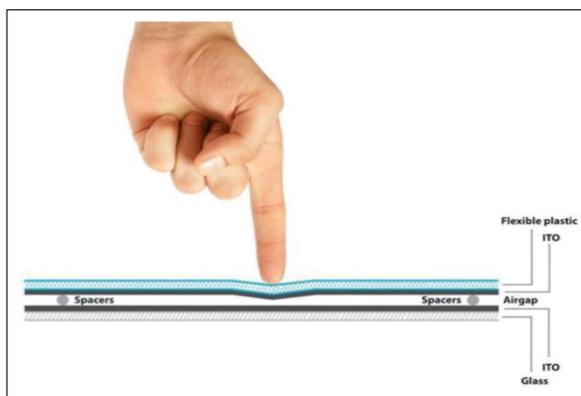


Figura 11 – Funcionamento de telas resistivas
Fonte: Reprodução/techtudo.com.br

Como pode ser visto na Figura 11, a identificação da pressão é feita utilizando-se duas placas bem finas, separadas por um afastador. Uma delas é feita de um metal e a outra de vidro recoberta com uma fina camada metálica. Entre elas passa uma corrente elétrica leve que ao sofrer pressão alteram o campo elétrico e assim pode ser detectada a localização do toque ou gesto na tela. Pelo fato de seu funcionamento depender da pressão exercida na tela ela pode ser utilizada com qualquer objeto que faça pressão, seja o dedo, uma caneta específica ou qualquer outro objeto.

5.2.3 Telas de ondas acústicas

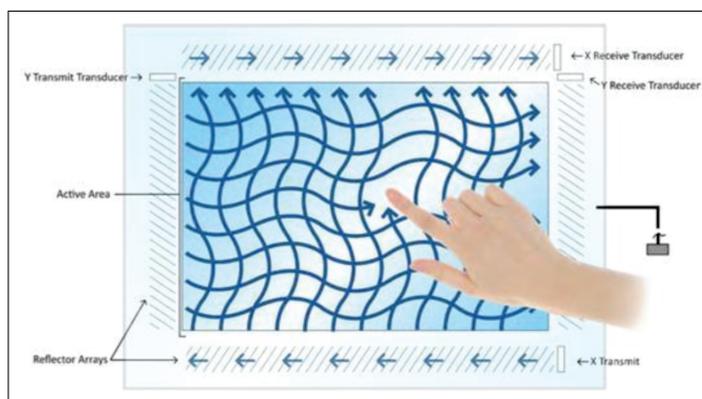


Figura 12 – Funcionamento de telas de ondas acústicas
Fonte: Reprodução/Fonte: telastouch.wordpress.com

Pouco utilizada em dispositivos móveis, este tipo de tela utiliza dois transdutores posicionados tanto dos lados quanto na parte superior e inferior da tela do dispositivo. O transmissor manda uma pequena onda que é percebida pelo receptor. Essas informações formam então uma grade de coordenadas. Quando a tela é tocada receptores percebem uma interrupção no envio das informações e informam automaticamente a coordenada do toque (vide Figura 12 para modelo de funcionamento), que depois é traduzido como um comando para o dispositivo.

5.2.4 Teste de dispositivo com sobreposição de desenhos táteis impressos

De acordo com a Figura 9, a solução proposta neste trabalho é de adicionar mais acessibilidade tátil ao dispositivo com tela sensível ao toque por meio da sobreposição de desenhos táteis impressos. Desta maneira, surgiu o questionamento se esta solução poderia ser utilizada nos mais diversos tipos de telas sensíveis ao toque que podem ser encontradas no mercado.

Para dispositivos que utilizam telas resistivas não é problema, pois o princípio de funcionamento destas é a pressão exercida sobre a tela. Porém, para as telas capacitivas, mais comumente encontradas nos dispositivos móveis atualmente, o princípio de funcionamento é a transferência da corrente elétrica da camada capacitiva para o dedo do usuário, foi preciso analisar se a folha do desenho tátil impresso não irá agir como um isolante e impedir essa transferência de carga elétrica.

Para validar o funcionamento desta solução, com telas capacitivas, foi realizado um pequeno teste de conceito, onde desenhos táteis impressos foram posicionados sobre a tela sensível ao toque de alguns dispositivos¹ como *tablets* e *smartphones* com telas sensíveis ao toque e aplicativo “Desenhar (*Paint Free*)²”, ou similar instalado”.

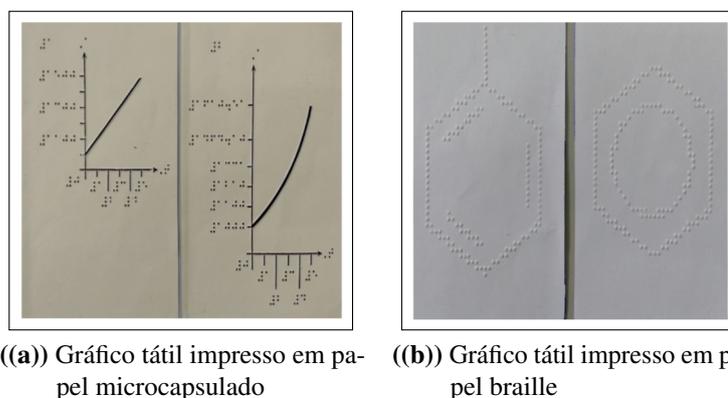


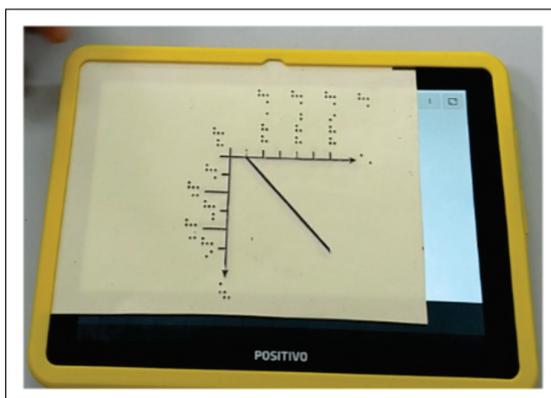
Figura 13 – Desenhos táteis usados no testes com sobreposição em telas capacitivas

Fonte: Autor

Inicialmente foram gerados alguns exemplos de desenhos táteis impressos em duas mídias diferentes, papel braille e papel microcapsulado, conforme pode ser visto na Figura 13. Depois os desenhos foram posicionados sobre a tela do *tablet* com o aplicativo de desenho ativo na tela e então as linhas do gráfico foram seguidas para detectar se o desenho seria transcrito corretamente na aplicação. Detalhes deste teste de conceito podem ser vistos na Figura 14.

¹ Dispositivos testados. *Tablets*: Positivo YPY-AB10E, Apple iPad mini 4, Samsung Galaxy Tab 7, Multilaser M10A, Samsung Galaxy Tab A, Tablet Positivo T1060; *Smartphones*: Motorola Moto G5S Plus, Motorola Moto G6, Motorola Moto X4, Motorola Moto Z2 Play, Samsung Galaxy J4, Lenovo K8 Plus, Apple iPhone 6S, Apple iPhone 7 plus.

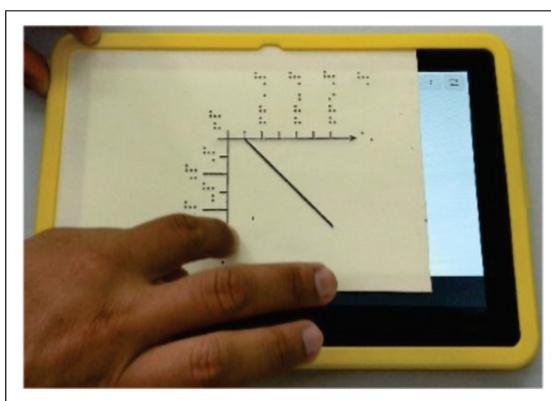
² <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ternopil.fingerpaintfree>



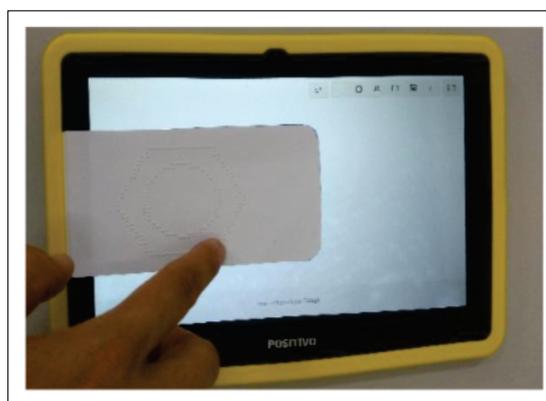
((a)) Gráfico tátil posicionado sobre a tela do dispositivo – papel microcapsulado



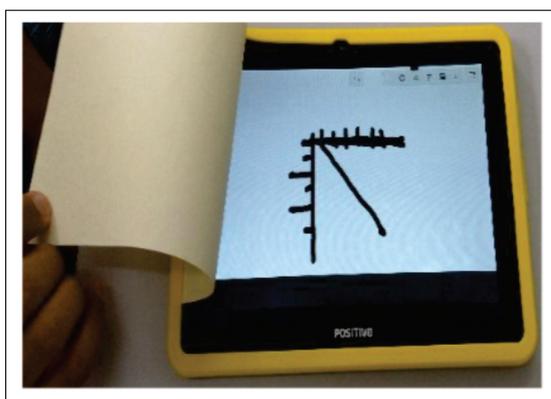
((b)) Gráfico tátil braille posicionado sobre a tela do dispositivo – papel braille



((c)) Exploração do gráfico tátil - papel microcapsulado



((d)) Exploração do gráfico tátil - papel braille



((e)) Desenho formado na aplicação após exploração tátil



((f)) Desenho formado na aplicação após exploração tátil

Figura 14 – Desenhos táteis usados no testes com sobreposição em telas capacitivas

Fonte: Autor

Com este teste de conceito pôde-se observar que as telas capacitivas podem fornecer a mesma sensibilidade tátil para exploração dos desenhos táteis sobrepostos à tela do dispositivo e por consequência a aplicação poderá identificar os toques e gestos mesmo com o papel sobreposto ao dispositivo.

Para as telas de ondas acústicas o teste não foi realizado pois não foi encontrado nenhum

dispositivo móvel que utilize esta tecnologia, nem nas instituições de ensino onde é desenvolvido este trabalho, nem nas lojas que fornecem *smartphone* e/ou *tablets* nos municípios da região. Apesar de nenhum trabalho sistemático ter sido realizado para afirmar isso definitivamente, esta não é uma tecnologia *a priori* encontrada nos dispositivos móveis, alvos deste trabalho.

5.3 Design da aplicação

A aplicação base para este trabalho foi desenvolvida na linguagem JAVA para o sistema operacional móvel *Android*, utilizando o ambiente de desenvolvimento *Android Studio*³.

A principal funcionalidade da aplicação é fazer a transcrição dos marcadores dos arquivos SVG para objetos JAVA manipuláveis e, assim, detectar os eventos de interação necessários para os usuários com deficiência visual explorarem os desenhos táteis.

Na Figura 15 é possível acompanhar o diagrama de classes da aplicação que demonstra as principais relações internas desta.

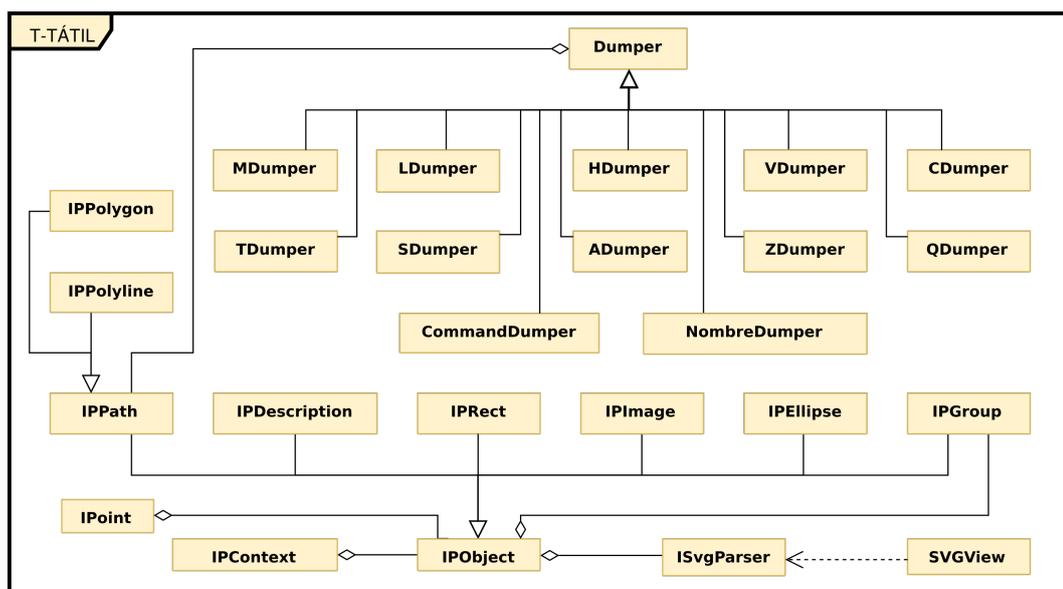


Figura 15 – Diagrama de classes da aplicação.

Fonte: Autor

As etapas de funcionamento da aplicação podem ser acompanhadas no diagrama de sequência mostrado na Figura 16. Inicialmente o usuário abre a aplicação e busca o arquivo SVG, previamente criado (vide seção 5.4 para detalhes da estrutura do arquivo). A aplicação, então, realiza um *parser* (análise) do arquivo XML, lendo marcador a marcador, para ir criando os objetos JAVA manipuláveis, por meio da classe principal *Path* e seus métodos. Detalhes sobre esta funcionalidade podem ser vistos em Merlin (2014). Depois que o parser é finalizado e a imagem manipulável é montada na tela da aplicação, basta posicionar o papel sobre a tela do dispositivo e começar a exploração tátil e interações com a aplicação.

³ <https://developer.android.com/studio>

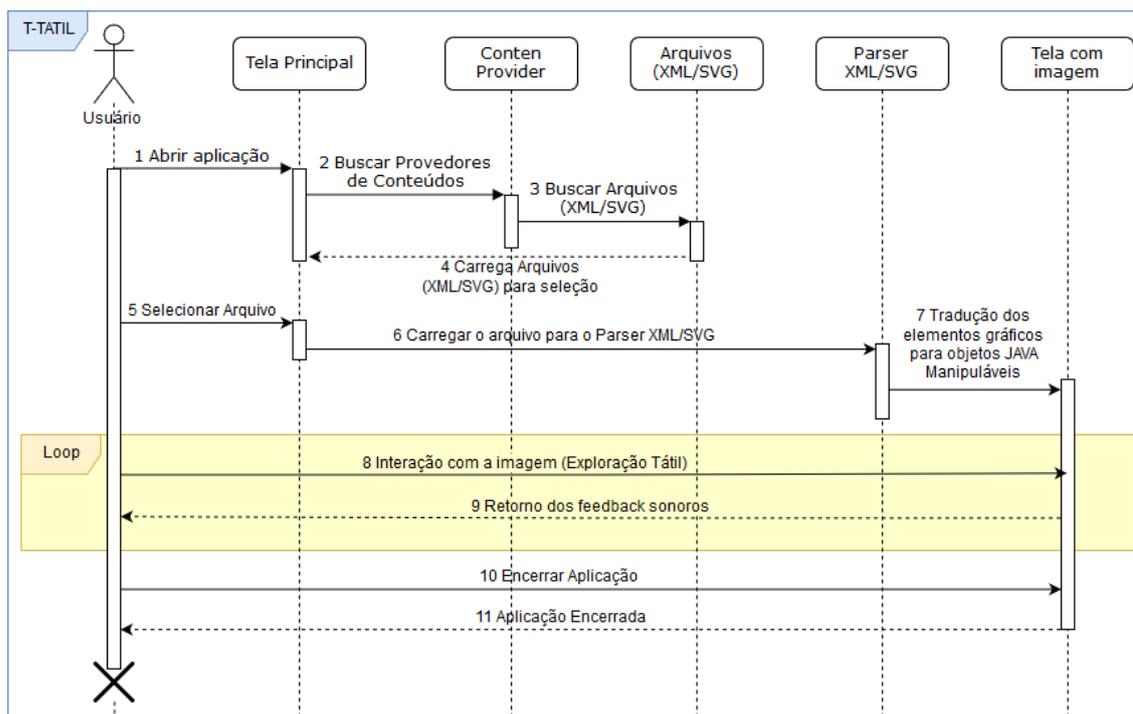


Figura 16 – Diagrama de sequência para seleção manual

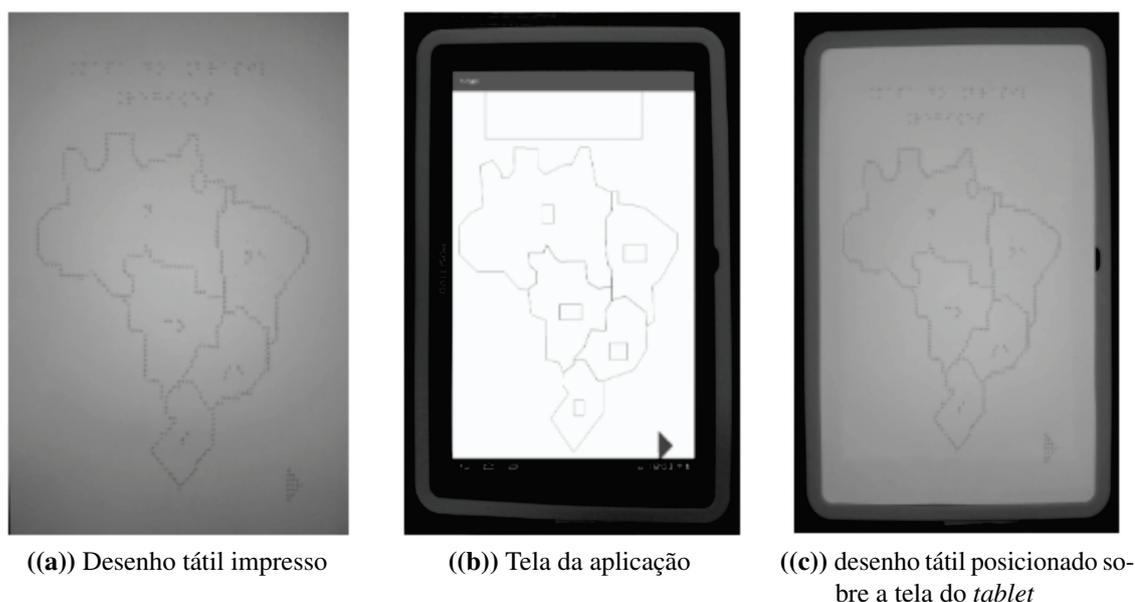
Fonte: Autor

A aplicação associa o desenho tátil impresso (Figura 17.a) a um arquivo em formato SVG previamente criado em qualquer editor de gráficos vetoriais como *Corel Draw* ou *Inkscape*. O SVG contém formas e conteúdos textuais associados a essas formas, inseridos manualmente pelo produtor do material acessível, que descrevem as áreas de interesse do desenho tátil (essas áreas e descrições são naturalmente inerentes a cada desenho). As formas desenhadas no arquivo SVG são retificadas em áreas clicáveis na interface da aplicação (Figura 17.b). Assim, durante a exploração tátil do desenho sobreposto ao *tablet* (Figura 17.c), o usuário pode ativar as descrições sonoras para solicitar informações complementares. O conteúdo textual associado à área ativada será lido por síntese vocal. Uma descrição geral do gráfico é também acessível por ativação de uma área clicável, localizada no canto baixo direito da *interface*, em formato de ponta de seta para a direita ou símbolo de *play*.

É importante destacar que, no protótipo da aplicação, não foi previsto que o usuário com deficiência visual, de forma autônoma, abrisse a aplicação, localizasse o arquivo gerado, posicionasse o papel sobre a tela do *tablet* de forma correta e iniciasse a tarefa de exploração tátil. Porém, conforme descrito na seção 6.6, oportunidades de melhorias foram detectadas e implementadas na versão final da solução.

5.3.1 Considerações Tecnológicas para o design da solução

Esta seção aborda as principais considerações tecnológicas para o desenvolvimento da aplicação base deste trabalho.

**Figura 17 – Uso do T-TÁTIL****Fonte: Autor**

5.3.1.1 Sistema Operacional Android

O *Android* é um sistema operacional que teve o crescimento mais rápido para celulares e *smartphones* em todo o mundo, este é baseado no *kernel* do *Linux*, que é responsável por gerenciar a memória, os processos, *threads*, segurança dos arquivos e pastas, além de redes e *drivers*.

Desenvolvido em 2003 pela *Android Inc.* e que, depois, foi adquirida pela *Google*, em 2005, o sistema operacional veio ganhando cada vez mais espaço no mercado mundial. O então presidente da *Google*, Eric Schmidt, “informou que em abril de 2013, mais de 1,5 milhão de dispositivos *Android* (*smartphones*, *tablets* etc.) eram ativados diariamente”⁴. Em março de 2017, segundo dados do *StatCounter*⁵, os dispositivos com o sistema operacional *Android* superaram, em utilização, os dispositivos com sistema operacional *Windows*, líder de mercado até então, e em julho de 2018 já é possível constatar que é o sistema operacional mais utilizado no mundo como pode ser visto na Figura 18.

Outro dado relevante acerca do crescimento deste sistema operacional, “em 2009 o *Android* representava apenas 2,8% dos aparelhos vendidos no mundo; já no final do ano seguinte detinha 33%, ou seja, 1 em cada 3 aparelhos do mundo, o suficiente para transformá-lo na plataforma móvel mais vendida do planeta. Em 2011 já tinha passado da metade, mais precisamente 52,5%, em 2012 passou para 75%, em 2013 para 78.7% e, em 2014, para 81,5%”⁶.

⁴ <https://www.technobuffalo.com/2013/04/16/google-daily-android-activations-1-5-million/> Acessado em 14/08/2018

⁵ <http://gs.statcounter.com/os-market-sharemonthly-201706-201807-bar> Acessado em 14/08/2018

⁶ <https://www.oficinadanet.com.br/post/13939-a-historia-do-android> Acessado em 14/08/2018

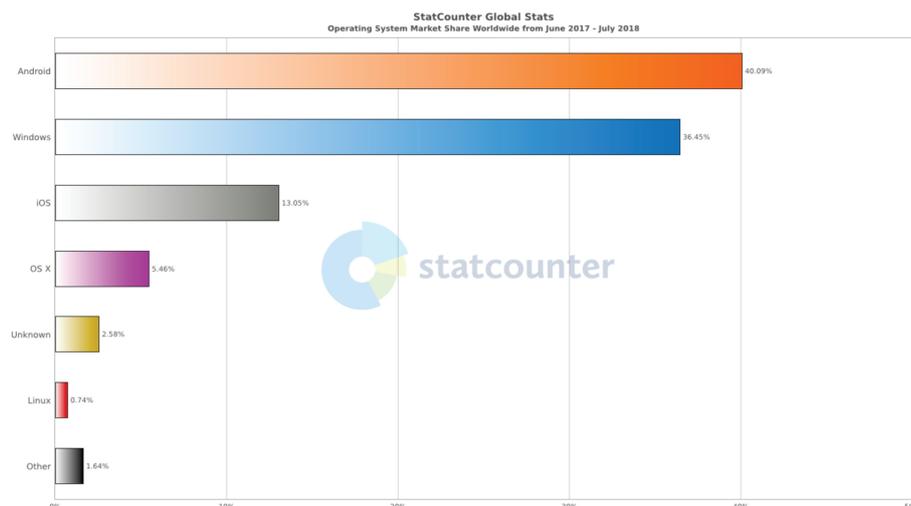


Figura 18 – Gráfico dos sistemas operacionais mais utilizados

Fonte: Statcounter

Em pesquisa mais recente realizada pela *Gartner*⁷, em 2017, o *Android* detinha uma fatia de 85,9% do mercado de *smartphones* em todo o planeta, seguido pela *Apple*, e seu *iOS*, com apenas 14% do mercado, e logo após os 0,1% do mercado para outros sistemas operacionais como *Blackberry* e *Windows Phone*.

Pelo fato de ser um sistema operacional de código aberto, o *Android* pode ser customizado para rodar em diversos outros dispositivos e não apenas em *smartphone*, *tablets* e *notebooks*, o que pode ser mais comum. Alguns dos outros tipos de dispositivos que usam *Android* e que podem ser citados são: *consoles* de videogames, eletrodomésticos, TVs, câmeras, relógios inteligentes, centrais multimídias de automóveis, dentre vários outros, até mesmo em satélites orbitando a terra. Daí observa-se a grande usabilidade que este sistema operacional pode apresentar.

Smartphones e *tablets* com *Android* incluem a funcionalidade de um celular, navegador de internet, MP3 players, consoles de jogos, câmeras digitais e outros. Esses dispositivos portáteis apresentam telas multitoque coloridas que permitem controlar o dispositivo com gestos que envolvem um ou múltiplos toques simultâneos. Essas características se encaixam bem como os requisitos de nosso projeto e por isso estamos escolhendo esta plataforma de sistema operacional para tal.

5.3.1.2 Java

Segundo a *Oracle*⁸, Java é uma linguagem de programação orientada a objetos originalmente desenvolvida pela *Sun Microsystems* (atualmente de propriedade da *Oracle*) e lançada em 1995, atualmente faz parte do núcleo da plataforma de desenvolvimento Java.

Existem muitas aplicações e sites que foram desenvolvidos em Java, de *laptops* a *main-*

⁷ <https://www.gartner.com/newsroom/id/3859963> - Acessado em 14/08/2018

⁸ <https://www.java.com/ptBR/download/faq/whatisjava.xml> – Acessado em 14/08/2018

frames, consoles de videogames a supercomputadores científicos, telefones celulares à Internet, o Java está em todos os lugares. Em 2018 estima-se que cerca de 9 bilhões de dispositivos executam Java⁹.

O Java tem como característica principal a capacidade de os programas poderem ser executados em uma grande variedade de sistemas computacionais e dispositivos controlados por computador. O que permite esta característica ao Java é a JVM (*Java Virtual Machine*). Essa JVM interpreta os comando e programas escritos em Java e traduz para o sistema operacional, isto permite que programas sejam executados em qualquer ambiente que tenha uma JVM instalada. Este conceito também é conhecido como um processador "virtual".

Apesar do desenvolvimento para *Android* ser baseado na linguagem Java, o que acontece internamente na plataforma de desenvolvimento é um pouco diferente do habitual para o desenvolvimento Java para outras plataformas.

O sistema operacional *Android* não possui uma máquina virtual Java (JVM). Até a versão 4.4 do *Android*, na verdade o que existia de fato era uma máquina virtual DALVIK, otimizada para execução em dispositivos móveis. Ao se desenvolver uma aplicação para *Android*, utilizando a linguagem Java, o que acontece no momento da compilação de todo seu *bytecode* é uma conversão desses dados para um formato *.dex* (*Dalvik Executable*) que será lido pela máquina virtual DALVIK. Após isto todas essas informações no arquivo *.dex*, juntamente com os outros recursos da aplicação, são compactadas em um único arquivo *.apk* (*Android Package File*), que nada mais é do que a aplicação final pronta para ser distribuída e instaladas nos dispositivos com *Android*. Nas versões mais recentes essa máquina virtual DALVIK foi substituída por uma máquina virtual ART (*Android Runtime*) que executa as mesmas funções de sua antecessora. Na prática, para desenvolvedores e usuários finais, não existe diferença na utilização de qualquer uma das duas máquinas virtuais, porém a *Google* afirma que a ART apresenta um desempenho melhor comparado à DALVIK.

5.3.1.3 *Android Studio*

Android Studio é um IDE (*Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado) de programação para a plataforma *Android*. Este IDE é semelhante a outros populares como: *Eclipse*, com *ADT Plugin*, oferecendo as melhores ferramentas e funcionalidades aos programadores. Segundo a própria *Google*, com o *Android Studio* a programação para *Android* pode ser mais simples e rápida.

O *Android SDK* é uma das ferramentas mais utilizadas para desenvolver aplicações para o *Android*, assim como outras, ela que tem um emulador para simular o dispositivo e realizar testes, ferramentas utilitárias e uma API completa para a linguagem Java, com todas as classes necessárias para desenvolver as aplicações (LECHETA, 2015).

⁹ <https://www.java.com> - Acessado em 14/08/2018

5.3.1.4 Texto-fala ou Simplesmente TTS (*Text-to-Speech*)

Um sistema texto-fala (TTS, na sigla em inglês que significa Text-To-Speech) converte texto ortográfico em fala. Esta conversão é feita por meio de síntese de fala que nada mais é do que o processo de produção artificial de fala humana utilizando um sintetizador de fala, que pode ser implementado via *software* ou via *hardware*.

Fala sintetizada pode ser criada concatenando-se pedaços de fala gravada, armazenada num banco de dados. Os sistemas diferem no tamanho das unidades de fala armazenada. Um sistema que armazene fonemas ou alofones fornecem a maior faixa de saída, mas podem carecer de clareza. Para usos específicos, o armazenamento de palavras ou frases inteiras possibilita uma saída de alta qualidade.

Um programa TTS é muito utilizado e pode permitir que pessoas com deficiência visual possam acessar textos em um computador, *smartphone* ou *tablets*, bem como interagir com o dispositivo sem ter o contato visual com este. Para que isto seja possível é preciso que a qualidade do sintetizador de fala seja tal que possa ser o mais semelhante possível com a fala humana permitindo melhor compreensão do texto a ser sintetizado em fala.

Para este projeto utilizamos a API nativa do próprio sistema operacional *Android* desde a versão 1.6, que realizará todo o trabalho de TTS. A API do TTS é bem simples, tem suporte a vários idiomas incluindo Português Brasil, e todas as atividades giram em torno da classe *TextToSpeech* e podem ser consultadas no site de referências do *Android*¹⁰.

5.3.2 Formato do arquivo para criação/execução

Outro objetivo específico deste trabalho é o de “definir e/ou criar um formato de arquivo que será executado pela aplicação desenvolvida e que permita a representação das informações multimodais para auxiliar as pessoas com deficiência visual na leitura dos desenhos táteis”.

Para criação e leitura dos desenhos táteis acessíveis, será usado o formato de arquivo XML (*Extensible Markup Language*), que significa em português Linguagem Extensível de Marcação Genérica. O XML é uma linguagem de marcação recomendada pela W3C¹¹ para necessidades especiais, pois ela é capaz de descrever diversos tipos de dados e seu objetivo principal é a facilidade de compartilhamento de informações através da Internet e aplicações já que é bem fácil promover a compatibilidade.

XML é uma tecnologia simples que tem ao seu redor outras tecnologias que a complementam e a fazem muito maior e com possibilidades muito mais amplas. Assim também foi utilizada a recomendações da W3C, o SVG que é uma sigla para *Scalable Vector Graphics*, que significa Vetor de Gráficos Escaláveis.

¹⁰ [https://developer.android.com/reference/android/speech/tts/TextToSpeech.html#getTextVoices\(\)](https://developer.android.com/reference/android/speech/tts/TextToSpeech.html#getTextVoices()) - Acessado em 14/08/2018

¹¹ <https://www.w3.org/XML/> Acessado em 18/12/2018

Segundo a W3C¹², SVG é uma linguagem para descrever gráficos bidimensionais. O SVG permite três tipos de objetos gráficos: formas gráficas vetoriais (por exemplo, caminhos que consistem em linhas retas e curvas), imagens e texto. Objetos gráficos podem ser agrupados, estilizados, transformados e compostos. O conjunto de recursos incluem transformações aninhadas, caminhos de recorte, máscaras alfa, efeitos de filtro e objetos de modelo. Também é possível acrescentar marcadores de identificação e descrição de cada outro marcador.

Os desenhos SVG podem ser interativos e dinâmicos. As animações podem ser definidas e acionadas de forma declarativa (por exemplo, incorporando elementos de animação SVG em conteúdo SVG) ou via *script*.

O SVG é útil para apresentações gráficas ricas de informações, incluindo vários recursos de acessibilidade que, usados corretamente, garantem que o conteúdo possa ser usado pelo maior público possível.

Pelos motivos apresentados, o formato de arquivo escolhido para ser criado e, posteriormente, executado na aplicação é o SVG, por permitir uma ampla gama de utilização com imagens vetoriais e também a inserção de marcadores específicas para os *feedbacks* sonoros.

O marcador <DESC>, prevista pelo formato SVG, permite a associação de um texto com um objeto gráfico. Ela nos permite adicionar as descrições destinada a serem e sintetizado por voz pela aplicação. Nela também é possível adicionar um atributo para um caminho que esteja localizado um arquivo de áudio para ser executado pela aplicação, ao invés da síntese de voz via *TTS*.

Os arquivos SVG (*Scalable Vector Graphics*) podem ser criados em qualquer programa de desenho baseado em vetores, como o *Adobe Illustrator*, *inkscape*, *Corel Draw* entre outras tantas ferramentas capazes de permitir a criação deste tipo de arquivo, mas também podem ser criados manualmente em um editor de texto. Um arquivo SVG descreverá o tamanho, a forma e a localização das áreas clicáveis para realização das interações na aplicação.

A base para a criação de um arquivo SVG que será executado pela aplicação é apresentada conforme a Figura 19.

Os marcadores presentes no arquivo possuem funções definidas, descritas conforme lista abaixo:

- **Marcador <vector>**: Sinaliza para a aplicação que este é um arquivo que irá montar uma imagem na tela;
- **Marcador <g>**: Tag que agrupa vários vetores (<path>, <rect>, etc) que possuem descrição em comum;

¹² <https://www.w3.org/Graphics/SVG/> - Acessado em 14/08/2018

```

1 <svg>
2   <g>
3     <path>
4       Tag que conterá todas as informações do vetor que será montado na tela da aplicação
5     </path>
6     <title>
7       O Título para o grupo de vetores, caso seja necessário. Também poderá ser lido pela
8       aplicação
9     </title>
10    <desc>
11      Tag que contém uma descrição do grupo de vetores. Essa descrição será lida pela aplicação
12      e será a responsável pelos feedbacks que serão fornecidos aos usuários com as informações
13      necessárias sobre a imagem títul.
14    </desc>
15  </g>
16  <g>
17    <path/>
18    <title/>
19    <desc/>
20  </g>
21  <g>
22    ...
23  </g>
24  ...
25 </svg>

```

Figura 19 – Estrutura básica de um arquivo SVG para ser lido pela aplicação.

Fonte: Autor

- **Marcador <path>**: responsável por montar a imagem na tela da aplicação, ela que irá passar todas as coordenadas e características da imagem que será exibida. Esta *marcador* também pode ser substituída por outras que identificam imagens vetoriais como <rect>, <polygon>, <ellipse>, <polyline>, <point> e <image>;
- **Marcador <title>**: Informa o título do grupo de vetores;
- **Marcador <desc>**: Informa a descrição do objeto gráfico.

Algumas informações extras podem ser adicionadas ao arquivo, dependendo da aplicação utilizada para criação destes arquivos, porém o que será analisado por nossa aplicação serão os marcadores <g>, <path>, <rect>, <polygon>, <ellipse>, <polyline>, <point>, <image>, <title> e <desc>.

```

52 <g
53   inkscape:label="Camada 1"
54   inkscape:groupmode="layer"
55   id="layer1">
56   <rect
57     style="fill:none;fill-opacity:1;stroke:#000000;stroke-width:0.19848813;stroke-opacity:1"
58     id="rect26"
59     width="99.801514"
60     height="99.801514"
61     x="0.32692927"
62     y="-96.315971"
63     transform="scale(1,-1)">
64   <desc
65     id="desc835">O quadrado é o tipo de retângulo, onde uma figura
66     geométrica plana formada por quatro lados e que,
67     obrigatoriamente, possui as seguintes características:
68     quatro lados congruentes e quatro ângulos retos.
69     Para calcular a área de um quadrado, ou retângulo,
70     basta multiplicar a base por sua altura.</desc>
71   <title
72     id="title833">Quadrado</title>
73   </rect>
74 </g>
75 </svg>

```

Figura 20 – Parte de um arquivo SVG que desenha um quadrado na tela da aplicação.

Fonte: Autor

Na Figura 20 pode ser visto parte de um exemplo de código SVG que desenha um quadrado. Neste mesmo exemplo pode ser observado a utilização do marcador `<desc>` com a inserção de um texto que poderá ser lido pela aplicação desenvolvida.

6 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA SOLUÇÃO

Como prova de conceito, foi realizado um estudo de viabilidade, incluindo protótipos de desenhos táteis multimodais. Esses protótipos utilizam desenhos táteis impressos em papel braille e seus respectivos arquivos digitais, executados pelo T-TÁTIL, que possuem as informações com *feedback* sonoro que a aplicação fornecerá ao usuário, dependendo da interação deste com a aplicação.

Para avaliar se os usuários com deficiência visual eram capazes de usar a abordagem proposta e obter *feedback* qualitativo, realizamos um breve estudo de caso, orientado a aplicativos, com a participação de três alunos com deficiência visual em diferentes níveis de escolaridade. Toda esta etapa de avaliação do protótipo pode ser vista nas seções seguintes ou no artigo publicado por Zamprogno *et al.* (2019a).

6.1 Participantes

Os participantes que fizeram parte deste estudo preliminar foram os mesmos observados nos estudos para levantamentos dos requisitos funcionais da solução (vide seção 4.1, para detalhes deste estudo).

O primeiro participante - P1 - é um estudante do ensino médio integrado ao ensino técnico em tecnologia da informação (22 anos), totalmente cego desde os 3 anos de idade. Além das habilidades em leitura braille e desenhos táteis (conforme relatadas nos estudos observacionais), o participante relatou que possui boa experiência com o uso de dispositivos móveis, usando *smartphone* e computadores todos os dias. Perguntado se já utilizou algum recurso tecnológico para acessar conteúdos gráficos, o participante informou que utiliza apenas desenhos táteis impressos em papel braille ou microcapsulado.

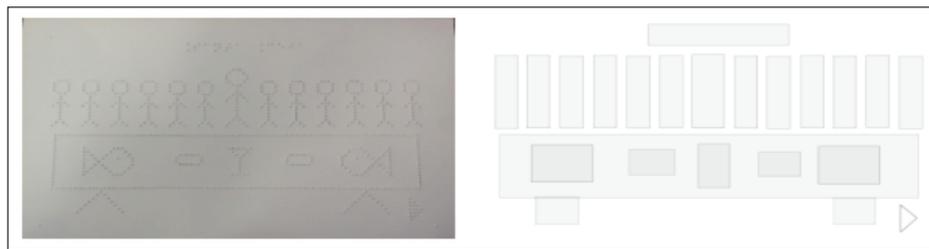
O segundo participante - P2 - é um estudante que recém concluiu o ensino fundamental (15 anos), totalmente cego desde o nascimento. Além das habilidades em leitura braille e desenhos táteis (conforme relatadas nos estudos observacionais), o participante relatou não ter experiência alguma no uso de dispositivos móveis e que já havia tentado usar computador e *smartphone* antes, mas não tinha conseguido. Perguntado se já utilizou algum recurso tecnológico para acessar conteúdos gráficos, o participante informou que utiliza apenas desenhos táteis impressos em papel braille ou microcapsulado.

O último participante - P3 - é um estudante do ensino superior em engenharia sanitária (25 anos), totalmente cego desde os 7 anos de idade, porém já nasceu com uma deficiência em um dos olhos e tinha apenas visão parcial do outro. Além das habilidades em leitura braille e desenhos táteis (conforme relatadas nos estudos observacionais), o participante relatou ter boa experiência no uso de dispositivos móveis, usando *smartphone* e computadores todos os dias. Perguntado se já utilizou algum recurso tecnológico para acessar conteúdos gráficos, o

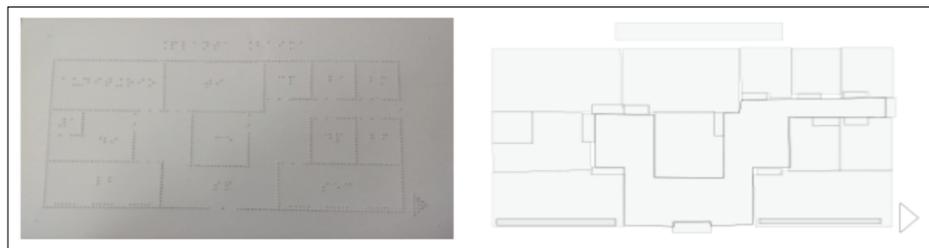
participante informou que utiliza *smartphones* para acessar conteúdos gráficos como figuras, fotos e áudio descrição, além dos desenhos táteis impressos em papel braille ou microcapsulado.

6.2 Materiais utilizados

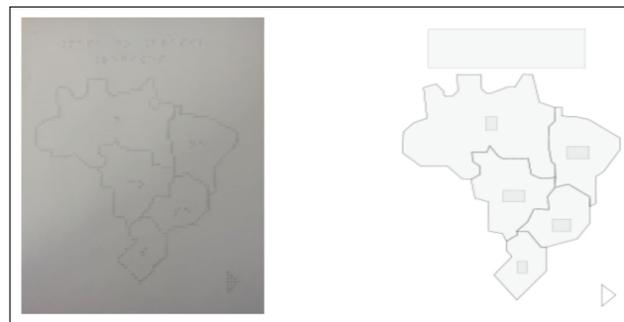
Para avaliar a viabilidade da aplicação utilizamos um *tablet Android* de baixo custo (Positivo YPY-AB10E com tela de 10") com a aplicação T-TÁTIL instalada, conforme descrito no Capítulo 5.



((a)) (esq.) Desenho tátil Campo Futebol. (dir.) áreas clicáveis na aplicação



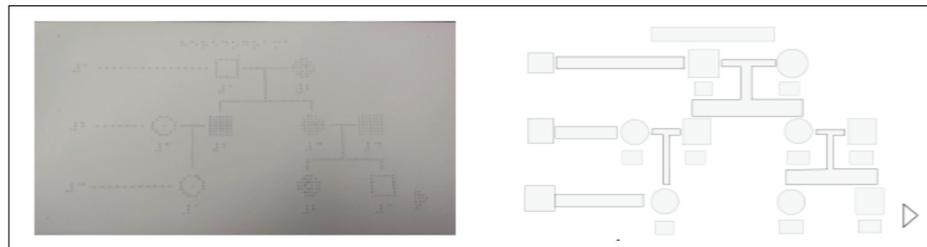
((b)) (esq.) Desenho tátil Campo Futebol. (dir.) áreas clicáveis na aplicação



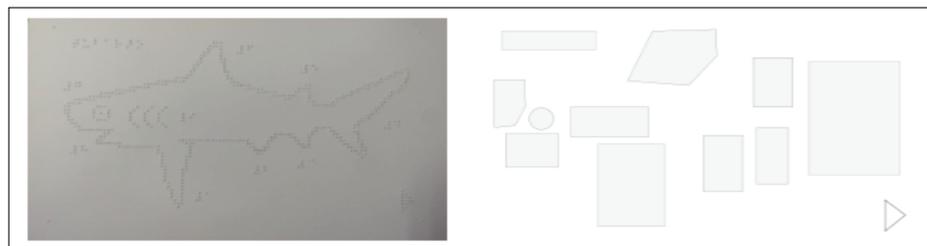
((c)) (esq.) Desenho tátil Campo Futebol. (dir.) áreas clicáveis na aplicação

Figura 21 – Desenhos táteis utilizados no experimento

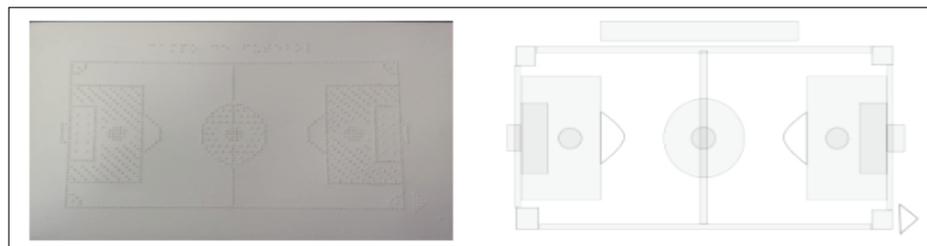
Com auxílio de uma profissional com vasta experiência na elaboração de materiais adaptados, que atualmente trabalha no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará e já possui mais de 10 anos de experiência no apoio de alunos com necessidades especiais durante a vida acadêmica, projetamos sete desenhos táteis, em diversas categorias do ensino: um gráfico de linhas (GL), um tubarão (TB) e suas principais características anatômicas, um heredograma (HR), uma representação da Santa Ceia (SC), uma planta baixa (PB), um campo de futebol (CF) e um mapa do Brasil (MB) dividido pelas regiões. Em todos os desenhos



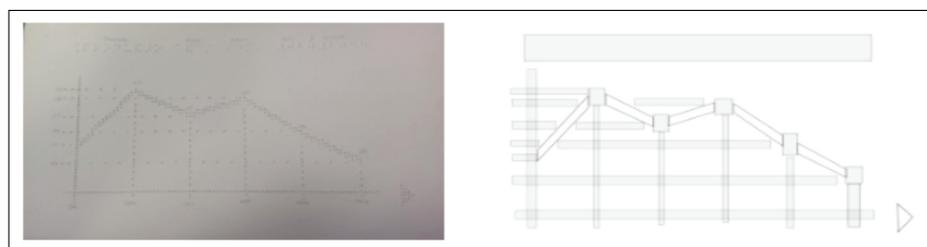
((a)) (esq.) Desenho tátil Heredograma. (dir.) áreas clicáveis na aplicação



((b)) (esq.) Desenho tátil Tubarão. (dir.) áreas clicáveis na aplicação



((c)) (esq.) Desenho tátil Campo Futebol. (dir.) áreas clicáveis na aplicação



((d)) (esq.) Desenho tátil Campo Futebol. (dir.) áreas clicáveis na aplicação

Figura 22 – Desenhos táteis utilizados no experimento

foi adicionado um elemento a mais que permite incluir uma descrição geral da imagem. Este elemento é o símbolo de “play” (Ponta de uma seta para a posição direita) que fica localizado no canto inferior direito de todos os desenhos. Cada participante foi informado da existência deste elemento e que ele poderia ser acionado enquanto uma exploração geral do desenho tátil era realizada. A Figura 21 e Figura 22 demonstram os desenhos táteis utilizados no estudo, à direita estão os desenhos táteis impressos em papel braille e à esquerda estão os arquivos digitais com as representações das áreas clicáveis.

6.3 Metodologia

Para cada um dos três participantes, descritos na seção 6.1, a sessão do estudo durou aproximadamente 2 horas. Inicialmente, cada participante recebeu uma breve explicação sobre o funcionamento da aplicação, como era possível obter *feedback* sonoro das áreas clicáveis e como era possível interromper as descrições caso fosse do seu interesse. Em seguida, eles tiveram a oportunidade de explorar um desenho de teste e foram instruídos a realizar todas as tarefas de exploração tátil e obter *feedback* sonoro das variadas áreas clicáveis.

Após este momento introdutório, demos início aos testes do protótipo da aplicação. Cada participante tinha o tempo que julgasse necessário para fazer uma exploração tátil, aprofundada, do desenho e para obter *feedbacks* sonoros das áreas clicáveis. Após o momento de exploração de cada imagem, assim que o usuário informasse ter compreendido o desenho, foi aplicado um questionário para verificar se o participante conseguiu, realmente, compreender o desenho tátil em sua plenitude. Em caso de dúvida nas questões, o participantes podia fazer consultas ao desenho antes de responder. Estes questionários ajudaram a embasar os resultados qualitativos deste estudo e nos trouxeram alguns resultados quantitativos, também.

Logo em seguida ao momento de exploração e resposta aos questionários citados, para os sete desenhos, foi aplicado um segundo questionário para levantamento dos dados qualitativos, com as opiniões dos participantes acerca do experimento, desenhos táteis, aplicação e uso da tecnologia. Os questionários podem ser visualizados nos apêndices C e F deste trabalho.

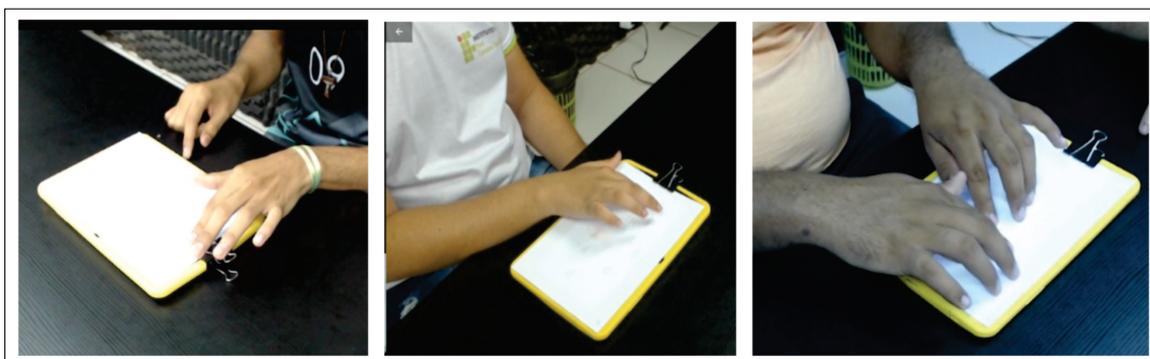


Figura 23 – Teste do protótipo da aplicação com os três participantes
Fonte: Autor

6.4 Resultados qualitativos

6.4.1 Opinião sobre os desenhos táteis

Todos os participantes indicaram que desenhos táteis são muito importantes para o processo de ensino aprendizagem nas escolas. P3 disse que “*Com desenhos táteis é fácil entender as relações entre objetos e figuras e permite criar essa relação mentalmente*”. Em relação aos desenhos táteis utilizados no estudo, os participantes indicaram que eram fáceis de entender e as

texturas e organização estavam bem ordenadas para não confundir a exploração tátil. Perguntados se tiveram preferência por alguns dos desenhos, P1 disse ter gostado mais do “*heredograma*”, “*planta baixa*” e “*A Última ceia*”. P2 gostou mais do “*tubarão*” e P3 “*heredograma*”.

6.4.2 Opinião sobre o T-TÁTIL

Todos os três participantes concordam que o T-TÁTIL poderia ajudar na exploração e entendimento dos desenhos táteis, além de torná-los mais rápidos de entender e melhor organizados já que é preciso menos legendas em braille para explicação dos detalhes de cada desenho. P1, por exemplo, informou em um dos desenhos que “*Com as descrições em áudio é até mais rápido para obtermos as informações do desenho e também caso fossem feitas legendas seriam necessárias muitas páginas para estas informações*”. Os participantes disseram que gostariam de usar o sistema principalmente para atividades na escola, durante uma aula, e algumas atividades em casa.

O participante P3 chegou a levantar um ponto de interesse desta tecnologia, segundo ele “*a comunidade cega, hoje em dia, fala sobre um problema futuro que é se atentar mais nas tecnologias virtuais e esquecer das tecnologias físicas*”, assim é interessante que uma aplicação integre elementos físicos com elementos virtuais, “*este projeto faz o contrário. Ele incentiva o cego a ter acessibilidade física, por conta dos desenhos táteis, e combina a tecnologia da informação com uso do tablet*”.

6.4.3 Uso da aplicação

A maioria dos participantes informaram não ter encontrado grandes dificuldades no uso da aplicação, visto que poucas funcionalidades diferentes haviam sido implementadas a fim de não confundir os participantes neste teste inicial e podermos avaliar a viabilidade da função central do T-TÁTIL. Embora poucas instruções sejam necessárias para usar a aplicação, P2 teve algumas dificuldades para desencadear e parar as descrições sonoras com os gestos informados na introdução dos testes. Acredita-se que isso se deve a pouca experiência do participante em usar dispositivos móveis e computadores. No decorrer da sessão o usuário também se adaptou à interação.

6.4.4 Oportunidades de melhorias verificadas

Durante os estudos de casos realizados foi possível observar alguns problemas e oportunidades de melhorias a serem implementadas nas próximas atualizações da aplicação.

O modelo de interação escolhido para a aplicação, que acreditava-se não demonstrar grandes problemas acabou revelando que é preciso que sejam feitas modificações visto que, por exemplo, quando o elemento de descrição geral dos desenhos eram acionados e uma exploração tátil era realizada pelo participante, por vezes a aplicação detectava um falso clique simples e

interrompia a descrição sonora. Apesar de algumas vezes este problema ter acontecido, após certo período de adaptação os participantes conseguiram desencadear as descrições e explorar o desenho ao mesmo tempo sem que o “falso clique simples” fosse acionado.

Outro problema detectado em alguns momentos era que, mesmo com os desenhos táteis presos sobre a tela do dispositivo, por vezes, no momento da exploração, o papel se movia um pouco. Em consequência, o objeto físico não se encontrando mais perfeitamente sobreposto a área clicável correspondente, o acionamento das descrições sonoras era dificultado. Outro mecanismo de posicionamento do papel deverá ser implementado para evitar que este problema aconteça em um uso em ambiente não controlado.

6.5 Resultados quantitativos

O tempo que cada participante levou explorando os desenhos táteis está descrito na Figura 24.

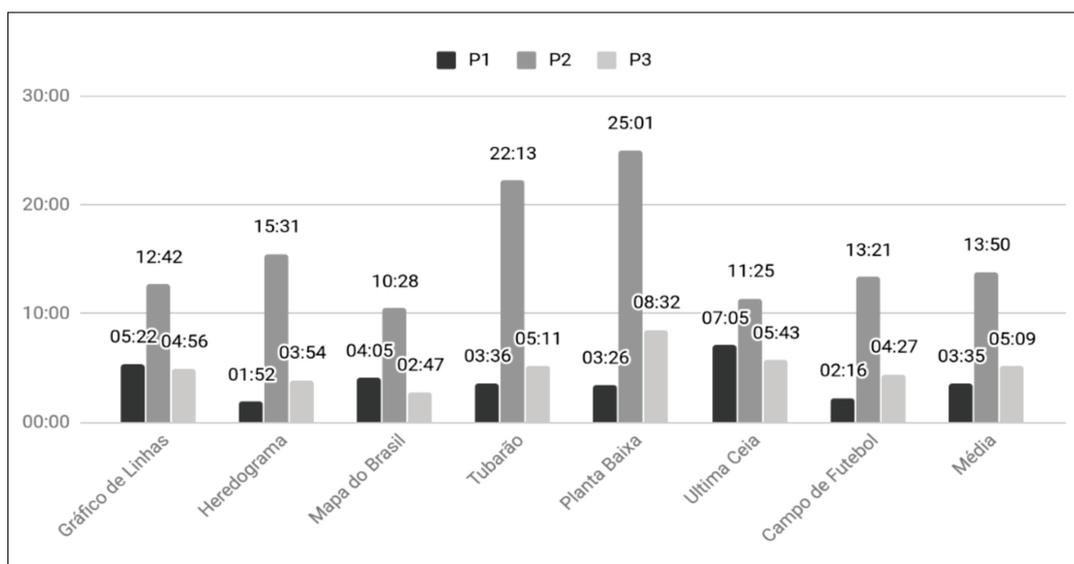


Figura 24 – Gráfico com o tempo de exploração dos desenhos táteis.

Fonte: Autor

Acredita-se que o motivo para P2 ter levado consideravelmente mais tempo na exploração dos desenhos táteis se deve ao fato do mesmo ter afirmado não possuir experiência na exploração de desenhos táteis. No geral, o tempo dos outros dois participantes variou entre uma imagem e outra demorando apenas o tempo necessário para aplicação reproduzir as descrições sonoras solicitadas para que o participante pudesse teste entender os detalhes do desenho tátil.

Os resultados de acertos nas questões são mostrados na Figura 54. Também são mostradas a quantidade de vezes que participante consultou para resolver as questões propostas.

Acredita-se que grande parte das consultas realizadas para responder as questões foram feitas por conta da quantidade de informações que eram passadas nas descrições em áudio, por

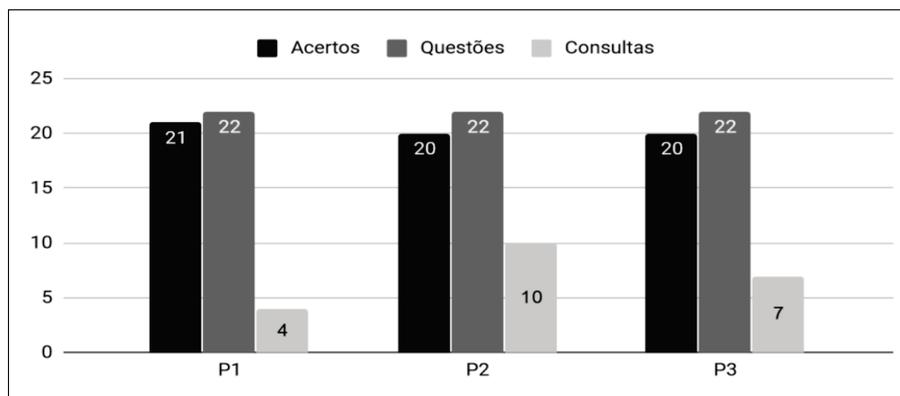


Figura 25 – Acertos e consultas para as questões sobre os desenhos táteis.

Fonte: Autor

exemplo, para todos os participantes (2 consultas para 3 questões), o maior número de consultas foi no desenho do Mapa do Brasil dividido por regiões onde as informações passadas em áudio eram de quais estados formavam a região, área total, população e densidade demográfica. Outros desenhos bastante consultados por P2 foram o da Santa Ceia (2/3) e Campo de futebol (2/3). Percebeu-se que as consultas normalmente eram realizadas para os desenhos táteis que tinham mais informação tátil e sonora e isto pode ter exigido uma carga cognitiva maior e dificultando a memorização completa destas informações. P1 chegou a dizer, na exploração do Mapa do Brasil, que “*Parece que eu respondi mais de 3 questões. Acho que por conta da quantidade de informações em áudio que precisei buscar para respondê-las*”.

6.6 Discussão

Esta pesquisa confirma que os desenhos táteis representam grande importância para estudantes com deficiência visual. A falta de utilização deste tipo de recurso pode influenciar negativamente na formação escolar da pessoa com deficiência visual dificultando ainda mais a inclusão destes nos currículos escolares. Os participantes relataram que nem sempre os desenhos táteis estão prontos a tempo para utilização na aula e depois necessitam de apoio de uma pessoa vidente (normalmente o professor) para explicar os detalhes do desenho tátil. Portanto, neste ponto o T-TÁTIL pode ser ainda mais útil para alunos com deficiência visual quando eles estão revisando os desenhos táteis posteriormente às suas abordagens em sala de aula, não necessitando do apoio do professor para tal tarefa.

Essa fase de avaliação ressaltou também que independentemente da ferramenta e/ou forma de exploração tátil, é preciso ser cuidadoso na elaboração do desenho tátil multimodal. Apesar de verificarmos que a ferramenta auxilia muito bem os alunos com deficiência visual na tarefa de exploração tátil, fornecendo em tempo hábil as descrições em áudio sobre os detalhes do desenho, percebemos que, até mesmo para participantes mais experientes nesta tarefa, quando se coloca uma quantidade de informações sonoras, por vezes desnecessárias, acaba prejudicando

um pouco o entendimento. Isto corrobora com as afirmações de Suzuki *et al.* (2017), quando diz que “*é difícil adicionar informações, como legendas ou anotações em braille, sem tornar um gráfico tátil excessivamente complicado*”, o mesmo valendo também para informações em áudio. É necessário que estas informações sejam claras e direcionadas ao objetivo do desenho tátil.

Acredita-se que a solução proposta neste trabalho possa ajudar o aluno com deficiência visual em todos os níveis de escolaridade e com diferentes níveis de habilidade em leitura braille e de desenhos táteis. Isso é comprovado pelo participante P2 que mesmo tendo quase nenhuma experiência em exploração de desenhos táteis conseguiu cumprir as tarefas e obter resultados satisfatórios além de ter fornecido *feedback* positivos a respeito da solução.

O objetivo desta etapa do trabalho foi avaliar se um *tablet* pode auxiliar um aluno com deficiência visual na tarefa de exploração de desenhos táteis de maneira autônoma e estabelecer se as descrições sonoras somadas aos desenhos táteis impressos ajudam nesta tarefa. Todos os participantes indicaram que o T-TÁTIL era útil, e havia exemplos de como a aplicação pode ajudar na exploração de desenhos táteis. Agora que isso está estabelecido, trabalhos futuros podem ser feitos para desenvolver uma solução mais completa e avaliação com um número maior de participantes.

Isso estabelecido, a continuidade do trabalho visou a desenvolver uma solução mais completa e avaliação com um número maior de participantes.

7 ATUALIZAÇÃO DO PROTÓTIPO E IMPLANTAÇÃO DAS MELHORIAS

Após a realização da avaliação de viabilidade da solução, totalmente descritos no Capítulo 6, algumas oportunidades de melhorias foram detectadas e, em sua maioria, implementadas, conforme tópicos a seguir. Versões futuras da aplicação contarão com melhorias como: portabilidade para outras plataformas e implementação de outros tipos de *feedback* sonoro (utilizando gestos diversos para cada tipo de *feedback* em áudio), além da síntese vocal, como por exemplo gravação das descrições por uma pessoa real, sons de determinados objetos ou animais, músicas, etc.

7.1 Ajuste na forma de interação com a aplicação

Várias são as formas de implementar interações com aplicação por meio de gestos de toque na tela de dispositivos *touchscreen*, alguns exemplos podem ser observados na Figura 26.

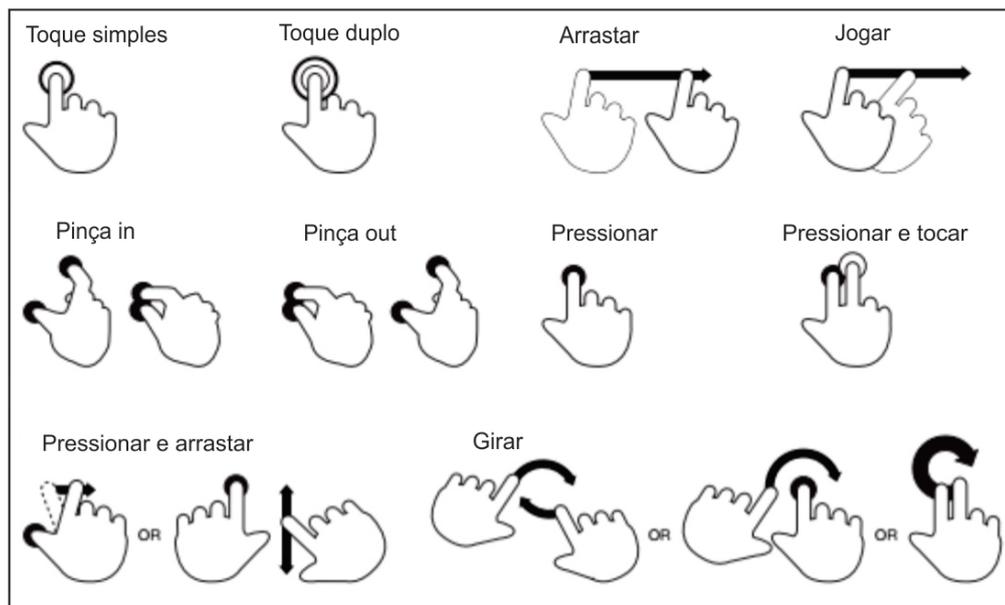


Figura 26 – Algumas formas de interação por gestos de toque

Fonte: adaptado de Villarmor, Willis e Wroblewski (2010)

Outra forma de interação foi implantada para que os "falsos cliques" na tela não atrapalhasse a reprodução das descrições sonoras. Um pequeno ajuste foi realizado e as principais interações são: (i) duplo toque (*double tap*) para reprodução da descrição sonora sobre a região desejada/clicada. (ii) Toque longo (*Press*) para a interrupção da descrição sonora da região selecionada.

Conforme nota-se pela Figura 26, é possível implementar várias formas de interações com telas sensíveis ao toque. Porém para o desenvolvimento desta solução nem todas surtem o efeito desejado, devido o fato de, no momento da exploração tátil, a pessoa com deficiência

visual utilizar vários dedos de ambas as mãos. Então em certos momentos pode ser feito uma exploração tátil com movimentos que, para aplicação, represente um gesto de arrastar (*drag*), jogar (*flick*), pinça, de rotação, pressionar e arrastar ou qualquer outro que utilize vários dedos.

Os movimentos menos prováveis de acontecer em uma exploração tátil são: o duplo clique e o pressionar, visto que o usuário fica o tempo todo movimentando os dedos para reconhecer as áreas dos desenhos táteis. Por esse motivo, estes dois gestos foram os escolhidos para fazer parte das ações possíveis na aplicação desenvolvida.

Outra pequena informação de interação foi acrescentada na aplicação para indicar ao usuário quando ele está clicando em uma área que não possui descrição sonora. Ao tentar realizar esta tarefa, a aplicação reproduz uma mensagem informando que o usuário está tocando em uma área não clicável, ou seja, que não possui descrição em áudio.

7.2 Mecanismo de posicionamento e trava do desenho tátil sobre a tela do dispositivo.

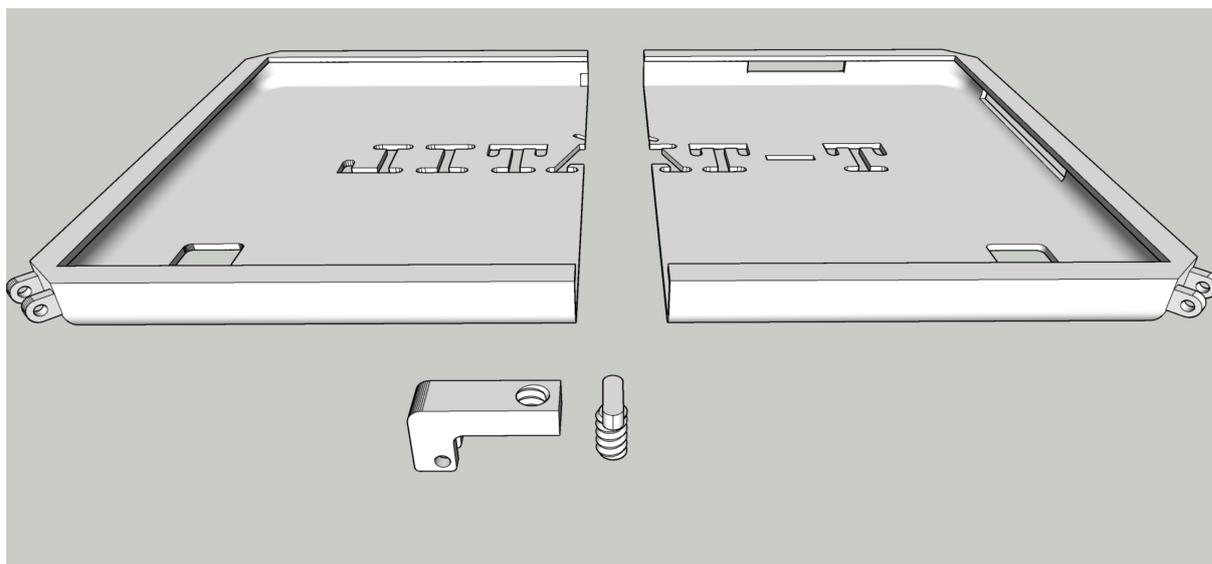


Figura 27 – Modelo 3D do mecanismo de posicionamento e trava do papel

Fonte: Autor (criado com *software sketchup*)

Foi projetado um mecanismo para auxiliar o usuário no posicionamento da impressão tátil sobre a tela do *tablet* sem auxílio de uma pessoa vidente. Uma espécie de capinha foi criada, por meio de tecnologia de impressão 3D, utilizando um equipamento powerplus 3D com filamento de PLA e *software sketchup* 2019 Pro (versão trial) para modelagem 3D da capinha. Esse mecanismo permite o posicionamento correto do desenho tátil sobre a tela do dispositivo com a possibilidade de prender o papel, por meio da utilização de travas nos quatro cantos da capinha, para evitar deslocamentos no momento da exploração tátil, e assim deixar o desenho

tátil fora da correspondência com as regiões clicáveis na tela do dispositivo (vide Figura 27 e Figura 28 para detalhes).



Figura 28 – Capinha impressa e colocada no *tablet*

Fonte: Autor

7.3 Acoplamento desenho tátil com representação das áreas clicáveis

Para evitar que o usuário tenha de navegar por menus e, as vezes, até utilizar outras aplicações para selecionar o arquivo SVG que foi criado e que ele deseja executar, pensou-se em uma forma de acoplar o desenho tátil impresso com seu arquivo digital, contendo suas representações em áreas clicáveis no *tablet* (essas representações são criadas nos arquivos SVG).

Para isso, foram utilizados código de barras 2D, conhecidos como *QR Codes*¹, que armazenam os dados do arquivo SVG (seus marcadores, atributos e descrições) ou apenas um link para *download* deste arquivo. Cada *QR Code* é impresso no verso do seu respectivo desenho tátil e a aplicação utiliza a câmera do dispositivo para realizar a leitura deste código. Ao iniciar a aplicação, também é possível selecionar, manualmente, um arquivo SVG válido. Caso seja de vontade do usuário, ele pode usar esta opção.

Para este tipo de funcionalidade alguns aspectos tiveram que ser observados: (i) a quantidade de informação que o *QR Code* pode armazenar sem comprometer a tarefa de leitura deste; e (ii) cada dispositivo possui uma capacidade para a leitura desses *QR Codes*, de acordo com a resolução de sua câmera.

Segundo a norma ISO/IEC 18004:2015, a capacidade de armazenamento depende da versão do *QR Code* e seu nível de correção de erros. Basicamente um simples *QR Code* pode armazenar cerca de 7089 caracteres numéricos, 4296 caracteres alfanuméricos, 2953 bytes ou

¹ *QR Code* é um código de barras bidimensional criado pela empresa japonesa *Denso-Wave* em 1994. O QR é derivado da *Quick Response* (Resposta Rápida), pois o código deve ser decodificado em alta velocidade. O *QR Code* tornou-se popular para aplicativos de marcação para celular. Um usuário pode digitalizar e decodificar esse *QR Code* usando um telefone celular com uma câmera embutida e um *software* decodificador adequado. Após decodificar o símbolo do *QR Code*, o usuário é encaminhado para sites ou campanhas de *marketing* relacionadas ao produto ou lhe é exibido as informações de textos constantes no *QR Code*.

1817 caracteres kanji. Também de acordo com esta mesma norma, para otimizar a qualidade do código de barras, um símbolo do *QR Code* não deve ser impresso com pontos menores que 4 a 5 *pixels* do dispositivo.

Com a utilização de *QR Codes* pretendeu-se possibilitar uma forma de armazenamento das informações contidas no arquivo SVG de forma *offline*, ou seja, com a leitura do *QR Code*, no verso de seu desenho tátil impresso, não será preciso manter um arquivo armazenado no dispositivo ou até mesmo que se tenha uma conexão com a *internet* para fazer o *download* deste, pois toda a estrutura e informações do arquivo SVG já estará codificada no *QR Code*, bastando a aplicação fazer a leitura do código e logo em seguida a decodificação e configuração das áreas clicáveis na tela do dispositivo.

Alguns testes de leitura de *QR Codes*, com variadas quantidades de informações armazenadas, foram realizados e em média os dispositivos testados conseguiam ler sem muita dificuldade *QR Codes* com até 1.500 (mil e quinhentos) caracteres alfanuméricos, aproximadamente. Tomando como exemplo os arquivos SVG criados para o experimento descrito na Capítulo 6, arquivo mais simples e com menos detalhes e descrições continham cerca entre 1200 a 2500 caracteres alfanuméricos e os arquivos mais complexos e com mais informações chegavam a conter mais de 7000 caracteres alfanuméricos.

Apesar dos *software* de criação de arquivos SVG possuírem formas de criar tais arquivos de maneira mais limpa, sem tantas informações desnecessárias, ainda assim estes SVGs podem conter uma quantidade grande de caracteres, o que podem tornar a criação e leitura dos *QR Codes* uma tarefa mais difícil de ser realizada.

Pensando nisso buscou-se uma forma de codificar toda a informação de um arquivo SVG para uma forma ainda mais limpa e com menos informações, sem que isso compromettesse a criação/configuração das áreas clicáveis na aplicação. O esquema mostrado na Figura 29, representa esta tarefa.

Inicialmente, um arquivo SVG é convertido para um formato intermediário chamado T-TATIL que codifica os marcadores do SVG em formatos bem mais simples e com menos caracteres. Então este arquivo é compactado em um arquivo tipo ZIP, que posteriormente é convertido para um arquivo Base64 que será armazenado no *QR Code* para que a aplicação possa escaneá-lo e, fazendo o caminho inverso, formar o SVG que será lido pela aplicação. O esquema mostrado nas Figura 29 ilustra essa tarefa de codificação (Ciclo 1 a 5 na Figura 29) e decodificação (Ciclo 5 a 1 na Figura 29).

Com isso é possível diminuir bastante o tamanho dos arquivos SVG e assim tentar armazená-los, de maneira *offline*, em um *QR Code*. Tomando como base os arquivos SVG usados no experimento descrito na Capítulo 6 pode perceber uma redução significativa, porém ainda não suficiente para que qualquer dispositivo consiga escanear sem dificuldades os *QR Codes* contendo todo o arquivo SVG e seus marcadores, porém para alguns arquivo o esquema pode ser

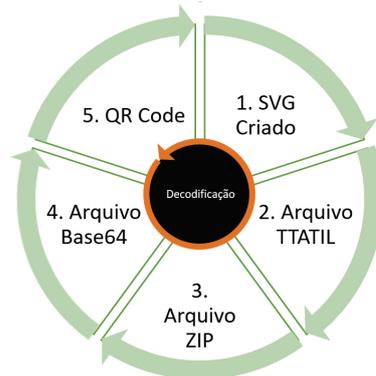


Figura 29 – Ciclo de codificação (1-5) e decodificação (5-1) do arquivo SVG para um QR Code

Figura 30 – Exemplo de codificação de um arquivo SVG

útil. Figura 31 demonstra o grau de codificação dos arquivos.

Conforme pode se observar na Figura 31, para desenhos complexos e com muita informação para ser sintetizada em áudio esta codificação para um *QR Code* com informações do arquivo SVG (para utilização offline) pode ser dificultada e em certos casos, como o da Santa Ceia, impossível, porém para a maioria dos arquivos menos complexos e com menos informações é perfeitamente possível, podendo gerar um *QR Code* com toda a informação do SVG e a aplicação poder fazer a leitura e execução do arquivo digital de maneira offline.

Caso queira garantir a utilização do *QR Code*, é possível disponibilizar o arquivo impresso e gerar um *QR Code* contendo o *link* do arquivo digital SVG para ser baixado pela aplicação.

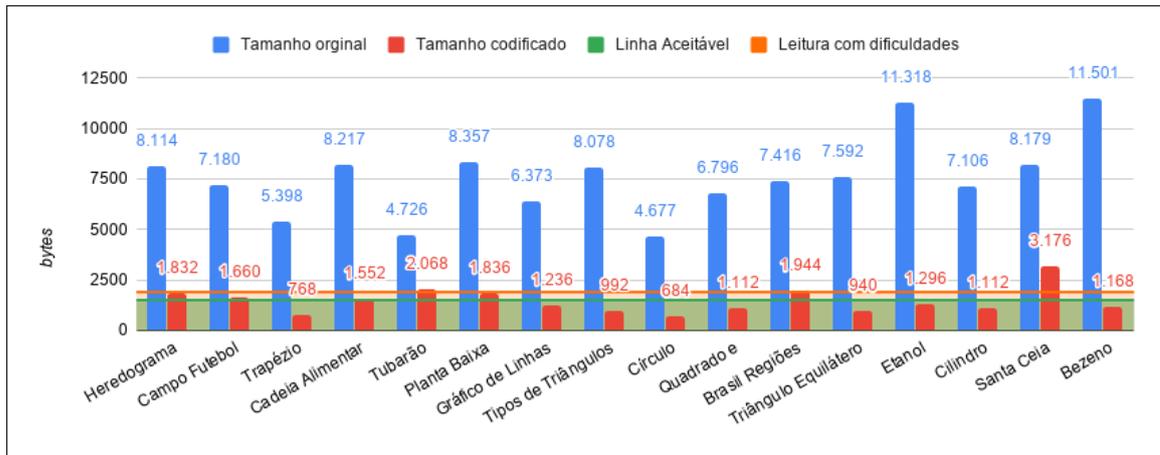


Figura 31 – Gráfico comparativo dos tamanhos dos arquivos SVG

7.3.1 Design atualizado da aplicação

Após a implementação desta melhoria, o diagrama de classes da aplicação sofreu mudanças que podem ser vistas nas figuras abaixo. Nela é possível acompanhar as principais funcionalidade da aplicação e os principais atributos, atualizado com as novas funcionalidades inerentes ao *QR Code*.

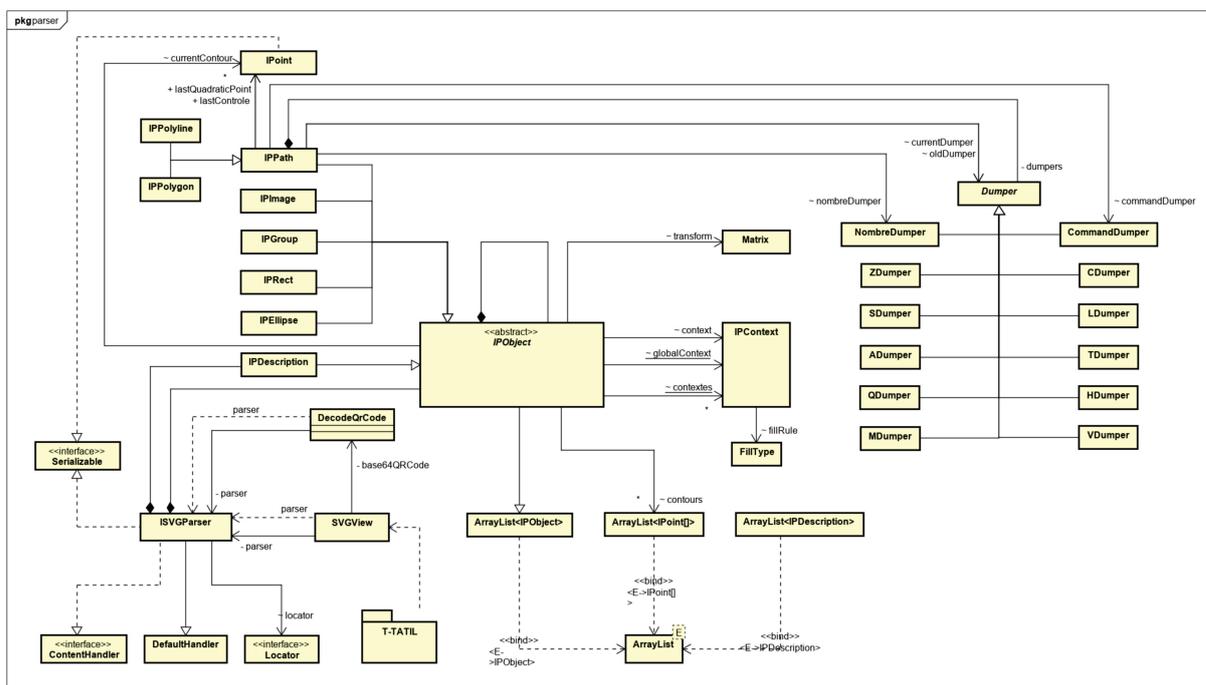


Figura 32 – Diagrama de classes da aplicação.

Fonte: Autor

As etapas de funcionamento da aplicação podem ser acompanhadas no diagrama de sequência mostrado na Figura 33 e Figura 34. Inicialmente o usuário abre a aplicação, em seguida é oferecida a opção de escanear um QRCode (Figura 33) ou buscar o arquivo SVG manualmente (Figura 34). Para o caso da leitura do *QR Code*, existe duas possibilidades, uma de o *QR Code* ter

informação de um link para download do arquivo ou o *QR Code* conter o arquivo SVG codificado para um formato base64, a fim de tentar possuir menos caracteres e poder ser armazenado no *QR Code* sem dificultar o escaneamento por alguns dispositivos (vide seção 7.3 para mais detalhes).

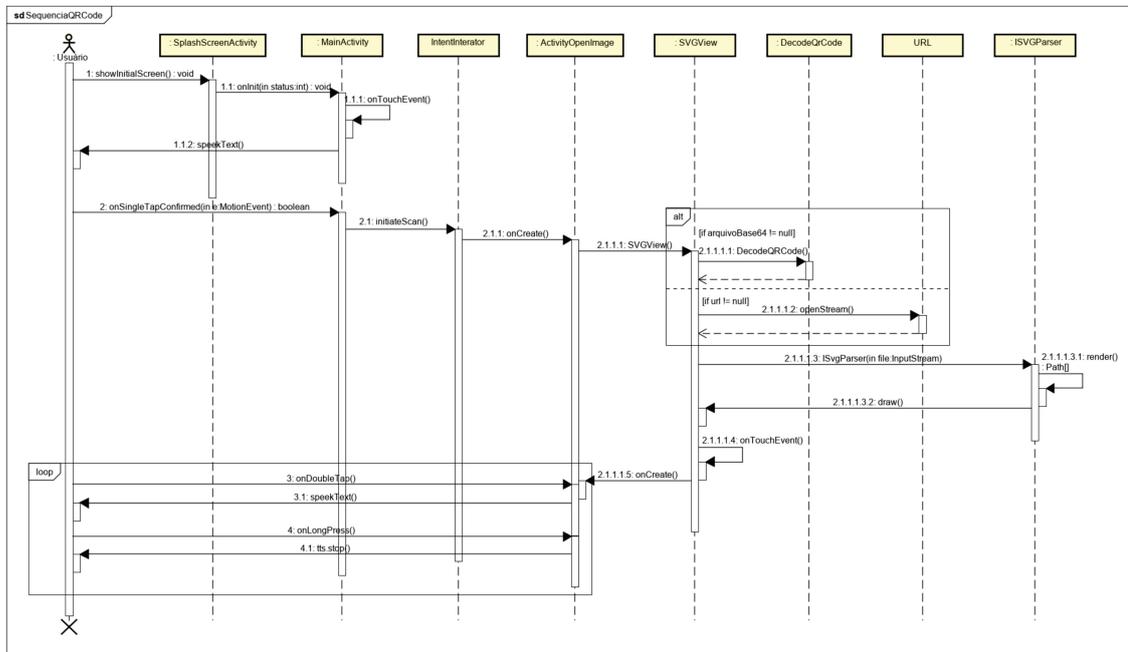


Figura 33 – Diagrama de sequência para seleção via leitura de *QR Code*.
Fonte: Autor

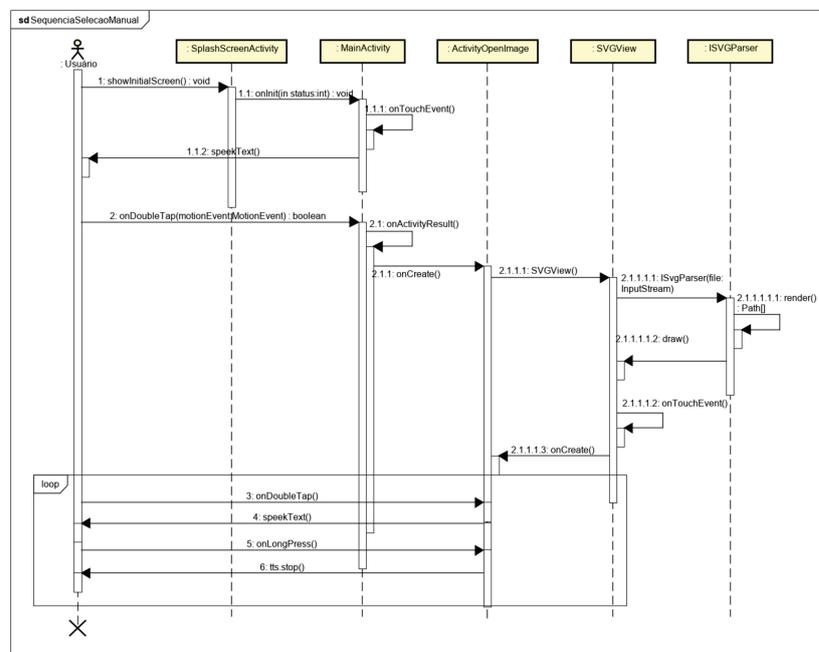


Figura 34 – Diagrama sequência para seleção manual dos arquivos.
Fonte: Autor

Seja pela leitura do *QR Code* ou seleção manual do arquivo SVG, após esta etapa a aplicação, então, realiza um *parser* (Análise) do arquivo SVG, lendo *marcador a marcador*,

para ir criando os objetos JAVA manipuláveis, por meio da classe principal *Path* e seus métodos. Depois que o *parser* é finalizado e a imagem manipulável é montada na tela da aplicação, basta posicionar o papel sobre a tela do dispositivo e começar a exploração tátil e interações com a aplicação. Detalhes sobre o parser do arquivo XML podem ser vistos em Merlin (2014).

7.3.2 Aplicação para geração dos *QR Codes*

Ambas as situações podem ser atendidas com o programa *T-TATIL QRCode Generator*, que foi desenvolvido para auxiliar na criação dos *QR Codes* conforme descrito nesta seção. Este software será disponibilizado na internet para ser utilizado junto com a solução proposta neste trabalho.

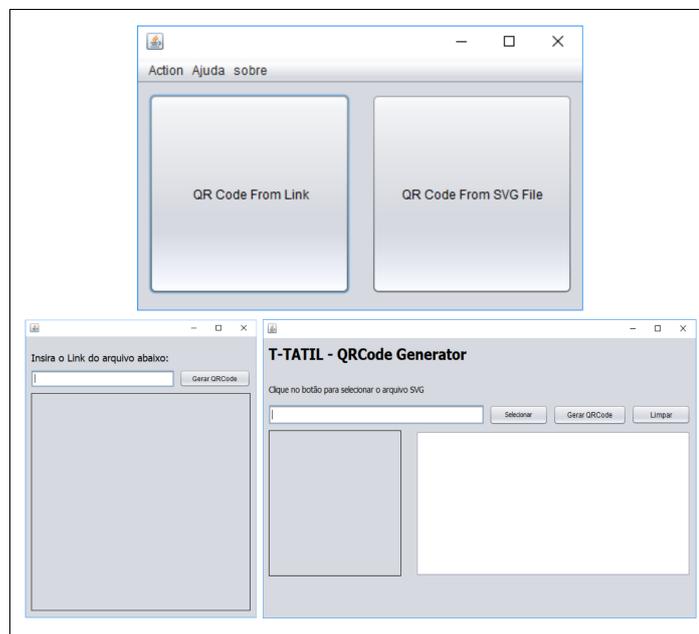


Figura 35 – Telas do T-TATIL *QRCode Generator*

A tela inicial da aplicação exibe dois botões para geração do *QRCode*, um para links e outro para o arquivo SVG.

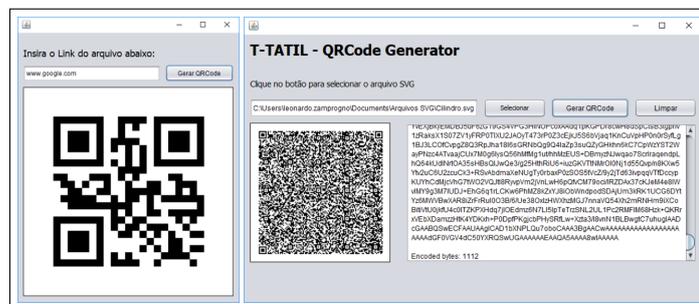


Figura 36 – Geração dos *QR Codes* com o T-TATIL *QRCode Generator*

A aplicação ajuda o usuário a tomar a decisão sobre que forma de *QRCode* usar. No momento da geração do *QRCode*, caso o usuário queira criar um *QRCode* com o as informações

do arquivo SVG, para disponibilizá-lo de maneira *offline*, após toda a cadeia de codificação/decodificação, caso o tamanho da informação a ser armazenada no *QRCode* ultrapasse o tamanho de 1500 caracteres, a aplicação irá informar uma mensagem de alerta informando que alguns dispositivos podem ter dificuldades de ler o *QRCode*.

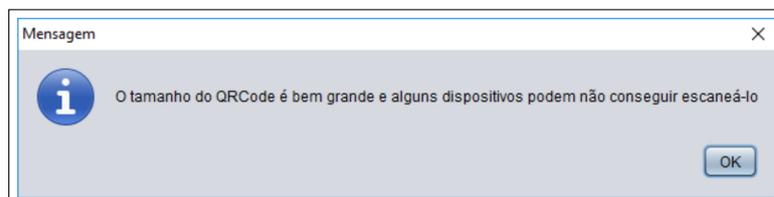


Figura 37 – Mensagem de alerta do T-TATIL *QRCode* Generator

8 AVALIAÇÃO FINAL E RESULTADOS

Após avaliação do protótipo da aplicação, bem como implementação das melhorias identificadas nesta, foi realizado um experimento controlado para podermos fazer uma avaliação final da solução, validar as hipóteses discutidas neste trabalho e fazer uma comparação entre a tarefa de exploração tátil, com o uso da solução proposta neste trabalho, e a exploração tátil utilizando apenas desenhos táteis com legendas em braille. O experimento contou com oito participantes com deficiência visual, com diferentes níveis de escolaridade e diferentes graus variados de deficiência visual (cegueira congênita ou tardia), grau de leitura em braille, grau de leitura de gráficos táteis, experiência visual, nível de escolaridade e uso em tecnologias móveis.

Neste experimento também foram utilizados desenhos táteis impressos, em papel braille e papel microcapsulado, seus respectivos arquivos digitais, que possuem as informações com os *feedbacks* sonoros fornecidos ao usuário dependendo da interação deste com a aplicação, ou quando necessário as legendas das imagens em braille.

Para avaliar a usabilidade da solução proposta e obter uma análise qualitativa, realizou-se um experimento com vários participantes com deficiência visual, com diferentes níveis de escolaridade e diferentes graus variados de deficiência visual (cegueira congênita ou tardia), grau de leitura em braille, grau de leitura de desenhos táteis, experiência visual, nível de escolaridade, aptidão mental e uso em tecnologias móveis. Após o experimento controlado, foi aplicado um questionário para mensurar a usabilidade da solução baseado no SUS (*System Usability Scale*).

8.1 Participantes

Este estudo envolveu oito participantes (um do sexo feminino e sete do sexo masculino) com deficiência visual grave (totalmente cegos), com idade entre 16 e 47 anos (média de 30 anos). Eles foram voluntários recrutados nas instituições de ensino da região e em um centro comunitário sem fins lucrativos que dá apoio às pessoas com deficiência visual. Os participantes foram identificados pelo código (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 e P8), a identidade deles é conhecida apenas pelos pesquisadores.

O grupo era heterogêneo (vide Tabela 1) em relação a causas e graus variados de deficiência visual, grau de leitura em Braille, grau de leitura de desenhos táteis, experiência visual e nível de escolaridade. Cada um deles fez uso de equipamentos especializados, como Braille, letras grandes, lupas de mão, *laptops* com *software* de fala sintética e cópias eletrônicas de livros didáticos. Essa diversidade de participantes tem o objetivo de enriquecer a discussão dos resultados deste estudo, considerando que eles passam por uma experiência única.

O grupo era formado por três estudantes de nível médio/técnico e quatro estudantes de nível superior, um professor com mestrado. Nenhum sujeito apresentou múltiplas deficiências (físicas ou mentais), comprometimento cognitivo ou não pôde responder aos formulários da

pesquisa por qualquer motivo. Todos eles têm uma capacidade boa ou muito boa para ler Braille e desenhos táteis.

Detalhes dos participantes constam na Tabela 1 comparativo abaixo.

Tabela 1 – Perfil dos participantes do estudo

Informações	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Sexo/Gênero:	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino	Masculino	Feminino	Masculino
Idade:	16 anos	21 anos	23 anos	37 anos	47 Anos	26 anos	28 anos	32 anos
Escolaridade:	Ensino Médio/Técnico Incompleto	Ensino Superior Incompleto	Ensino Médio/Técnico Completo	Mestrado	Ensino Superior Incompleto	Ensino Superior Incompleto	Ensino Superior Incompleto	Ensino Médio/Técnico Incompleto
Tipo Deficiência Visual	Totalmente Cego	Totalmente Cego	Totalmente Cego	Totalmente Cego	Legalmente Cego	Totalmente Cego	Totalmente Cego	Legalmente Cego
Chegada Deficiência Visual:	Congênito	6 anos	3 anos	12 anos	18 anos	7 anos	13 anos	10 meses
% da vida com deficiência visual	100,0%	71,4%	87,0%	67,6%	58,1%	73,1%	53,6%	96,9%
Qual sua habilidade na leitura Braille?	Boa	Boa	Muito boa	Excelente	Muito boa	Excelente	Boa	Boa
Com qual frequência utiliza material em Braille?	Todos os dias	2 a 3 vezes na semana	4 a 5 vezes na semana	4 a 5 vezes na semana	2 a 3 vezes na semana	Todos os dias	2 a 3 vezes na semana	Raramente
Qual sua habilidade na leitura de desenhos táteis?	Boa	Ruim	Muito boa	Boa	Boa	Excelente	Boa	Ruim
Com qual frequência utiliza desenhos táteis?	1 vez na semana	1 vez na semana	2 a 3 vezes na semana	Raramente	Raramente	Todos os dias	Raramente	Raramente
Qual sua habilidade no uso de dispositivos móveis (Smartphone, Tablets, notebooks, etc)?	Boa	Excelente	Muito boa	Muito boa	Boa	Muito boa	Excelente	Nenhuma
Com qual frequência utiliza dispositivos móveis?	Todos os dias	Todos os dias	Todos os dias	Todos os dias	Todos os dias	Todos os dias	Todos os dias	Nunca
Quão importante são os desenhos táteis para você?	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante	Muito importante
Você utiliza algum recurso de tecnologia assistiva para acessar conteúdos gráficos?	Smartphones	Smartphones	Apenas desenhos táteis	Smartphones	Apenas desenhos táteis	Smartphones	Smartphones	Nenhuma

Fonte: Autor

8.2 Materiais utilizados

Para avaliar a aplicação e sua usabilidade utilizamos um *tablet Android* de baixo custo (Positivo YPY-AB10E com tela de 10”) com a aplicação T-TÁTIL instalada, conforme descrito na Capítulo 5.

Com auxílio de uma profissional com vasta experiência na elaboração de materiais adaptados, que atualmente trabalha no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará e já possui mais de 10 anos de experiência no apoio de alunos com necessidades especiais durante a vida acadêmica, foram projetados dez desenhos táteis (04 em papel microcapsulado e 06 em papel braille) que serão usados no experimento. A elaboração destes desenhos seguirá as melhores práticas para tal tarefa, que podem ser encontradas em BANA (Braille Authority of North America; Canadian Braille Authority, 2011). Em cada desenho criado foi adicionado um elemento gráfico no canto inferior direito, em um formato de ponta de seta (ou símbolo de *play*) para que sejam acrescentadas informações gerais sobre o desenho para que o usuário possa se situar e saber sobre o que o desenho irá tratar.

O primeiro passo no processo de produção dos desenhos táteis foi criar um desenho (simples ou complexo) destinado a transmitir informação ao usuário, nas mais diversas áreas do conhecimento como geografia, matemática e biologia. A estratégia descrita aqui concentrou-se na criação de imagens em um computador, utilizando os *software*¹ *Inkscape*@ (para papel microcapsulado) e *Monet*@ (para papel Braille).

Considerando que as representações bidimensionais têm limitações como instrumento para transmitir informações, os desenhos foram recriados várias vezes para garantir que eram adequados para o reconhecimento tátil. Nesse processo, o *feedback* dos interlocutores cegos foi fundamental.

No processo de criação dos desenhos, diferentes texturas para áreas, espessura de linhas e tamanhos para outros elementos táteis foram empregadas com o intuito de facilitar o reconhecimento tátil por aqueles que só sabem ler com o auxílio dos dedos. A fonte Braille escolhida foi o *Swell Braille*, cor preto e tamanho 24, adequado para o papel microcapsulado. Dessa forma, podemos imprimir em código braille elevado em papel para os usuários com deficiência visual.

Após a elaboração dos desenhos, com auxílio do software, o próximo passo foi imprimi-los. Os desenhos criados com o *Inkscape* são impressos em um papel desenvolvido especialmente para gráficos táteis (papel microcapsulado²) por meio de uma impressora a laser³. A impressão coloca cores no papel, mas nenhum relevo é gerado, por enquanto. Finalmente, o papel passa por um dispositivo de aquecimento⁴, onde nesta etapa, tudo o que é impresso em preto é alterado pela ação do calor.

Já os desenhos criados com o *software Monet*@ foram impressos em papel braille por meio da utilização de uma impressora *Index Braille Everest-D V4*, que se utiliza de pequenos marteletes de impacto para fazer o relevo no papel.

No processo de produção dos gráficos táteis, eles foram avaliados continuamente pelos autores para verificar a legibilidade. Além disso, também foram considerados aspectos educacionais, isto é, se o texto estava claro para ser entendido.

Os arquivos digitais, para serem usados com a aplicação, foram criados com o *software Inkscape*@ a partir dos desenhos táteis impressos. Nestes arquivos digitais eram delimitadas as áreas clicáveis que devem possuir das descrições que serão lidas pela aplicação e fornecidas para o usuários por meio da síntese vocal.

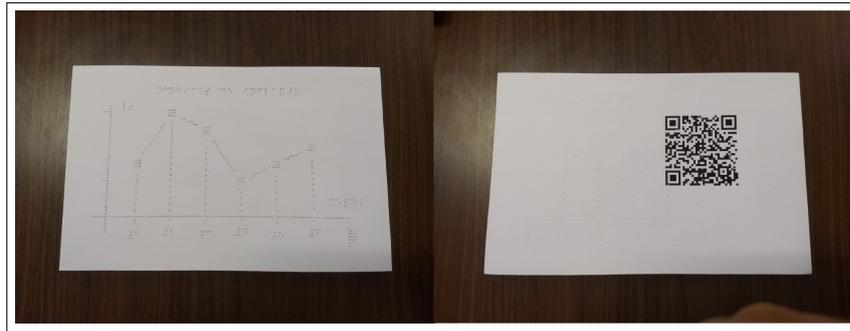
Alguns dos desenhos táteis impressos, juntamente com seus arquivos digitais podem ser vistos na Figura 38, e os com legendas em braille podem ser vistos na Figura 39.

¹ O uso de *software* para esse fim tem muitas vantagens. Atualmente, existem muitos programas que permitem uma grande variedade de ferramentas para criar e manipular imagens, algumas delas são específicas para criar representações a serem usadas com pessoas cegas, como o Braille.

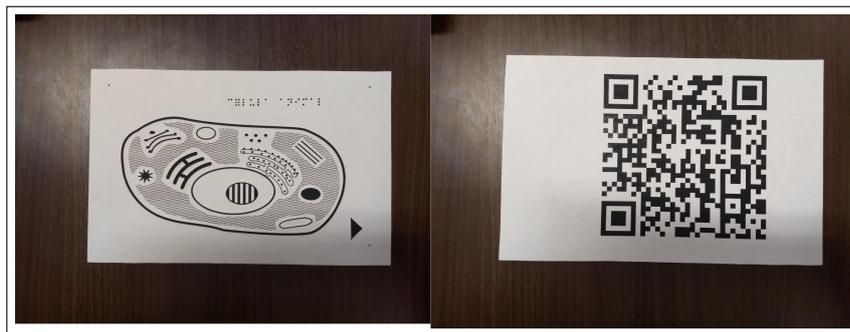
² A marca de papel usado neste trabalho foi a Zy-TeX2, fabricada pela Zychem Ltd (Reino Unido)

³ Uma impressora HP LaserJet 400 M401 foi usada para imprimir diretamente os desenhos em papel microcapsulado.

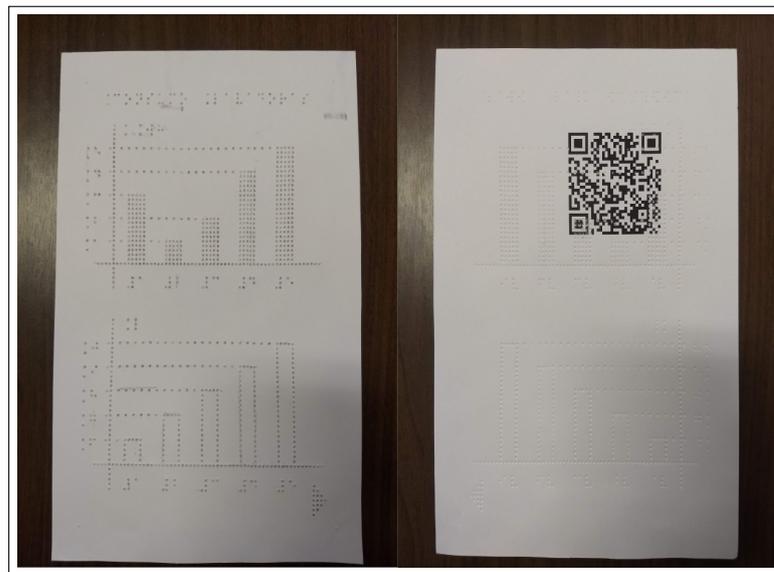
⁴ O relevo foi criado através de um dispositivo de aquecimento fusor do modelo Zy-Fuse.



((a)) Desenho tátil gráfico de linhas.



((b)) Desenho tátil célula animal

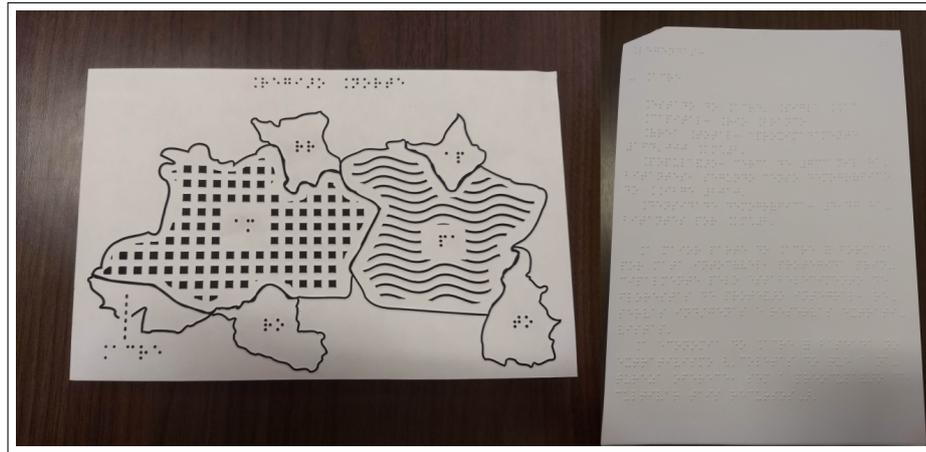


((c)) Desenho tátil gráfico colunas

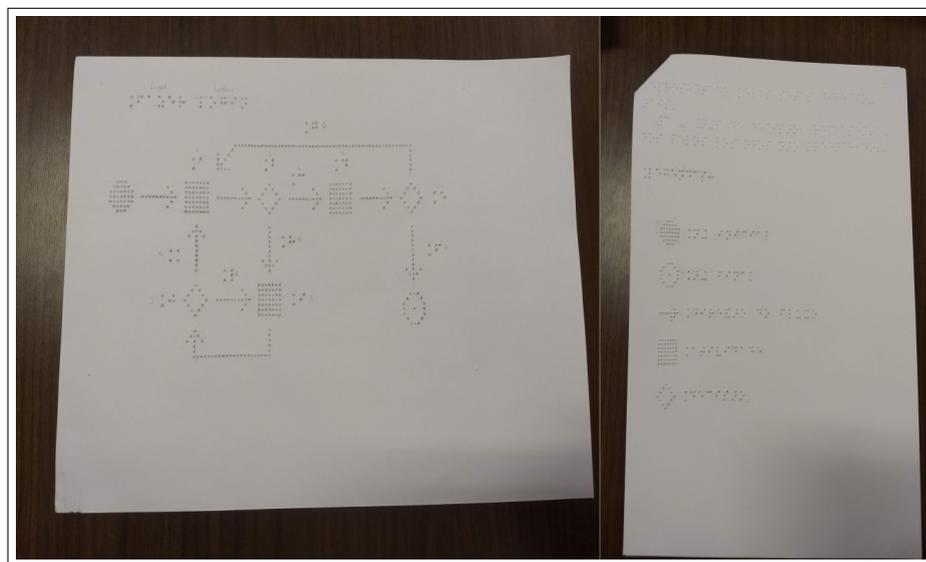
Figura 38 – Alguns desenhos táteis multimodais utilizados no experimento. à direita estão os *QR Codes* dos arquivos impressos

8.3 Metodologia

O estudo foi realizado em cinco etapas. Na primeira foi aplicado um questionário para levantamento do perfil dos participantes, este questionário pode ser visualizado no Apêndice B deste trabalho. Na segunda etapa, um questionário de base com perguntas e tarefas a serem realizadas/respondidas em um pré-teste que foi aplicado aos participantes utilizando desenhos táteis com legendas e descrições em braille, conforme pode ser visto na Figura 40. A primeira e



((a)) Desenho tátil mapa região norte



((b)) Desenho tátil fluxograma

Figura 39 – Desenhos táteis utilizados no experimento. à direita estão as legendas em braille

segunda etapa foram realizadas num mesmo momento. A terceira etapa envolveu o treinamento para o uso da aplicação, demonstrando suas principais funcionalidades e utilização de desenhos táteis como exemplos para que os participantes pudessem praticar o uso do T-TÁTIL. A quarta etapa envolveu um questionário de base com perguntas e tarefas a serem realizadas/respondidas em um pós-teste utilizando desenhos táteis multimodais com a aplicação T-TÁTIL, como pode ser visto na Figura 41. Na quinta e última etapa foi aplicado um questionário para determinar a usabilidade da solução, bem como levantar as opiniões sobre os desenhos táteis usados. As etapas 3 a 5 foram realizadas em um momento distinto das duas primeiras.

Os participantes foram motivados a se sentirem livres e a falar abertamente sobre suas opiniões e a fazer perguntas a qualquer momento e em qualquer estágio.

No pré-teste deste experimento foi aplicado um questionário, para cada um dos cinco desenhos táteis, com tarefas a serem executadas e/ou perguntas a serem respondidas com base

no exploração do desenho tátil. Foram utilizados os desenhos táteis anteriormente criados com a legendas em braille. O tempo gasto para realização de cada tarefa e/ou resposta de cada questão foi medido, bem como os acertos/erros para as tarefas. Estes dados serviram para comparação com os resultados do pós teste.



Figura 40 – Alguns participantes realizando pré teste

Após a realização do pré-teste, em um segundo encontro, a fase seguinte foi a de treinamento para os participantes, na qual cada um recebeu uma explicação completa sobre o funcionamento geral da solução proposta. Foi explicado, por exemplo, como é possível iniciar a aplicação, selecionar os arquivos digitais correspondentes aos desenhos táteis impressos, por meio da leitura dos *QR Codes*, como é possível obter os *feedbacks* sonoros das áreas clicáveis e como é possível interromper as descrições caso fosse de seu interesse. Em seguida, cada participante teve a oportunidade de fazer uso da solução para se familiarizar com a utilização desta. Na fase de treinamento, os participantes foram instruídos a, sempre que possível, explorar primeiramente o elemento gráfico com a descrição geral do desenho tátil ("*play*" localizado no canto inferior direito), pois esse elemento pode conter informações bem relevantes e orientá-los melhor na tarefa de exploração tátil.

Eles foram instruídos a realizar todas as tarefas de exploração tátil e obter os *feedbacks* sonoros das variadas áreas clicáveis dos desenhos táteis utilizados, bem como interrompê-los quando desejado. Um questionário foi aplicado apenas como prévia sobre o tipo de perguntas/tarefas a serem solicitadas na fase de teste, para que o participante pudesse se familiarizar com o tipo de pergunta.

Após este momento de familiarização com a solução, foi dado início ao pós-teste da aplicação onde foi aplicado um questionário, para cada desenho tátil multimodal, seguindo os

mesmos passos que durante o pré teste, com o mesmo número de desenhos e recolhendo também o tempo gasto, acertos/erros para as tarefas, consultas ao desenho, etc., para fins de comparação com os resultados do pré teste. O desenhos utilizados nesta fase são de inspiração similar aos desenhos utilizados durante o pré teste, porém são diferentes.



Figura 41 – Participantes realizando pós teste

Fonte: Autor

Para cada desenho tátil foram feitas mais três perguntas, tanto no pré como no pós teste:

- Eu gostei de explorar o desenho tátil
- Consegui construir um modelo mental detalhado do desenho.
- Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho tátil.

Para cada pergunta foi dada uma classificação em uma escala *Likert* de cinco pontos, variando de de "discordo plenamente" a "concordo plenamente". Após a exposição aos desenhos táteis, tanto com legendas em braille quanto com o uso da aplicação, foi perguntado aos participantes qual dos dois formatos eles preferiam e por quê.

Logo em seguida ao momento de execução do pós teste foi aplicado um segundo questionário para avaliação da usabilidade da solução, com as opiniões dos participantes acerca do experimento, desenhos táteis, aplicação e uso da tecnologia. Todos os questionários podem ser vistos nos anexos deste trabalho. Para a usabilidade da ferramenta, as classificações serão dadas também em uma escala *Likert* de cinco pontos, de “discordo totalmente” a “concordo totalmente”.

O pesquisador conduziu pessoalmente os experimentos que foram filmados em vídeo, para auxiliar na análise dos resultados, registrando a exploração tátil dos desenhos e respostas verbais, a classificação das estratégias de exploração tátil, o tempo e a classificação das respostas. Após esta etapa foram feitas as análises, organização e discussão dos dados coletados.

8.4 Resultados

Nesta seção serão apresentados os resultados do experimento final descrito na seção anterior e logo em seguida será feita a discussão destes resultados. Como se tem ciência de que o resultado foi obtido por uma amostra pequena de usuários esses dados não são interpretados estatisticamente.

8.4.1 Preferência dos usuários

De acordo com as declarações "*Gostei de explorar o desenho*" é possível detectar qual forma de exploração tátil o participante mais se sentiu entusiasmado. A Figura 43 demonstra que os participantes foram mais propensos a responder "concordo plenamente" quando se utiliza os desenhos táteis multimodais com a aplicação T-TÁTIL (26 vezes) em relação aos desenhos táteis com legendas em braille (14 vezes). Acredita-se que esta preferência se dá pelo fato da aplicação fornecer mais dinamicidade na tarefa de exploração tátil, pois ao mesmo tempo que a pessoa com deficiência visual explora o desenho ele já pode ir recebendo um *feedback* em áudio com as descrições sobre o desenho/área explorada, ao contrário do que acontece com desenhos táteis com legendas em braille.

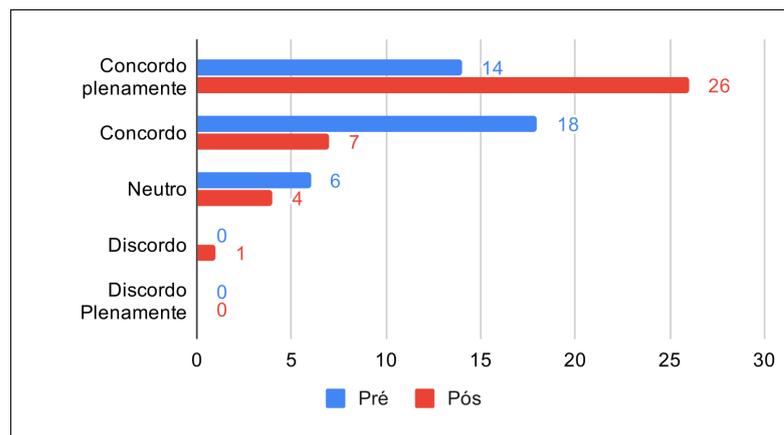


Figura 42 – Respostas para a pergunta "Gostei de explorar o desenho"

Fonte: Autor

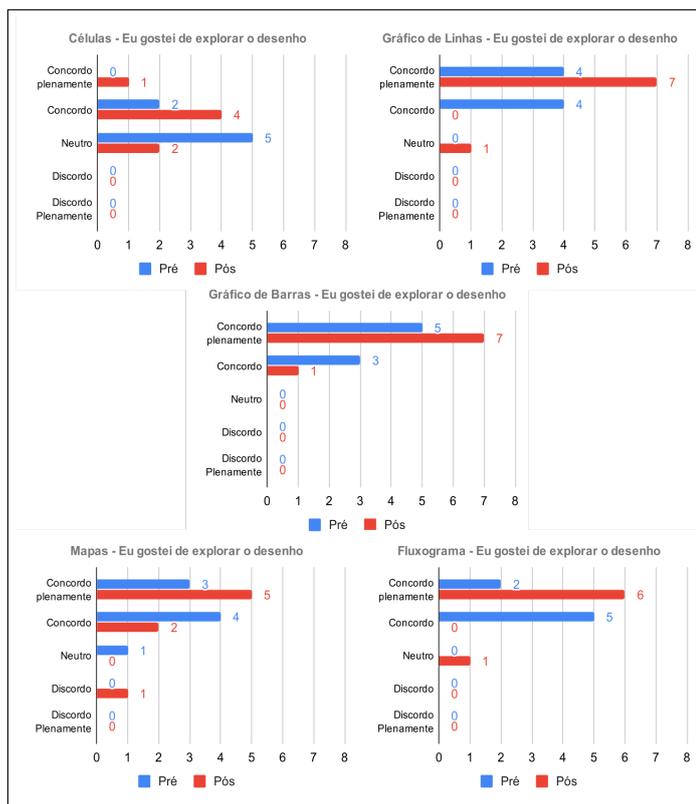


Figura 43 – Respostas para a pergunta "Gostei de explorar o desenho" por desenho

Fonte: Autor

8.4.2 Opinião sobre os desenhos táteis e sua compreensibilidade

A facilidade de entendimento foi medida com as classificações da declaração: *"Tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho"*. Os participantes foram mais propensos a concordar ou a concordar fortemente que era necessário mais esforço quando utilizando o desenho tátil com legendas em braille (14 vezes) em comparação com desenhos táteis multimodais com o T-TÁTIL (0 vezes). Acredita-se que este dado se observa pelo fato que, em desenhos táteis com legendas em braille a exploração acontecer em dois momentos distintos, um de exploração do desenho tátil e reconhecimento das legendas e depois a leitura das legendas e explicações sobre o desenho tátil, além do mais, esta alternância entre um e outro acaba gerando uma carga cognitiva maior para memorização do desenho e por conseguinte das informações nas legendas.

Os comentários dos participantes apoiaram esta descoberta:

"O aplicativo é bem mais fácil pois ao interagirmos com o desenho, já conseguimos as informações de maneira mais rápida, sem precisar sair do desenho e ler as legendas e depois retornar".

"Ler todas as legendas é cansativo quando são muitas ou muito grande. Com o áudio não desviamos a atenção do desenho tátil".

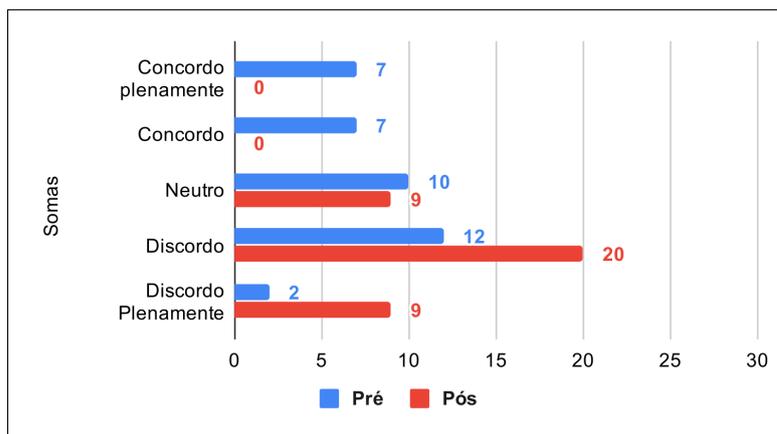


Figura 44 – Respostas para a pergunta "Tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho"

Fonte: Autor

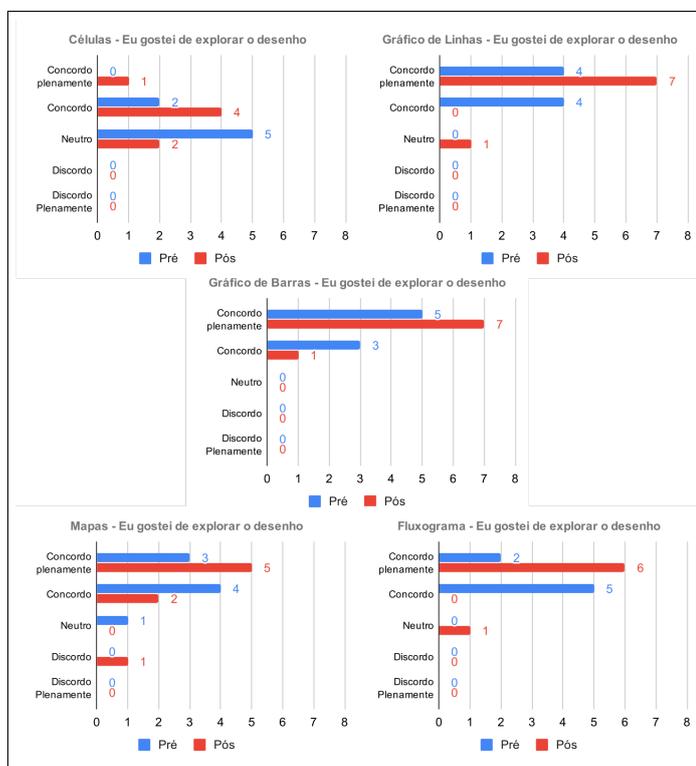


Figura 45 – Respostas para a pergunta "Tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho" por desenho

Fonte: Autor

Também ficou claro que os participantes gostaram de usar os desenhos táteis multimodais com o T-TÁTIL por conta de suas expressões, muitos sorrindo ou expressando satisfação quando utilizaram tal solução.

O tempo total gasto para realização das tarefas e respostas foi mensurado como uma medida de facilidade na compreensão. No entanto, isso foi altamente variável, de 3 a 50 min,

no pré teste, e de 3 a 27 min, para o pós teste. Além da facilidade de compreensão, é provável que o tempo total gasto também reflita outros fatores como fadiga, dificuldade na leitura braille, experiência com desenhos táteis. Alguns participantes também relataram gastar bastante tempo para ler as legendas em braille, por conta da pouca experiência e frequência na utilização de material em braille. Um dos participantes não conseguiu explorar o desenho tátil das células e do fluxograma por achar bastante complicado.

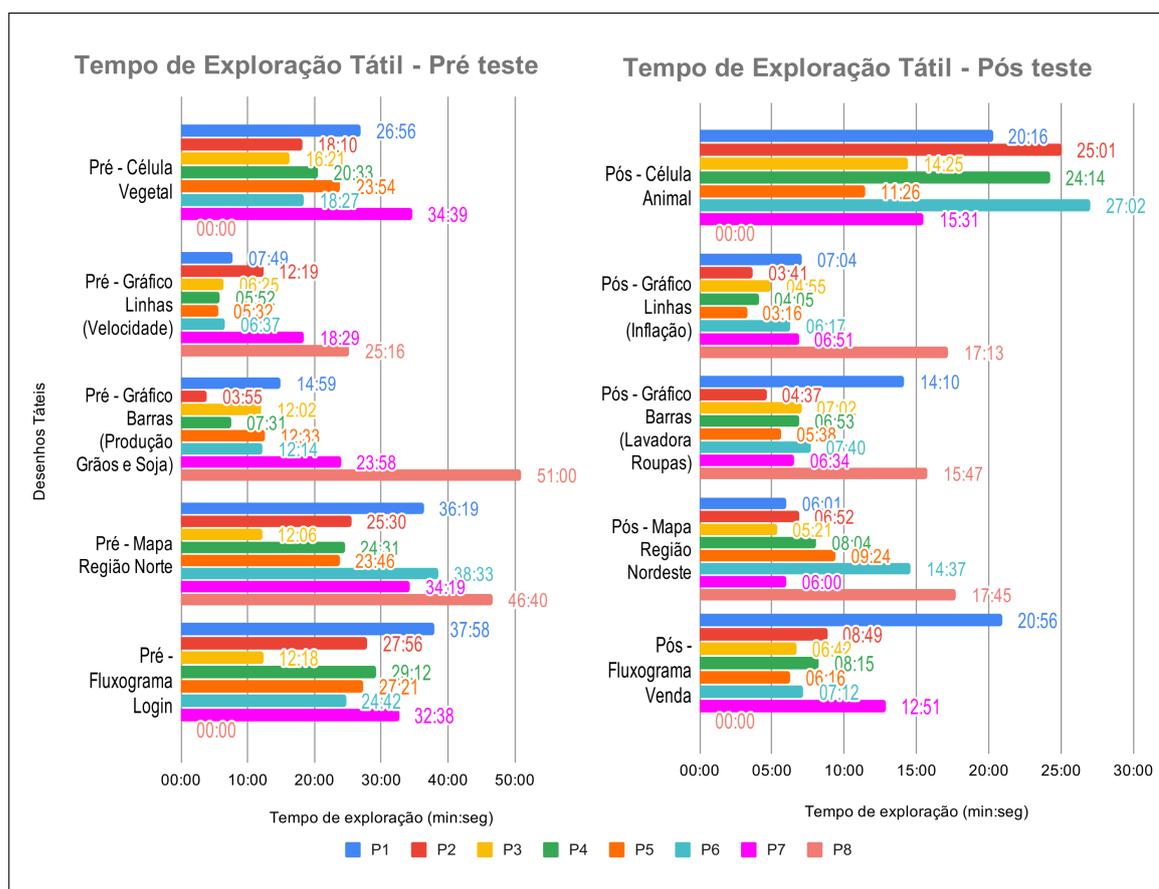


Figura 46 – Tempo de exploração no pré e pós teste

Fonte: Autor

Detalhadamente, desenho por desenho tátil, é possível verificar a relação de tempo gasto para a tarefa de exploração tátil de desenhos com legendas em braille e desenhos táteis multimodais. Na maioria dos desenhos utilizados, os participantes demoraram mais tempo para resolver as tarefas e questões com desenhos táteis com legendas em braille. Acredita-se que isso aconteceu por conta da tarefa de exploração em duas etapas, uma para exploração tátil e outra para leitura das legendas em braille.

Conforme mostrado na Figura 50, o uso das duas formas de exploração de desenhos táteis não apresentaram grandes diferenças no que diz respeito a acurácia das tarefas e respostas, sendo os participantes capazes de realizá-las em qualquer dos testes. Uma ligeira diferença pode ser observada na realização das tarefas e respostas corretas com o uso de desenhos táteis

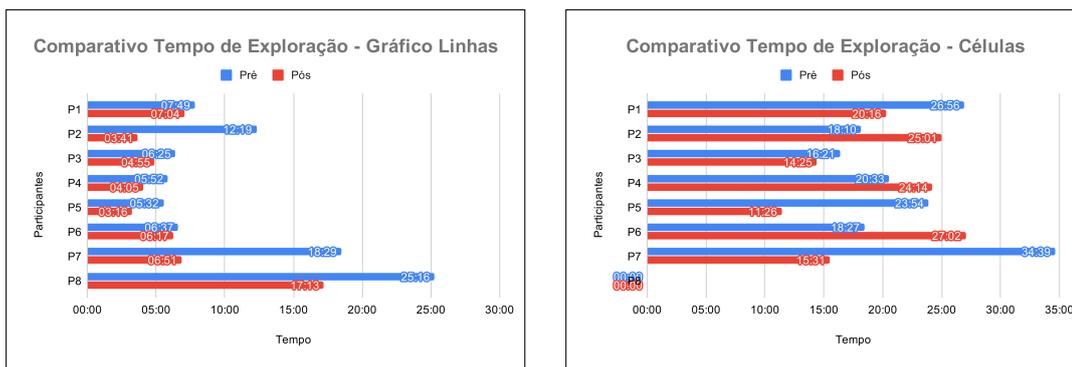


Figura 47 – Tempo de exploração gráfico de linhas (à esquerda) e Células (à direita)

Fonte: Autor

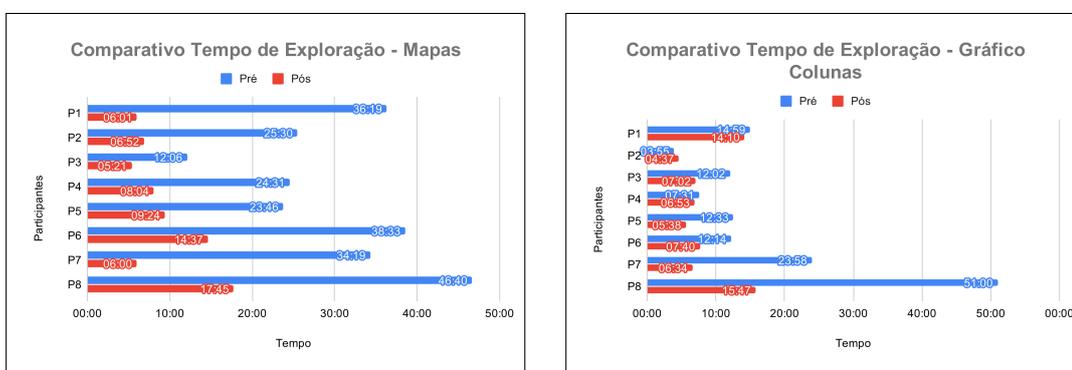


Figura 48 – Tempo de exploração mapas (à esquerda) e Gráfico colunas (à direita)

Fonte: Autor

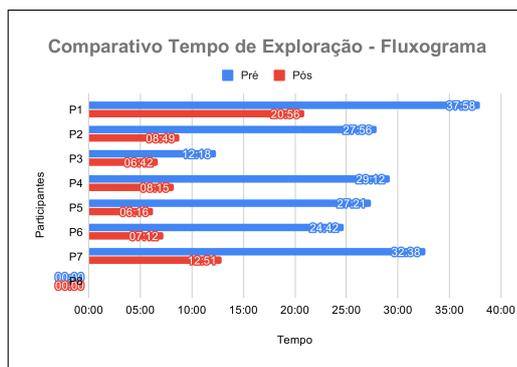


Figura 49 – Tempo de exploração Fluxograma

Fonte: Autor

multimodais com o T-TÁTIL de 96,49% de acurácia contra 95,61% para os desenhos táteis com legendas em braille.

Após a exploração de cada desenho, além da pergunta "Conseguí construir um modelo mental detalhado do desenho" foi solicitado ao participante que fizesse uma descrição de tudo que ele lembrava sobre o desenho, para testar se a resposta era condizente com a recuperação de memória dele. Dos oito participantes, a maioria efetuou uma descrição boa ou satisfatória

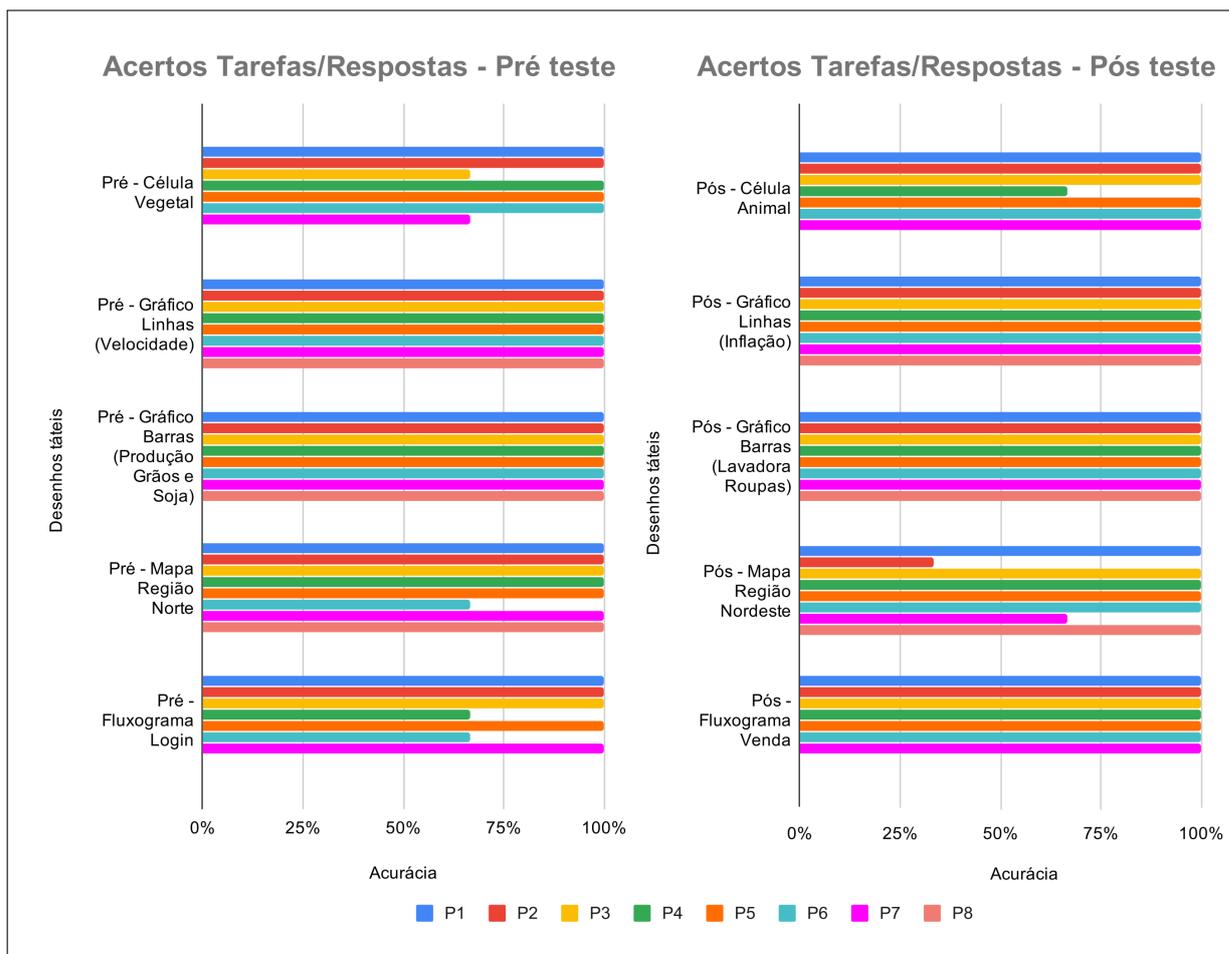


Figura 50 – Acertos para tarefas e respostas

Fonte: Autor

sobre o desenho, dois tiveram um pouco de dificuldade na memorização dos desenhos táteis das células e dos fluxogramas.

8.4.3 Opinião sobre o T-TÁTIL

Esta medida foi avaliada com as respostas dos participantes sobre qual tipo de exploração eles preferiram, sendo desenhos táteis com legendas em braille ou desenhos táteis multimodais com o T-TÁTIL.

Imediatamente após a realização do pré e pós teste, a maioria dos participantes relatou que os desenhos táteis multimodais com o T-TÁTIL eram preferidos por exigirem menos esforço para exploração dos desenhos táteis e que tornavam esta tarefa mais dinâmica. Dos participantes do estudo, seis favoreceram plenamente os desenhos táteis multimodais com o T-TÁTIL. Dois usuários em duas situações pontuais preferiram os desenhos táteis com legendas em braille e os desenhos táteis multimodais nas outras situações. Não houve tendência nas classificações da afirmação "Consegui construir um modelo mental detalhado do desenho", com a maioria dos entrevistados concordando com os dois formatos.

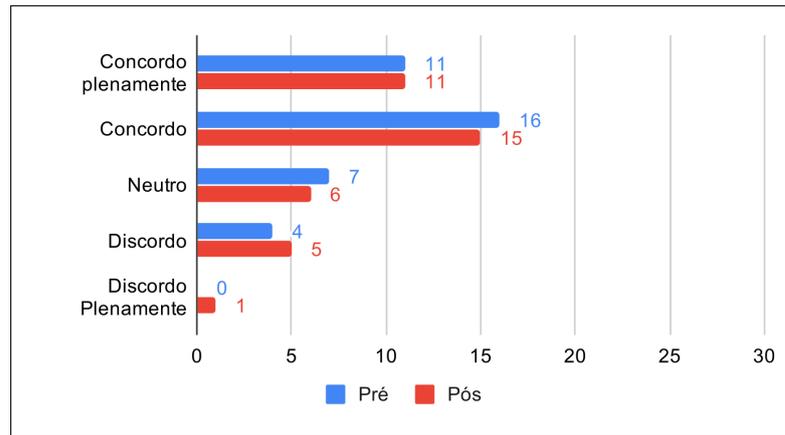


Figura 51 – Respostas para "Consegui montar um modelo mental detalhado do desenho"
 Fonte: Autor

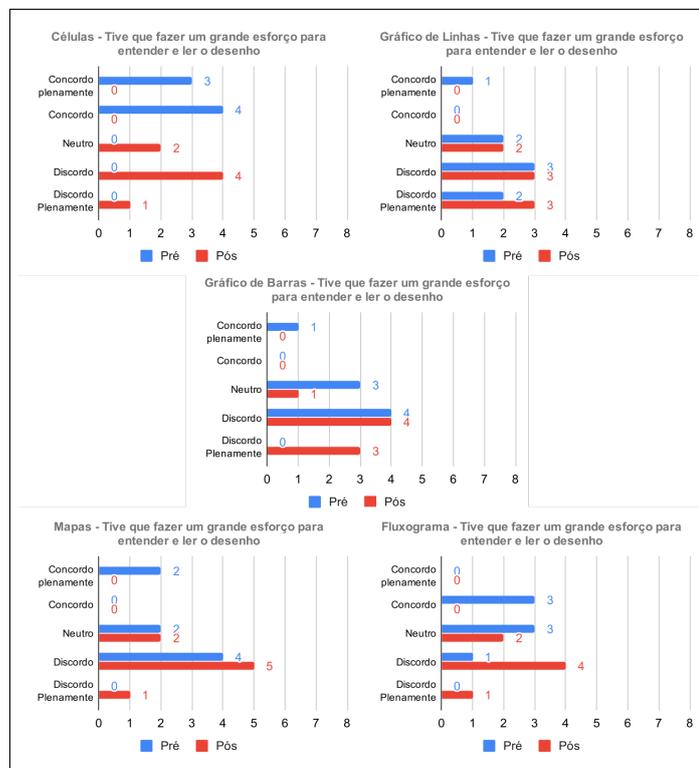


Figura 52 – Respostas para "Consegui montar um modelo mental detalhado do desenho" por desenho

Fonte: Autor

8.4.4 Oportunidades de melhorias verificadas

Alguns erro foram detectados, porém não sendo inerentes ao objeto de estudo. O *tablet* por vezes travava e era preciso reiniciar a aplicação e a tarefa de exploração tátil. Alguns participantes demonstraram certa dificuldade inicial no uso da aplicação e posicionamento do papel sobre o *tablet*, porém após certo tempo de adaptação a tarefa se tornou mais comum e fácil de ser executada. Todos os participantes levaram, em média, cerca de 2 minutos para iniciar a

aplicação, realizar a leitura do *QR Code* e posicionar o papel sobre a tela do dispositivo.

8.4.5 Leitura do *QR Code* e posicionamento do desenho tátil

As tarefas de escaneamento do *QR Code* e posicionamento do desenho tátil sobre a tela do dispositivo são momentos importantes para a utilização da solução (a execução destas tarefas podem ser observadas na Figura 54). A Figura 53 exibe um gráfico com a médias de tempo gasto para estas tarefas. Em média os participantes levaram 2min13s para realizá-las com sucesso.

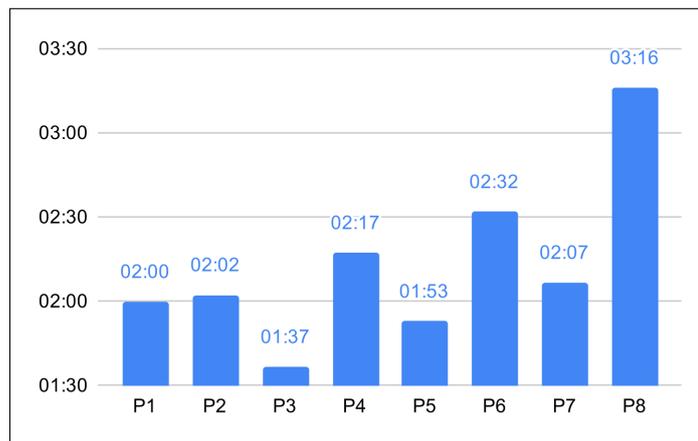


Figura 53 – Tempo médio para leitura do *QR Code* e posicionamento do desenho tátil

Percebeu-se que os participantes que declararam ter mais experiência no uso de dispositivos móveis (*tablets, smartphones, notebook*, etc) realizaram esta tarefa de maneira mais rápida que os que declararam ter pouca ou nenhuma experiência com este tipo de dispositivo.

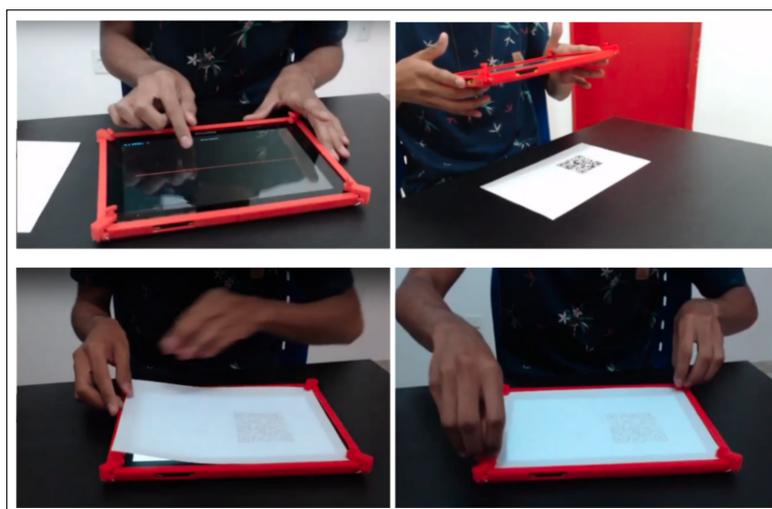


Figura 54 – Participante realizando leitura *QR Code* e posicionando desenho tátil sobre a tela do dispositivo

Fonte: Autor

8.4.6 Aplicação o questionário SUS (*System Usability Scale*)

Com o objetivo de avaliar a usabilidade do T-TÁTIL, foi aplicado um questionário baseado no SUS, para todos os participantes do estudo, logo após a utilização da solução.

O formulário elaborado para avaliação da usabilidade foi indicado por Martins *et al.* (2015), levando em consideração a tradução, adaptação cultural da versão em português do SUS, esta tradução da escala resultou em uma versão em português equivalente ao original em termos de semântica e conteúdo.

Os resultados da aplicação do questionário SUS podem ser acompanhados na Figura 55 na Tabela 2.

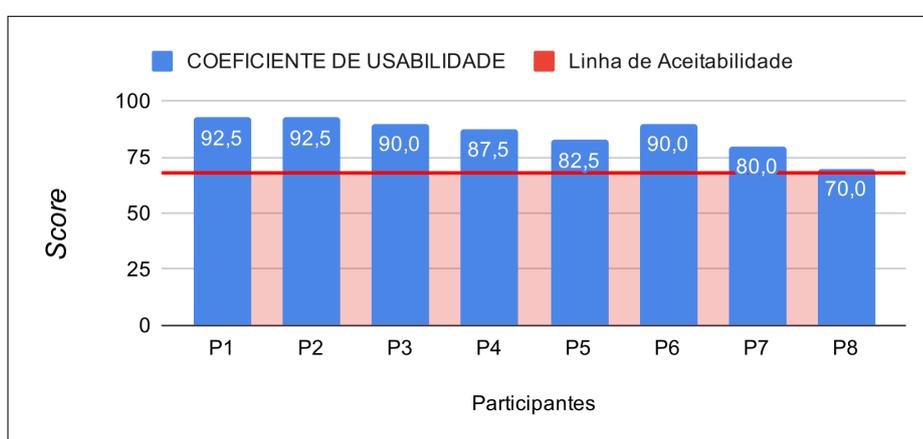


Figura 55 – Coeficiente de usabilidade, segundo SUS

Tabela 2 – Questionário SUS e respostas dos participantes

Perguntas	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.	5	5	5	4	4	4	4	5
2. Considerei o Produto mais complexo do que o necessário.	1	1	2	2	2	1	1	2
3. Achei o produto fácil de utilizar.	4	5	5	4	5	5	5	3
4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto	1	2	1	1	1	1	1	3
5. Considerei que as funcionalidades deste produto estavam bem integradas.	4	5	5	5	4	5	5	3
6. Achei que este produto tinha muitas inconsistências.	1	1	4	1	2	1	1	2
7. Suponho que a maioria das pessoas aprenderiam a utilizar rapidamente este produto.	4	4	5	5	3	5	5	5
8. Considerei o produto muito complicado de utilizar.	1	1	1	1	1	2	2	1
9. Senti-me muito confiante a utilizar este produto.	5	5	5	4	4	4	4	3
10. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto.	1	2	1	2	1	2	2	3
Valores Calculados (questões ímpares: score - 1; questões pares: - score + 5)								
1. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.	4	4	4	3	3	3	3	4
2. Considerei o Produto mais complexo do que o necessário.	4	4	3	3	3	4	4	3
3. Achei o produto fácil de utilizar.	3	4	4	3	4	4	4	2
4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto	4	3	4	4	4	4	4	2
5. Considerei que as funcionalidades deste produto estavam bem integradas.	3	4	4	4	3	4	4	2
6. Achei que este produto tinha muitas inconsistências.	4	4	1	4	3	4	4	3
7. Suponho que a maioria das pessoas aprenderiam a utilizar rapidamente este produto.	3	3	4	4	2	4	4	4
8. Considerei o produto muito complicado de utilizar.	4	4	4	4	4	3	3	4
9. Senti-me muito confiante a utilizar este produto.	4	4	4	3	3	3	3	2
10. Tive que aprender muito antes de conseguir lidar com este produto.	4	3	4	3	4	3	3	2
TOTAL	37	37	36	35	33	36	36	28
COEFICIENTE DE USABILIDADE (Total * 2,5)	92,5	92,5	90,0	87,5	82,5	90	90,0	70,0

Fonte: Autor

Considerando as classificações por adjetivos de Bangor *et al.* (2009), podemos verificar que o aplicativo em questão apresentou um alto grau de usabilidade e, portanto de satisfação, pois é possível observar que o valor do escore, para a maioria, os questionários de usabilidade aplicados, ficou com uma classificação de melhor imaginável (entre 86 e 100 pontos), dois com classificação como excelente (entre 74 a 85) e apenas um classificado como bom (entre 53 e 73,5).

Os resultados apurados pela avaliação dos atributos de qualidade apontados por Nielsen, identificadas no questionário SUS segundo Tenório *et al.* (2011), são extremamente relevantes para a melhoria do aplicativo avaliado. É possível aferir que, para todos os atributos de qualidade o resultado é satisfatório, alcançando uma média maior que 80% de cada pontuação total possível no questionário.

Assim, para cada componente de qualidade destacado, é possível extrair a pontuação relativa da avaliação de usabilidade, já com a escala calculada (entre 0 e 4), sendo:

- **Facilidade de aprendizagem:** média de 3,4 pontos, com um total resultando em 85,16% da escala total possível;
- **Eficiência:** média de 3,5 pontos, com um total resultando em 86,46% da escala total possível;
- **Facilidade de memorização:** média de 3,4 pontos, com um total resultando em 84,38% da escala total possível;
- **Minimização dos erros:** média de 3,3 pontos, com um total resultando em 81,25% da escala total possível;
- **Satisfação:** média de 3,5 pontos, com um total resultando em 86,46% da escala total possível.

8.5 Discussão

Esta pesquisa vai ao encontro de que os desenhos táteis representam grande importância para estudantes com deficiência visual, pois permite que eles acessem conteúdos gráficos, que são amplamente utilizados no processo de ensino e aprendizagem, e que facilitam a transmissão de informações. A falta de utilização deste tipo de recurso pode influenciar negativamente na formação escolar da pessoa com deficiência visual dificultando ainda mais a inclusão destes nos currículos escolares.

As tarefas de leitura do *QR Code*, pela aplicação, e posicionamento do desenho tátil sobre a tela do dispositivo levaram em média 2min13s (mínimo 1min14s e máximo 3min44s) para serem realizadas. Apesar de parecer um tempo longo para uma tarefa simples, cabe ressaltar

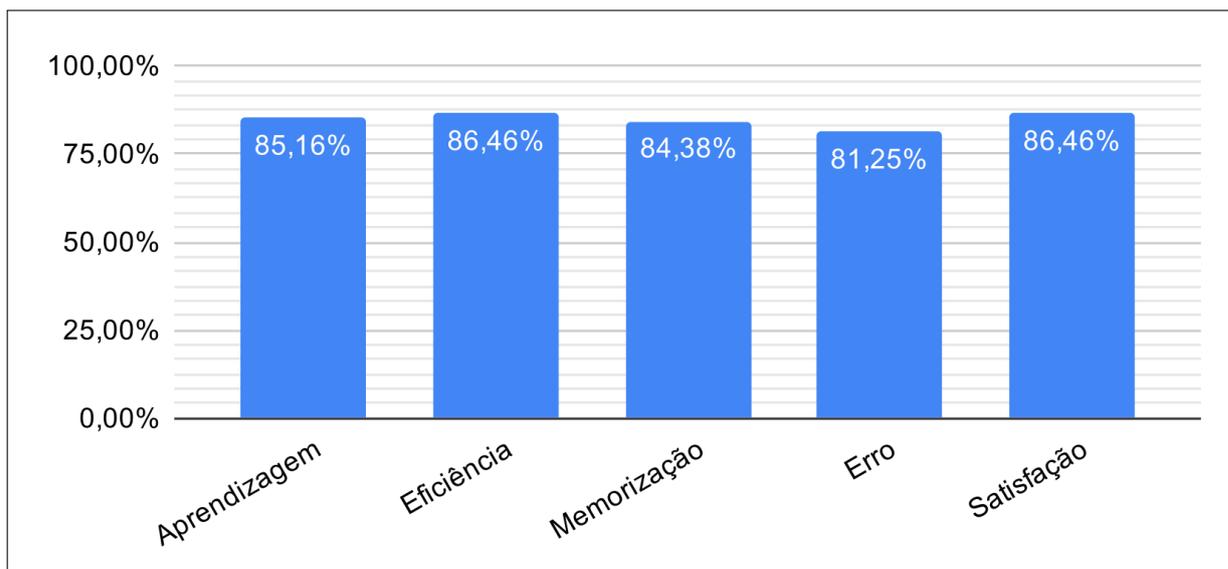


Figura 56 – Heurísticas de Nielsen detectadas na avaliação de usabilidade

Fonte: autor

que os participantes estavam utilizando a solução pela primeira vez, e mesmo tendo um momento de familiarização com o T-TÁTIL, estas tarefas necessitavam ser executada com cautela para não prejudicar a exploração tátil posterior. À medida que os participantes foram adquirindo mais experiência no uso da aplicação, a leitura do *QR Code* e posicionamento do desenho tátil eram realizados em menor tempo, demonstrando que pode ser facilmente aprendida e executada por qualquer usuário, mesmo aqueles que nunca haviam utilizado um *tablet*, como é o caso do participante P8.

Apesar de ter sido testada com um número reduzido de participantes, acredita-se que a solução proposta neste trabalho possa ajudar alunos com deficiência visual em todos os níveis de escolaridade e com diferentes níveis de habilidade em leitura braille e de desenhos táteis. Isso é apoiado pela heterogeneidade do perfil dos participantes, e aqueles que mesmo tendo quase nenhuma experiência em exploração de desenhos táteis conseguiram cumprir as tarefas e obter resultados satisfatórios, além de ter fornecido *feedback* positivo a respeito da solução.

O objetivo deste trabalho foi avaliar se um *tablet* pode auxiliar uma pessoa com deficiência visual na tarefa de exploração de desenhos táteis de maneira autônoma e estabelecer se as descrições sonoras somadas aos desenhos táteis impressos ajudam nesta tarefa. Alguns participantes informaram ter gostado do T-TÁTIL pois este agiliza a tarefa de exploração tátil, não sendo necessário interromper a exploração para ler as legendas, ou seja, as informações já estavam ali, bastando apenas o usuário realizar o gesto correspondentes que a descrição em áudio eram fornecidas, inclusive permitindo que, ao mesmo tempo, a exploração tátil podia continuar sendo realizada, sem interromper o *feedback* sonoro. Todos os participantes indicaram que o T-TÁTIL era útil, e citaram exemplos de como a aplicação pode ajudar na exploração de desenhos táteis, seja numa aula, numa avaliação ou até mesmo em momentos que precisassem

recorrer ao desenho tátil para lembrar um conteúdo.

8.6 Limitações do estudo

Geralmente, pesquisas com pessoas com deficiência visual envolvem um pequeno número de sujeitos. Conforme pode ser observado na RSL, totalmente descrita no apêndice A, o número de participantes nas pesquisas não é significativamente alto devido à dificuldade de encontrar grupos de pessoas com deficiência visual disponíveis para participar de estudos e pesquisas, ainda menos apresentando características homogêneas de deficiência, como citado em Goncu e Marriott (2011) e Petit *et al.* (2008). Geralmente, pesquisas envolvendo a participação de pessoas com deficiência visual abrange apenas um pequeno número de participantes. Isso ocorre pela dificuldade prática de reunir esse público, principalmente em virtude de eles serem um grupo minoritário na sociedade e também por conta de dificuldades de locomoção.

Para minimizar o efeito de aprendizado entre o pré e pós-teste aplicou-se desenhos táteis semelhantes com informações equivalentes. Por exemplo, no pré teste foi utilizado um desenho tátil de uma célula vegetal e no pós-teste foi utilizado um desenho tátil multimodal de uma célula animal. Outra medida tomada para minimizar o efeito aprendizado foi a aplicação do pré e pós-teste em momentos distintos com pelo menos dois dias de diferença entre um e outro.

9 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o uso de um *tablet* como recurso tecnológico de auxílio aos deficientes visuais na leitura de imagens táteis com a utilização de recursos multimodais (combinação de vários *feedback*). Para isto algumas etapas foram trabalhadas, até a avaliação final do objetivo geral e de objetivos específicos.

Inicialmente foi realizada uma revisão sistemática da literatura, a fim de elencar as principais tecnologias assistivas para auxiliar as pessoas com deficiência visual a acessar conteúdo gráfico. Esta RSL demonstrou que tecnologias estão sendo desenvolvidas e disponibilizadas para população, o que reporta a necessidade de que mais profissionais se apropriem destas tecnologias que pode impactar diretamente a autonomia de pessoas com deficiência visual, apesar de ao mesmo tempo, algumas oportunidades de pesquisa terem sido elencadas, como pode ser observado nas discussões da RSL, completamente descrita no Apêndice A deste trabalho e no trabalho de Zamprognio *et al.* (2019b).

De posse dos resultados da RSL e das oportunidades de pesquisa, partiu-se para o desenvolvimento de uma aplicação para avaliar se um *tablet* poderia auxiliar um aluno com deficiência visual a ler e interpretar desenhos táteis de maneira independente, ou seja, sem o apoio de uma pessoa vidente.

A atividade subsequente serviu para realizar o levantamento dos requisitos funcionais da aplicação, três estudos observacionais foram conduzidos para analisar as estratégias que as pessoas com deficiência visual utilizam para explorar o conteúdo gráfico impresso em relevo. Estes estudos foram conduzidos para atender ao objetivo específico de "*verificar de que forma a pessoa com deficiência visual lida com desenhos táteis no dia a dia, com ou sem auxílio de uma pessoa vidente, e tentar desenvolver uma melhor metodologia tecnológica para facilitar que esta atividade seja executada de forma autônoma e independente pela pessoa com deficiência visual*" e assim desenvolver uma solução que atenda às reais necessidades de uma pessoa com deficiência visual.

Como requisitos para uma solução ser naturalmente integrada na exploração de desenhos táteis, por pessoas com deficiência visual, sem exigir que eles alterem sua metodologia de trabalho, esta deve: (i) ser resiliente à interação com as duas mãos; (ii) fornecer informações gerais sobre o gráfico no início ou quando solicitado pelo usuário; e (iii) permitir que o usuário com deficiência visual solicite informações complementares no gráfico sem que as informações tornem o desenho impresso demasiadamente complexo para exploração.

Após estudar diferentes estratégias para a exploração de desenhos táteis adotados por pessoas com deficiência visual, foi proposto um aplicativo que utiliza o benefício de interações multimodais, para atender ao objetivo específico de "*desenvolver uma aplicação que permita leitura/execução de desenhos táteis com recursos multimodais para auxiliar deficientes visuais*

na leitura e interpretação de desenhos táteis".

Para seguir ao desenvolvimento da aplicação, um teste de viabilidade tecnológica foi realizado para testar se as interações com a tela sensível eram possíveis, mesmo com um desenho tátil impresso em papel braille ou microcapsulado (ambos mais comumente encontrados no Brasil) sobreposto à tela do dispositivo. Assim, este experimento atendeu ao objetivo específico de *verificar se o tablet pode auxiliar a pessoa com deficiência visual na leitura de desenhos táteis sobrepostos e produzidas nos mais diversos meios de impressão (Papel braille, papel microcapsulado, papel thermoform Brailon®), ou qualquer outro que venha a ser desenvolvido*. O resultado do experimento foi a confirmação de que era possível interagir com telas sensíveis ao toque mesmo com um desenho tátil sobreposto a ela.

A aplicação funciona de maneira que um desenho tátil impresso é sobreposto na tela do dispositivo. Durante a exploração tátil, o aplicativo fornece informações auditivas esclarecedoras sobre a área explorada pelo usuário, por meio da síntese vocal de texto contido no arquivo digital, em formato SVG, correspondente ao desenho tátil impresso. A finalidade é fornecer a assistência prestada por uma pessoa vidente, proporcionando total autonomia ao aluno com deficiência visual na leitura e interpretação de desenhos táteis. As interações foram implementadas para não impactar as estratégias de exploração tátil das pessoas com deficiência visual.

De posse do protótipo da aplicação foi realizado um estudo de caso com 3 participantes com deficiência visual, para avaliar a viabilidade da solução e, pela qual obtivemos resultados satisfatórios, alcançando o objetivo de propor uma solução, baseada em dispositivos móveis de baixo custo e ampla difusão na sociedade, que permite o auxílio na tarefa de leitura e interpretação de desenhos táteis por pessoas com deficiência visual, apesar da necessidade de melhorias e ajustes ter sido detectada.

Após implementação destas melhorias foi realizado um experimento controlado com 8 participantes com deficiência visual, com diferentes níveis de escolaridade, experiência em leitura braille, leitura de desenhos táteis e uso de dispositivos móveis. Assim tivemos um conjunto amostral bem heterogêneo que nos permitiu avaliar os resultados da maneira mais geral possível com base em necessidades do público com deficiência visual. Este estudo serviu para comparar a exploração de desenhos táteis com legendas em braille e desenhos táteis multimodais, com a aplicação desenvolvida, além de avaliar a usabilidade desta, por meio da aplicação de um questionário SUS (*System Usability Scale*).

O resultados demonstram que a aplicação permite que a tarefa de exploração tátil seja mais agradável, fácil e rápida com desenhos táteis multimodais, demonstrando um ganho de performance e de melhoria no entendimento do desenho tátil, além de demonstrar que a satisfação do usuário é maior ao utilizar a aplicação. Além de possuir excelente usabilidade, segundo os participantes, onde os índices de escala do SUS (*System Usability Scale*) para todos, ultrapassou o mínimo aceitável, com uma média de 85,625 (70 mínimo e 92,5 máximo).

Embora a avaliação realizada não tenha a relevância estatística que nos permita afirmar hoje que a ferramenta oferece uma autonomia completa da pessoa com deficiência visual na tarefa de leitura e interpretação de desenhos táteis, os elementos levantados, até aqui, neste trabalho mostram que foi dado um passo significado nesta direção.

Pretendemos, em versões futuras, permitir que (i) a aplicação possua portabilidade para outras plataformas e não apenas o *Android*, para a qual foi desenvolvida inicialmente; (ii) a aplicação tenha outros tipos de *feedback* sonoros (por exemplo, gravação das descrições por uma pessoa real, sons de determinados objetos ou animais, músicas, etc) utilizando gestos diversos para cada tipo de *feedback* em áudio; (iii) melhorar a questão de acoplamento do arquivo físico com o arquivo digital, seja com a melhoria no uso do *QR Code* ou outra forma que torne isso possível.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 9241: ergonomia da interação humano-sistema. Parte 11: orientações sobre usabilidade. Rio de Janeiro, 2002.
- BAKER, Catherine M. et al. Tactile Graphics with a Voice. **ACM Trans. Access. Comput.**, ACM, v. 8, n. 1, p. 1–22, jan 2016. ISSN 19367228. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2878808.2854005>.
- BANGOR, Aaron et al. Determining what individual SUS scores mean: adding an adjective rating scale. **J. Usability Stud.**, v. 4, n. 3, p. 114–123, 2009.
- BAU, Olivier et al. TeslaTouch: Electro vibration for Touch Surfaces. In: **Proc. 23rd Annu. ACM Symp. User interface Softw. Technol. - UIST '10**. New York, New York, USA: ACM Press, 2010. p. 283. ISBN 9781450302715. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1866029.1866074>.
- BENNETT, D J; EDWARDS, A D N. Exploration of non-seen diagrams. **Proc. 5th Int. Conf. Audit. Disp.**, p. 1–6, 1998. Disponível em: Proceedings/1998/BennettEdwards1998.pdf.
- BORNSCHEIN, Jens; BORNSCHEIN, Denise; WEBER, Gerhard. Blind Pictionary: Drawing Application for Blind Users. In: **Ext. Abstr. 2018 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI '18**. New York, New York, USA: ACM Press, 2018. (CHI EA '18), p. 1–4. ISBN 9781450356213. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3170427.3186487>.
- Braille Authority of North America; Canadian Braille Authority. Guidelines and Standards for Tactile Graphics. 2011. Disponível em: www.brailleauthority.org/tg.
- BRASIL. **CONSTITUIÇÃO DE 1988**. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1988, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_03/constituicao/constituicaocompilado.
- BRASIL. **LEI Nº 7.853, DE 24 DE OUTUBRO DE 1989**. 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_03/leis/l7853.
- BRASIL. **LEI Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996**. 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_03/LEIS/l9394.
- BRASIL. **Decreto Federal nº. 3.298, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1999**. 1999. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_03/decreto/d3298.
- BRASIL. **LEI Nº 13.146, DE 6 DE JULHO DE 2015**. 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil/_03/_ato2015-2018/2015/lei/l131.
- BRAYDA, Luca et al. Updated Tactile Feedback with a Pin Array Matrix Helps Blind People to Reduce Self-Location Errors. **Micromachines**, MDPI AG, Basel, v. 9, n. 7, p. 351, jul 2018. ISSN 2072-666X. Disponível em: <http://search.proquest.com/docview/2125096205>.
- BROCK, Anke; JOUFFRAIS, Christophe. Interactive audio-tactile maps for visually impaired people. **ACM SIGACCESS Access. Comput.**, ACM, n. 113, p. 3–12, nov 2015. ISSN 15582337. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2850440.2850441>.

- BROCK, Anke et al. Kin'touch: Understanding How Visually Impaired People Explore Tactile Maps. In: **Proc. 2012 ACM Annu. Conf. Ext. Abstr. Hum. Factors Comput. Syst. Ext. Abstr. - CHI EA '12**. New York, New York, USA: ACM Press, 2012. (CHI EA '12), p. 2471. ISBN 9781450310161. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2212776.2223821>>.
- BROOKE, J. SUS: a quick and dirty usability scale. **Usability Eval. Ind.**, v. 189, n. 194, p. 4–7, 1996.
- BROWN, Craig; HURST, Amy. VizTouch: Automatically Generated Tactile Visualizations of Coordinate Spaces. In: **Proc. Sixth Int. Conf. Tangible, Embed. Embodied Interact. - TEI '12**. New York, New York, USA: ACM Press, 2012. v. 1, n. 212, p. 131. ISBN 9781450311748. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2148131.2148160>>.
- CAMARGO, Liriane Soares de Araújo; FAZANI, Alex Jose. Explorando o Design Participativo como Prática de Desenvolvimento de Sistemas de Informação. **InCID Rev. Ciência da Informação e Doc.**, v. 5, n. 1, p. 138, mar 2014. ISSN 2178-2075. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/incid/article/view/64103>>.
- CAMPION, Gianni; WANG, Qi; HAYWARD, Vincent. The Pantograph Mk-II : A Haptic Instrument. **Proc. IROS 2005, IEEE/RSJIEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.**, p. 723–728, 2005.
- CARVALHO, Edilson Alves De; ARAÚJO, Paulo César de. **Leituras Cartográficas e Interpretações Estatísticas I**. 2. ed. Natal - RN: [s.n.], 2011. 310 p. ISBN 9788572738897.
- CHEW, Yee Chieh; TOMLINSON, Brianna J; WALKER, Bruce N. **Graph and Number line Input and Exploration (GNIE) Tool Technical Report**. Georgia, 2013. 7 p.
- COHEN, Robert F et al. PLUMB: Displaying Graphs to the Blind Using an Active Auditory Interface. In: **Proc. 7th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - Assets '05**. New York, New York, USA: ACM Press, 2005. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1090785.1090820>>.
- COMISSÃO PRÓPRIA DE AVALIAÇÃO, CPA UFPA. **Relatório de Auto Avaliação Institucional - Ano Base 2017**. Belém, 2018.
- COSTA, Laisa C.P. et al. Accessible educational digital book on tablets for people with visual impairment. **IEEE Trans. Consum. Electron.**, v. 61, n. 3, p. 271–278, aug 2015. ISSN 0098-3063. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7298085/>>.
- DEMIR, Seniz et al. Interactive SIGHT: textual access to simple bar charts. **New Rev. Hypermedia Multimed.**, v. 16, n. 3, p. 245–279, dec 2010. ISSN 1361-4568. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13614568.2010.534186>>.
- DUARTE, Thiago Ribeiro; BARBOSA, Paula Márcia. ADAPTAÇÃO DE LIVROS DIDÁTICOS E PARADIDÁTICOS :. **12º Congr. Nac. Educ.**, 2015. ISSN 2176-1396. Disponível em: <http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/17781{_}8074.>
- EBINA, T et al. Graph access system for the visually impaired. In: **Proceedings. 3rd Asia Pacific Comput. Hum. Interact. (Cat. No.98EX110)**. IEEE Comput. Soc, 1998. p. 254–259. ISBN 0-8186-8347-3. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/704328/>>.
- EDMAN, Polly. **Tactile graphics**. New York, NY, USA: American Foundation for the Blind, 1992. ISBN 0891281940.

FERRES, Leo et al. Evaluating a Tool for Improving Accessibility to Charts and Graphs. **ACM Trans. Comput. Interact.**, v. 20, n. 5, p. 1–32, nov 2013. ISSN 10730516. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2533682.2533683>.

FERRES, Leo et al. Improving accessibility to statistical graphs. In: **Proc. 9th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - Assets '07**. New York, New York, USA: ACM Press, 2007. (Assets '07), p. 67. ISBN 9781595935731. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1296843.1296857>.

FILARDI, Ana Lúcia; TRAINA, Agma Juci Machado. Montando questionários para medir a satisfação do usuário : Avaliação de interface de um sistema que utiliza técnicas de recuperação de imagens por conteúdo. **Proc. 8th Simpósio Sobre Fatores Humanos em Sist. Comput. (IHC 2008)**, 2008.

FITZPATRICK, Donal; GODFREY, A Jonathan R; SORGE, Volker. Producing Accessible Statistics Diagrams in R. In: **Proc. 14th Web All Conf. Futur. Access. Work - W4A '17**. New York, New York, USA: ACM Press, 2017. (W4A '17), p. 1–4. ISBN 9781450349000. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3058555.3058564>.

FUSCO, Giovanni; MORASH, Valerie S. The Tactile Graphics Helper: Providing Audio Clarification for Tactile Graphics Using Machine Vision. In: **Proc. 17th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '15**. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. (ASSETS '15), p. 97–106. ISBN 9781450334006. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2700648.2809868>.

GARDNER, John A.; BULATOV, Vladimir. Scientific Diagrams Made Easy with IVEOTM. In: **ICCHP - Int. Conf. Comput. Help. People with Spec. Needs**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. p. 1243–1250. ISBN 978-3-540-36021-6. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/11788713{_}.

GIUDICE, Nicholas A et al. Learning non-visual graphical information using a touch-based vibro-audio interface. In: **Proc. 14th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '12**. New York, New York, USA: ACM Press, 2012. (ASSETS '12), p. 103. ISBN 9781450313216. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2384916.2384935>.

GONCU, Cagatay. Generation of accessible diagrams by semantics preserving adaptation. **ACM SIGACCESS Access. Comput.**, ACM, n. 93, p. 49–74, jan 2009. ISSN 15582337. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1531930.1531938>.

GONCU, Cagatay; MARRIOTT, Kim. Tactile Chart Generation Tool. In: **Proc. 10th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access.** New York, NY, USA: ACM, 2008. (Assets '08), p. 255–256. ISBN 978-1-59593-976-0. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1414471.1414525>.

GONCU, Cagatay; MARRIOTT, Kim. GraVVITAS: Generic multi-touch presentation of accessible graphics. **Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)**, v. 6946 LNCS, n. PART 1, p. 30–48, 2011. ISSN 03029743.

GONCU, Cagatay; MARRIOTT, Kim. Accessible graphics: Graphics for vision impaired people. In: COX, Philip; PLIMMER, Beryl; RODGERS, Peter (Ed.). **Diagrammatic Representation and Inference**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 6–6. ISBN 978-3-642-31223-6.

- GONCU, Cagatay; MARRIOTT, Kim. Creating eBooks with Accessible Graphics Content. In: **Proc. 2015 ACM Symp. Doc. Eng. - DocEng '15**. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. (DocEng '15), p. 89–92. ISBN 9781450333078. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2682571.2797076>>.
- GONCU, Cagatay; MARRIOTT, Kim. GraCALC: An Accessible Graphing Calculator. In: **Proc. 17th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '15**. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. (ASSETS '15), p. 311–312. ISBN 9781450334006. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2700648.2811353>>.
- GONCU, Cagatay; MARRIOTT, Kim; HURST, John. Usability of Accessible Bar Charts. In: **Proc. 6th Int. Conf. Diagrammatic Represent. Inference**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. (Diagrams'10), p. 167–181. ISBN 3-642-14599-X, 978-3-642-14599-5. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1884734.1884758>>.
- GÖTZELMANN, Timmo. Visually Augmented Audio-Tactile Graphics for Visually Impaired People. **ACM Trans. Access. Comput.**, ASSOC COMPUTING MACHINERY, v. 11, n. 2, p. 1–31, jun 2018. ISSN 19367228. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doi=3229065.3186894>>.
- GÖTZELMANN, Timmo; WINKLER, Klaus. SmartTactMaps: A Smartphone-Based Approach to Support Blind Persons in Exploring Tactile Maps. In: **Proc. 8th ACM Int. Conf. Pervasive Technol. Relat. to Assist. Environ. - PETRA '15**. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. p. 1–8. ISBN 9781450334525. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doi=2769493.2769497>>.
- HE, Liang et al. TacTILE: A Toolchain for Creating Accessible Graphics with 3D-Printed Overlays and Auditory Annotations. In: **Proc. 19th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '17**. New York, New York, USA: ACM Press, 2017. p. 397–398. ISBN 9781450349260. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3132525.3134818>>.
- HOLLOWAY, Leona; MARRIOTT, Kim; BUTLER, Matthew. Accessible Maps for the Blind. In: **Proc. 2018 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI '18**. New York, New York, USA: ACM Press, 2018. (CHI '18), p. 1–13. ISBN 9781450356206. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3173574.3173772>>.
- HRIBAR, Victoria E.; DEAL, Laura G.; PAWLUK, Dianne T.V. Displaying braille and graphics with a "tactile mouse". In: **Proceedings of the 14th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**. New York, NY, USA: ACM, 2012. (ASSETS '12), p. 251–252. ISBN 978-1-4503-1321-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2384916.2384978>>.
- HU, Michele. Exploring New Paradigms for Accessible 3D Printed Graphs. In: **Proc. 17th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '15**. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. p. 365–366. ISBN 9781450334006. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doi=2700648.2811330>>.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Pesquisa nacional de saúde : 2013 : ciclos de vida : Brasil e grandes regiões**. Rio de Janeiro, 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA, INEP. **Sinopses Estatísticas da educação básica e superior 2017**. [S.l.], 2018. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/sinopses-estat{í}>>.

- JAYANT, Chandrika et al. Automated tactile graphics translation. In: **Proc. 9th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - Assets '07**. New York, New York, USA: ACM Press, 2007. (Assets '07), p. 75. ISBN 9781595935731. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/1296843.1296858>.
- KANE, Shaun K; FREY, Brian; WOBROCK, Jacob O. Access lens: A Gesture-Based Screen Reader for Real-World Documents. In: **Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI '13**. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. (CHI '13), p. 347. ISBN 9781450318990. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2470654.2470704>.
- KANE, Shaun K; MORRIS, Meredith Ringel; WOBROCK, Jacob O. Touchplates: Low-Cost Tactile Overlays for Visually Impaired. In: **Proc. 15th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '13**. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. p. 1–8. ISBN 9781450324052. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2513383.2513442>.
- KITCHENHAM, Barbara; CHARTERS, Stuart. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering Version 2.3**. Keele, UK, 2007. v. 2007-01, 65 p.
- KRUFKA, Stephen E.; BARNER, Kenneth E. Automatic production of tactile graphics from scalable vector graphics. In: **Proc. 7th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - Assets '05**. New York, New York, USA: ACM Press, 2005. p. 166. ISBN 1595931597. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1090785.1090816>.
- LANDAU, Steven et al. Demonstration of a universally accessible audio-haptic transit map built on a digital pen-based platform. **3rd Int. Haptic Audit. Interact. Des. Work. - ACM HAID**, v. 2, p. 23–24, 2008. Disponível em: <http://www.auditorysigns.com/haid2008/haid2008vol2.pdf{\#}page>.
- LANDAU, Steven; GOURGEY, Karen. Development of a Talking Tactile Tablet. **Inf. Technol. Disabil. J.**, v. 2, p. 7, 2001. Disponível em: <http://itd.athenapro.org/volume7/number2/tablet.html>.
- LANDAU, Steven; RUSSELL, Michael; ERIN, Jane N. Using the Talking Tactile Tablet as a Testing Accommodation. **Rev. Rehabil. Educ. Blind. Vis. Impair.**, Heldref Publications, v. 38, n. 1, p. 7–21, 2007. ISSN 0899-1510.
- LANDAU, Steven et al. Use of the talking tactile tablet in Mathematics testing. **J. Vis. Impair. Blind.**, v. 97, n. 2, p. 85–96, 2003. ISSN ISSN-0145-482X. Disponível em: http://www.afb.org/jvib/jvib{_}main.>
- LECHETA, Ricardo R. **Google Android: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK**. 4ª. ed. São Paulo: Novatc, 2015. ISBN 9788575224403.
- LEO, Fabrizio et al. Tactile Symbol Discrimination on a Small Pin-array Display. In: **Proc. 2018 Work. Multimed. Access. Hum. Comput. Interface - MAHCI'18**. New York, New York, USA: ACM Press, 2018. p. 9–15. ISBN 9781450359801. ISSN 03470520. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doi=3264856.3264858>.
- MANSHAD, Muhanad S.; MANSHAD, Ahmad S. Multimodal vision glove for touchscreens. In: **Proc. 10th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - Assets '08**. New York, New York, USA: ACM Press, 2008. p. 251. ISBN 9781595939760. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doi=1414471.1414523>.

MARTINS, Ana Isabel et al. European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS). **Procedia Comput. Sci.**, Elsevier Masson SAS, v. 67, n. Dsai, p. 293–300, 2015. ISSN 18770509. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.273>>.

MASSIE, Thomas H; SALISBURY, J Kenneth. The PHANToM Haptic Interface : A Device for Probing Virtual Objects 3 . Three Enabling Observations 4 . Three Necessary Criteria for an Effective Interface. **ASME Dyn. Syst. Control**, v. 1, 1994.

MAUCHER, Thorsten; SCHEMMEL, Johannes; MEIER, Karlheinz. The Heidelberg Tactile Vision Substitution System. **Int. Conf. Comput. Help. People with Spec. Needs**, n. July, 2000.

MCGOOKIN, David K; BREWSTER, Stephen a. MultiVis: Improving Access to Visualisations for Visually Impaired People. In: **CHI '06 Ext. Abstr. Hum. factors Comput. Syst. - CHI EA '06**. New York, New York, USA: ACM Press, 2006. v. 2, p. 267. ISBN 1595932984. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1125451.1125509>>.

MERLIN, Bruno. Intnovate a toolkit to ease the implementation of every interaction paradigm on every device. In: KUROSU, Masaaki (Ed.). **Human-Computer Interaction. Theories, Methods, and Tools**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 331–339. ISBN 978-3-319-07233-3.

NAMDEV, Rahul K.; MAES, Pattie. An interactive and intuitive stem accessibility system for the blind and visually impaired. In: **Proc. 8th ACM Int. Conf. PErvasive Technol. Relat. to Assist. Environ. - PETRA '15**. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. p. 1–7. ISBN 9781450334525. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2769493.2769502>>.

NIELSEN, Jakob. **Usability 101: Introduction to Usability**. 2012. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>>.

PADILHA, Maíra Vasconcelos da Silva. **12º Congresso Nac. Educ.**, 2015. Disponível em: <http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/19678{_}8583.>

PETIT, Grégory et al. Refreshable tactile graphics applied to schoolbook illustrations for students with visual impairment. In: **Proc. 10th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - Assets '08**. New York, New York, USA: ACM Press, 2008. (Assets '08), p. 89. ISBN 9781595939760. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1414471.1414489>>.

POPPINGA, Benjamin et al. TouchOver map: Audio-Tactile Exploration of Interactive Maps. In: **Proc. 13th Int. Conf. Hum. Comput. Interact. with Mob. Devices Serv. - MobileHCI '11**. New York, New York, USA: ACM Press, 2011. p. 545. ISBN 9781450305419. ISSN 0171-8630. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2037373.2037458>>.

PUPO, Deise Tallarico; MELO, Amanda Meincke; FERRÉS, Sofia Pérez. **Acessibilidade: Discurso e Prática no Cotidiano das Bibliotecas**. Campinas - SP: UNICAMP/Biblioteca, 2006. ISBN 85-85783-16-8 , 978-85-85783-16-7.

RAJA, Monoj Kumar. **The development and validation of a new smartphone based non-visual spatial interface for learning indoor layouts**. 140 p. Tese (Doutorado) — Anna University, 2012. Disponível em: <<https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/2543>>.

REICHINGER, Andreas et al. Pictures in Your Mind: Using Interactive Gesture-Controlled Reliefs to Explore Art. **ACM Trans. Access. Comput.**, ACM, New York, NY, USA, v. 11, n. 1, p. 1–39, mar 2018. ISSN 19367228. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3155286>>.

SHEN, Huiying et al. CamIO: a 3D Computer Vision System Enabling Audio/Haptic Interaction with Physical Objects by Blind Users. In: **Proc. 15th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '13**. New York, New York, USA: ACM Press, 2013. p. 1–2. ISBN 9781450324052. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2513383.2513423>.

SHI, Lei et al. Ticklers and Talker: An Accessible Labeling Toolkit for 3D Printed Models. In: **Proc. 2016 CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI '16**. New York, New York, USA: ACM Press, 2016. (CHI '16), p. 4896–4907. ISBN 9781450333627. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2858036.2858507>.

SILVA, Chirley Cristiane Mineiro da; TURATTO, Jaqueline; MACHADO, Lizete Helena. Os Deficientes Visuais E O Acesso À Informação. **Rev. ACB Bibliotecon. em St. Catarina**, v. 7, n. 1, p. 9–19, 2002. Disponível em: <http://revista.acbsc.org.br/racb/article/view/368/438>.

SUZUKI, Ryo et al. FluxMarker: Enhancing Tactile Graphics with Dynamic Tactile Markers. In: **Proc. 19th Int. ACM SIGACCESS Conf. Comput. Access. - ASSETS '17**. New York, New York, USA: ACM Press, 2017. (ASSETS '17), p. 190–199. ISBN 9781450349260. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/3132525.3132548>.

TAKAGI, Noboru et al. Consideration of the experience of a blind user using a tactile graphics editor available for blind people. In: IEEE. **2016 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern.** IEEE, 2016. (IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics Conference Proceedings), p. 000679–000684. ISBN 978-1-5090-1897-0. ISSN 1062-922X. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7844319>.

TENÓRIO, Josceli Maria et al. Desenvolvimento e Avaliação de um Protocolo Eletrônico para Atendimento e Monitoramento do Paciente com Doença Celíaca. **Rev. Informática Teórica e Apl.**, v. 17, n. 2, p. 210, mar 2011. ISSN 21752745. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/rita/article/view/rita{_}v17{_}n.

TOMLINSON, Brianna J. et al. Exploring Auditory Graphing Software in the Classroom. **ACM Trans. Access. Comput.**, v. 9, n. 1, p. 1–27, Nov 2016. ISSN 19367228. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3011862.2994606>.

VIDAL VERDÚ, Fernando; HAFEZ, Moustapha. Graphical Tactile Displays for Visually-Impaired People. **IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.**, v. 15, n. 1, p. 119–130, mar 2007. ISSN 1534-4320. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4126548>.

VILLAMOR, Craig; WILLIS, Dan; WROBLEWSKI, Luke. **Touch Gesture**. [S.l.], 2010. 7 p. Disponível em: <http://www.lukew.com/touch/>.

WALL, Steven A; BREWSTER, Stephen. Sensory substitution using tactile pin arrays: Human factors, technology and applications. **Signal Processing**, Elsevier North-Holland, Inc., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 86, n. 12, p. 3674–3695, dec 2006. ISSN 01651684. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2006.02.048>.

WALL, Steven a; BREWSTER, Stephen a. Tac-tiles: Multimodal Pie Charts for Visually Impaired Users. In: **Proc. 4th Nord. Conf. Human-computer Interact. Chang. roles - Nord. '06**. New York, New York, USA: ACM Press, 2006. v. 1, n. October, p. 9–18. ISBN 1595933255. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1182475.1182477>.

WANG, Qi; HAYWARD, Vincent. Compact, Portable, Modular, High-performance, Distributed Tactile Transducer Device Based on Lateral Skin Deformation. In: **2006 14th Symp. Haptic Interfaces Virtual Environ. Teleoperator Syst.** Arlington, VA: IEEE, 2006. p. 67–72. ISBN 1-4244-0226-3. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1627091/>>.

WAY, T.P.; BARNER, K.E. Automatic visual to tactile translation. II. Evaluation of the TACTile image creation system. **IEEE Trans. Rehabil. Eng.**, v. 5, n. 1, p. 95–105, mar 1997. ISSN 10636528. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/559354/>>.

WHITE, S.; JI, H.; BIGHAM, J. P. Easysnap: Real-time audio feedback for blind photography. In: **Adjun. Proc. 23rd Annu. ACM Symp. User Interface Softw. Technol. UIST '10.** New York: [s.n.], 2010. p. 409–410.

YU, W.; BREWSTER, S. Multimodal virtual reality versus printed medium in visualization for blind people. In: **Annu. ACM Conf. Assist. Technol. Proc.** [S.l.: s.n.], 2002. p. 57–64.

ZAMPROGNO, Leonardo et al. T-tatil: Mobile application for helping visually impaired people in reading and interpreting tactile drawings. In: **Proceedings of the 18th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems.** New York, NY, USA: ACM, 2019. (IHC '19), p. 48:1–48:9. ISBN 978-1-4503-6971-8. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3357155.3358435>>.

ZAMPROGNO, Leonardo et al. Tecnologias assistivas para auxiliar deficientes visuais na criação e leitura de conteúdos gráficos: uma revisão sistemática da literatura. In: **Anais do XXVII Workshop sobre Educação em Computação.** Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 266–275. ISSN 2595-6175. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wei/article/view/6635>>.

ZEBEHAZY, Kim T; WILTON, Adam P. Straight from the Source: Perceptions of Students with Visual Impairments about Graphic Use. **J. Vis. Impair. Blind.**, American Foundation for the Blind. 11 Penn Plaza Suite 300, New York, NY 10001. Tel: 800-232-5463; Tel: 212-502-7600; e-mail: afbinfo@afb.net; Web site: <http://www.afb.org/store>, v. 108, n. 4, p. 275–286, 2014. ISSN 0145-482X.

ZHONG, Y. et al. Real time object scanning using a mobile phone and cloud-based visual search engine. In: **Proc. 33rd Annu. ACM Conf. Hum. Factors Comput. Syst. CHI '15.** New York: ACM, 2015. p. 2353–2362.

DIX, Alan et al. **Human–Computer Interaction.** 3^a. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2004. ISBN 9781315220666.

Johnson, E. A. Touch display—a novel input/output device for computers. **Electronics Letters**, v. 1, n. 8, p. 219–220, October 1966. ISSN 0013-5194.

Johnson, E. A. Touch displays: A programmed man-machine interface, ergonomics. **The Human Operator in Complex Systems**, v. 10, p. 271–277, 1967.

PADILHA, Adelmo Vieira. **Usabilidade na Web: uma Proposta de Questionário para avaliação do grau de satisfação de Usuários do comércio eletrônico.** Florianópolis: [s.n.], 2004. 104 p.

PADRINI-ANDRADE, Lucio et al. Avaliação da usabilidade de um sistema de informação em saúde neonatal segundo a percepção do usuário. **Revista paulista de pediatria**, v. 37, n. 1, p. 90–96, jan 2018. ISSN 1984-0462.

PREECE, Jennifer; ROGERS, Yvonne; SHARP, Helen. **Design de Interação: além da interação homem-computador**. [S.l.]: Bookman, 2005.

Apêndices

APÊNDICE A – RSL TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

TECNOLOGIAS ASSISTIVAS PARA AUXILIAR DEFICIENTES VISUAIS NA LEITURA DE DESENHOS TÁTEIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

O referencial acerca das tecnologias assistivas foi desenvolvido por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com a finalidade de identificar as principais estratégias para auxiliar alunos com deficiência visual na leitura e interpretação de conteúdos gráficos, assim como também de investigar a eficácia da aplicação de tais tecnologias. A RSL foi realizada entre os meses de dezembro de 2017 e março de 2018, com uma atualização efetuada nos meses de janeiro a fevereiro de 2019, e tem o objetivo de extrair, analisar, sintetizar e catalogar dados de diversos periódicos nacionais e internacionais, nos últimos 13 anos, como por exemplo *web of Science*, *Scopus*, *ACM digital library*, além de incluir buscas no periódico da CAPES a fim de incluir outras bases que podem ser importantes e que são indexadas pela busca no portal de periódicos da CAPES (*IEEE*, *Springer* e *Science Direct*). Assim é possível levantar o maior número de estudos relacionados ao tema proposto.

Desta forma, os próximos tópicos estarão organizados em oito subseções. Na subseção 1 será falado sobre a metodologia utilizada para levantamento das estratégias para leitura e interpretação de desenhos táteis. Na subseção 2 serão abordadas as questões de pesquisa. Nas subseções 3, 4 e 5 será tratado sobre todo o processo de seleção dos estudos. Nas subseções seguintes, 6 e 7 será realizada a extração, síntese e análise dos dados, para que na subseção 8 possam ser exibidos os resultados gerais desta revisão da literatura.

1. Método utilizado

A revisão sistemática da literatura é uma “forma de estudo secundário que usa uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar todas as evidências disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa específica de uma maneira que seja imparcial e (até certo ponto) repetível” (KITCHENHAM E CHARTERS, 2007), para isso a RSL tem de usar uma metodologia confiável, rigorosa e auditável.

A metodologia adotada para este trabalho foi desenvolvida por Kitchenham e Charters (2007) a qual define que uma RSL deve possuir três fases: planejamento, condução e documentação da revisão. Na fase de planejamento foram definidas as questões de pesquisa, *string* de busca, definição das fontes de pesquisa e critérios de

seleção (inclusão e exclusão) dos artigos. Após o planejamento seguiu-se a condução da revisão, documentação e apresentação dos resultados.

Para seleção dos estudos relevantes para esta RSL, primeiramente foram realizadas as buscas pelos estudos primários, ou seja, aqueles que citam o desenvolvimento de alguma tecnologia assistiva para leitura de gráficos acessíveis (Ver lista na Tabela 5). Por vezes, nos estudos primários podem ser citadas outras tecnologias usadas para o mesmo fim, como trabalhos relacionados e etc., de onde o autor tirou algumas conclusões para desenvolvimento de seu estudo. Estas citações são levadas em conta por esta RSL para que seja formada uma revisão ainda mais ampla e abrangente. Tais trabalhos, citados pelos autores dos estudos primários, são listados na tabela 6.

2. Questão de Pesquisa

Esta Revisão Sistemática da Literatura tem como questões da pesquisa a seguinte: Quais tecnologias assistivas estão sendo usadas para auxiliar alunos com deficiência visual a ler e interpretar conteúdos gráficos?

Para ajudar a responder esta questão foram definidas algumas outras questões apresentadas na Tabela 1. A primeira coluna apresenta o código da questão da pesquisa, e a segunda a descrição da mesma.

Tabela 1: Subquestões de pesquisa

Questões	Descrição
QP1	Qual é o número de participantes nos testes dos estudos que estão sendo realizados pelos pesquisadores?
QP2	Os estudos reportados indicam que o uso da tecnologia Assistiva desenvolvida ou analisada é eficaz para auxiliar na leitura e interpretação de conteúdos gráficos?
QP3	Para quais os níveis de escolaridade que estão sendo destinados os estudos?
QP4	Quais estratégias estão sendo usadas por pesquisadores que investigam formas de auxiliar a exploração de desenhos táteis no ensino para deficientes visuais?
QP5	Qual o nível de deficiência visual dos participantes dos estudos?
QP6	Para qual tipo de conteúdo gráfico a solução foi aplicada?
QP7	Em quais países os estudos estão sendo realizados?

3. *String* de busca

Os termos de pesquisa utilizados neste protocolo de revisão foram descritos na língua inglesa e portuguesa, e fazem parte da relação exposta da tabela abaixo.

Tabela 2: *String* de Busca e resultados por base bibliográfica

String de busca	CAPES	ACM	Web of Science	Scopus
("assistive technolog*" OR "accessibilit*") AND ("tactile graphics" OR "tactile images" OR "tactile charts" OR "tactile diagrams" OR "accessible diagrams" OR "accessible charts" OR "accessible graphics")	162	98	42	80

4. Critérios de inclusão e exclusão

Para a definição dos estudos primários utilizados nesta RSL, inicialmente foi realizada a avaliação dos 382 estudos, encontrados por meio da execução da *string* de busca (no período dos últimos 13 anos - 2006 a 2019), que foram submetidos a análise dos títulos e leitura do resumo a fim de identificar quais trabalhos citam o desenvolvimento ou uso de tecnologias assistivas para auxiliar deficientes visuais na criação e leitura de conteúdos gráficos, sendo retirados desta RSL os estudos que não atendiam a este critério. Assim foram pré-selecionados 141 artigos para serem analisados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, mostrados na Tabela 3, a fim de identificar aqueles mais relevantes para responder às questões de pesquisa.

Tabela 3: Critérios de inclusão e exclusão de estudos

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
<ul style="list-style-type: none"> ● IN1: Artigos com texto completo do estudo disponível em formato eletrônico; ● IN2: Trabalhos relativos a tecnologias assistivas para auxiliar deficientes visuais a ler e interpretar desenhos táteis, bem como para aplicação similar que pode ser adaptada ao objeto deste estudo; ● IN3: Trabalhos que se referiam a mesma tecnologia e/ou solução considerar-se-á o mais atual; ● IN4: Estudos devem estar no idioma Inglês ou Português; 	<ul style="list-style-type: none"> ● EX1: Resumos; ● EX2: Estudos que não estejam disponíveis online pela rede CAFe (Comunidade Acadêmica Federada da RNP) ou que não obtivemos acesso após contato com os autores ● EX3: Estudos que fogem da área de pesquisa; ● EX4: Estar em outro idioma que não seja os citados no critério de inclusão IN4

5. Processo de seleção dos estudos

Para selecionar todos os estudos relevantes para esta revisão sistemática da literatura foram seguidos alguns passos, conforme demonstra a Tabela 4.

Tabela 4: Processo de seleção dos estudos primários

	Execução da <i>String</i>	Após Exclusão com base no título e Resumo	Após Exclusão com base nos critérios da tabela 3	Totais
CAPES	162	32	12	12
ACM	98	48	27	27
<i>Web of Science</i>	42	21	10	10
<i>Scopus</i>	80	41	17	17

Após serem confrontados os estudos com as análises dos títulos e resumo, bem como com os critérios de inclusão e exclusão, pôde-se identificar 66 estudos primários relevantes ao tema. Destes, foram excluídos os duplicados e correlacionados que tratavam da mesma solução. Assim, ao final desta análise, foram selecionados 29 estudos primários para que fosse feita a extração e análise dos dados, assim como seleção dos possíveis estudos citados por seus autores (Estes estudos podem ser vistos na Tabela 6) relevantes a esta revisão, conforme tópicos seguintes.

Tabela 5: Estudos primários incluídos no trabalho

TABELA COM ESTUDOS PRIMÁRIOS	
CÓDIGO DO ESTUDO	REFERÊNCIA
EP01	(BAKER et al., 2016)
EP02	(BORNSCHEIN; BORNSCHEIN; WEBER, 2018)
EP03	(BRAYDA et al., 2018)
EP04	(COSTA et al., 2015)
EP05	(FERRES et al., 2013)
EP06	(FITZPATRICK; GODFREY; SORGE, 2017)
EP07	(FUSCO; MORASH, 2015)
EP08	(GIUDICE et al., 2012)

EP09	(GÖTZELMANN; WINKLER, 2015)
EP10	(GÖTZELMANN, 2018)
EP11	(GONCU, 2009)
EP12	(GONCU; MARRIOTT, 2008)
EP13	(GONCU; MARRIOTT, 2011)
EP14	(GONCU; MARRIOTT, 2015a)
EP15	(GONCU; MARRIOTT, 2015b)
EP16	(HE et al., 2017)
EP17	(HOLLOWAY; MARRIOTT; BUTTLER, 2018)
EP18	(HRIBAR; DEAL; PAWLUK, 2012)
EP19	(HU, 2015)
EP20	(JAYANT et al., 2007)
EP21	(LANDAU; RUSSELL; ERIN, 2006)
EP22	(LEO et al., 2018)
EP23	(NAMDEV; MAES, 2015)
EP24	(PETIT et al., 2008)
EP25	(REICHINGER, 2018)
EP26	(SUZUKI et al., 2017)
EP27	(TAKAGI et al., 2016)
EP28	(TOMLINSON et al., 2016)
EP29	(WALL; BREWSTER, 2006a)

Após leitura e análise dos estudos primários, selecionados conformes os critérios citados nos tópicos anteriores, foi possível identificar outros estudos que citavam o desenvolvimento ou utilização de tecnologia assistiva para auxiliar deficientes visuais na leitura e interpretação de conteúdos gráficos. Desta forma estes estudos estão relacionados na tabela 6, conforme abaixo:

Tabela 6: Estudos citados nos estudos primários

TABELA COM ESTUDOS CITADOS NOS ESTUDOS PRIMÁRIOS	
CÓDIGO DO ESTUDO	REFERÊNCIA
EC01	(BAU et al., 2010)
EC02	(BROCK et al., 2012)
EC03	(BROWN; HURST, 2012)

EC04	(DEMIR et al., 2010)
EC05	(EBINA et al., 1998)
EC06	(GARDNER; BULATOV, 2006)
EC07	(KANE; MORRIS; WOBBROCK, 2013a)
EC08	(KANE; MORRIS; WOBBROCK, 2013b)
EC09	(KRUFKA; BARNER, 2005)
EC10	(LANDAU et al., 2008)
EC11	(MANSHAD; MANSHAD, 2008)
EC12	(MAUCHER; SCHEMMEL; MEIER, 2000)
EC13	(MCGOOKIN; BREWSTER, 2006)
EC14	(POPPINGA et al., 2011)
EC15	(RAJA, 2012)
EC16	(SHEN et al., 2013)
EC17	(SHI et al., 2016)
EC18	(VIDAL-VERDÚ; HAFEZ, 2007)
EC29	(WALL; BREWSTER, 2006b)
EC20	(WANG; HAYWARD, 2006)
EC21	(WAY; BARNER, 1997)
EC22	(YU; BREWSTER, 2002)

Após finalizada esta etapa pode-se chegar ao número final de 51 estudos que citam o desenvolvimento ou utilização de alguma tecnologia assistiva para auxiliar deficientes visuais na leitura e interpretação de conteúdos gráficos. Em todos estes estudos foi possível identificar 51 soluções para criação e apresentação de conteúdos gráficos para deficientes visuais (11 para criação e 40 para apresentação). Os detalhes de cada solução podem ser vistos no item 7 deste apêndice.

6. Extração e síntese de dados

- Distribuição Temporal

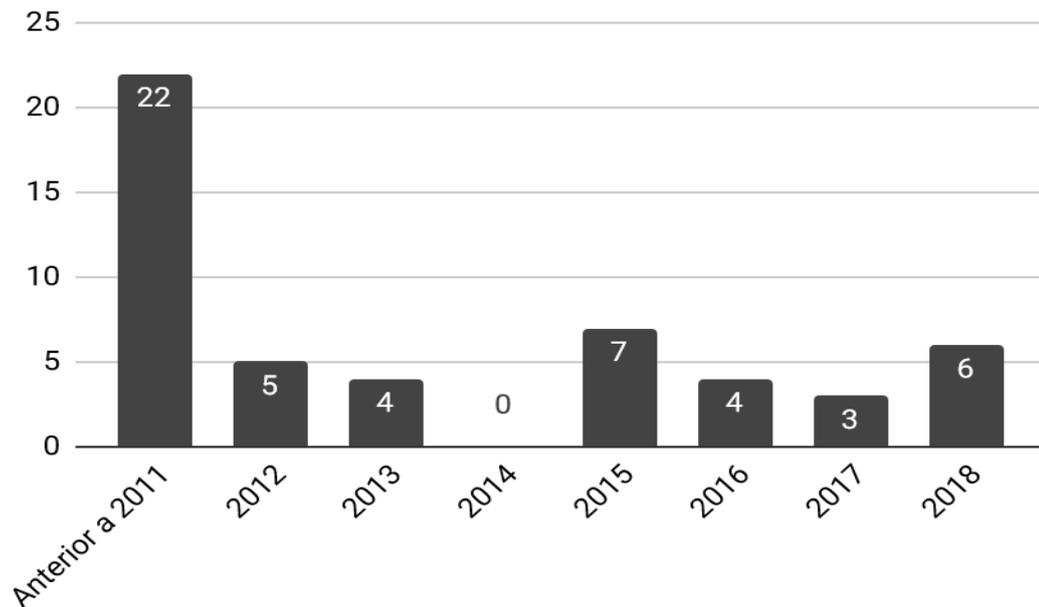


Figura 1: Distribuição temporal das publicações

Não foi possível identificar uma justificativa para a distribuição temporal dos estudos, mas observa-se que esta área vem sendo explorada continuamente e que com o avanço tecnológico ao longo dos anos, novas formas de abordagens e de aplicação das tecnologias podem ser desenvolvidas.

- Veículos de Publicação

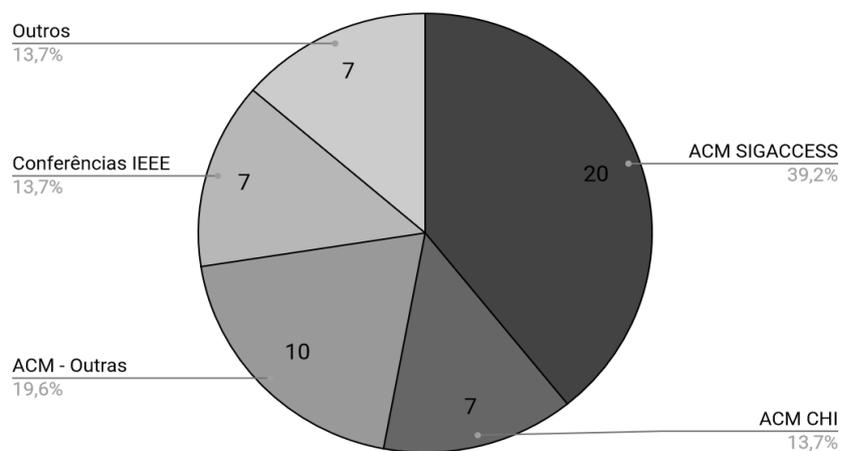


Figura 2: Distribuição por veículos de publicação

- Tipos de *hardware* dos dispositivos usados para apresentação de gráficos

Este gráfico mostra os tipos de dispositivos utilizados nos estudos para auxiliar deficientes visuais na leitura de desenhos táteis. Duas categorias são levadas em consideração, uma são os dispositivos que utilizam *hardware* comum como *tablets*, computadores, monitores *touchscreen*, etc. A outra categoria leva em conta as soluções que utilizam dispositivos bem específicos para o uso por deficientes visuais.

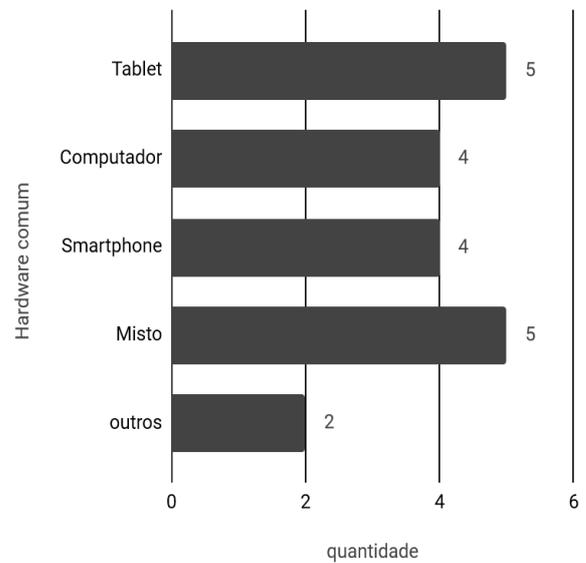
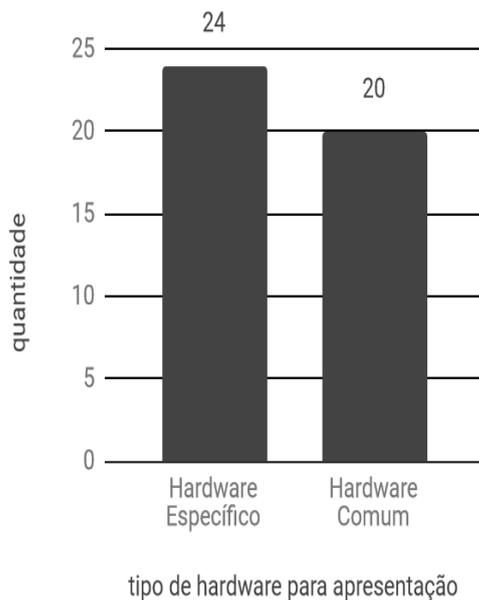


Figura 3: Gráfico com os tipos de *hardware*

Figura 4: Gráfico com os tipos de *hardware* comuns

- Estratégias para criação e apresentação de conteúdos gráficos

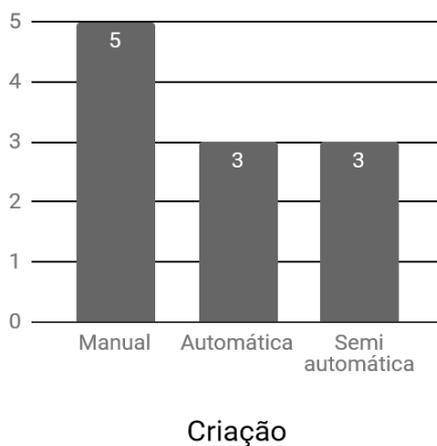


Figura 5: Gráfico das soluções para criação de conteúdos gráficos

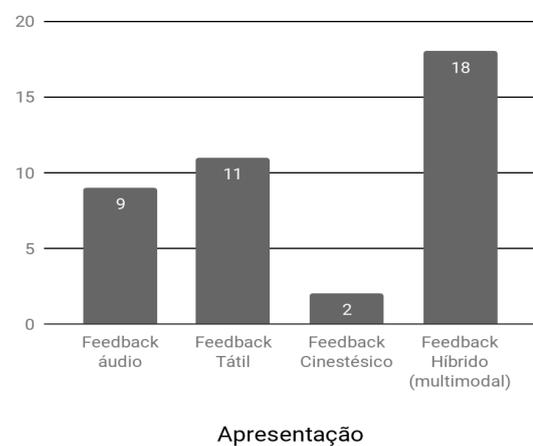


Figura 6: Gráfico das soluções para apresentação de conteúdos gráficos

- Distribuição geográfica dos estudos

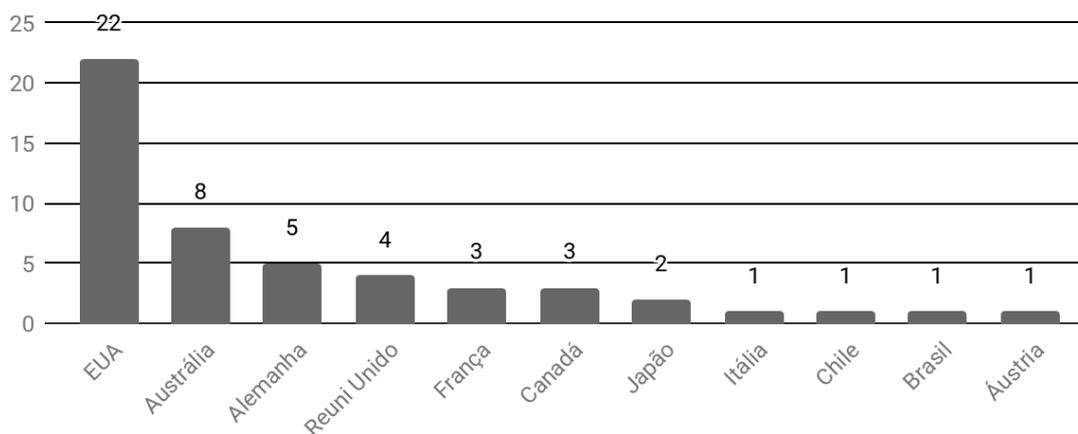


Figura 7: Distribuição geográfica dos estudos

7. Análise

Esta seção fornece uma análise das soluções de tecnologias assistivas encontradas nos estudos selecionados por esta RSL

7.1. Principais ferramentas de criação de desenhos táteis

Tecnologias assistivas para criação de conteúdos gráficos podem ser agrupadas em categorias com base nas formas de criação, sendo estas: automáticas ou semiautomáticas e manual.

7.1.1. Ferramentas automáticas ou semiautomáticas

a) **TGA:** O TGA (*Tactile Graphics Assitant*¹) é uma ferramenta que usa técnicas de processamento de imagens para gerar gráficos táteis (JAYANT et al., 2007). Primeiramente a aplicação faz o reconhecimento dos rótulos em um gráfico digitalizado, depois gera o texto em braille para esses rótulos na versão tátil, bem como cria uma versão tátil para a imagem do gráfico. Um dos problemas citados em (GONCU; MARRIOTT, 2008) é que a aplicação não faz qualquer tratamento e/ou adaptação da imagem tátil gerada, deixando o gráfico com uma má disposição na versão tátil.

¹ <https://tactilegraphics.cs.washington.edu/>

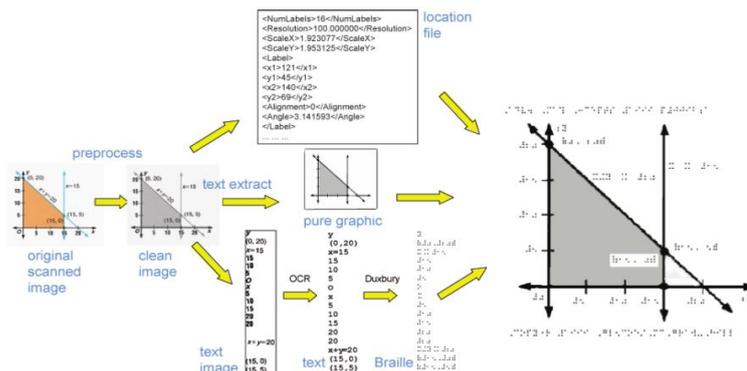


Figura 8: Exemplo processo de transcrição do TGA
Fonte: (JAYANT et al., 2007)

b) **Krufka**: Realiza funções semelhantes às do TGA, porém é aplicada para a conversão de gráficos vetoriais em gráficos táteis. Segundo o autor deste estudo, a geração de imagens táteis a partir de gráficos vetoriais é um esforço importante para trazer mais acessibilidade à internet, bem como a outros meios de comunicação (KRUFKA; BARNER, 2005).

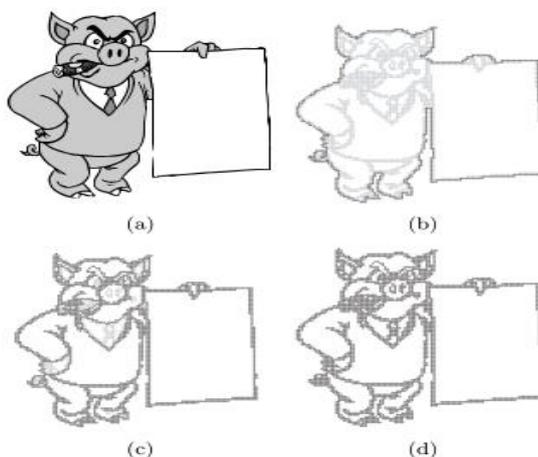


Figura 9: Exemplo processo de criação do KRUFKA
Fonte: (KRUFKA; BARNER, 2005)

c) **VizTouch**: Possui funcionalidades semelhantes ao *Tactile Charts Generation Tools*, porém este software gera representações táteis automaticamente, para impressões 3D. O VizTouch integra três projetos separados de código aberto: *Veusz*², *Inkscape*³ e *OpenSCAD*⁴ (BROWN; HURST, 2012). É possível com isso plotar a equação ou conjunto de dados que o usuário digitou na interface de usuário, após

² Veusz: A Scientific Plotting Package. <http://home.gna.org/veusz/>

³ Inkscape. <http://inkscape.org/>

⁴ OpenSCAD – The Programmers Solid 3D CAD Modeler. <http://www.openscad.org/>

passar por todo um processo de transformação dos dados, até ser enviado para impressão em uma impressora 3D de fabricação rápida (BROWN; HURST, 2012).

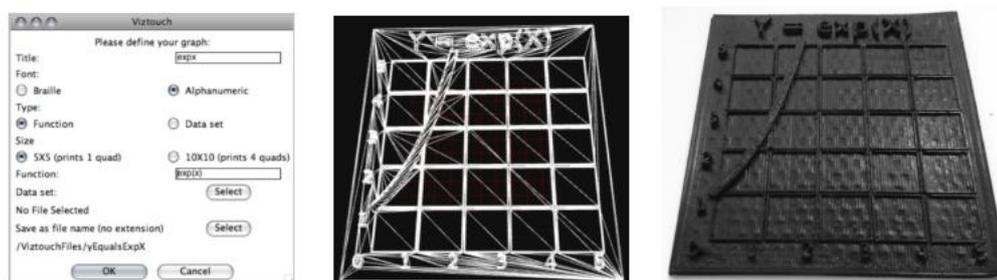


Figura 10: Processo de transcrição software VizTouch
Fonte: (BROWN; HURST, 2012)

d) **Tactile Charts Generation Tools:** Ferramenta para geração automática de gráficos táteis de barra e pizza, a partir de um conjunto de valor repassados ao *software*, pelo usuário, por meio de um arquivo de texto simples. A ferramenta oferece vários estilos de layout para os gráficos e isso acaba automatizando a criação dos gráficos táteis e facilitando a vida dos transcritores (GONCU; MARRIOTT, 2008).

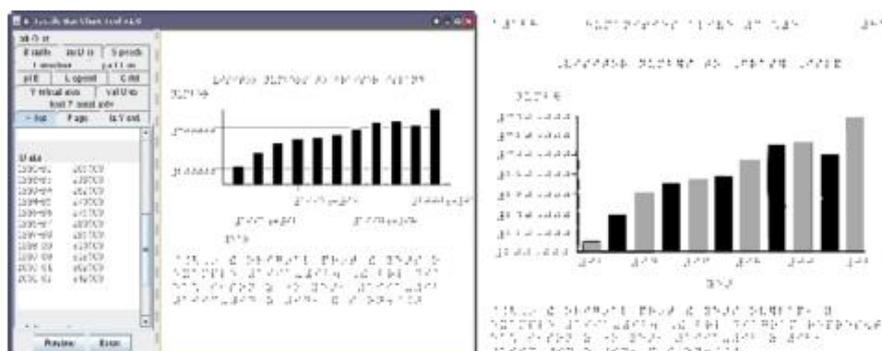


Figura 11: Exemplo de gráfico gerado pelo Tactile Chart Generation Tool
Fonte: (GONCU; MARRIOTT, 2008)

e) **GraCALC:** Uma calculadora gráfica acessível construída sobre o GraViewer. Basta especificar uma função matemática e seu gráfico de linha será exibido no GraViewer que também pode ser executado para serem lidos pela aplicação GraVVITAS⁵ (GONCU; MARRIOTT, 2015a).

⁵ Graphics Viewer using Vibration Interactive Touch and Speech



Figura 12: GraCALC sendo executado em um tablet (à esquerda) e ferramenta web de criação de gráficos

Fonte: (GONCU; MARRIOTT, 2015a)

f) **MaskGen:** Sistema desenvolvido para automatizar algumas etapas da adaptação tátil e facilitar a edição da transposição final em uma descrição multimodal, utilizada pelo sistema STReSS² para permitir que usuários com deficiência visual explorem a imagem com *feedback* tátil e de áudio (PETIT et al., 2008). Para automatizar parte do processo algumas etapas devem ser cumpridas, primeiramente uma imagem deve ser criada de maneira simplificada por um *software* de edição de gráficos vetoriais, ou se digitalizada deve ser simplificada com aplicação de alguns filtros, para que o MaskGen consiga extrair automaticamente todas as diferentes partes desse tipo de ilustração simplificada. Quando todas as partes foram extraídas como máscaras diferentes, é possível usar o MaskGen para atribuir a cada um *feedback* tátil específico, um *feedback* de áudio e ajustar as configurações do *feedback* tátil (PETIT et al., 2008).

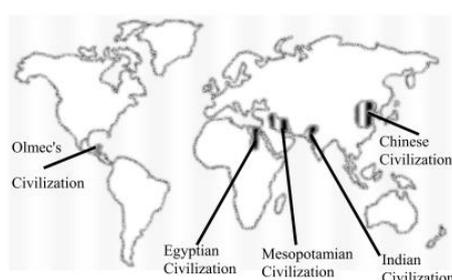


Figura 13: Maskgen sendo executado

Fonte: (PETIT et al., 2008)

g) **TACTICS:** *Software* que implementa algoritmos de simplificação de imagens para gerar gráficos táteis automaticamente e que foi um dos precursores para este tipo de técnica. O *TACTile Image Creation System* (TACTICS) foi uma tentativa de aprofundar a investigação na área da geração gráfica automática tátil. A técnica

usada para a geração automática de desenhos táteis envolve a aquisição de uma imagem, a execução de alguns processos de simplificação e a exibição do resultado em um meio de saída tátil, como papel microcapsulado ou uma exibição tátil dinâmica em tempo real por meio de uma matriz de pinos atualizável (WAY; BARNER, 1997).

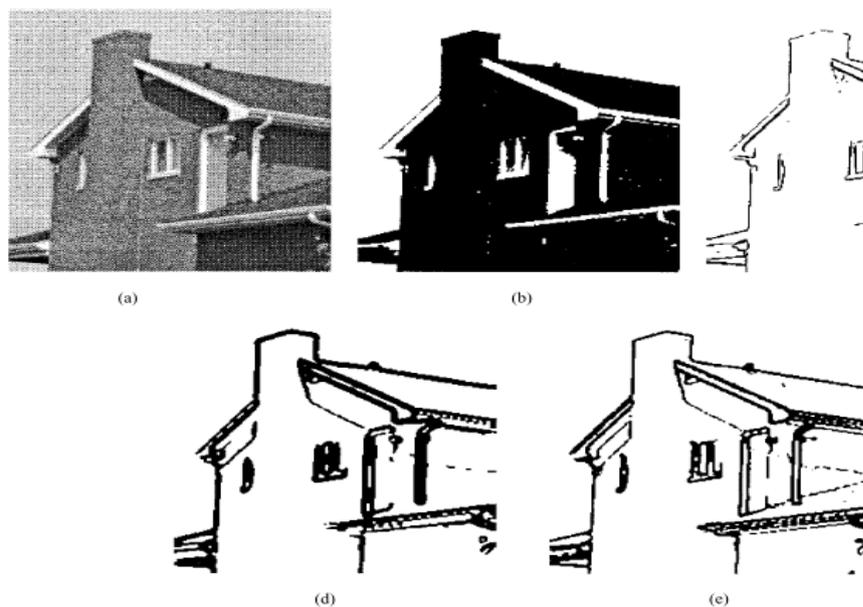


Figura 14: Processo de produção tátil do TACTICS
Fonte: (WAY; BARNER, 1997)

7.1.2. Ferramentas Manuais

a) **Corel Draw**⁶: Alguns estudos, como (PADILHA, 2015) demonstram o uso do *software* Corel Draw para elaborar os desenhos táteis e em seguida serem impressos em papel microcapsulado.

b) **Photoshop**⁷: Da mesma forma, por ser um *software* de edição gráfica como o *Corel Draw*, o *Photoshop* também pode ser usado para diagramação de desenhos táteis e impressão em papel microcapsulado.

c) **Inkscape**: Mesma situação dos softwares *Corel Draw* e *Photoshop*, com a ligeira vantagem de ser um *software* livre, não precisando pagar pela licença de uso. Estudos como Brock e Jouffrais (2015) demonstram a utilização deste *software* para criação de desenhos táteis.

d) **Monet**⁸: Monet é um *software* gratuito desenvolvido para elaborar desenhos táteis para serem impressos em uma impressora braille, por exemplo

⁶ <https://www.coreldraw.com>

⁷ <https://www.adobe.com/br/products/photoshop.html>

⁸ <http://www.acessibilidadebrasil.org.br/joomla/softwares?id=685>

impressora braille Index Everest-D⁹. Este *software* é um dos mais utilizado pelas instituições públicas brasileiras por conta da facilidade na criação de desenhos táteis e também por conta de ser gratuito. Alguns estudos, como (DUARTE; BARBOSA, 2015) demonstram a utilização deste *software* na criação de desenhos táteis.

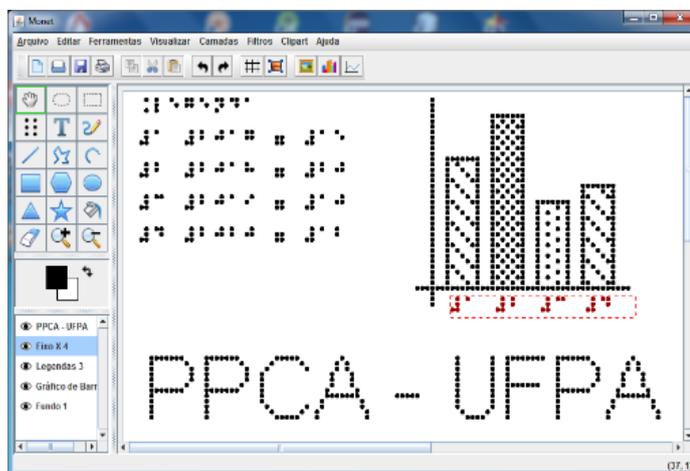


Figura 15: Tela do Monet
Fonte: autoria própria

e) **Graph Builder**: Usado no sistema MultiVIS (MCGOOKIN; BREWSTER, 2006), este *software* permite a criação e manipulação interativa de gráficos de barras simples, para ambientes virtuais. Após a criação é possível salvar e recuperar os dados futuramente, bem como ler e interpretar os dados gráficos com uso do dispositivo de *feedback* háptico *phantom*.

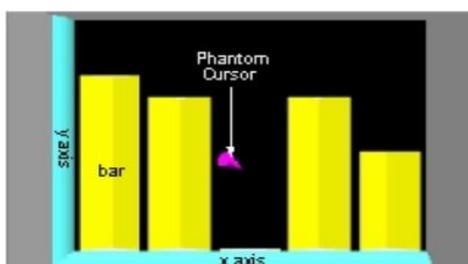


Figura 16: Tela do Graph Builder
Fonte: (MCGOOKIN; BREWSTER, 2006)

f) **Picture Braille**¹⁰: Este é um software semelhante ao Monet, porém sua versão mais atualizada é paga. A funcionalidades de se equiparam, possuindo ferramentas de diagramação de gráficos táteis e impressão em uma impressora braille.

⁹ <https://www.indexbraille.com/en-us/braille-embossers/everest-d-v5?c=EUR>

¹⁰ http://www.pentronics.com.au/index_files/PictureBraille.htm

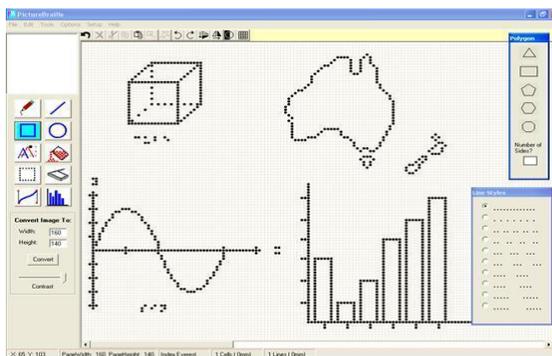


Figura 17: Tela Picture Braille

Fonte: Pentronics

g) **GraAuthor:** Simples ferramenta de automação baseada na *web* utilizada para criar gráficos acessíveis que podem ser visualizados usando o GraViewer em um tablet *IPad* (GONCU; MARRIOTT, 2015b). O GraAuthor possui dois recursos interessantes: a primeira é a possibilidade de importação de uma imagem para a qual deseja criar o gráfico acessível; a segunda é permite que o autor forneça uma visão geral textual do gráfico e associe uma descrição textual além de um arquivo de áudio não verbal a cada elemento gráfico.

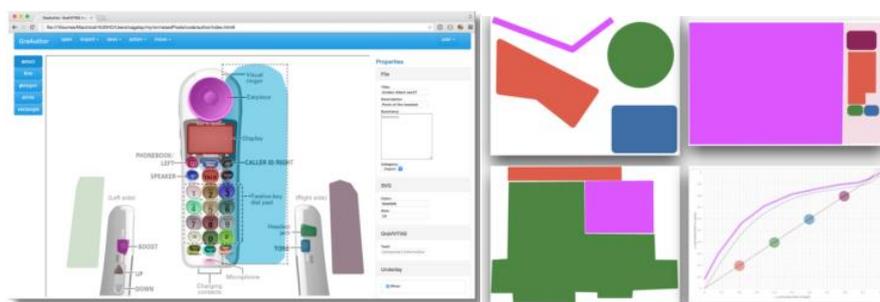


Figura 18: tela de criação de gráficos acessíveis do GraAuthor (esquerda)

Fonte: (GONCU; MARRIOTT, 2015b)

h) **Software R:** *software* estatístico R que usa uma semântica rica para criação de diagramas e gráficos torná-los acessíveis pela Web, suportando leitura de tela e exploração interativa virtual, ou seja, sem material impresso (FITZPATRICK; GODFREY; SORGE, 2017).

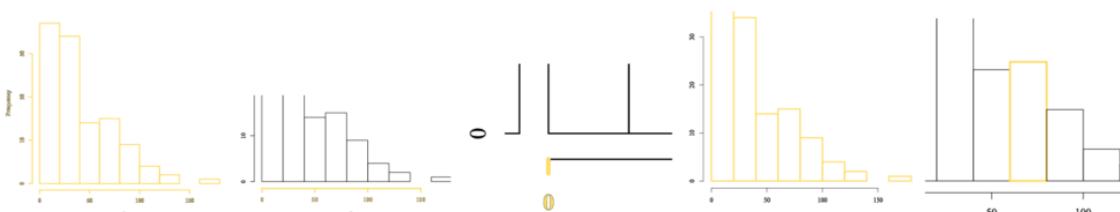


Figura 19: Passo a passo da exploração de gráficos criados no R

Fonte: (FITZPATRICK; GODFREY; SORGE, 2017)

i) **SVG LaTeX Editor:** Software open source que pode auxiliar para a transcrição automática de arquivos Latex e gráficos SVG (*Scalable Vector Graphics*) em braille. Este editor de SVG LaTeX fornece duas opções: Primeiro, pode converter qualquer texto em braille. Em segundo lugar, ele prevê a conversão de texto normal em um padrão pontilhado em relevo, onde a palavra pode ser convertida em pontos em relevo para pessoas com baixa visão que precisam usar o dispositivo tátil mini hyperbraille Móvel. (NAMDEV; MAES, 2015).

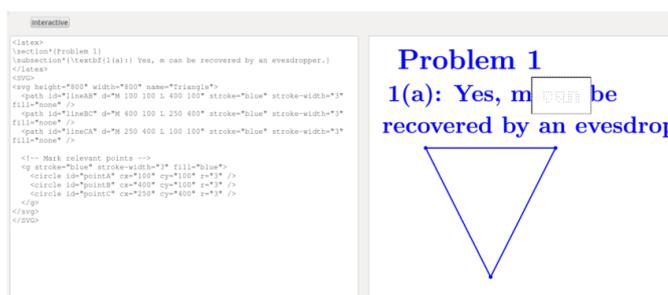


Figura 20: Tela do SVG Latex Editor
Fonte: (NAMDEV; MAES, 2015)

7.2. Principais Ferramentas de apresentação para gráficos táteis

Dispositivos de tecnologia assistiva, para deficientes visuais acessarem informações em gráficos táteis, podem ser agrupados em categorias principais com base nas modalidades de interação que eles usam: áudio, háptico e híbrido. Assim classificamos as tecnologias encontradas por este estudo conforme itens a seguir:

7.2.1. Feedback Áudio

a) **TGV (Tactile Graphic with a Voice):** é executado em um *smartphone* para ler informações de Códigos QR¹¹ colocados no gráfico tátil em substituição aos rótulos em braille que normalmente ocupam uma área significativa da impressão tátil substituir as etiquetas em braille por códigos QR permite que o usuário acesse as informações da etiqueta apontando o *smartphone* para o código QR e também melhora a organização das informações no gráfico tátil, visto que códigos QR podem armazenar maior quantidade de informações em um espaço bem menor comparado com etiquetas braille (BAKER et al., 2016). Porém, conforme estudo realizados por (WHITE; JI; BIGHAM, 2010) e (ZHONG et al., 2015), este tipo de tarefa pode ser um

¹¹ Códigos QR, do inglês *QR Code* que significa *Quick Response Code* (Código de Resposta rápida), são usados para codificar texto em uma espécie de código de barras bidimensional (2D) que pode ser lido por qualquer dispositivo que possua uma câmera.

pouco difícil para usuários cegos. Outro ponto negativo é que o usuário fica impedido de explorar o gráfico tátil com as duas mãos, simultaneamente, visto que precisará posicionar o smartphone para fazer a leitura do Código QR para ter o *feedback* em áudio deste. Outra dificuldade apontada no estudo é a seleção do Código QR a ser lido quando existe muitos em um mesmo gráfico tátil.

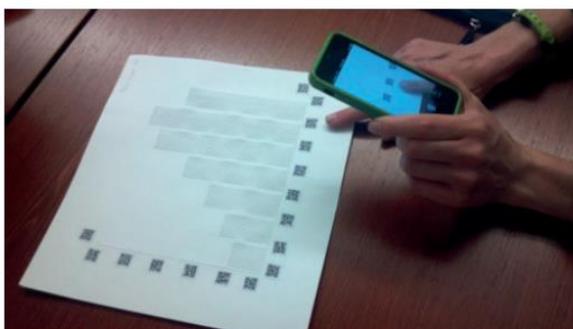


Figura 21: Utilização do TGV
Fonte: (BAKER et al., 2016)

b) **TGH – Tactile Graphic Helper:** A solução envolve uma câmera montada e posicionada para captura do gráfico tátil e das mãos do usuário. Até o momento da realização desta RSL, esta solução era executada em um computador, porém o autor tem o objetivo de aplicá-la em um *tablet* convencional para ganhar mais em portabilidade. O *tablet* poderá ser posicionado em frente ao gráfico tátil impresso e usará um jogo de espelhos para apontar a câmera em direção ao espaço de trabalho, usando *hardware* semelhante ao visualizado em OSMO ¹². Com isso poderá ser feita a leitura e reconhecimento de onde o usuário está tocando no gráfico e, assim poderá ser solicitado, via comandos de voz ou gestos, informações sobre o gráfico sendo explorado (FUSCO; MORASH, 2015).



Figura 22: Esquema de utilização do TGH
Fonte: (FUSCO; MORASH, 2015)

¹² <https://www.playosmo.com/en/>

c) **CamIO:** Estende a ideia de gráficos tátil auditivo, conforme visto no TTT e IVEO, para objetos táteis auditivo, podendo ser aplicada a gráficos também já que trabalha com a ideia de visão computacional para detectar objetos e dar o *feedback* necessário. O *CamIO* usa uma câmera tridimensional montada (3D) e visão computacional para observar os usuários interagindo com objetos e permitindo assim que o usuário acione informações de áudio sobre um objeto ou gráfico tátil. O *CamIO* é executado em um computador, limitando sua portabilidade (SHEN et al., 2013).



Figura 23: Sensor Kinect usado pela solução CamIO (à esquerda) exemplo do experimento (à direita)

Fonte: (SHEN et al., 2013)

d) **TacTILE:** Sobreposição de gráficos impressos em 3D em telas *touchscreen* para acessar informações, por *feedback* sonoro dos gráficos. Uma aplicação foi desenvolvida para realizar as marcações de áudio para os gráficos táteis, foi desenvolvido um processo de criação dos gráficos táteis em 3D e um APP para realizar a leitura de todas as informações de toque e dar o *feedback* sonoro sempre que possível (HE et al., 2017).

e) **PLUMB:** PLUMB, que significa *exPLoring graphs at UMB*, usa a sonificação para descrever gráficos auditivos em um *tablets* PC normais (COHEN et al., 2005), citado por (GIUDICE et al., 2012).

f) **Igraph Lite:** Solução para leitura de gráficos acessíveis em um computador, sem a presença de alguma forma tátil. Esta tecnologia assistiva foi projetada para ajudar deficientes visuais a interagir com representações gráficas de dados estatísticos usando linguagem natural através de comandos de tecla e um mecanismo de conversão de texto em fala (TTS – *Text-to-Speech*) (FERRES et al., 2013).

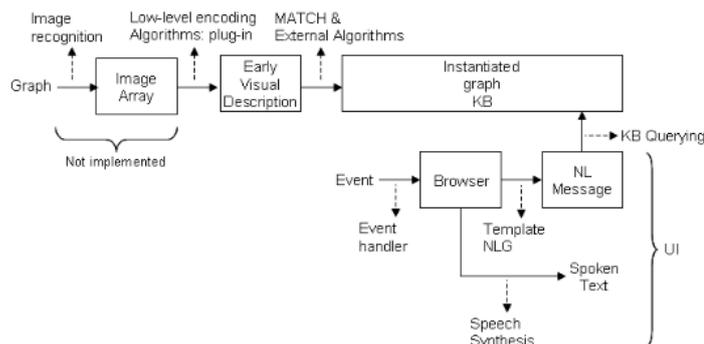


Figura 24: Arquitetura Geral IGraph Lite
Fonte: (FERRES et al., 2007)

g) **Interactive SIGHT**: É uma solução implementado como uma extensão de navegador que fornece *feedback* de áudio sobre gráficos de barras simples virtuais. Primeiramente o *Interactive SIGHT* fornece um breve resumo que transmite a intenção subjacente de um gráfico de barras, juntamente com as características mais significativas e salientes do gráfico, e produz respostas de acompanhamento com conhecimento histórico para fornecer mais informações sobre o gráfico, a pedido do usuário (DEMIR et al., 2010). Este sistema funciona juntamente com o JAWS¹³ permitindo que possa ser realizada a leitura do gráfico virtual.

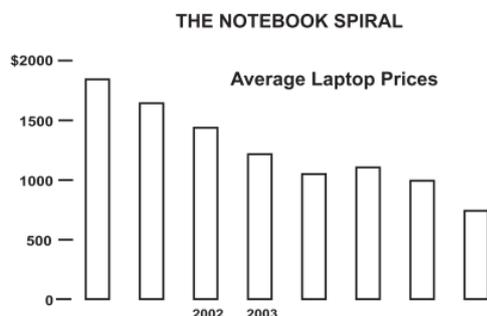


Figura 25: Modelo de gráfico para leitura pelo software Interactive SIGHT.

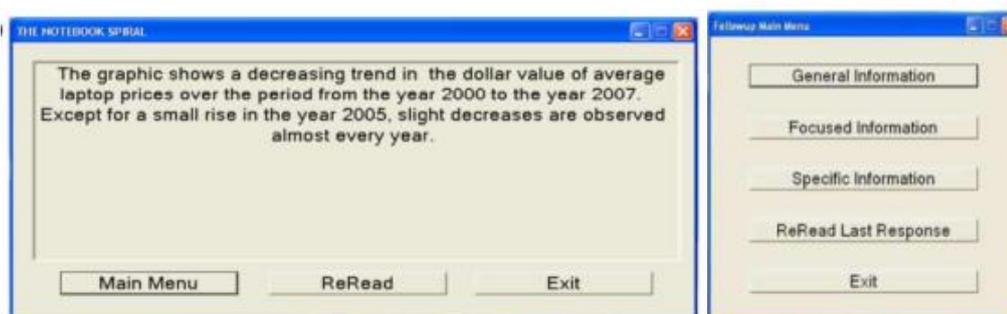


Figura 26: Janelas com feedbacks do Interactive SIGHT
Fonte: (DEMIR et al., 2010)

¹³ <https://www.freedomscientific.com/products/software/jaws/>

h) **Software GNIE:** Solução para leitura de gráficos acessíveis em um computador, sem a presença de alguma forma tátil. O *software* permite entrada e exploração da linha *Graph and Number* (GNIE), foi “desenvolvido pelo Instituto de Sonificação do Instituto de Tecnologia da Geórgia e é usado por alunos com deficiência visual para melhorar o desempenho em disciplinas que requerem uso de dados gráficos para transmitir conhecimento” (TOMLINSON et al., 2016). Detalhes da implementação do GNIE podem ser observados em (CHEW; TOMLINSON; WALKER, 2013).

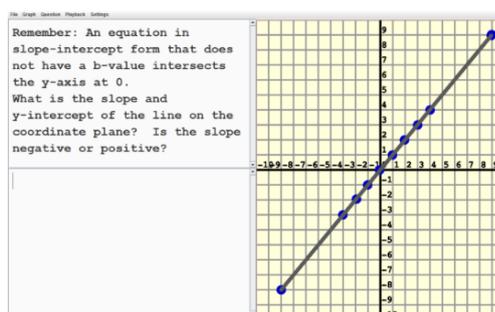


Figura 27: Tela do software GNIE
Fonte: (CHEW; TOMLINSON; WALKER, 2013)

i) **Access Lens:** Sistema criado para permitir que usuários cegos apliquem gestos acessíveis a objetos do mundo real, como embalagens, mapas e documentos em papel. O *Access Lens* (AL) usa uma câmera e visão computacional para reconhecer texto no ambiente, rastrear as mãos do usuário no espaço e depois descrever objetos no ambiente usando fala sintetizada. “Como resultado, o AL permite que os usuários explorem objetos inacessíveis usando gestos acessíveis” (KANE; FREY; WOBBROCK, 2013b).



Figura 28: Uso do Access Lens
Fonte: (KANE; FREY; WOBBROCK, 2013b)

7.2.2. Feedback Háptico

Feedback háptico pode fornecer informações mais precisas sobre as propriedades da substância, como textura e dureza, mas também pode fornecer boa parte das informações que o *feedback* visual captura, como tamanho, forma e posição (GONCU, 2009). *Feedback* háptico pode ser sentido por receptores de estímulos táteis e cinestésicos, assim estes tipos de dispositivos podem ser classificados em dois subgrupos, conforme tópicos a seguir:

7.2.2.1. *Feedback* Háptico-Tátil

Os principais responsáveis pela resposta a esse *feedback* são os sensores cutâneos que estão na pele e sentem o toque, o estímulo de temperatura e de dor.

a) **Impressões em papel braille e papel microcapsulado:** Este tipo de material acessível é o mais comumente utilizado para fornecer acesso a dados gráficos para deficientes visuais, porém são formas de apresentações estáticas e que não fornecem nenhum outro tipo de *feedback* além do tátil. Uma desvantagem em relação a outras tecnologias desta categoria é que não são atualizáveis e corrigíveis facilmente. Porém, ao combiná-las com outras tecnologias que possam fornecer algum outro tipo de *feedback*, passam a ser uma opção razoável visto que sua produção é relativamente barata. Alguns exemplos de impressões podem ser vistos nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, deste trabalho.

b) **Gráficos Táteis impressos em 3D:** Em (HU, 2015) são desenvolvidos 3 novos paradigmas para elaboração de gráficos em 3D para deficientes visuais terem acesso aos dados gráficos. Os paradigmas desenvolvidos incluem: gráficos em relevo que são semelhantes aos gráficos tátil tradicionais, gráficos autônomos com diretrizes conectando barras ao eixo y e gráficos autônomos com marcas de seleção em cada barra.

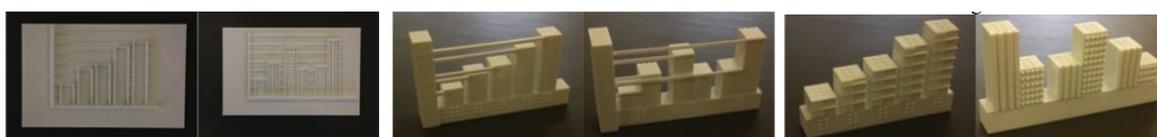


Figura 29: Modelos de gráficos impressos em 3D de acordo com os três paradigmas
Fonte: (HU, 2015)

c) **FluxMarker:** É um sistema que fornece informações dinâmicas sobre gráficos táteis estáticos com marcadores táteis móveis. Esses marcadores táteis dinâmicos podem ser facilmente reconfigurados e usados para anotar gráficos táteis

de linha estática, incluindo mapas, gráficos e diagramas. Para tal, foi desenvolvido um *hardware* com marcadores táteis magnéticos acionados por matrizes de bobina eletromagnética (SUZUKI et al., 2017).

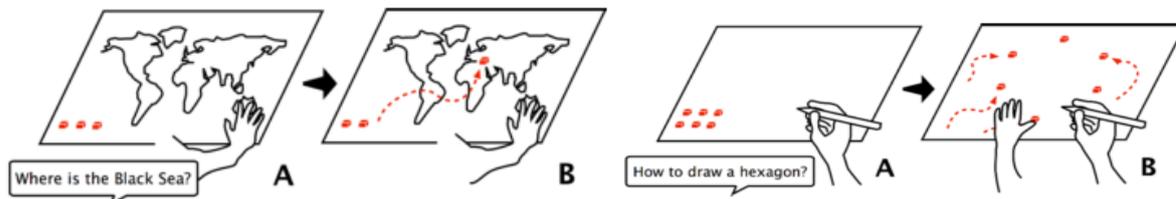


Figura 30: Exemplos de interações com FluxMarker
Fonte: (SUZUKI et al., 2017)

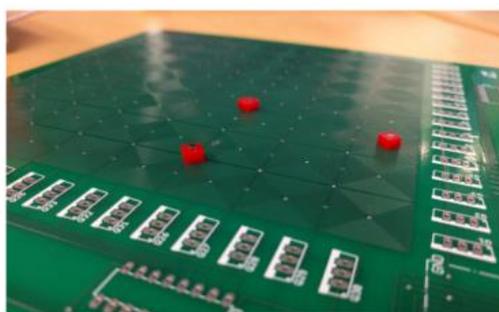


Figura 31: *Hardware* do FluxMarker
Fonte: (SUZUKI et al., 2017)

d) **Touchplates:** Soluções desenvolvidas para dar mais acessibilidade aos *displays touchscreen* que naturalmente não permitem um bom *feedback* tátil, algumas soluções tentaram implementar este *feedback* por meio de vibrações no dispositivo, porém sem muito sucesso. Com as sobreposições de materiais criados em 3D os dispositivos *touchscreen* podem fornecer guias para os deficientes visuais seguirem e acessar dados de uma determinada aplicação (KANE; MORRIS; WOBBROCK, 2013a).

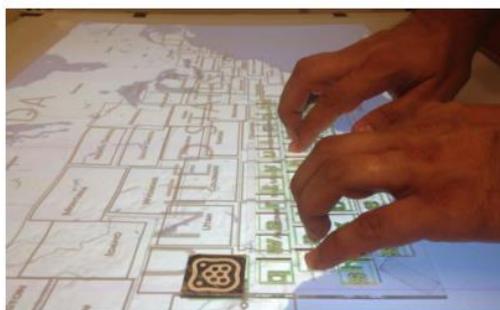


Figura 32: Touchplates simulando um teclado sobre uma tela touchscreen
Fonte: (KANE; MORRIS; WOBBROCK, 2013)

e) **Mouse Tátil:** Esta solução é composta por uma carcaça de mouse de computador acoplada com uma célula Braille, que constitui a tela tátil, onde os pinos possuem quatro níveis de amplitude. Também incorporado na carcaça do *mouse*, imediatamente sob a célula braille, está um transmissor de RF que comunica a posição absoluta do centro da matriz de pinos a uma mesa gráfica (HRIBAR; DEAL; PAWLUK, 2012). O nível de amplitude máxima e o nível de amplitude mínimo são fixos, mas as duas amplitudes intermediárias podem ser ajustadas usando um potenciômetro, com isso é possível aplicar texturas às imagens táteis que serão exibidas pelo equipamento.

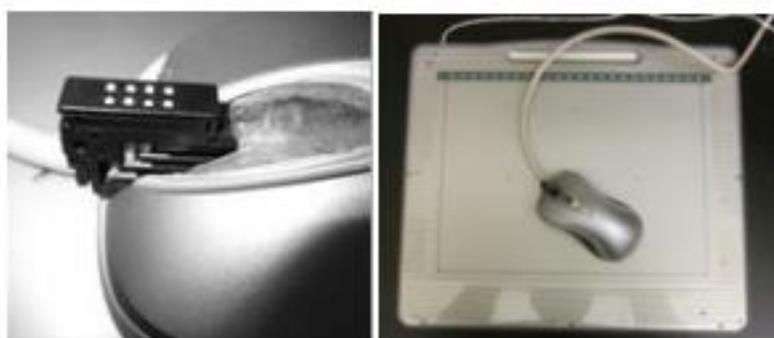


Figura 33: Mouse Tátil
Fonte: (HRIBAR; DEAL; PAWLUK, 2012)

f) **TeslaTouch:** Tecnologia para promover acessibilidade em *displays touch* por meio de eletro vibrações que fornecem uma ampla variedade de sensações de *feedback* tátil superfície de toque. Quando combinado com um *display* interativo e entrada de toque, ele permite o *design* de uma ampla variedade de interfaces que permitem ao usuário sentir elementos virtuais através do toque. Assim pode ser aplicado ao uso de gráficos táteis com facilidade, bastando configurar todos os elementos necessários. Outras abordagens, para o princípio de *feedback* tátil para *displays touch* são deformações eletromecânicas da superfície da tela sensível ao toque, ativação mecânica aplicada ao objeto (caneta ou dedo) tocando a superfície (BAU et al., 2010).

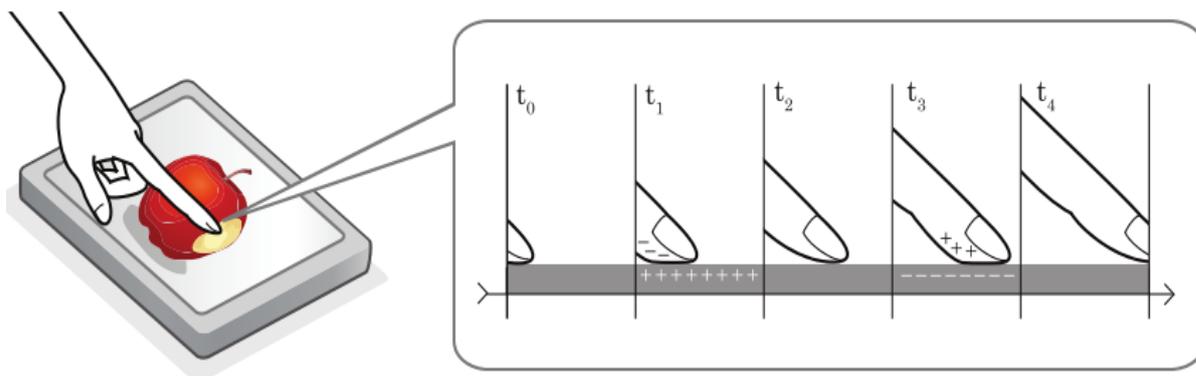


Figura 34: Modelo de funcionamento Tesla Touch.

Fonte: (BAU et al., 2010)

g) **Displays Táteis:** *Displays* táteis consistem em dispositivos que possuem uma matriz de pinos que são acionados para formar uma imagem tátil. Alguns estudos avaliam a usabilidade destes *displays*, entre eles (BORNSCHEIN; BORNSCHEIN; WEBER, 2018) desenvolveu uma esta estação de trabalho onde dois usuários (um deficiente visual e outro com visão) podem trabalhar em conjunto, e dinamicamente, para elaborar gráficos táteis. A exibição tátil dinâmica, fornecida pelo dispositivo de matriz de pinos táteis Braille DIS 6420¹⁴, permite que os usuários com deficiência visual acessem diretamente uma imagem em evolução desenhada por uma pessoa com visão. Além disso, diferentes modalidades de entrada, como paletas de formas padrão acessíveis por interação de menu ou gesto, bem como desenho à mão livre por uma caneta digitalizadora, permitem que um usuário cego crie um desenho. Por este sistema, as pessoas com deficiência visual e visuais podem trocar informações gráficas (BORNSCHEIN; BORNSCHEIN; WEBER, 2018). Vários outros modelos de *displays* táteis podem ser encontrados nas pesquisas, para atualização vide (VIDAL-VERDÚ; HAFEZ, 2007) e (LEO et al., 2018).



Figura 35: Outro modelo de *display* tátil, *Graphiti Graphics Displays*

¹⁴ <http://web.metec-ag.de/en/produkte-graphik-display.php?p=hb>

Fonte: *American Printing House for the Blind*

h) **Tactile graphic Editor com Dot View 2 (DV2):** É um sistema composto por um *display* braille matricial DV2 produzido pela KGS Corporation¹⁵, uma *webcam* para detectar um dedo, um *tablet* gráfico para medir a coordenada do DV2, uma mesa deslizante 2D para deslizar o DV2, um teclado USB, um PC e um *software* para controlar os dispositivos (TAKAGI et al., 2016). Com este sistema é possível que o deficiente visual crie seus próprios gráficos táteis, mas também é possível ser exibido, nele, gráficos táteis previamente criados.

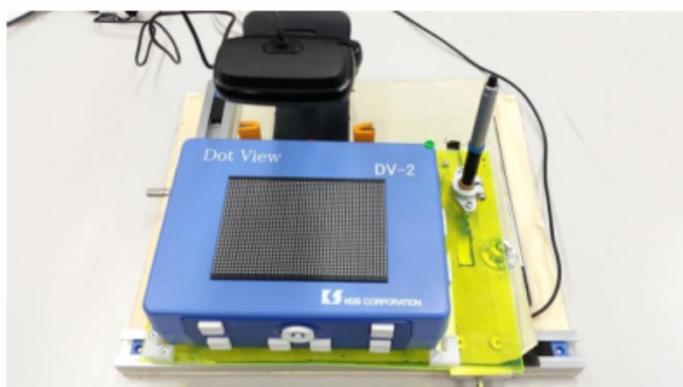


Figura 36: *Tactile Graphics Editor com Dot View 2 (D2V)*
Fonte: (TAKAGI et al., 2016)

i) **Mouse VTPlayer:** Este dispositivo é semelhante a um mouse de computador comum, porém com dois *displays* táteis, formados cada um por uma matriz de pinos 4x4, onde o usuário posiciona os dedos, indicador e médio, para ter a percepção tátil da resposta referentes aos *pixels* próximos ao ponteiro do *mouse*, virtualmente (WALL; BREWSTER, 2006a).



Figura 37: Mouse VTPlayer
Fonte: (WALL; BREWSTER, 2006b)

¹⁵<http://www.kgs-jpn.co.jp>

j) **VTD (Virtual Tactile Display):** O *Display* Tátil Virtual é sistema de substituição de visão tátil baseado em atuadores piezelétricos montados em uma saída tátil que pode ser posicionada em qualquer local em uma superfície bidimensional (com eixo X e Y) para explorar a estrutura de linha de uma imagem virtual. Este *display* tátil virtual (VTD) recebe dados de sistemas de câmaras equipados com capacidades de processamento de imagem adequadas ou de um computador (MAUCHER; SCHEMMEL; MEIER, 2000).



Figura 38: Virtual Tactile Display
Fonte: (MAUCHER; SCHEMMEL; MEIER, 2000)

k) **Blind PAD:** Trata-se de uma matriz de pinos atualizável. No estudo avaliado por esta RSL é utilizada para auxiliar deficientes visuais a se localizar melhor em um espaço indoor, por meio de uma tarefa de orientação e mobilidade. “Eles exploraram um mapa mostrando uma representação em escala de uma sala real no dispositivo que é conectado a um computador com um *software* onde podem ser desenhados o que será exibido no *Blind PAD* (BRAYDA *et al*,2018).

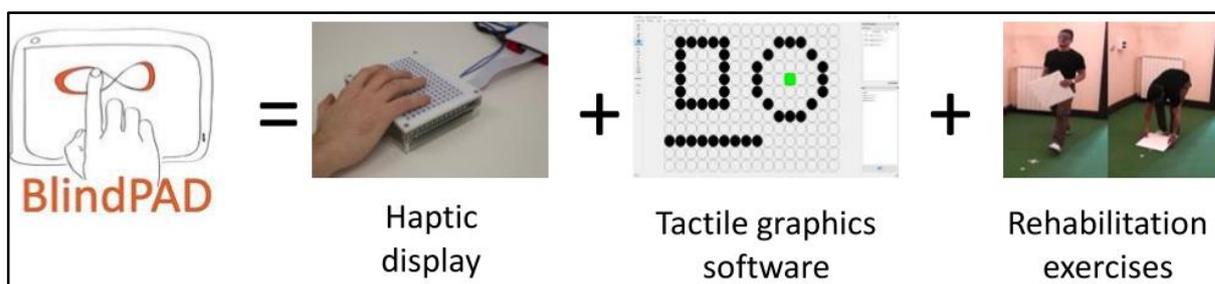


Figura 39: *Blind PAD* sendo usado para orientação espacial
Fonte: (BRAYDA *et al*,2018)

7.2.2.2. *Feedback* Háptico-Cinestésico,

Já para este tipo de *feedback*, os sensores cinestésicos estão localizados nos músculos e articulações do corpo e sentem o estímulo de movimento (GONCU, 2009). As principais tecnologias assistivas para este tipo de *feedback* são:

a) **Senseable Phantom:** É um dispositivo de *feedback* háptico para navegação em ambientes virtuais, permitindo que o deficiente visual execute tarefas em um ambiente gráfico (MASSIE; SALISBURY, 1994). (YU; BREWSTER, 2002) o define como “Um dispositivo de alta resolução com seis graus de liberdade, no qual o usuário segura a extremidade de um braço articulado controlado por motor. Ele fornece um senso de toque programável que permite aos usuários sentirem texturas e formas de objetos virtuais”.



Figura 40: *PHANTOM force-feedback*
Fonte: <https://br.3dsystems.com>

b) **Mouse de Força WingMan:** Este dispositivo se parece um *mouse* de computador comum posicionado sobre uma base que funciona como um descanso de pulso e um tapete. Este dispositivo aplica forças que podem ser sentidas pelo usuário, porém podem ser facilmente vencidas pela ação do usuário. (YU; BREWSTER, 2002).



Figura 41: Wingman Force Feedback Mouse
Fonte: Microsoft.com

7.2.3. Feedback Híbrido

Soluções que podem fornecer estímulos a vários canais receptivos, tais como áudio e háptico, simultaneamente. As tecnologias mais destacadas nos estudos primários são:

a) **TTT (*Talking Tactile Tablet*)**: desenvolvido pela *Touch Graphics Inc.*¹⁶ este dispositivo permite a sobreposição de desenhos táteis sobre uma tela sensível ao toque que é conectada a um computador pessoal via USB, e que executa *software* permitindo que o desenho tátil se torne interativo. Ao tocar no desenho tátil poderão ser disparadas informações de áudio ou pedir ao computador para realizar cálculos mais complexos, por exemplo, calcular a distância entre dois locais selecionados, etc. (LANDAU; RUSSELL; ERIN, 2007). Detalhes do desenvolvimento podem ser acompanhados em (LANDAU; GOURGEY, 2001).

O fato de precisar ser conectado a um computador fornece ao TTT poder e flexibilidade consideráveis, mas limita sua portabilidade.

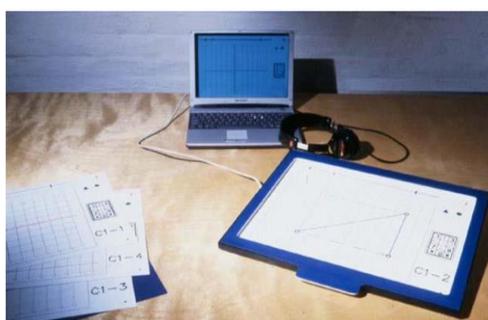


Figura 42: Visão Geral do TTT, como seus componentes necessários para funcionamento
Fonte: (LANDAU; GOURGEY, 2001)

b) **TTP (*Talking Tactile Pen*)**: também desenvolvido pela *Touch Graphics Inc.* este dispositivo usa uma espécie de caneta¹⁷, equipada com um microprocessador e uma câmera que analisa para onde ela for apontada no gráfico, para fornecer informações de áudio referentes às áreas analisadas. Quando a caneta TTP é tocada em um gráfico tátil que é coberto por um padrão de pontos muito finos e quase invisíveis, ela pode se localizar no gráfico e reproduzir áudio para o usuário (LANDAU et al., 2008). Este dispositivo é consideravelmente mais portátil que o TTT e o IVEO, mas ainda requer o *hardware* especializado além de somente ser útil em gráficos táteis devidamente marcados que tenham suas informações armazenadas na caneta.

¹⁶ <https://touchgraphics.com>

¹⁷ Livescribe Pulse Pen

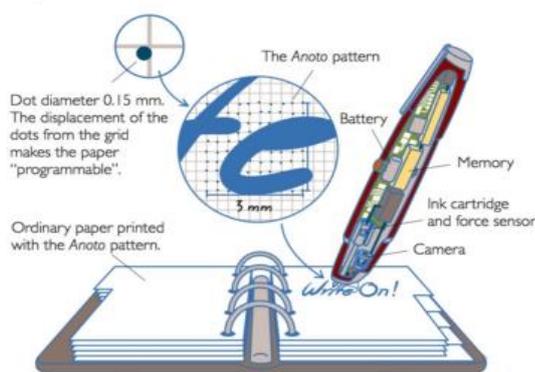


Figura 43: Visão Geral de uso da TTP
Fonte: (LANDAU et al., 2008)

c) **ViewPlus IVEO Touchpad¹⁸ (Mesa Tátil IVEO)**: Desenvolvida pela ViewPlus tem funcionamento semelhante ao TTT, porém a diferença é que este suporta arquivos de imagem SVG (*Scalable Vector Graphics*). Possui os mesmos pontos positivos e negativos do TTT (GARDNER; BULATOV, 2006).



Figura 44: IVEO Touch Pad
Fonte: (GARDNER; BULATOV, 2006)

d) **GraVVITAS**: Este sistema permite que usuários cegos tenham acesso à gráficos por meio de um *tablet* com tela sensível ao toque (Multitoque) com *feedbacks* sonoros e hápticos com informações referentes ao gráfico exibido. Os *feedbacks* hápticos se dão por meio do uso de uma luva com pequenos motores vibratórios nos dedos que vibram sempre que uma informação gráfica é tocada na tela. Apesar de ser desenvolvido para execução em um *tablet* comum, esta solução ainda necessita de um *hardware* específico para se ter o *feedback* háptico (GONCU; MARRIOTT, 2011).

¹⁸ <https://viewplus.com/>

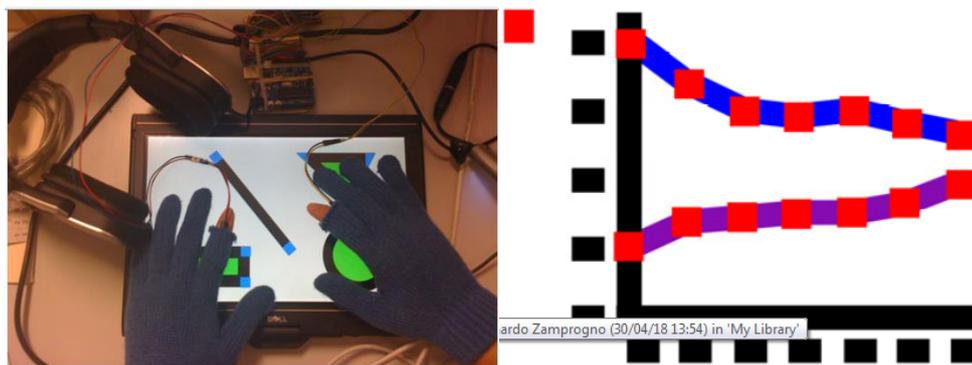


Figura 45: Usando GraVVITAS para visualizar diagramas (esquerda) e exemplo de gráfico de linhas que pode ser visualizado com a tecnologia (direita)
 Fonte: (GONCU; MARRIOTT, 2011)

e) **GraViewer:** *Software* que substitui uma sobreposição tátil em um *tablet* *lpad* para acesso a informações gráficas. O GraViewer permite que um usuário cego explore o gráfico com as duas mãos, da mesma forma como se faz em um desenho tátil impresso. Sempre que um elemento gráfico é primeiramente tocado ou subsequentemente consultado, o *feedback* de áudio descreve o elemento (GONCU; MARRIOTT, 2015b). Esta solução é uma extensão do GraVVITAS.

f) **MultiVis:** Conjunto de ferramentas para acesso à gráficos de barras. Esse conjunto é formado por um *software* criador de gráficos acessíveis com *feedback* sonoros, o *Graph Builder*, e um dispositivo de *feedback* háptico cinestésico, o *Senseable Phantom*¹⁹. A navegação pelo gráfico é feita pelo dispositivo de *feedback* háptico e os elementos na interface visual são representados por áudios associados a eles que são emitidos sempre que o cursor virtual os toca (MCGOOKIN; BREWSTER, 2006).

g) **Luva de Visão Multimodal:** Ferramenta para simulação da interação que uma pessoa com deficiência visual tem com gráficos táteis. Esta simulação se dá por conta de múltiplos pontos de interação, onde cada dedo se torna um ponto de contato, equipado com um motor de vibração semelhante aos que integram aparelhos celulares. A combinação de *feedback* de áudio e vibração, simulam o sentido do tato e da direção (MANSHAD; MANSHAD, 2008).

¹⁹ <https://www.sensible.com>

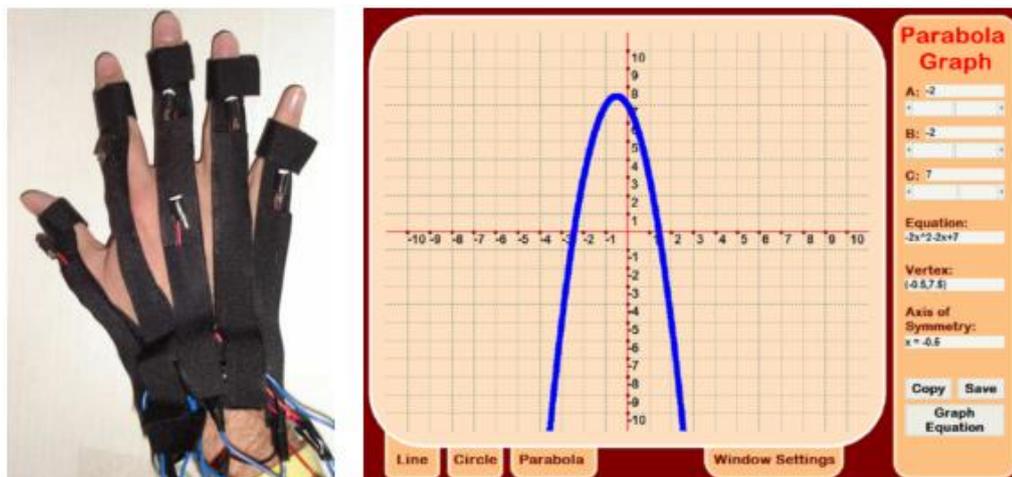


Figura 46: Luva de visão multimodal para navegação em gráficos de linha
 Fonte: (MANSHAD; MANSHAD, 2008)

h) **Tac-TILES (Mesa tátil com caneta²⁰ + Mouse VTPlayer²¹)**: Uma tecnologia assistiva que permite aos usuários com deficiência visual procurar informações gráficas usando *feedback* tátil e de áudio. O sistema usa uma mesa gráfica que é aumentada com um bloco de sobreposição tangível para guiar a exploração do usuário. O *feedback* dinâmico é fornecido por uma matriz de pinos táteis na ponta dos dedos, e através de pistas de áudio de fala / não fala. O Tac-TILES é construído em torno de uma mesa digitalizadora tangível aumentada WACOM Intuos-3 e uma tela tátil dinâmica fornecida pelo *mouse* VTPlayer da Virtouch (WALL; BREWSTER, 2006b) e (WALL; BREWSTER, 2006c).



Figura 47: Uso do Tac-TILES
 Fonte: (WALL; BREWSTER, 2006b)

²⁰ <https://www.wacom.com>

²¹ www.virtouch2.com – VTPlayer é um dispositivo semelhante a um *mouse*, que incorpora duas matrizes, cada uma consistindo de uma matriz de 4 por 4 de pinos controláveis individualmente que fornecem estimulação às pontas dos dedos

i) **STReSS (*Stimulator of Tactile Receptors by Skin Stretch*) + Pantograph:** STReSS (WANG; HAYWARD, 2006), que significa Estimulador de Receptores Táteis por Estiramento da Pele, é um dispositivo de *feedback* háptico tátil causado pelo estiramento lateral da pele do dedo. Esta estimulação é realizada pelo movimento lateral de uma matriz de motores piezoelétricos de 8×8 (WANG; HAYWARD, 2006). Já o *Pantograph* é um dispositivo háptico que permite movimentos bidimensionais em uma superfície de $11,3 \times 6$ cm (CAMPION; WANG; HAYWARD, 2005). Assim, você pode explorar essa superfície com o STReSS montado nele e ter um *feedback* tátil dependendo de onde você está na área e tendo a possibilidade de várias sensações combinadas como sensação de pontos, a sensação de vibração e a sensação de ondulação (PETIT et al., 2008). Por meio do *software* STReSS, também podem ser configurados *feedback* de áudio para uma, ou várias, regiões da imagem tátil a ser exibida.

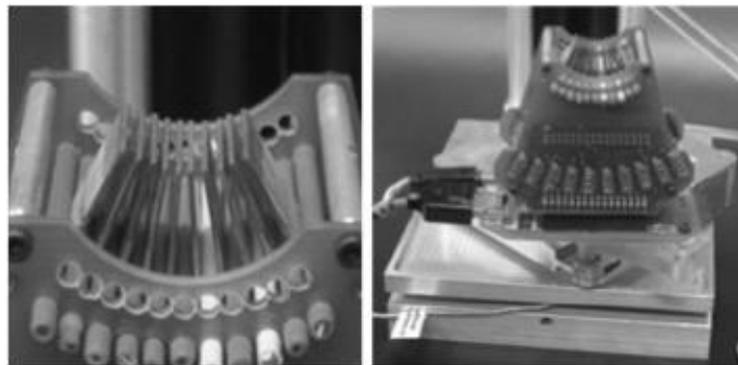


Figura 48: STReSS (esquerda), e ele montado sobre o Pantograph (direita)
Fonte: (PETIT et al., 2008)

j) **Mini Hyperbraille Móvel:** Este dispositivo funciona como um pequeno *display* braille montado sobre esteiras dispostas em um plano cartesiano XY que pode aumentar a resolução do *display* braille, sem a necessidade de pagar um valor muito elevado cobrado pelos *displays* braille de maior resolução (NAMDEV; MAES, 2015). Esta solução também conta com um anel que pode ser acoplado ao dedo do usuário para aumentar a usabilidade do sistema por meio de gestos manuais.



Figura 49: Mini *Hyperbraille* com eixos XY (Esquerda) e anel de feedback háptico (direita)
 Fonte: (NAMDEV; MAES, 2015)

k) **Vibro-Audio Interface (VAI)**: A solução permite ao usuário explorar informações gráficas na tela sensível ao toque de um *tablet* normal, disponível comercialmente, *feedback* háptico tátil e sonoro são fornecidos sempre que um elemento é tocado na tela do equipamento, desta forma é possível perceber detalhes das informações gráficas que pretendem ser transmitidas (GIUDICE et al., 2012). Mais detalhes da implementação desta ferramenta podem ser encontrados em (RAJA, 2012).



Figura 50: Exemplos de estímulos para VAI
 Fonte: (GIUDICE et al., 2012)

l) **Figure Perceiving Tool**: Esta ferramenta foi desenvolvida aplicando o design universal²², permitindo que pessoas com deficiência visual percebam os gráficos, sem afetar a experiência das pessoas com visão, fornecendo *feedback* tátil e sonoro ao explorar figuras em telas sensíveis ao toque de dispositivos comerciais comuns. As figuras são compostas de sub elementos e a ferramenta aproveita esses sub elementos, permitindo que usuários deficientes visuais vislumbrem informações da figura. As informações consideradas para serem extraídas das figuras podem ser categorizadas como as seguintes propriedades: Tamanho, posição, vizinhança, forma

²² Também conhecido como “design para todos” (<http://www.designforall.org>) é descrito como a intervenção sobre espaços, produtos e serviços com a finalidade de permitir a todos o acesso com igualdade de condições, independente da idade, gênero, capacidade e nível cultural.

e elementos adicionais. O aplicativo implementa duas camadas, a camada de acessibilidade e a camada de gráficos. A camada de gráficos contém a figura original e manterá a interface gráfica para pessoas com visão. A camada de acessibilidade contém todos os *feedbacks* da que são gerados com base em polígonos configurados nesta camada e posicionados para identificar todos os elementos do gráfico (COSTA et al., 2015).

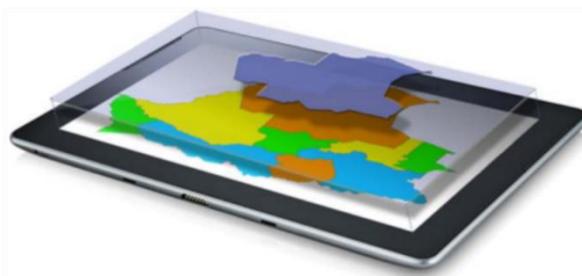


Figura 51: Esquema de funcionamento do Figure Perceiving Tool e suas camadas de acessibilidade.

Fonte: (COSTA et al., 2015)

m) **Lucent Maps:** Solução desenvolvida para tornar mapas acessíveis a pessoas com deficiência visual. Estes mapas são impressos em 3D e depois sobrepostos sobre *tablets*. A medida que o usuário vai explorando o mapa, gestos podem ser aplicados para obter informações extras, como descrição do local, distância entre dois pontos, etc. Os mapas possuem códigos capacitivos nos cantos para identificação do mapa e para carregar algumas informações em meta dados que são úteis para os *feedbacks* sonoros. Para a geração automática dos mapas táteis impressos em 3D é utilizada uma plataforma *WEB*, desenvolvida pelos pesquisadores, que busca informações diretamente de uma base de dados de mapas pública na internet (*Open Street Map*) (GÖTZELMANN, 2018).

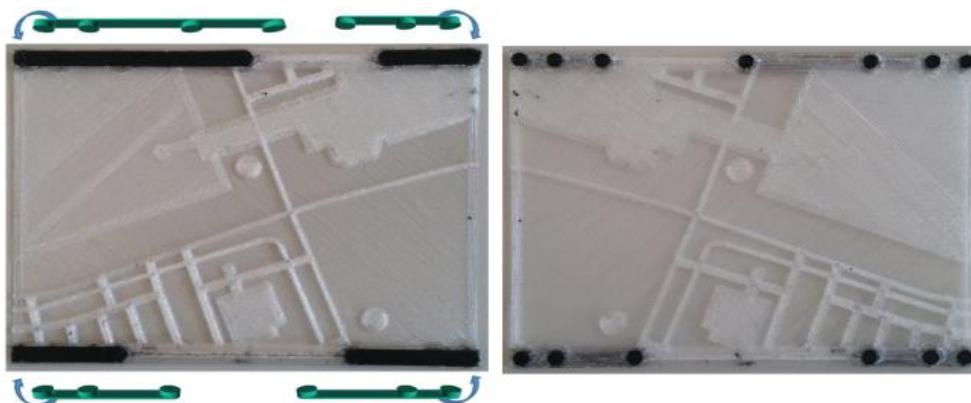


Figura 52: Mapas impressos em 3D com os marcadores capacitivos.

Fonte: (GÖTZELMANN, 2018)



Figura 53: Mapas impressos em 3D com os marcadores capacitivos sobrepostos à tela do dispositivo.

Fonte: (GÖTZELMANN, 2018)

n) **Mapas 3D com etiquetas de áudio:** Mapas impressos em 3D são utilizados no estudo desenvolvido por Holloway, Marriott e Butler (2018) para realizar uma comparação com mapas impressos em relevo. Após realizado primeiro estudo constatou-se a possibilidade do desenvolvimento de mapas em 3D com etiquetas capacitivas de áudio para fornecedor feedback sonoro com informações da área explorada.

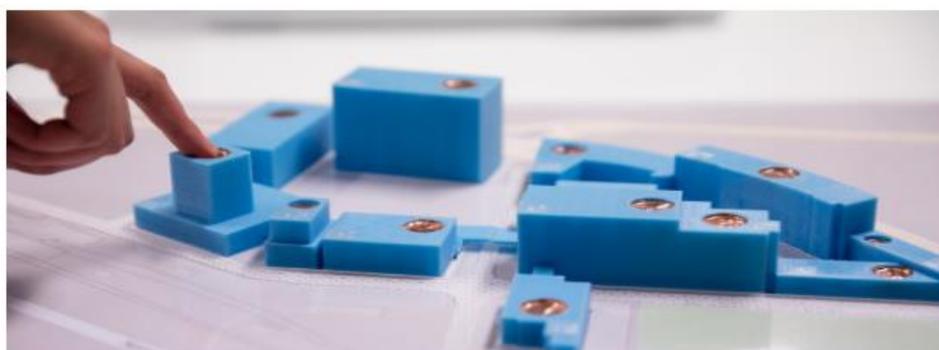


Figura 54: Mapas impressos em 3D com etiquetas em áudio.

Fonte: (HOLLOWAY; MARRIOTT; BUTLER, 2018)

o) ***Tickers and Talkers*:** Objetos impressos em 3D são rotulados com um mecanismo que emite sons. A medida que os sons são reproduzidos, uma aplicação instalada em um *smartphone* ou computador capta estes sons, os interpreta e fornece um *feedback* sonoro com informações sobre a região explorada (SHI *et al*, 2016).

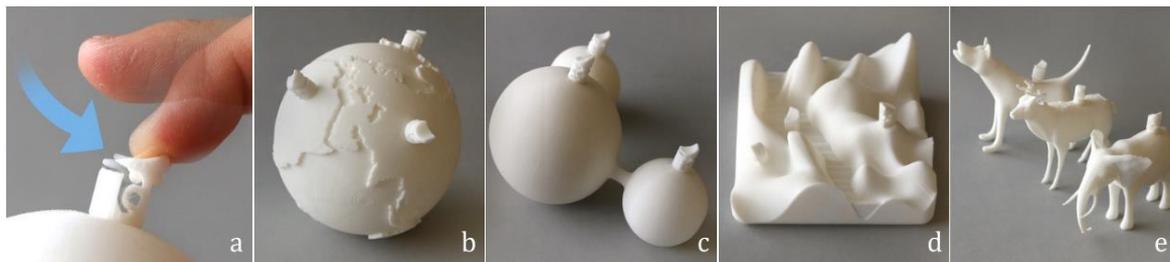


Figura 55: Figuras impressas em 3D com os marcadores de áudio.
Fonte: (SHI *et al*, 2016)

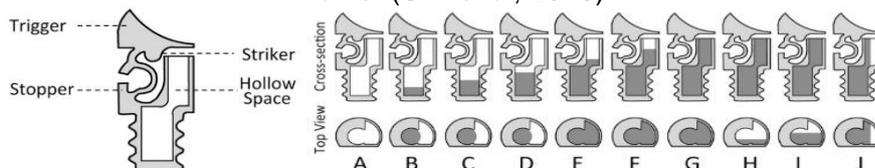


Figura 56: Exemplos dos marcadores.
Fonte: (SHI *et al*, 2016)

p) **Kins Touch:** Solução que combina uma câmera *Kinect*, um *tablet multitouch* e sobre posição de mapas impressos em relevo (papel microcapsulado) para tornar os mapas acessíveis aos deficientes visuais. O uso do tablet proporciona a capacidade de detectar os gestos e toque na tela para o *feedback*. Já a câmera é utilizada para reconhecer todos os 10 dedos e facilitar na detecção de múltiplos gestos feitos com as duas mãos e com determinados dedos. Estes dispositivos são “sincronizados” por meio da conexão deles com um computador que analisa os dados capturados por eles e fornece os *feedbacks* sonoros correspondentes a cada gesto realizado no mapa (BROCK, 2012).

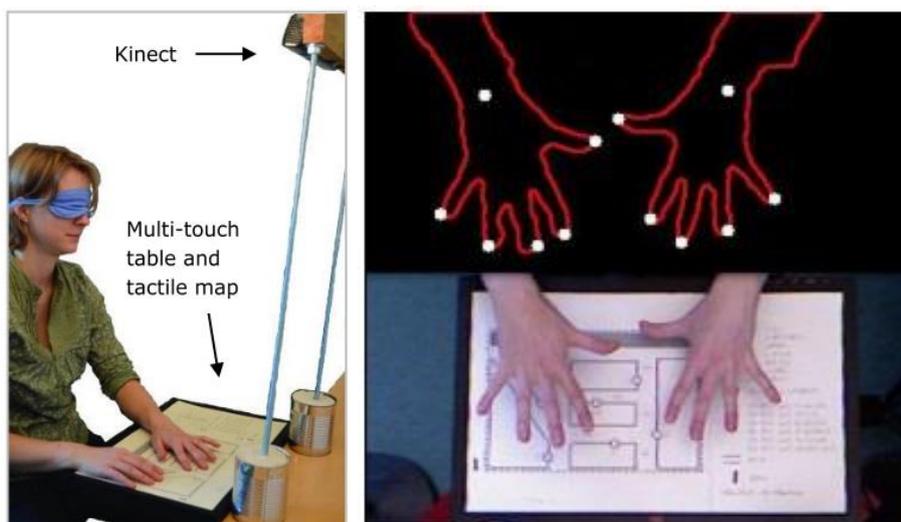


Figura 57: Participantes utilizando o Kins Touch. À direita é possível ver a forma de detecção dos dedos
Fonte: (BROCK, 2012)

q) **TouchOver Map:** Protótipo de aplicação que roda em *android* e captura mapas de uma base pública (Open Street Map) para então *renderizar* as ruas para que possam ser manipuladas com eventos de toque na tela do dispositivo móvel. *Feedbacks* sonoros e tátil (por meio da vibração do dispositivo) são emitidos a cada evento de toque nas ruas do mapa (POPPINGA et al., 2011).



Figura 58: Tela da aplicação *TouchOver Map*.
Fonte: (POPPINGA et al., 2011)

r) **Interactive Audio Guide (IAG):** O IAG é uma solução controlada por gestos e que consiste de uma câmera de profundidade (a usada no estudo foi uma *Intel RealSense F200*) como o único sensor, conectado a um computador e rigidamente montado acima de um relevo tátil, que ele observa. Gestos são detectados durante a exploração tátil e *feedbacks* auditivos são fornecidos para o deficiente visual. Esta solução foi utilizada no estudo realizado por Reichinger *et al.* (2018) para tornar pinturas acessíveis a deficientes visuais.



Figura 59: Pintura à esquerda. Representação tátil da pintura ao centro e IAG montado à direita
Fonte: (Reichinger *et al.*, 2018)

s) **Display tátil CAT:** Uma espécie de *display* tátil que possui 40 células táteis, projetadas para exibição em braille e gráficos táteis. O sistema possui botões que fornecem *feedback* em áudio sobre valores e coordenadas dos gráficos (EBINA et al., 1998).



Figura 60: Display tátil CAT
Fonte: (EBINA et al., 1998)

7.3. Resultados Gerais

Nesta seção serão demonstrados os resultados gerais desta RSL bem como as respostas para as questões de pesquisa, elencadas na Tabela 1.

7.3.1. Resposta para a questão de pesquisa (QP1)

Questão de Pesquisa: ***Qual é o número de participantes nos testes dos estudos que estão sendo realizados pelos pesquisadores?***

Acerca da questão de pesquisa é possível observar nos estudos selecionados por esta RSL que o número de participantes nas pesquisas não é tão grande, devido, muitas vezes, à dificuldade de encontrar pessoas com deficiência visual, como citado em Goncu e Marriott (2011). Petit et al. (2008) também corrobora com a mesma opinião quando afirma que existem relativamente poucos deficientes visuais e muitas vezes é difícil conseguir que eles participem de estudos e pesquisas deste tipo, seja pela dificuldade para eles viajarem (quando preciso), seja por falta de interesse, ou até mesmo por ter pouco conhecimento com gráficos táteis e braille, logo é muito difícil encontrar participantes com deficiência visual disponíveis, e interessados, para participar de estudos e pesquisas. Consequentemente o número de participantes dos estudos, normalmente é muito pequeno, conforme mostrado nos gráficos a seguir.

Dos estudos levados em consideração por esta revisão, apenas 42 citaram a quantidade de participantes, com um total de 630 participantes em todos eles. Uma média de aproximadamente 15 por estudo.

Cabe ressaltar que nestes estudos o número maior de participantes se deve ao fato de incluírem participantes videntes em seus estudos. Realizando o mesmo levantamento, porém apenas levando em consideração estudos com participantes com algum tipo de deficiência visual, os dados são diferentes. Conforme mostra o gráfico abaixo, são levados em consideração apenas os 19 estudos que afirmam usar participantes com algum tipo de deficiência visual. Isso resulta em um total de 164 participantes com uma média de, aproximadamente 9 por estudo.

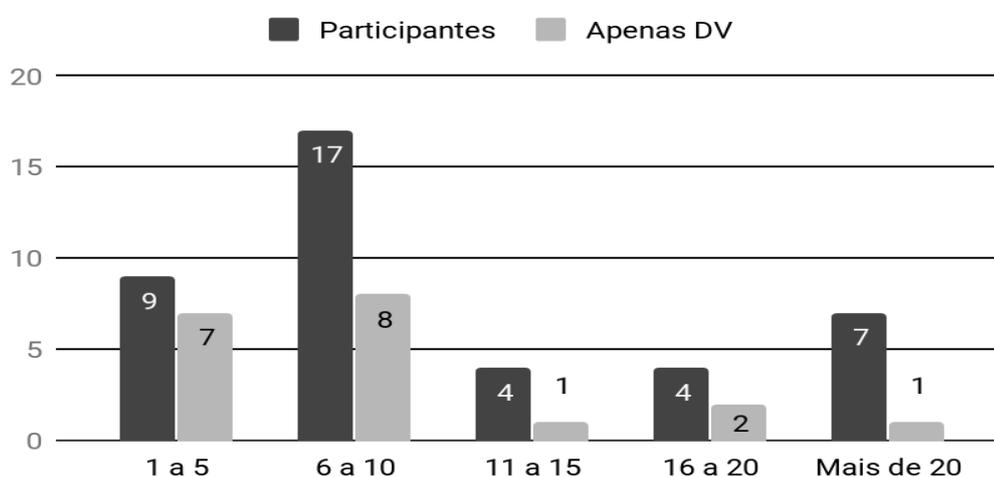


Figura 61: Gráfico com a quantidade de participantes nos estudos

7.3.2. Resposta para a questão de pesquisa (QP2)

Questão de Pesquisa: ***Os estudos reportados indicam que o uso da tecnologia Assistiva desenvolvida é eficaz para auxiliar na leitura e interpretação de gráficos táteis por alunos com deficiência visual?***

Acerca da questão de pesquisa, como é esperado de toda e qualquer tecnologia assistiva que tenha o objetivo facilitar o desenvolvimento de atividades da vida diária por pessoas com deficiência (PUPO; MELO; FERRÉS, 2006), da mesma forma para tecnologias assistivas voltadas para nossa problemática também é esperado que consigam facilitar na exploração de gráficos táteis e foi o observado nos estudos analisados por esta RSL. Alguns estudos citam sugestões de melhorias e/ou ressalvas, mas de modo geral todas as tecnologias foram bem avaliadas em seus

estudos de usabilidade e podemos considerá-las eficazes no auxílio da exploração de gráficos táteis.

7.3.3. Resposta para a questão de pesquisa (QP3)

Questão de Pesquisa: ***Para quais os níveis de escolaridade que estão sendo destinados os estudos?***

As pesquisas desenvolvidas englobam testes com usuários deficientes visuais de diferentes níveis de escolaridade, desde o ensino primário até pós-graduação, conforme pode ser observado no gráfico abaixo. Dos estudos levados em consideração por este trabalho, apenas 10 citaram os níveis de escolaridade dos participantes.

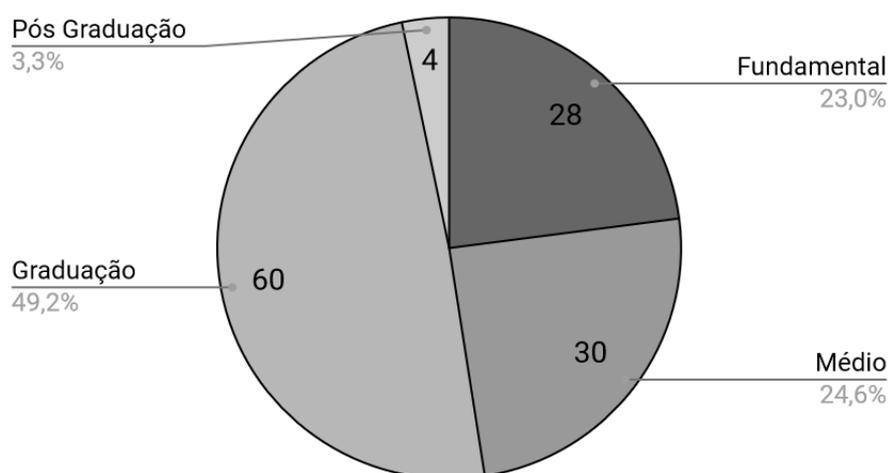


Figura 62: Gráfico por grau de escolaridade dos participantes

7.3.4. Resposta para a questão de pesquisa (QP4)

Questão de Pesquisa: ***Quais estratégias estão sendo usadas por pesquisadores que investigam formas de auxiliar a exploração de gráficos táteis no ensino para deficientes visuais?***

Nos estudos analisados por esta RSL podemos detectar diversas estratégias utilizadas para criação e apresentação de gráficos táteis. Para criação foi possível encontrar estudos que demonstram formas mais tradicionais para tal, utilizando ferramentas computadorizadas para diagramação manual do gráfico tátil a ser impresso em uma impressora braille, como papel normal para este tipo de impressora, ou até mesmo em uma impressora normal com papel *swell paper*²³ (ou

²³ <http://www.americanthermoform.com/product/swell-touch-paper/>

microcapsulado *thermoform*) e depois inserir em uma impressora térmica braille²⁴. Outra estratégia utilizada para criação de gráficos táteis é o uso de ferramentas que automatizam, ou pelo menos semi automatizam, o processo de diagramação do gráfico tátil fazendo com que esta tarefa, muitas vezes trabalhosa e demorada, seja executada em alguns minutos.

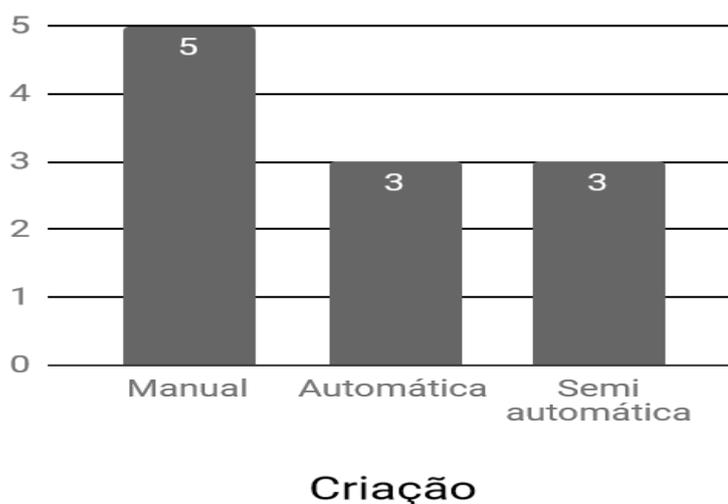


Figura 63: Gráfico para abordagens para criação de gráficos táteis

Para apresentação de gráficos táteis foi possível identificar estratégias que podem substituir as respostas dos sensores visuais, ausentes ou falhos em pessoas com deficiência visual, por respostas dos sensores auditivos e háptico, que podem substituir eficazmente os sensores da visão. Desta forma algumas tecnologias retornam um *feedback* de áudio para auxiliar os deficientes visuais a acessar informações gráficas, já outras fornecem um *feedback* háptico tátil por meio de vibração, temperatura, eletro vibração ou até mesmo por certo nível de dor. Algumas outras tecnologias empregam estratégias de *feedback* de háptico cinestésicos causando um sentido de força e movimento aplicado aos deficientes visuais para acessar as informações gráficas. Por último, algumas estratégias combinam as anteriores promovendo *feedback* híbrido, combinando dois ou três formas de *feedbacks* para aumentar o nível de acessibilidade e respostas sensoriais sobre algum dado gráfico para deficientes visuais.

²⁴ Exemplo deste tipo de impressora pode ser encontrado em <http://www.tecassistiva.com.br/component/spidercatalog/showproduct/492/42>

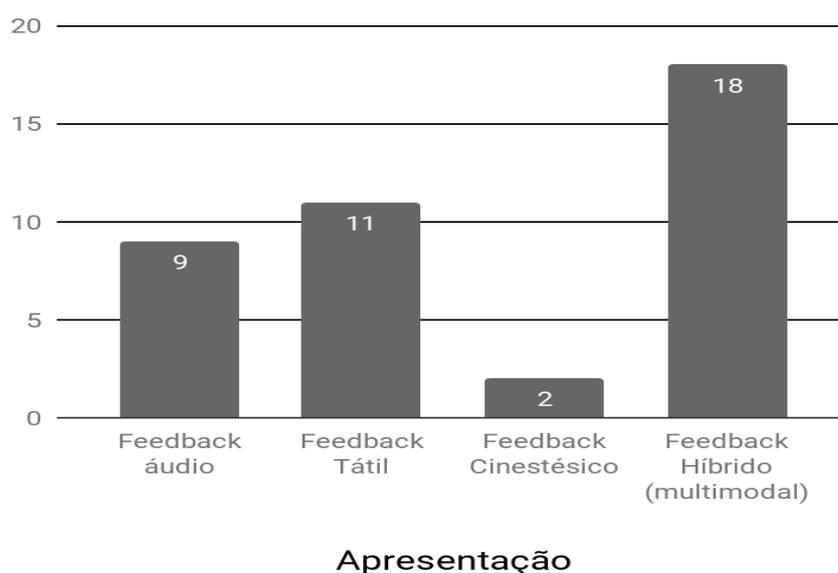


Figura 64: Gráfico sobre as estratégias de apresentação dos conteúdos gráficos

7.3.5. Resposta para a questão de pesquisa (QP5)

Questão de Pesquisa: **Qual o nível de deficiência visual dos participantes dos estudos**

Nos estudos levantados por esta RSL foram detectados que dois tipos de deficientes visuais participam dos estudos, cegos e baixa visão. Em alguns estudos pôde-se observar, inclusive, que pessoas com visão, porém na maioria desses estudos esses participantes tiveram os olhos vendados, participaram dos estudos de usabilidade da tecnologia, isso se deve ao fato da dificuldade em encontrar pessoas com deficiências visuais disponíveis para participar deste estudo, conforme constatado na questão de pesquisa 1.

Contudo é importante considerar cuidadosamente se os participantes com visão vendada são uma amostra razoável ao generalizar para participantes cegos, como alerta (GIUDICE et al., 2012). Em contrapartida, neste mesmo estudo ele afirma que:

Estudos prévios com gráficos auditivos [20]²⁵ e mapas táteis [5]²⁶ não encontraram diferenças entre os grupos cegos e com olhos vendados.

²⁵ WALKER, B.N. and MAUNEY, L., 2010. Universal Design of Auditory Graphs: A Comparison of Sonification Mappings for Visually Impaired and Sighted Listeners. ACM Transactions on Accessible Computing 2, 3, Article 12, 16 pages.

²⁶ GIUDICE, N.A., BETTY, M.R., and LOOMIS, J.M., 2011. Functional equivalence of spatial images from touch and vision: Evidence from spatial updating in blind and sighted individuals. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition 37, 3, 621-634.

De fato, a inclusão de usuários não representativos (por exemplo, participantes com visão vendada) é geralmente aceita nos testes preliminares de eficácia da tecnologia assistiva [ver 27 para discussão]²⁷. Na verdade, o desempenho dos participantes com visão vendada nos experimentos atuais representa uma estimativa conservadora da eficácia da interface, já que é provável que esse grupo esteja menos acostumado a usar as dicas hápticas como um modo primário de coleta de informações. Embora nossas amostras participantes sejam muito pequenas para fazer comparações estatísticas válidas entre grupos, a similaridade de desempenho observado entre participantes cegos e com olhos vendados (como visto nos dados de dados correspondentes a cada experimento) fornece suporte para a validade de nossa decisão de inclusão”.

Dos estudos levados em consideração por este trabalho, apenas 35 citaram os níveis de deficiência visual dos participantes.

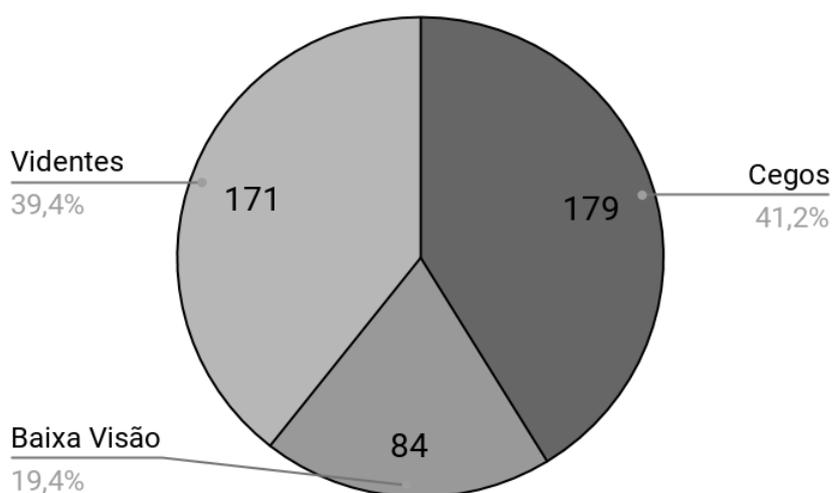


Figura 65: Gráfico sobre o nível de deficiência dos participantes nos estudos

7.3.6. Resposta para a questão de pesquisa (QP6)

Questão de Pesquisa: ***Para quais tipos de conteúdo gráfico a solução foi aplicada?***

Nos estudos analisados por esta RSL encontramos soluções para diversos tipos de conteúdo. Para as ferramentas de criação pudemos verificar que: 6 soluções

²⁷ SEARS, A. AND HANSON, V., 2011. Representing users in accessibility research. Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems.

foram aplicadas para gráficos matemáticos; 5 para desenhos variados. Já no que diz respeito às soluções para apresentação de conteúdos gráficos: 14 foram aplicadas a conteúdos de gráficos matemáticos; 2 para objetos 3D; 4 para formas geométricas simples; 8 para mapas e plantas baixa, utilizando para orientação do deficiente visual em um determinado espaço; e 16 soluções aplicadas para diversos tipos de conteúdo gráfico, não se restringindo a apenas uma aplicabilidade.

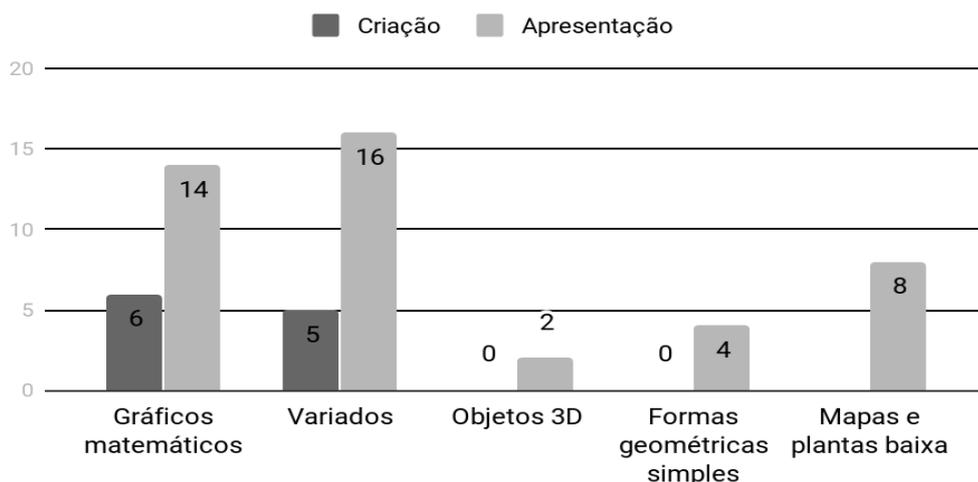


Figura 66: Gráfico representando o tipo de conteúdo para a quais as soluções foram aplicadas

7.3.7. Resposta para a questão de pesquisa (QP6)

Questão de Pesquisa: ***Em quais países estão sendo realizados os estudos?***

A RSL demonstrou um alto número de estudos voltado para esta área, embora poucos tenham sido realizados em países em desenvolvimento, onde o investimento para este tipo de pesquisa é aquém do ideal. Acreditamos que este seja uma das possíveis justificativas para esta RSL ter retornado este resultado. Isto corrobora com a necessidade do desenvolvimento de estudos para melhor a acessibilidade e inclusão dos deficientes visuais em países em desenvolvimento, mesmo no Brasil, e assim poder elevar o grau de inclusão desta parcela da sociedade muitas vezes deixada de lado.

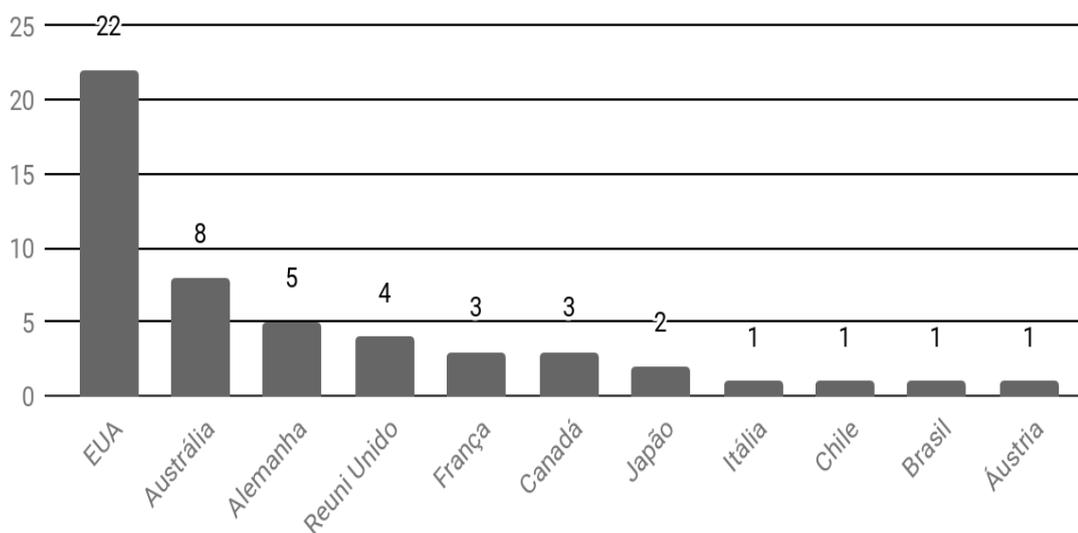


Figura 67: Gráfico da distribuição geográfica dos estudos desta RSL.

7.3.8. Discussão

Essa revisão foi realizada durante os meses de dezembro de 2017 e março de 2018, com atualização realizada nos meses de janeiro e fevereiro de 2019. Para a realização da pesquisa foi definido um protocolo com as atividades de planejamento e condução da revisão. Inicialmente, foram selecionados 382 artigos das fontes de pesquisa CAPES, ACM *Digital Library*, *Scopus* e *Web of Science*. Ao aplicar os critérios de inclusão definidos, excluímos os artigos que não se enquadraram, e ao final da seleção, foram utilizados 51 artigos para extração das informações.

Com os critérios definidos no protocolo foi possível responder às questões definidas, obter uma visão geral das tecnologias assistivas, além de identificar oportunidades futuras de pesquisas. As principais conclusões deste trabalho são:

1 - Não foram encontradas tecnologias concretas que possibilitam aos deficientes visuais elaborar conteúdos gráficos, sendo esse um campo que oferece oportunidades para novas pesquisas;

2 - É preciso levar em consideração um design participativo e centrado no usuário, pois quando se tem, dentro do projeto participantes com a deficiência alvo do problema, é muito mais provável que todos os detalhes necessários para o sucesso desta solução sejam alcançados. Giudice et al. (2012) acreditam que “esta abordagem evita uma armadilha de engenharia, onde desenvolvimento é impulsionado pela eficiência computacional e suposições dos projetistas, muitas vezes errôneas, sem contar com o feedback do usuário final”. Da mesma forma, isto justifica também a

necessidade de certa cautela na inclusão de videntes vendados nos testes de usabilidade, já que estes não possuem características inerentes a pessoas com deficiência visual e o resultado dos testes pode ser um falso positivo.

3 - Ferramentas com feedbacks híbridos (multimodais) são as mais bem aceitas pelos deficientes visuais por permitir uma melhor compreensão dos conteúdos já que são explorados várias formas de feedbacks ao mesmo tempo. Assim novas tecnologias assistivas podem usar deste recurso para obter maior eficácia.

4 - Os estudos indicam que há diversos recursos e tecnologias sendo produzidos e disponibilizados à população, o que reporta a necessidade de que mais profissionais se apropriem desta tecnologia que pode impactar diretamente a autonomia de pessoas com deficiência visual. Contudo, é de extrema importância que o desenvolvimento destas tecnologias assistivas considere os feedbacks dos principais usuários potenciais sobre a deficiência e funcionalidade dos mesmos na vida diária como discutido.

5 - Por fim, ressalta-se que a maioria dos estudos encontrados foram realizados em países desenvolvidos, uma vez que, através dos procedimentos de busca adotados, foi reportado apenas um trabalho nacional (e mais um outro trabalho para o resto da América Latina). Nos cabe mencionar que uma das prováveis razões para essa lacuna no país seja a dificuldade que pesquisadores brasileiros tenham com relação ao financiamento de pesquisas dessa natureza que potencialmente envolvem equipamentos e tecnologias de alto custo. Desta forma é possível pensar em alternativas para reduzir o custo no desenvolvimento de tecnologias assistivas que utilizam dispositivos e hardwares comuns e de fácil acesso. Outra provável razão é que, pela ausência de ferramentas que auxiliam o deficiente visual durante o seu currículo escolar, há uma grande evasão escolar e poucos alunos deficientes visuais alcançam o ensino superior, menos ainda nas áreas de engenharia. As problemáticas encontradas pelos deficientes visuais permanecem, em consequência, longe da percepção dos pesquisadores. Nota-se que esta pesquisa é inclusive em grande parte motivada pela presença de um aluno deficiente visual em um curso de engenharia do campus. Desta forma, teria necessidade de romper um ciclo vicioso: há pouco alunos deficientes visuais em cursos superiores de engenharia pela ausência de tecnologias assistivas, há poucas tecnologias assistivas pela raridade dos deficientes visuais nos cursos superiores em engenharia.

Apesar das diretrizes para uma RSL terem sido seguidas, é oportuno salientar que este trabalho possui algumas limitações, que criam oportunidades para próximos trabalhos devido ao fato de que alguns artigos relevantes podem ter ficado fora do estudo por não estarem disponíveis de forma gratuita, além da quantidade de fontes utilizadas, que podem ser ampliadas para uma maior abrangência e cobertura do estudo, incluindo fontes para pesquisas manuais, mesmo que tenha sido realizada pesquisa no portal de periódico da CAPES que indexa muitas outras bases bibliográficas.

**APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA
LEVANTAMENTO DO PERFIL DOS PARTICIPANTES**

Formulário criado para levantar o perfil dos participantes nos estudos realizados por este trabalho. Também disponível *online* no link <https://forms.gle/hz9ZMn3mZVySTSTNA>.

1. Nome:

2. Identificação do participante:

3. Sexo/Gênero:

Marcar apenas um oval.

Masculino Feminino

4. Idade:

5. Escolaridade:

Marcar apenas um oval.

- Ensino Fundamental Incompleto
- Ensino Fundamental Completo
- Ensino Médio/Técnico Incompleto
- Ensino Médio/Técnico Completo
- Ensino Superior Incompleto
- Ensino Superior Completo
- Especialização
- Mestrado
- Doutorado

6. Visão:

Baixa visão é a incapacidade de enxergar com clareza suficiente por uma distância de 3 metros, à luz do dia, em outras palavras, trata-se conserva resíduos de visão.

Marcar apenas um oval.

- Totalmente Cego
- Legalmente Cego
- Baixa Visão
- Outro:
-

7. Chegada da Deficiência Visual:

Marcar apenas um oval.

- Congênito (desde o nascimento)
- Outro:
-

8. Porcentagem da vida com deficiência visual:

Basta calcular com base na idade e a chegada da deficiência visual.

Não é necessário perguntar ao deficiente

9. Qual sua habilidade na leitura Braille?

Marcar apenas um oval.

- | | | | | | | |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Nenhuma | <input type="checkbox"/> | Excelente |
-

10. Com qual frequência utiliza material em Braille?

Marcar apenas um oval.

- Todos os dias
- 4 a 5 vezes na semana
- 2 a 3 vezes na semana
- Outro:

11. Qual sua habilidade na leitura de desenhos táteis?

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="checkbox"/>	Excelente				

12. Com qual frequência utiliza desenhos táteis?

Marcar apenas um oval.

- Todos os dias
- 4 a 5 vezes na semana
- 2 a 3 vezes na semana
- Outro:
-

13. Qual sua habilidade no uso de dispositivos móveis (Smartphone, Tablets e notebooks)?

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="checkbox"/>	Excelente				

14. Com qual frequência utiliza dispositivos móveis?

Marcar apenas um oval.

- Todos os dias
- 4 a 5 vezes na semana
- 2 a 3 vezes na semana
- Outro:
-

15. Quão importante são os desenhos táteis para você?

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Nenhuma	<input type="checkbox"/>	Muito importante				

16. Você utiliza algum recurso de tecnologia assistiva para acessar conteúdos gráficos?

Marcar apenas um oval.

Não usa/Não utiliza conteúdos gráficos

Apenas desenhos táteis

Smartphones

Tablets

Notebook/computadores

Outro:

**APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO
DOS DESENHOS TÁTEIS USADOS NA AVALIAÇÃO
PRELIMINAR**

Formulário criado para avaliar qualitativamente e quantitativamente os desenhos táteis usados nos estudos de caso para avaliação do protótipo da ferramenta. Também disponível online no link <https://forms.gle/NKGs9D1xzWEZcHpz5>.

AVALIAÇÃO GRÁFICO DE LINHAS

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

No sentido de compreender as informações contidas no desenho.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Em partes

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Em qual mês a produção de açaí bateu seu maior nível?

- Julho
- Agosto
- Setembro
- Outubro
- Novembro
- Dezembro

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
 - Não
 - Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 2: A produção de açaí acabou o ano de 2018 em baixa ou em alta?

Marcar apenas um oval.

- Baixa
- Alta

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 3: Em qual período a variação da produção de açaí foi maior?

Esclarecer para o deficiente que o período deve ser de dois meses

Marcar apenas um oval.

- Jul a ago
- Ago a set
- Set a Out
- Out a Nov
- Nov a Dez

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 4: Em qual mês a produção de açaí bateu seu menor nível?

Marcar apenas um oval.

- Julho
- Agosto
- Setembro
- Outubro
- Novembro
- Dezembro

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

AVALIAÇÃO HEREDOGRAMA

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

No sentido de compreender as informações contidas no desenho.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Em partes

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Quantos indivíduos afetados podem ser identificados no heredograma?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 2: Qual a característica representada no heredograma para indivíduos não afetados?

Marcar apenas um oval.

- Lobo da Orelha Preso
- Lobo da Orelha Solto
- Outro:

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 3: Quais os genes dos indivíduos 3 e 4 da segunda geração?

Marcar apenas um oval.

- AA
- Aa
- aa
- Outro:

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

AVALIAÇÃO MAPA DO BRASIL REGIÕES

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

No sentido de compreender as informações contidas no desenho.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Em partes

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Qual a região do país que apresenta a menor densidade demográfica?

Marcar apenas um oval.

- Norte
- Nordeste
- Sul
- Sudeste
- Centro oeste

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 2: Qual a densidade demográfica da região que apresenta o maior número de estados?

Marcar apenas um oval.

- 36,4 hab/km²
- 4,7 hab/km²
- 10 hab/km²
- 94,6 hab/km²
- 51 hab/km²
- Outro:

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 3: Qual a população da menor região do país?

Marcar apenas um oval.

- Cerca de 29,6 milhões de hab.
- Cerca de 87,5 milhões de hab.
- Cerca de 56,7 milhões de hab.
- Cerca de 18 milhões de hab.
- Cerca de 15,8 milhões de hab.
- Outro:

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

AVALIAÇÃO TUBARÃO

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

*No sentido de compreender as informações contidas no desenho.
Marcar apenas um oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

*Para o avaliador
Marcar apenas um oval.*

- Sim
- Não
- Em partes

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Quantas barbatanas podem ser encontradas no tubarão?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 2: Qual a principal função da primeira barbatana dorsal?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 3: Qual a distância máxima estimada para a visão do tubarão?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

AVALIAÇÃO PLANTA BAIXA BLOCOS IFPA

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

No sentido de compreender as informações contidas no desenho.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Em partes

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Quantos banheiros podem ser encontrados na planta apresentada?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 2: Após a entrada, para qual direção fica a porta da sala 5?

Marcar apenas um oval.

- Direita
- Esquerda
- Em frente

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente
-

Questão 3: Qual o número da sala da copa, e entre quais salas ela está localizada?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

AVALIAÇÃO SANTA CEIA

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

No sentido de compreender as informações contidas no desenho.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Em partes

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Quantos e quais objetos estão representados em cima da mesa?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 2: Tomando como referência a posição de Jesus Cristo no desenho tátil, o apóstolo Felipe está localizado à direita ou à esquerda?

Marcar apenas um oval.

Esquerda

Direita

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 3: Entre quais apóstolos está localizado Pedro?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

AVALIAÇÃO CAMPO DE FUTEBOL

1. Qual a sua impressão sobre o desenho tátil utilizado?

No sentido de compreender as informações contidas no desenho.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ruim	<input type="checkbox"/>	Muito boa									

2. Poderia fazer uma breve descrição do que você percebeu sobre o desenho tátil?

3. Identificou o desenho?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Sim
- Não
- Em partes
-

4. Tempo de exploração:

Para o avaliador

5. Quantidade de vezes que explorou a imagem:

Para o avaliador

6. Observações a serem colocadas

Para o avaliador

Questão 1: Qual a distância entre a marca do pênalti para a semicirculo da grande área?

Marcar apenas um oval.

9,15 m

11 m

16,5 m

Outro:

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 2: Qual a largura mínima de um campo de futebol?

Marcar apenas um oval.

45 m

65 m

180 m

Outro:

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

Questão 3: Para que serve a pequena área?

Consultou o gráfico para responder à questão?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Para tirar dúvida mesmo respondendo corretamente

**APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO
DOS DESENHOS TÁTEIS USADOS NA AVALIAÇÃO
FINAL**

Formulário criado para avaliar qualitativamente e quantitativamente os desenhos táteis usados nos experimentos finais da ferramenta.

PRÉ TESTE - CÉLULA VEGETAL

Tarefa/Questão 1. Quantas estruturas celulares estão sendo mostradas no desenho tátil?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Tarefa/Questão 2. Os ribossomos são encontrados apenas dispersos no citoplasma?

Sim

Não

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Tarefa/Questão 3. Próximo a quais organelas está o lisossomo?

Ribossomos e Complexo de Golgi

Ribossomos e Outro

Complexo de Golgi e Outro

Outros

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Eu gostei de explorar o desenho

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Conseguí construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

PRÉ TESTE - MAPA REGIÃO NORTE

Tarefa/Questão 1. Quais estados fazem divisa com Roraima??

Marcar todos os estados citados pelo participantes.

- Amazonas
- Amapá
- Pará
- Tocantins
- Acre
- Rondônia

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Desenho
 - Legenda
 - Nenhum
-

Tarefa/Questão 2. Em que se baseia a economia do acre?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Desenho
 - Legenda
 - Nenhum
-

Tarefa/Questão 3. Qual Estado possui a menor densidade demográfica?

- Amazonas
- Amapá
- Pará
- Tocantins

Acre

Rondônia

Roraima

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Eu gostei de explorar o desenho

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Conseguí construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

PRÉ TESTE - GRÁFICO DE LINHAS

Tarefa/Questão 1. Durante quanto tempo a velocidade se manteve constante?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Tarefa/Questão 2. O Veículo encerrou o período observado em aceleração ou desaceleração?

Aceleração

Desaceleração

Constância

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Tarefa/Questão 3. Quanto tempo decorreu até o veículo alcançar sua velocidade máxima?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Eu gostei de explorar o desenho

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Consegui construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

PRÉ TESTE - GRÁFICO DE BARRAS

Tarefa/Questão 1. Qual a sequência de produção de soja no período observado?

- Crescente
- Decrescente
- Estável
- Variável

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Desenho
- Legenda
- Nenhum
-

Tarefa/Questão 2. Em qual ano a produção de soja foi menos importante para a produção de grãos, em geral?

- 2015
- 2016
- 2017
- 2018

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

- Desenho
- Legenda
- Nenhum
-

Tarefa/Questão 3. Qual ano a produção de grãos obteve seu pior índice?

- 2015
- 2016

2017

2018

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Eu gostei de explorar o desenho

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Conseguí construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

PRÉ TESTE -FLUXOGRAMA

Tarefa/Questão 1. Segundo o fluxograma, quais opções estão disponíveis para a atividade Tela de Login?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Tarefa/Questão 2. Ao tentar cadastrar um usuário, o que acontece se os dados informados forem inválidos?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Tarefa/Questão 3. Qual a atividade seguinte após a validação das informações de Login?

Consultou desenhos e legendas?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Desenho

Legenda

Nenhum

Eu gostei de explorar o desenho

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Consegui construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Conseguí construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Consegui construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Consegui construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

Conseguí construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="text"/>	Concordo Plenamente				

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="text"/>	Concordo Plenamente				

PÓS TESTE - FLUXOGRAMA

Tarefa/Questão 1. Segundo o fluxograma, se o estoque de um produto estiver zerado, o que é possível fazer?

Consultou?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Tarefa/Questão 2. Ao consultar um produto e não encontrá-lo, o que é possível fazer, segundo o fluxograma?

Consultou?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Tarefa/Questão 3. Quais as atividades seguintes após a confirmação que o produto tem em estoque?

Consultou?

Para o avaliador

Marcar apenas um oval.

Sim

Não

Eu gostei de explorar o desenho

1

2

3

4

5

Discordo
Plenamente

Concordo
Plenamente

Consegui construir um modelo mental do desenho tátil

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente						Concordo Plenamente

Eu tive que fazer um grande esforço para entender e ler o desenho.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente						Concordo Plenamente

APÊNDICE E – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA USABILIDADE DA APLICAÇÃO

Formulário criado para avaliar a usabilidade da solução também disponível online no link <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSec-UdoOJJajeO-mddLp2KWRJeUct-Pf9BIIJoemSdfUOyKdg/viewform>.

A avaliação de usabilidade com o questionário SUS (*System Usability Scale*) só foi utilizada para a avaliação final da solução.

AValiação DA USABILIDADE DO T-TÁTIL

1. Acho que gostaria de utilizar este produto com frequência.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

2. Considerei o Produto mais complexo do que o necessário.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

3. Achei o produto fácil de utilizar.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

4. Acho que necessitaria de ajuda de um técnico para conseguir utilizar este produto.

Marcar apenas um oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo Plenamente	<input type="checkbox"/>	Concordo Plenamente				

5. Considerei que as funcionalidades deste produto estavam bem integradas.

Marcar apenas um oval.

APÊNDICE F – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO PROTÓTIPO DA APLICAÇÃO

Formulário criado para avaliar qualitativamente protótipo da aplicação nos estudos, também disponível online no link <https://forms.gle/NKGs9D1xzWEZcHpz5>.

PERGUNTAS SOBRE A TECNOLOGIA

1. O tablet o ajudou a entender melhor o desenho tátil?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5

Não Certamente

2. Como foi sua experiência com a tecnologia?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5

Ruim Muito boa

3. Quão compreensível foi a introdução para você?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5

Nada Excelente

4. Quão fácil é para desencadear uma descrição desejada?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5

Nada Muito fácil

5. Quão importante é, que as descrições sejam acionadas apenas por determinados gestos, quando solicitado, e não durante o tempo todo da exploração?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5

Sem importância Muito importante

6. Quão feliz você estava com o número de partes descritas nos desenhos táteis?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Nada Muito

7. Qual ou quais desenhos você achou mais interessante? Porque?

8. Quanto você gostaria de usar essa tecnologia em seu dia a dia, ou em uma matéria da escola, por exemplo?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Não usaria Certamente

9. Você preferiria outros tipos de descrições (Sons diversos, áudio gravado por uma pessoa real, músicas, etc.)?

Marcar apenas um oval.

- Não
- Talvez
- Sim
- Não tenho certeza
- Não faz diferença para mim
-

10. Você compraria um tablet (+ ou - R\$ 400,00) para poder usar esta aplicação, além, é claro, para utilizar os outros recursos de acessibilidade do tablet??

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5
Não Certamente

11. Você gostaria que sons ou descrições fossem executadas enquanto movia os dedos sobre o desenho tátil?

Marcar apenas um oval.

- Não
 Talvez
 Sim
 Não tenho certeza
 Não faz diferença para mim
-

12. Caso a pergunta anterior seja positiva. Cite um exemplo que acha que a funcionalidade seria útil.

13. Como você avalia o valor agregado das descrições sonoras dos gráficos táteis?

Marcar apenas um oval.

1 2 3 4 5
Ruim Excelente
