



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
TELECOMUNICAÇÕES

ChartVision: Gráficos de Barras Verticais Acessíveis

Alan Trindade de Almeida Silva

BELÉM - PARÁ

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
TELECOMUNICAÇÕES

Alan Trindade de Almeida Silva

ChartVision: Gráficos de Barras Verticais Acessíveis

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do grau de Engenheiro em Engenharia da Computação, do Instituto de Tecnologia, da Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações.

BELÉM - PARÁ

2019

ChartVision: Gráficos de Barras Verticais Acessíveis

Este trabalho foi julgado adequado em ___/___/___ para a obtenção do Grau de Engenheiro da Computação, aprovado em sua forma final pela banca examinadora que atribuiu o conceito _____.

Prof^a. Dr^a. Marcelle Pereira Mota
ORIENTADORA

Cynthia Letícia Teles de Oliveira
COORIENTADORA

Prof^a. Dr^a. Fabiola Pantoja Oliveira Araújo
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelino Silva da Silva
DIRETOR DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

“Dedico esse trabalho a meu pai e minha mãe”

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à minha família por toda ajuda e apoio que foram de fundamental importância tanto para a minha formação pessoal quanto profissional. Em especial, à minha mãe Mara e meu pai Adilson, por terem me dado a oportunidade de poder me dedicar apenas aos estudos por todos esses anos. Amo vocês. Espero retribuir tudo o que vocês já fizeram por mim.

Agradeço também minhas orientadoras, Marcelle Mota e Cynhya Teles por toda a ajuda e principalmente por me mostrarem que existem profissionais sérios e preocupados com a educação no meio acadêmico, apesar do que olhar na direção errada pode fazer parecer.

Um agradecimento especial aos meus amigos de curso Leonardo Ribeiro, Paulo Alberto e Gabriel Baima pelas inúmeras ajudas ao longo do curso. Vocês estiveram ao meu lado em todas as disciplinas desde o inicio do curso e eu, certamente, não teria me tornado quem sou hoje sem vocês.

Eu não poderia deixar de agradecer aos meus colegas de trabalho do LABVIS2 (com ênfase no 2) que, nesse ano de 2019, se tornaram uma verdadeira segunda família para mim, com quem eu passava a maior parte dos meus dias. Vocês me mostraram que o trabalho em equipe gera resultados e que a ajuda mútua não gera concorrência e sim admiração.

Por fim, agradeço aos voluntários que aceitaram participar dos testes, sem as quais os resultados e conclusões deste trabalho não teriam sido possíveis.

Alan Trindade de Almeida Silva

*“Se eu vi mais longe do que outros, foi por me apoiar nos
ombros de gigantes”*

Sir Isaac Newton

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Contexto do trabalho	1
1.2	Motivação	1
1.3	Justificativa	2
1.4	Objetivos	2
1.4.1	Objetivos Específicos	2
1.5	Metodologia	3
1.6	Síntese de Conteúdos	3
2	Referencial Teórico	5
2.1	Desenvolvimento Android	5
2.2	MPAndroidChart	7
2.3	NFC	8
2.4	Códigos QR	10
2.5	Vega-Lite	11
2.6	Google Text-to-Speech	12
2.7	Medição de Acuidade Visual	12
2.8	Simulação de Deficiência Visual	14
3	Protótipo	17
3.1	Especificação de Requisitos do Aplicativo	17
3.2	Desenvolvimento do Aplicativo	18
3.2.1	Compatibilidade	18
3.2.2	Depuração e Testes	19
3.2.3	Opções de Usuário	19

3.2.4	Atividades	20
3.3	Visualização do Gráfico	21
3.3.1	Interação por Toque	23
3.3.2	Alto Contraste	24
3.3.3	Modelos de Vocalização	25
4	Testes e Resultados	29
4.1	Participantes	29
4.2	Ferramentas e Procedimentos do Teste	30
4.2.1	Procedimentos do Teste	30
4.3	Resultados e Discussão	33
4.3.1	Análise Quantitativa	33
4.3.2	Análise Qualitativa	36
4.3.2.1	Introdução do Gráfico	36
4.3.2.2	Óculos de Baixa Visão	37
4.3.2.3	Voz Sintética	37
4.3.2.4	Legenda de Séries	37
4.3.2.5	Relevância dos Elementos dos Gráficos	38
4.3.3	Entrevista com Especialista	39
5	Considerações Finais	42
5.1	Publicações	43
5.2	Trabalhos Futuros	43
Referências Bibliográficas		45
A	TCLE	49

Lista de Figuras

1.1	Etapas da Metodologia.	4
2.1	Porcentagem de mercado de cada sistema operacional.	6
2.2	Ciclo de vida de uma atividade Android.	7
2.3	Exemplo de gráfico gerado pela API MPAndroidChart.	8
2.4	Alguns formatos de etiquetas NFC disponíveis comercialmente.	9
2.5	Estrutura física de um código QR.	10
2.6	Exemplo de gráfico de barras codificado na gramática Vega-Lite.	11
2.7	Gráficos utilizados para o teste de Snellen e para o teste de Landolt C.	13
2.8	Diferentes níveis de perda de visão sendo simuladas utilizando mais de um dos <i>Cambridge Simulation Glasses</i>	14
2.9	Óculos de simulação de baixa visão.	15
3.1	Porcentagem de mercado de cada versão do Android.	18
3.2	Diagrama de Atividades do aplicativo desenvolvido.	20
3.3	Capturas de tela das Atividades da aplicação.	22
3.4	Captura de tela da Atividade de visualização de gráficos.	23
3.5	Áreas de interação por toque do gráfico.	23
3.6	Visualização de um gráfico em alto contraste.	25
3.7	Proporção de relevâncias para cada elemento de um gráfico de barras.	26
4.1	Distribuição dos participantes do teste entre as áreas de conhecimento.	30
4.2	Gráficos utilizados nos testes.	32
4.3	Gráficos utilizados nos testes.	34
4.4	Boxplot dos tempos para resposta de cada pergunta	36

4.5	Frequência de uso dos elementos dos gráficos nas descrições dadas pelos participantes do teste.	39
4.6	Gráfico de barras impresso em braille.	40

Lista de Quadros

2.1	Resumo dos métodos de retorno de chamada do ciclo de vida da Atividade.	7
3.1	Modelo de vocalização para gráficos de barras simples, modificado para a ferramenta.	27
3.2	Modelo de vocalização para gráficos de barras agrupadas, modificado para a ferramenta.	28
4.1	Opções utilizadas para cada grupo de teste.	31
4.2	Perguntas sobre os gráficos feitas aos participantes do teste.	33

Listas de Abreviaturas

OMS Organizaão Mundial da Saúde

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

API *Application Programming Interface*

NFC *Near Field Communication*

QR *Quick Response*

SDK *Software Development Kit*

JSON *Java Script Object Notation*

PT-BR Português Brasileiro

RAM *Random Acess Memory*

TTS *Text-to-Speech*

W3C *World Wide Web Consortium*

WCAG *Web Content Accessibility Guidelines*

RGB *Red Green Blue*

UFPa Universidade Federal do Pará

TCLE Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Resumo

Pessoas com diferentes tipos de deficiências visuais interagem com a tecnologia utilizando ferramentas específicas que vão desde softwares inversores, que aumentam o contraste dos elementos, a até mesmo *softwares* leitores de tela, que lêem utilizando voz sintetizada o conteúdo da tela do dispositivo para o usuário. Esses *softwares*, principalmente os leitores de tela, encontram um desafio na descrição e na navegação por gráficos de dados, onde a aplicação lê apenas elementos textuais acoplados aos gráficos, como as legendas e os metadados que as imagens de gráficos podem ou não possuir. Desse modo, foi desenvolvida uma ferramenta móvel, denominada ChartVision, cujo o foco é permitir que esse grupo de usuários tenha total acesso aos dados que os gráficos de barras simples e agrupadas codificam por meio do toque, da resposta haptica e da vocalização dos dados dos gráficos para pessoas cegas. O aplicativo também apresenta opções com esquemas de cores em alto contraste e tamanhos maiores de fontes para pessoas com baixa visão. Foram realizados testes de usabilidade e acessibilidade na ferramenta com voluntários simulando estados de cegueira e baixa visão, assim como com um grupo de controle com pessoas normotípicas. Os resultados apontam o potencial da ferramenta junto ao seu público-alvo e pontos a serem melhorados.

Abstract

People with different kinds of visual impairments interact with technology using specific tools ranging from inverter softwares, that enhances the contrast of visual elements, to screen reader softwares, that reads using synthesized voice, the device's screen content to the user. Those softwares, especially screen readers, face challenges in describing data charts, for which the application reads only available textual elements coupled with the charts, such as captions and metadata that chart images may or may not have. Thus, a mobile tool called ChartVision was developed, with the focus in allowing this group of users to have full access to the data encoded in simple and grouped bar graphs through touch, haptic response and vocalization of data. The software also features options to provide high contrast color schemes and larger font sizes for people with low vision. Usability and accessibility tests were performed on the tool with volunteers simulating states of blindness and low vision, as well as with a control group with normotypic people. The results point out the potential of the tool with its target audience and points to be improved.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto do trabalho

Em 2012 a Organização Mundial da Saúde (OMS) emitiu o seu último relatório em deficiência visual e cegueira [1], baseado nas pesquisas realizadas em [2], que revelou que no mundo existem, pelo menos, 285 milhões de pessoas que sofrem de algum nível de deficiência visual, das quais 39 milhões são cegas. Somente no Brasil, segundo o censo realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existem 6,5 milhões de pessoas que possuem algum nível de deficiência visual [3].

Pessoas cegas e com baixa visão fazem o uso de *softwares* específicos para que consigam interagir com dispositivos computacionais. Pessoas cegas dependem de *softwares* leitores de tela, que leem para elas, através de voz sintetizada, o conteúdo apresentado nas telas. Destacam-se para o uso em computadores o JAWS [4] e o brasileiro DOSVOX [5], e para uso em dispositivos móveis o TalkBack, padrão da plataforma Android, e o VoiceOver, padrão da plataforma iOS. Já pessoas com baixa visão podem aumentar o tamanho das fontes e utilizar a opção de alto contraste e inversão de cores, presente nas configurações de acessibilidade da maioria dos sistemas operacionais modernos.

1.2 Motivação

Apresentar imagens presentes em textos é um desafio para estes *softwares*, os leitores de tela se limitam a apenas informar que sobre a presença de uma imagem e a ler os metadados associados a esta imagem, caso estes tenham sido incluídos pelo autor pensando na acessibilidade. Já os *softwares* para pessoas com baixa visão não conseguem aumentar o tamanho das

fontes ou aumentar o contraste de elementos presentes em imagens, pois eles não são editáveis. Este desafio aumenta mais ainda quando se trata de imagens de gráficos de dados, pois a descrição de gráficos de dados não é uma tarefa trivial e os *softwares*, novamente, se limitam a ler apenas os metadados associados, assim como, novamente, não conseguem alterar os tamanhos das fontes e esquema de cores.

1.3 Justificativa

Hoje, pessoas cegas e com baixa visão que fazem o uso dos *softwares* mencionados anteriormente tem como única opção ignorar o conteúdo dos gráficos presentes nos textos. Opção não ideal, pois os dados apresentados em gráficos poucas vezes estão disponíveis em alguma outra parte do texto, o que pode diminuir e até mesmo impedir totalmente o entendimento do leitor. A criação de alternativas para que pessoas cegas e com baixa visão possam ter acesso a este tipo de conteúdo as serve como mecanismo de inclusão, permitindo sua reinserção no processo de aprendizagem, no mercado de trabalho e em qualquer outro contexto onde o uso de gráficos seja necessário.

1.4 Objetivos

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento do protótipo de uma ferramenta móvel, denominada ChartVision, cujo foco é permitir que pessoas cegas e com baixa visão tenham total acesso aos dados que os gráficos de barras simples e agrupadas codificam por meio do toque, da resposta haptica e da vocalização dos dados dos gráficos para pessoas cegas.

1.4.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são: i) Estudo e implementação da ferramenta e ii) Teste com voluntários. Cada tópico é, brevemente, detalhado a seguir.

- i) Estudo e implementação da ferramenta:
 - Estudo de compatibilidade de plataforma;
 - Estudo de APIs para a visualização dos gráficos de barra;
 - Estudo da forma de interação por toque;

- Estudo de diretrizes de acessibilidade para deficiência visual e cegueira, no desenvolvimento de interfaces e na interação com dispositivos computacionais;
 - Implementação da ferramenta com base nos estudos realizados.
- ii) Avaliação da ferramenta com voluntários:
- Definição dos cenários de testes;
 - Análise quantitativa dos dados coletados;
 - Análise qualitativa dos dados coletados.

1.5 Metodologia

O desenvolvimento do trabalho se iniciou com o levantamento de requisitos para o protótipo, onde foram definidas as funcionalidades e recursos que seriam implementados, seguido do estudo de APIs e plataformas a serem utilizadas, onde a plataforma escolhida foi o Android, a API MPAndroidChart foi escolhida como API de geração de gráficos, a Mobile Vision API foi escolhida para leitura de códigos QR, a linguagem Vega-Lite foi escolhida para a codificação dos gráficos e a Google Text-to-Speech API foi escolhida para a vocalização por voz sintética, em seguida ocorreu a implementação do protótipo em si. As escolhas feitas serão comentadas nos capítulos a seguir. Por fim um teste foi realizado com usuários para testar a ferramenta e levantar dados para verificar sua viabilidade e um especialista na área foi entrevistado.

A Figura 1.1 mostra uma visão geral do sistema implementado e dos testes realizados. Os testes foram realizados com um grupo de controle, que serviu de base de comparação para os resultados, um grupo de simulação de baixa visão que testou os recursos de alto contraste e fontes maiores e um grupo de simulação de cegueira que testou os recursos de interação por toque e voz sintética. A aplicação é compatível com aparelhos com o sistema operacional Android e será disponibilizada gratuitamente na loja digital *Google Play Store*.

1.6 Síntese de Conteúdos

Este capítulo fez uma breve introdução sobre as motivações que levaram ao desenvolvimento do projeto além de mostrar os objetivos e metodologia do trabalho. A seguir, apresenta-se uma síntese dos conteúdos que são abordados nos próximos capítulos.

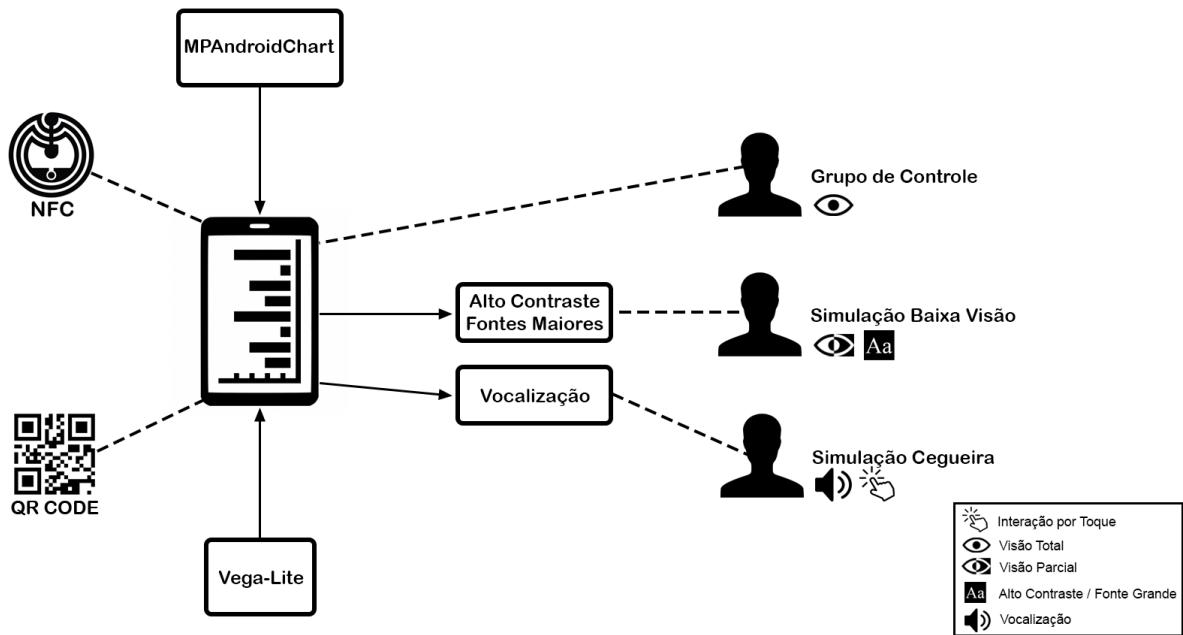


Figura 1.1: Etapas da Metodologia.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

Capítulo 2. Referencial Teórico. Uma introdução das principais ferramentas para o desenvolvimento do trabalho será feita. Serão abordados tópicos sobre desenvolvimento de aplicações Android, sobre a API de gráficos escolhida, tecnologias usadas para carregamento, codificação e vocalização dos gráficos, assim como métricas de medição de acuidade visual e formas de simular deficiências visuais para testes com voluntários normotípicos.

Capítulo 3. Protótipo. Neste capítulo, as atividades realizadas para a construção da ferramenta serão detalhadas. Serão descritos os procedimentos e ferramentas utilizados para o desenvolvimento do aplicativo bem como serão explicadas as diretrizes de acessibilidade que foram seguidas.

Capítulo 4. Testes e Resultados. A ferramenta proposta foi testada com voluntários, que responderam perguntas que permitiram realização de análise qualitativa e quantitativa. Os detalhes sobre a metodologia dos testes aplicados aos voluntários e os resultados obtidos e avaliados são relatadas neste capítulo.

Capítulo 5. Considerações Finais. Neste capítulo é apresentado a conclusão do trabalho, as contribuições do projeto e a perspectiva para as próximas versões da ferramenta, esta última discutida na seção de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Este capítulo tem como objetivo apresentar o referencial teórico das ferramentas mais importantes para o desenvolvimento do dispositivo proposto neste trabalho, como i) desenvolvimento android; ii) MPAndroidChart; iii) NFC; iv) códigos QR; v) Vega-Lite; vi) Google Text-to-Speech, vii) medição de acuidade visual e, finalmente viii) simulação de deficiência visual.

2.1 Desenvolvimento Android

Hoje, o Brasil possui 230 milhões de *smartphones* [6], isso corresponde a mais de um dispositivo por habitante. A popularização dos celulares inteligentes e o barateamento dos custos de dados móveis levou a inclusão digital para uma grande parcela da população sem condições de adquirir um computador e uma linha fixa de internet. Desenvolver aplicações e ferramentas para o uso em celulares é uma forma simples de levá-las a um grande número de usuários. Dentre as plataformas móveis existentes, o sistema operacional Android domina a maior fatia do mercado, não só de sistemas operacionais móveis, mas até mesmo o de sistemas operacionais em geral.

A Figura 2.1 mostra que o Android possui uma porcentagem de usuários maior até mesmo do que o Windows, o sistema operacional para computadores pessoais mais usado. Baseando-se nessas estatísticas, foi definido que a ferramenta proposta seria desenvolvida para dispositivos móveis, e que a plataforma móvel seria o Android.

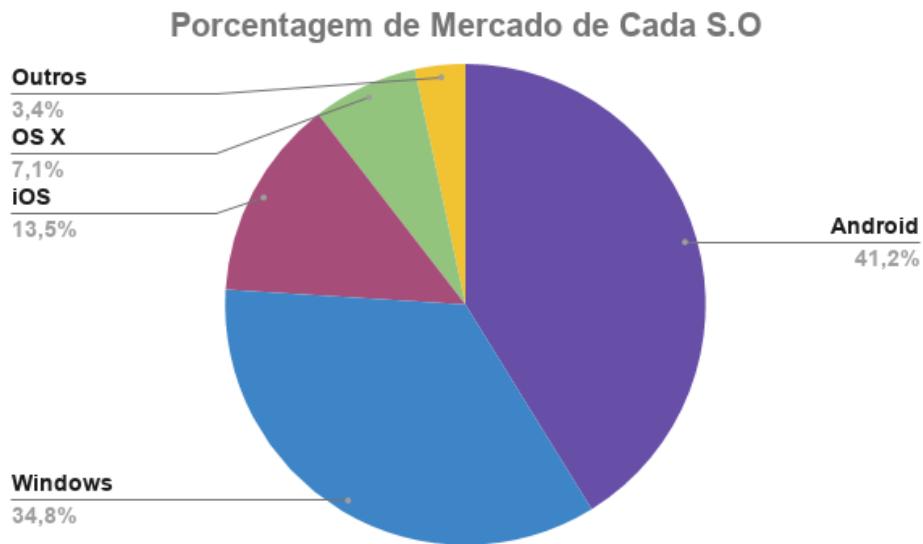


Figura 2.1: Porcentagem de mercado de cada sistema operacional.

Fonte: GS Statcounter 2019¹.

O Android é uma pilha de software com base em Linux de código aberto e possui uma camada de abstração que permite que desenvolvedores criem aplicativos apenas realizando chamadas de sistema por uma API (*application programming interface*), não se preocupando com o funcionamento do núcleo do sistema. O conjunto completo de recursos do Android está disponível pelas APIs programadas nas linguagens de programação Java ou Kotlin [7]. Essas APIs formam os blocos de programação que são usados para o desenvolvimento dos aplicativos Android, de forma modularizada e pensada no reaproveitamento de componentes, e estão disponíveis para uso público através do Android SDK (*software development kit*).

Além do conhecimento em programação Java para realizar as chamadas de API, o mais importante de se entender sobre desenvolvimento Android é o ciclo de vida de uma Atividade. No Android uma Atividade é qualquer componente de uma aplicação que fornece para o usuário uma tela com a qual o usuário pode interagir. O ciclo de vida de uma Atividade pode ser visto na Figura 2.2 e, em cada transição entre estágios do ciclo de vida, uma função é chamada e executada. A Tabela 2.1 resume os momentos em que cada método é chamado. Cada um dos estágios do ciclo de vida deve ser implementado para garantir que a aplicação funcione da maneira esperada.

¹Adaptado de <https://gs.statcounter.com/os-market-share/>. Acesso em Nov. 2019.

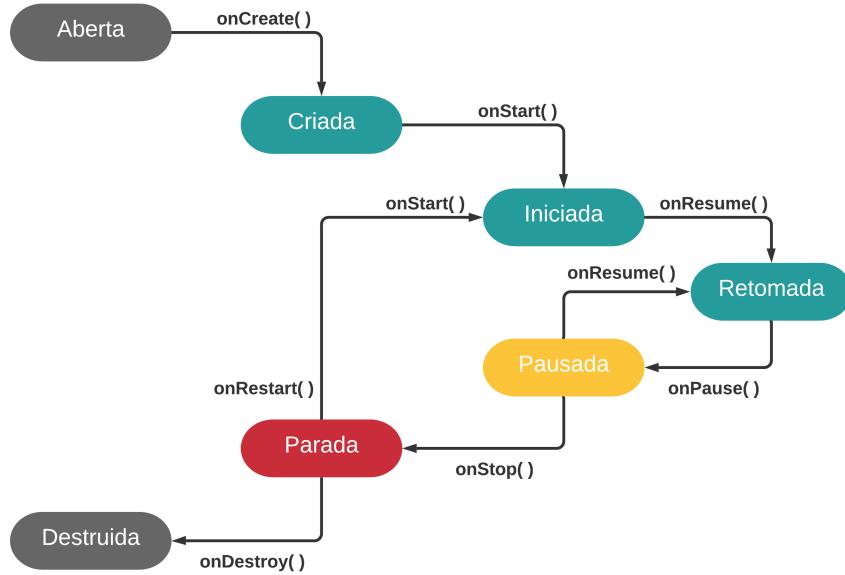


Figura 2.2: Ciclo de vida de uma atividade Android.

Fonte: Guia de Desenvolvimento Android²

Método	Descrição
onCreate	Chamado quando a Atividade é criada pela primeira vez.
onStart	Chamado logo antes da Atividade se tornar visível para o usuário.
onResume	Chamado logo antes da Atividade iniciar interação com o usuário.
onPause	Chamado quando o sistema muda o foco para outra Atividade.
onRestart	Chamado depois da Atividade ter sido interrompida, antes de ser reiniciada.
onStop	Chamada quando a Atividade deixa de estar visível para o usuário.
onDestroy	Chamado antes da Atividade ser destruída. É o ultimo método chamado.

Quadro 2.1: Resumo dos métodos de retorno de chamada do ciclo de vida da Atividade.

Fonte: Guia de Desenvolvimento Android²

2.2 MPAndroidChart

A tela principal da aplicação é a visualização interativa dos gráficos e a primeira tarefa do desenvolvimento foi escolher uma API de gráficos para Android que atendesse as necessidades do projeto: robustez, alto nível de customização, total acesso aos eventos de toque e boa docu-

²Adaptado de <https://developer.android.com/guide/components/activities>. Acesso em Nov. 2019.

mentação. A API escolhida para ser utilizada foi a MPAndroidChart [8], escrita nativamente em Java e que possui extensa documentação e grande biblioteca de suporte disponível na internet.

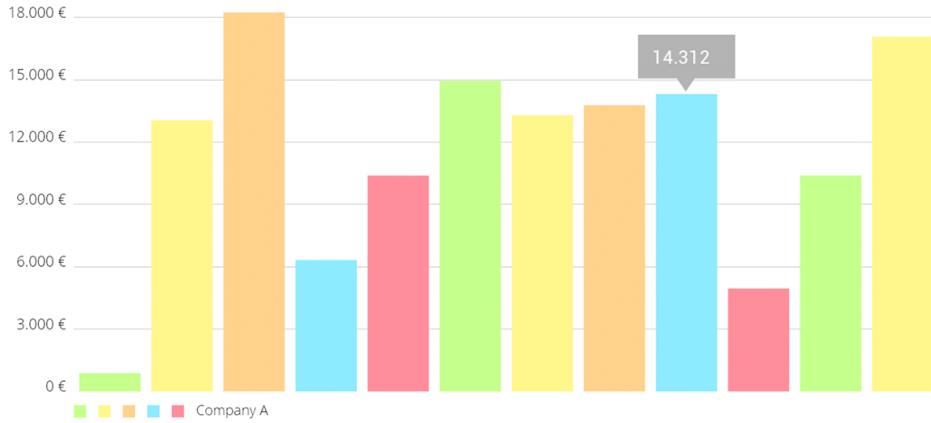


Figura 2.3: Exemplo de gráfico gerado pela API MPAndroidChart.

Fonte: MPAndroidChart [8]

A MPAndroidChart suporta vários tipos diferentes de gráficos, como gráficos de linha, barras (verticais, horizontais, empilhadas e agrupadas), pizza, *scatterplot*, entre outros. Esta API possibilita a fácil customização de todos os elementos visuais que compõem o gráfico e faz um ótimo trabalho em calcular automaticamente a dimensão das marcações visuais, amplitude e granularidade dos eixos e cor dos elementos. Permite, também, total controle dos eventos de toque, com chamadas de função específicas para cada evento, o que tornou mais simples a configuração da dinâmica de interação.

2.3 NFC

A *Near Field Communication* (NFC), ou Comunicação por Campo de Proximidade, é um conjunto de protocolos de comunicação por rádio frequência que permitem que dois dispositivos eletrônicos estabeleçam uma comunicação ao aproximá-los um do outro. Essa tecnologia é amplamente utilizada para fins de autenticação, como em cartões de crédito para pagamento por proximidade, cartões de transporte público e cartões de visita [9], onde um dispositivo assume caráter ativo (terminal de pagamento, roleta de transporte ou aparelho celular) e um dispositivo assume caráter passivo (cartão de crédito, cartão de transporte público, etc.). O dispositivo com caráter ativo lê os dados armazenados no dispositivo de caráter passivo, normalmente sem

precisar, nem mesmo, de fonte externa de energia, pois é alimentado pela própria transmissão de rádio e transmite de volta os dados em si armazenados [10].

Dispositivos NFC passivos são conhecidos como etiquetas NFC e podem assumir uma variedade de formatos com grande possibilidade de miniaturização, pois é constituído apenas de uma antena e um micro circuito integrado. A Figura 2.4 mostra alguns modelos de etiqueta NFC disponíveis para compra e fabricadas pela empresa americana GoGoTags. A Figura 2.4a é um adesivo NFC tão fino quanto uma folha de papel que pode ser colado onde desejado, a Figura 2.4b é um chaveiro NFC que pode ser carregado no bolso e a Figura 2.4c é um cartão NFC que pode ser impresso como um cartão de visitas ou chave de acesso. Seu uso também é extremamente simples e dispensa muita explicação, basta aproximar a etiqueta NFC do dispositivo ativo e em segundos o conteúdo é transferido.

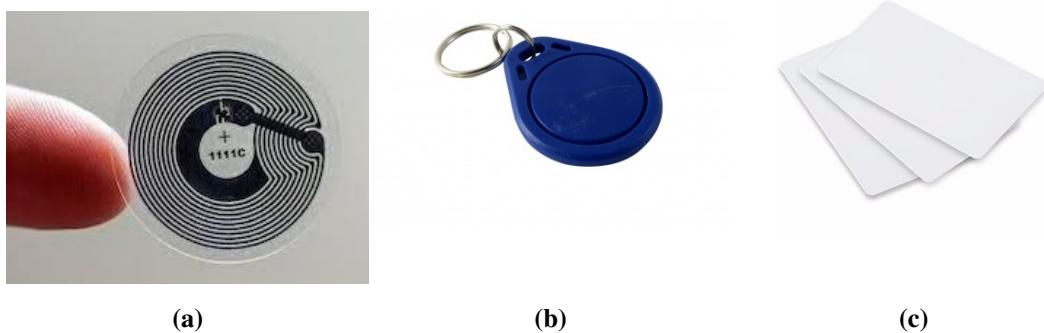


Figura 2.4: Alguns formatos de etiquetas NFC disponíveis comercialmente.

Fonte: Etiquetas fabricadas pela GoGoTags³

No Android a funcionalidade de leitura de etiquetas NFC é nativamente implementada e disponibilizada para os desenvolvedores através de chamadas de API de sistema.

A conveniência da transferência de dados por etiquetas NFC e as diversas formas em que as etiquetas podem ser encontradas fizeram com que ela fosse escolhida como uma das formas com que se pode carregar os gráficos na ferramenta proposta nesse trabalho. A ideia é que livros (comuns ou em braille), pôsteres de congresso e outras mídias físicas possam ter junto ou no lugar dos gráficos uma etiqueta colada, como a da Figura 2.4a, que a pessoa cega ou com baixa visão possa apenas aproximar do telefone e ter o gráfico carregado no aplicativo para interação.

³Adaptada de <https://gototags.com/>. Acesso em Nov. 2019.

2.4 Códigos QR

Os códigos QR, abreviado de *Quick Response* ou Rápida Resposta, são um tipo de código de barra bidimensional desenvolvido inicialmente para uso na indústria [11], seu uso se tornou popular fora do ambiente industrial devido sua rápida leitura, confiabilidade e maior capacidade de codificação de dados, comparado com códigos de barra unidimensionais [12].

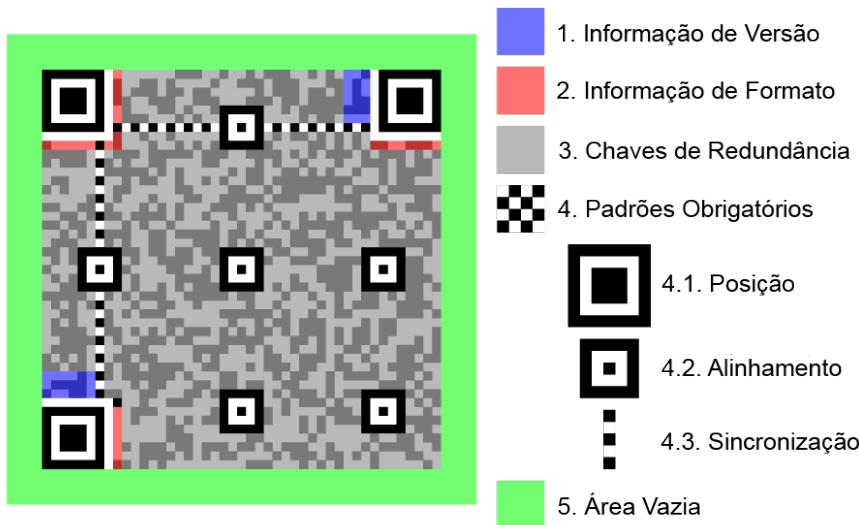


Figura 2.5: Estrutura física de um código QR.

Fonte: ISO/IEC 18004 [13].

Códigos QR são compostos por elementos visuais que podem ser facilmente binarizados, localizados, segmentados e ter seus dados decodificados. Os métodos de processamento de imagens que realizam esse conjunto de funções para decodificação dos códigos são confiáveis e não dependem de muito poder de processamento para sua execução [14], o que faz com que telefones celulares possam, sem grande sobrecarga computacional, executá-los. Por esses motivos o escaneamento de códigos QR também foi escolhido como uma das formas para se carregar os gráficos na ferramenta proposta por este trabalho, a ideia sendo que o usuário cego (guiado pela navegação por voz) ou o usuário com baixa visão possam apenas apontar a câmera do celular para um código QR que pode estar impresso em um livro, na tela de um computador, ou qualquer outro meio visual para que o gráfico codificado carregue na ferramenta.

A Google disponibiliza para o Android, através da *Mobile Vision API* [15], uma API para leitura e decodificação de códigos QR. A API implementa toda a parte técnica da decodificação e lida com as chamadas de API para a câmera do dispositivo e retorna para o desenvolvedor

apenas o que importa, o conteúdo do código QR. Devido sua facilidade de implementação, a *Mobile Vision API* foi utilizada nesse trabalho para a leitura dos códigos QR.

2.5 Vega-Lite

Vega-Lite é uma gramática de alto nível para codificação de gráficos interativos, e foi a linguagem de descrição de gráficos escolhida para codificar os gráficos que são carregados pela ferramenta proposta neste trabalho. A Vega-Lite fornece uma sintaxe JSON (*Java Script Object Notation*) concisa e que permite descrever visualizações em formas de gráficos a partir de conjuntos de dados [16].

```
{
  "$schema": "https://vega.github.io/schema/vega-lite/v4.json",
  "description": "A simple bar chart with embedded data.",
  "data": {
    "values": [
      {"a": "A", "b": 28}, {"a": "B", "b": 55}, {"a": "C", "b": 43},
      {"a": "D", "b": 91}, {"a": "E", "b": 81}, {"a": "F", "b": 53},
      {"a": "G", "b": 19}, {"a": "H", "b": 87}, {"a": "I", "b": 52}
    ]
  },
  "mark": "bar",
  "encoding": {
    "x": {"field": "a", "type": "ordinal"},
    "y": {"field": "b", "type": "quantitative"}
  }
}
```

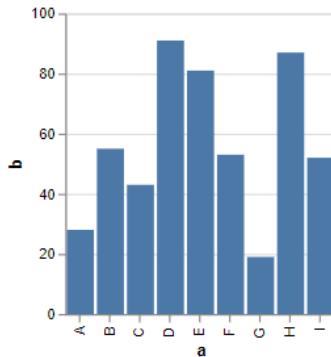


Figura 2.6: Exemplo de gráfico de barras codificado na gramática Vega-Lite.

Fonte: Vega-Lite Exemplos⁴.

A ferramenta proposta neste trabalho interpreta e carrega arquivos do tipo JSON com a sintaxe do Vega-Lite, as etiquetas NFC e os códigos QR anteriormente citados apenas armazenam em si um endereço para um servidor web de qual os gráficos são baixados e então interpretados. O usuário tem também a opção de carregar um arquivo JSON local com a sintaxe do Vega-Lite direto do seu aparelho. Em teoria os arquivos JSON poderiam ser armazenados direto nas etiquetas NFC e nos códigos QR, mas existem limitações de armazenamento pertinentes a cada tecnologia e isso poderia limitar que um gráfico muito grande fosse armazenado em uma delas. Armazenando os arquivos JSON em um servidor e acessando remotamente permite que qualquer tamanho de gráfico possa ser carregado, pois, as etiquetas NFC e códigos QR precisam comportar apenas o endereço.

⁴Adaptada de <https://vega.github.io/vega-lite/examples>. Acesso em Nov. 2019.

2.6 Google Text-to-Speech

Uma API de sintetização de texto teve de ser escolhida para dar suporte para a vocalização dos dados dos gráficos. Pela ferramenta ter sido, inicialmente, desenvolvida para a plataforma Android, a opção de API de sintetização de voz escolhida foi a da própria Google, a *Google Text-to-Speech* [17]. Essa API de sintetização de voz é a API padrão em telefones Android e já vem de fábrica pré-carregada com os modelos vocais em PT-BR que são utilizados quando o telefone não está conectado à internet, quando uma conexão estável se encontra disponível o processamento é feito remotamente pelos servidores de processamento de voz natural da Google, que geram uma voz sintetizada de maior qualidade e mais parecida com a fala humana [18]. A Google disponibiliza em sua página de suporte ao Android uma extensa documentação com exemplos das chamadas de API e utilização desta biblioteca.

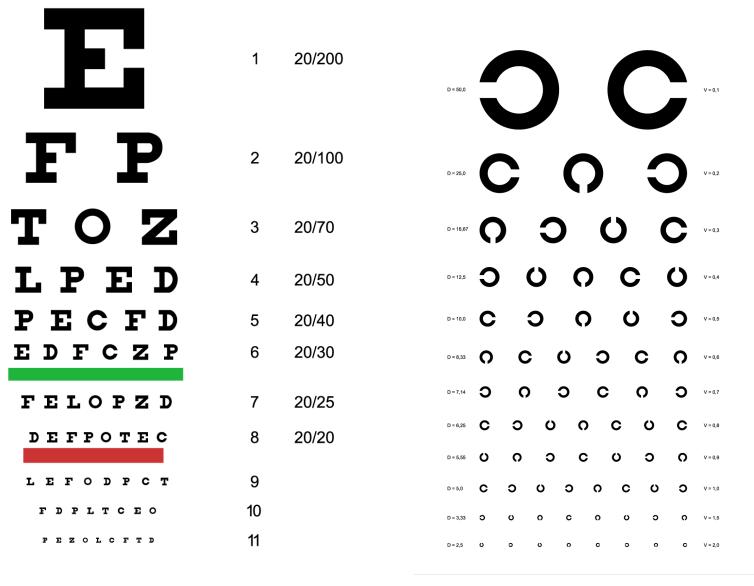
2.7 Medição de Acuidade Visual

A acuidade visual diz respeito a clareza da visão, referindo-se à capacidade do olho humano de distinguir detalhes espaciais como o contorno e a forma dos objetos. A forma mais comum de medição de acuidade visual é utilizando o Gráfico de Snellen [19], para realizar esse teste o paciente é colocado a uma distância de 20 pés (6 metros) do gráfico mostrado na Figura 2.7a e é pedido para que ele leia as letras dispostas nas linhas, de cima para baixo.

A escala Snellen é baseada em no que o paciente consegue enxergar a 20 pés de distância comparado com a distância em que uma pessoa com a visão normal precisa para conseguir enxergar as mesmas coisas. A acuidade visual considerada normal tem o valor 20/20, que significa que o paciente consegue ver a 20 pés de distância tudo que a pessoa base também consegue ver a 20 pés de distância. Já uma pessoa com a acuidade visual 20/50 precisa estar a pelo menos 20 pés de distância para conseguir enxergar algo que alguém com a visão considerada normal consegue enxergar a 50 pés de distância. O Gráfico Snellen possui linhas com referência para 20, 25, 30, 40, 50, 70, 100 e 200 metros. Um paciente que consiga ler até a terceira linha, por exemplo, tem a acuidade visual 20/70, ou seja, precisa estar a uma distância de 20 pés para ver o que uma pessoa com visão normal conseguiria ver a 70 pés de distância.

Na próxima subseção será discutida a criação de um par de óculos de simulação de baixa

⁵Adaptada de <http://www.i-see.org/>. Acesso em Nov. 2019.



(a) Gráfico Snellen

(b) Gráfico Landolt C

Figura 2.7: Gráficos utilizados para o teste de Snellen e para o teste de Landolt C.**Fonte:** International Society for the Enhancement of Eyesight⁵

acuidade visual, criado com base nos óculos proposto em [20] e com a técnica apresentada em [21] que devem ser ajustados para aproximadamente 0,26 LogMAR de acuidade visual. LogMAR é outra medida de acuidade visual, apresentada em [22] que associa um valor de acuidade visual baseado no logaritmo do ângulo mínimo de resolução visual do paciente. Os valores de acuidade podem ser convertidos entre LogMAR e Snellen utilizando as equações 2.1 e 2.2. Por exemplo, uma acuidade Snellen de 20/40 em LogMAR seria $\log_{10}(\frac{20}{50})^{-1} \approx 0,4$ e um valor de 0,26 LogMAR corresponde a uma acuidade Snellen de $\frac{20}{20 * 10^{0,26}} \approx \frac{20}{36}$.

$$\text{LogMAR} = \log_{10} (\text{Snellen})^{-1} \quad (2.1)$$

$$\text{Snellen} = \left(\frac{20}{20 * 10^{\text{LogMAR}}} \right) \quad (2.2)$$

Os óculos acima citados tiveram que ser ajustados para garantir que estavam de acordo com os propostos em [20]. O teste utilizado foi o Landolt C [23] que também se baseia em um gráfico e pode ser visto na Figura 2.7b. Para aplicar esse teste fora de um ambiente controlado de um consultório de optometria/oftalmologia foi usada a ferramenta FrACT [24] que dispo-

nibiliza uma série de testes de acuidade visual que podem ser feitos em qualquer computador. A ferramenta FrACT possui um teste de acuidade Landolt C que ao final disponibiliza o resultado da acuidade visual em LogMAR. Utilizando esse teste os óculos foram ajustados até que diminuíssem a acuidade visual de quem os utilizam em 0,26 *LogMAR*.

2.8 Simulação de Deficiência Visual

Neste primeiro momento do trabalho os testes foram realizados sem a participação de pessoas portadoras de deficiências visuais, este ponto será abordado nos Trabalhos Futuros. Como estes são os primeiros testes deste trabalho, optamos por realizar com pessoas normotípicas, mas utilizando formas de simular baixa visão e pessoas cegas.



Figura 2.8: Diferentes níveis de perda de visão sendo simuladas utilizando mais de um dos *Cambridge Simulation Glasses*.

Fonte: *Inclusive Design Toolkit*⁶

Uma forma comum de simular baixa visão é utilizando óculos especiais com lentes que destorcem a visão. Vários simuladores de baixa acuidade visual deste tipo existem e estão disponíveis comercialmente [25, 20], o intuito principal desse tipo de produto é possibilitar que profissionais testem se seus produtos são acessíveis para esse grupo de usuários. Os óculos propostos em [20] hoje são vendidos em forma de óculos leves feitos de papel de forma a permitir que vários óculos sejam utilizados ao mesmo tempo, de forma a simular perda de visão mais severa e seu nome comercial é *Cambridge Simulation Glasses*. A Figura 2.8 mostra a

⁶Retirada de <http://www.inclusivedesigntoolkit.com/>. Acesso em Nov. 2019.

forma comercial desses óculos.

Para o grupo de participantes no teste que simularam baixa visão, óculos especiais foram desenvolvidos seguindo o sugerido em [21], utilizando um par de óculos de solda e diminuindo a transparência das lentes utilizando esmalte transparente. Camadas de esmalte transparente foram aplicadas até o nível de diminuição de acuidade visual que seria alcançada utilizando dois óculos de simulação *Cambridge Simulation Glasses* sobrepostos, que é, em média, $0.26 \log MAR$ [26]. A compra de um kit comercial de simulação de baixa visão foi considerada, mas nenhum está disponível para comprar nacionalmente e a importação criaria muitos custos adicionais. As Figuras 2.9a e 2.9b mostram os óculos de simulação de baixa acuidade visual desenvolvidos e uma pessoa os utilizando.



(a) Óculos de baixa visão

(b) Óculos sendo utilizados



(c) Óculos de cegueira

(d) Óculos sendo utilizados

Figura 2.9: Óculos de simulação de baixa visão.

Fonte: Capturada pelo autor.

Para o grupo de participantes do teste que simularam uma pessoa cega, óculos de solda também foram utilizados, mas, desta vez, com as lentes completamente obstruídas, com o fim de vender completamente o participante. Os óculos de simulação de cegueira desenvolvidos

para os testes podem ser vistos nas Figuras 2.9c e 2.9d. Vender participantes em testes para simular pessoas cegas é bastante utilizado na validação de aplicações computacionais voltadas para acessibilidade [27, 28, 29] e, apesar de não representar fielmente um participante cego, gera resultados que permitem o ajuste de problemas para que a ferramenta esteja mais adequada para ser testada por pessoas deficientes visuais.

Capítulo 3

Protótipo

Neste capítulo serão discutidas as particularidades do processo de desenvolvimento da aplicação proposta neste trabalho, bem como os recursos implementados e as limitações no seu estado atual.

3.1 Especificação de Requisitos do Aplicativo

As características e funções iniciais da aplicação foram levantadas para a implementação neste momento de prototipagem e testes iniciais, elas estão listadas a seguir:

- A aplicação deve permitir a criação de múltiplos usuários, para o uso de um mesmo aparelho por várias pessoas com diferentes deficiências visuais, de forma a permitir o uso compartilhado;
- A aplicação deve atender, além de pessoas cegas, pessoas com os mais variados níveis de baixa visão;
- A aplicação deve permitir que os gráficos sejam carregados de forma simples e rápida. O usuário deve estar focado no gráfico, não em um processo complicado para carregá-lo;
- A aplicação deve ser toda construída pensando na acessibilidade, com toda a interface em alto contraste e com design que ajude a navegação de pessoas que usem ferramentas de acessibilidade para interação com o celular;
- O usuário deve poder, facilmente, alterar as configurações escolhidas no momento da criação do perfil. Permitindo que ele ajuste o aplicativo até encontrar a configuração que melhor se adéque a sua deficiência visual.

3.2 Desenvolvimento do Aplicativo

O Aplicativo foi desenvolvido para o sistema operacional Android e foi escrito, inteiramente, na linguagem de programação Java. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Android Studio [30], ambiente de desenvolvimento oficial da plataforma.

3.2.1 Compatibilidade

O Android, apesar de ser o sistema operacional mais utilizado no mundo [31], é uma plataforma extremamente fragmentada. Segundo a própria Google, menos que 10% dos aparelhos ativos com o sistema Android foram atualizados para a penúltima versão, o Android Pie [32]. Um gráfico com a porcentagem de mercado em maio de 2019 pode ser visto na Figura 3.1.

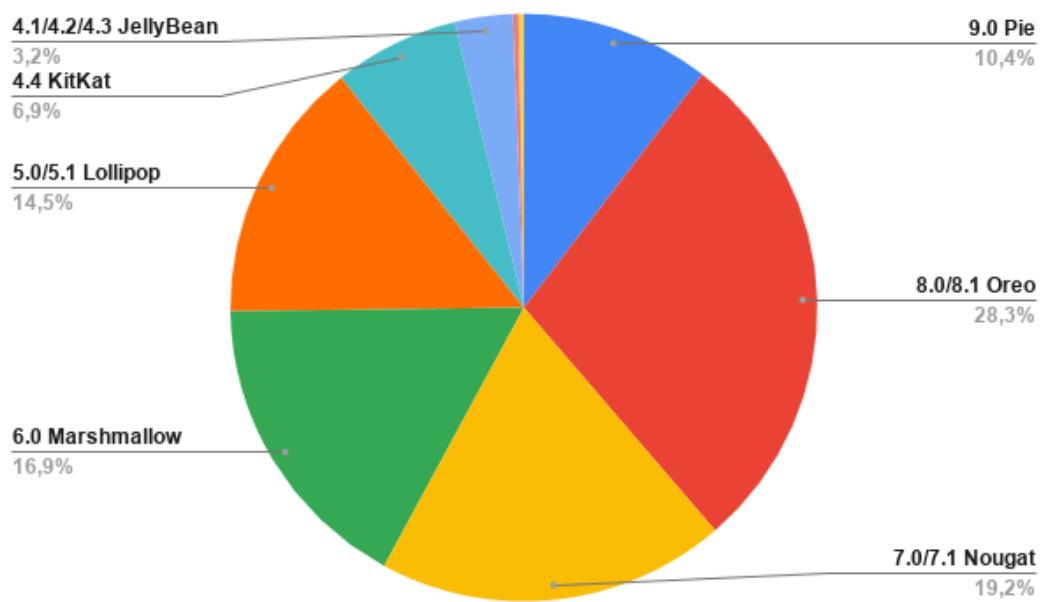


Figura 3.1: Porcentagem de mercado de cada versão do Android.

Fonte: Versões do Android [32]

Cada nova versão do Android traz com ela uma série de recursos e APIs que oferecem mais recursos para desenvolvedores, recursos que são retrocompatíveis, ou seja, um aparelho com a última versão do Android pode executar um aplicativo feito para uma versão mais antiga, mas não o contrário. Um aplicativo feito para uma versão mais recente do Android não pode ser instalado e executado em um aparelho com uma versão mais antiga. Idealmente, no desenvolvimento de uma aplicação, você busca um balanceamento entre compatibilidade e recursos,

para alcançar o maior número de usuários sem comprometer a funcionalidade esperada. A versão mais antiga do Android que suporta a ferramenta desenvolvida neste trabalho é o Android 6 *Marshmallow*, que é a versão mais antiga do Android em que a API de gráficos utilizada MPAndroidChart funciona. Desenvolvendo uma aplicação para essa versão do Android ela será compatível com, aproximadamente, 74,8% dos dispositivos Android no mercado [32].

3.2.2 Depuração e Testes

Para a depuração (*debug*) e testes durante o desenvolvimento do aplicativo foi utilizado um telefone celular Android da marca *Xiaomi*, modelo Mi9 SE, com o Android na versão 9 *Pie*, chipset *Qualcomm Snapdragon 712* de 8 núcleos, 6 GB de RAM e tela de 6 polegadas com 1080x2340 pixels. Para garantir compatibilidade com diferentes tamanhos de tela, resoluções, versões do Android e recursos disponíveis para processamento a versão final também foi testada em dispositivos virtuais que podem ser gerados no próprio Android Studio e permitem simular via *software* as mais variadas configurações.

3.2.3 Opções de Usuário

O usuário da aplicação pode escolher entre algumas opções de configuração que permitem que ele personalize a visualização do gráfico para a forma que mais atende sua dificuldade visual. As opções configuráveis pelo usuário disponíveis são listadas e descritas a seguir:

- Nome: O nome do usuário pode ser definido, nome este que será utilizado para diferenciar as contas de usuário;
- TTS: Ao ligar esta opção os elementos do gráfico serão vocalizados ao serem tocados. Esta é a opção primária para usuários cegos;
- Sacudir Para Sair: Opção extra para usuários cegos que navegam no celular utilizando os recursos de acessibilidade. Permite sacudir o celular na tela de visualização do gráfico para voltar para a tela anterior;
- Vibração: Opção que habilita a resposta haptica (resposta vibratória) ao navegar sobre os elementos dos gráficos. Com essa opção ligada uma resposta haptica vibratória ocorrerá por 100ms ao tocar em um elemento interior do gráfico e por 200ms ao tocar num elemento externo (título e legenda dos eixos);

- Alto Contraste: Opção para pessoas com baixa visão, segue diretrizes de alto contraste que garantem sempre o contraste máximo entre os elementos visuais e o fundo;
- Tamanho da Fonte: Opção também para pessoas com baixa visão, permite selecionar entre três tamanhos de fonte para a visualização do gráfico, pequena, média e grande.

Essas opções são definidas pelo usuário no momento da criação do perfil, mas podem ser alteradas a qualquer momento.

3.2.4 Atividades

O aplicativo foi dividido em 8 Atividades, que podem ser vistas na Figura 3.2 na forma de um diagrama de atividades. As Atividades são individualmente explicadas a seguir.

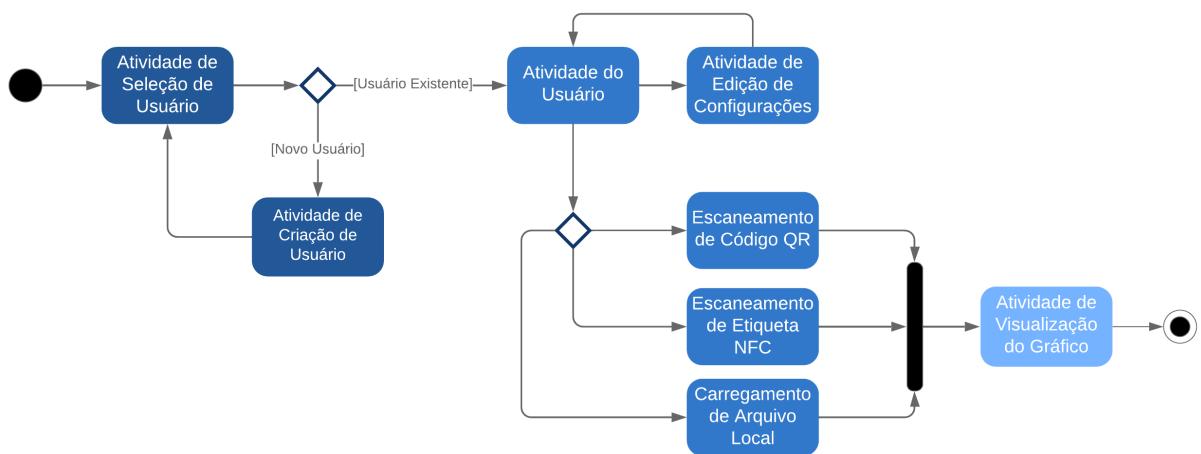


Figura 3.2: Diagrama de Atividades do aplicativo desenvolvido.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

- Atividade de Seleção de Usuário: A primeira Atividade com que o usuário é apresentado ao abrir o aplicativo, onde um usuário existente pode ser selecionado ou um novo usuário pode ser criado. Um total de 4 usuários podem existir simultaneamente, cada um com seu conjunto específico de configurações. Pode ser vista na Figura 3.3a.
- Atividade de Criação de Usuário: Caso selecione criar um novo usuário ele será direcionado para a Atividade de criação de usuário onde poderá inserir seu nome e selecionar as opções desejadas. Pode ser vista na Figura 3.3b.

- Atividade do Usuário: Atividade onde o usuário pode escolher a forma com que ele deseja carregar o gráfico. As opções são dispostas em três botões, um para cada forma de carregamento. Um botão de configurações também está disponível para editar as configurações do usuário. Pode ser vista na Figura 3.3c.
- Atividade de Edição de Configurações: Na Atividade de Edição de Configurações usuário tem a opção de editar todas as configurações pessoais definidas na Atividade de Criação de Usuário. Pode ser vista na Figura 3.3d.
- Atividades de Carregamento de Gráfico: O aplicativo conta com três diferentes formas de carregar os gráficos, a primeira é através de um código QR e a Atividade de escaneamento de códigos QR pode ser vista na Figura 3.3e, a segunda forma de carregamento é através da leitura de etiquetas NFC e a Atividade responsável por isso pode ser vista na Figura 3.3f e a terceira forma é carregando um arquivo JSON local salvo no seu celular e a atividade responsável pode ser vista na Figura 3.3g.
- Atividade de Visualização do Gráfico: A última Atividade é a de visualização dos gráficos, esta é a atividade que implementa os recursos de acessibilidade entendidos para as pessoas cegas e com baixa visão e será melhor explicada na próxima seção.

3.3 Visualização do Gráfico

A Atividade principal da aplicação é a Atividade de visualização dos gráficos, que permite a interação por toque e resposta auditiva para pessoas cegas e a visualização em alto contraste e com diferentes tamanhos de fontes para pessoas com baixa visão. Uma captura de tela desta Atividade pode ser vista na Figura 3.4 que mostra um gráfico de barras simples e que pode ser usada para destacar a posição dos elementos visuais. As barras do gráfico estão sempre no centro, o título do gráfico está sempre no extremo superior da visualização, e as legendas do eixo X e Y estão sempre no extremo inferior e no extremo lateral esquerdo, respectivamente. Os principais conceitos, funcionalidades e limitações dessa Atividade em específico são discutidos a seguir.

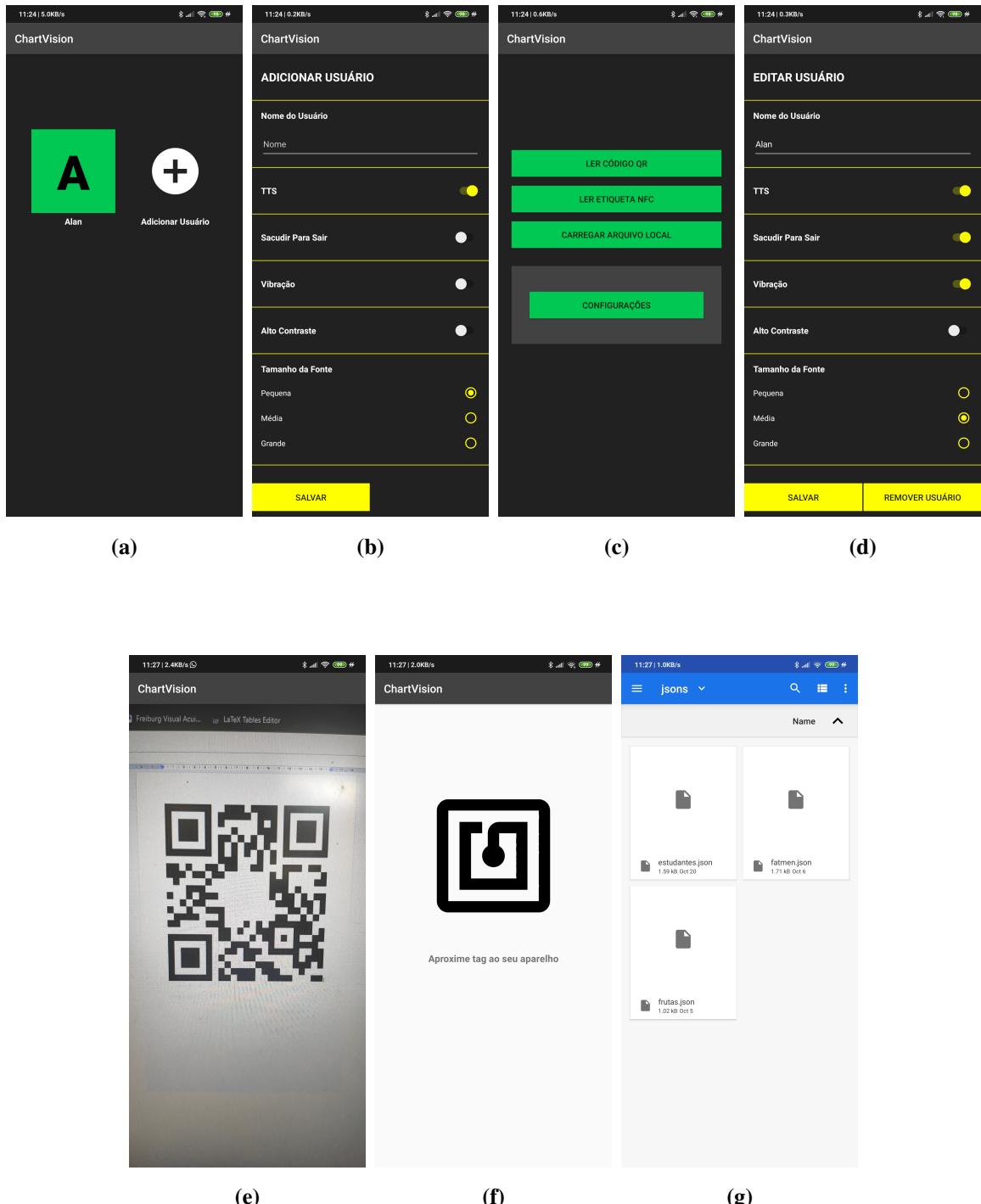


Figura 3.3: Capturas de tela das Atividades da aplicação.

Fonte: Elaborada pelo autor.

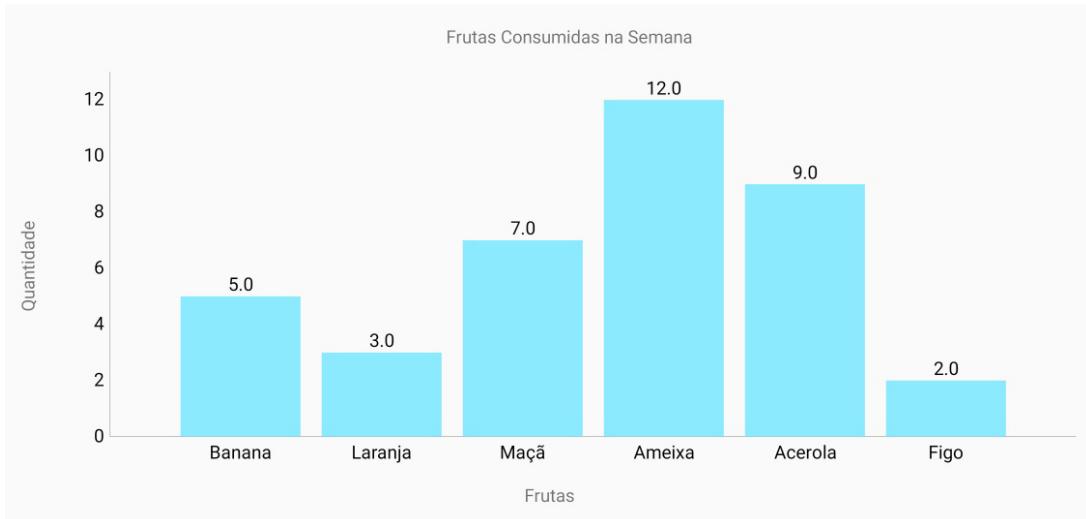


Figura 3.4: Captura de tela da Atividade de visualização de gráficos.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.3.1 Interação por Toque

O conceito da interação por toque é que qualquer elemento do gráfico que for tocado será lido de volta para o usuário. Esse toque pode ser único em cima de um elemento ou pode ser feito deslizando sobre a tela do celular com o dedo, permitindo que o usuário procure pelo elemento desejado sendo guiado pela descrição que está ouvindo e pela resposta haptica dada pelo celular quando ele interage com cada elemento.

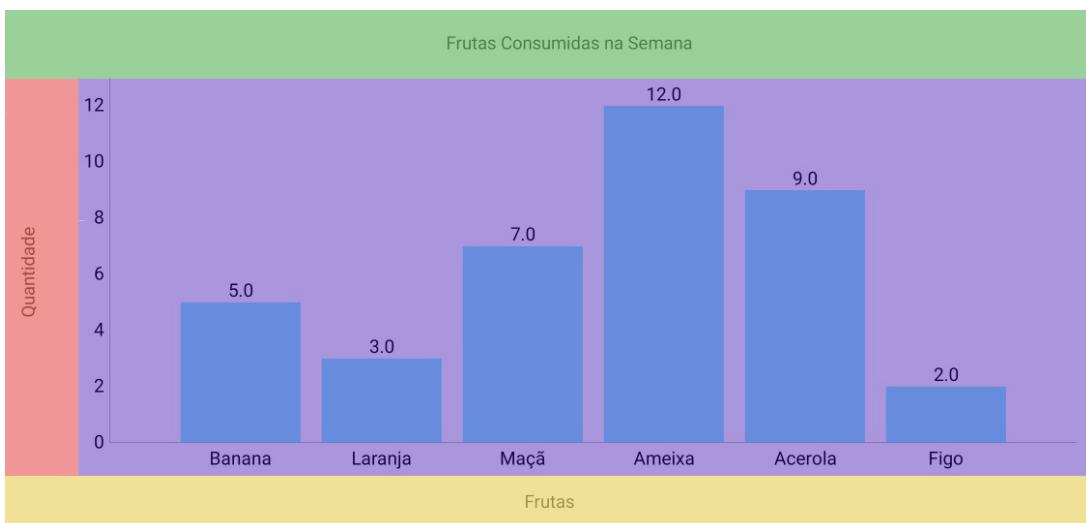


Figura 3.5: Áreas de interação por toque do gráfico.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para facilitar que o usuário cego encontre o título e as legendas dos eixos, as áreas que podem ser tocadas para interagir com eles não se limitam ao tamanho do seu elemento textual. A Figura 3.5 mostra o mesmo gráfico que a Figura 3.4, mas com as áreas de interação destacadas em diferentes cores. Toda a área em verde no extremo superior corresponde ao elemento do título, ou seja, qualquer toque na região em verde irá iniciar a descrição do título. Assim como toda a região em vermelho corresponde à legenda do eixo Y, toda a região em amarelo corresponde à legenda do eixo X e toda a região em roxo é onde ocorre a interação com as barras do gráfico.

3.3.2 Alto Contraste

As diretrizes de acessibilidade para a opção de alto contraste da ferramenta desenvolvida neste trabalho foram baseadas nas definidas pelo W3C (*World Wide Web Consortium*), comunidade internacional focada em desenvolver os padrões da Web. O W3C possui uma série de diretrizes para acessibilidade para *websites*, o WCAG [33], diretrizes que funcionam muito bem para o desenvolvimento de *websites* e interfaces de aplicativos para dispositivos móveis.

O WCAG, na sua versão 2.0 (a mais atual) diz que para garantir a acessibilidade em modo de alto contraste o contraste dos elementos visuais com a cor de fundo para qualquer tamanho de fonte, as cores devem ter a proporção de contraste de pelo menos 7:1. Este nível de contraste garante que pessoas com até 20/80 Snellen de acuidade visual, ou seja, pessoas que precisam estar a 20 pés de distância para enxergar o que uma pessoa com visão normal consegue enxergar a 80 pés de distância, conseguirão distinguir os elementos. Para encontrar a relação de contraste primeiro extraí-se a luminância relativa a partir da cor RGB, usando a equação 3.1. A proporção de contraste C_p pode então ser encontrada utilizando a equação 3.2, onde $L1$ é a luminância relativa da cor mais clara e $L2$ a luminância relativa da cor mais escura.

$$L = 0,2126 * R + 0,7152 * G + 0,0722 * B \quad (3.1)$$

$$C_p = \frac{L1 + 0.05}{L2 + 0.05} \quad (3.2)$$

O WCGA 2.0 também diz que elementos claros em um fundo preto garantem uma melhor leitura de elementos textuais, até para o mesmo valor de proporção de contraste.

Com base nisso, a visualização em alto contraste do gráfico possui a cor de fundo preta e os elementos textuais em um tom de amarelo com uma proporção de contraste de 19:1, bem maior do que o mínimo indicado, para garantir sua leitura. As barras dos gráficos também são geradas com base em uma listagem de cores levantadas onde todas apresentam o contraste mínimo indicado. A visualização do aplicativo para um gráfico de barras simples em alto contraste pode ser vista na Figura 3.6.

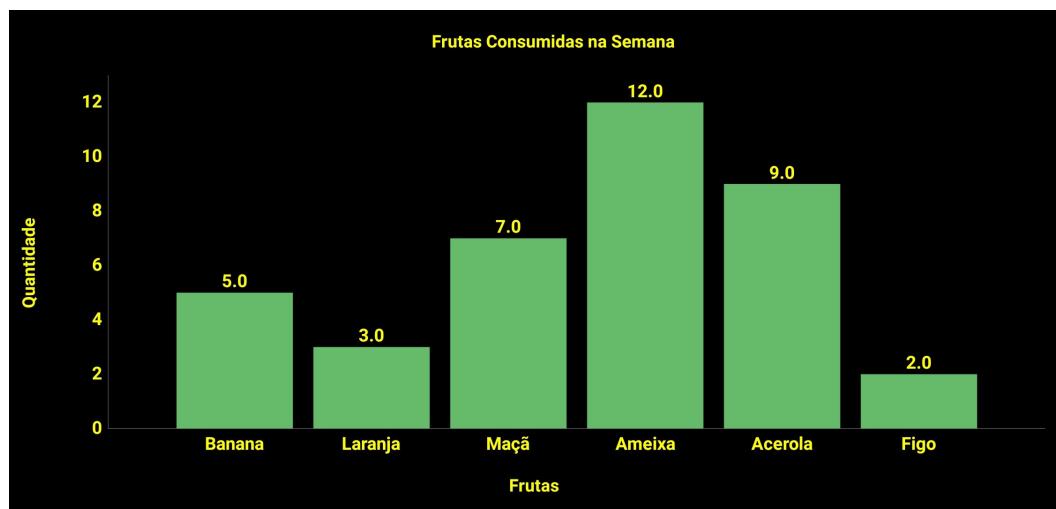


Figura 3.6: Visualização de um gráfico em alto contraste.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A interface da aplicação também segue, em toda tela que exige interação por parte do usuário, os padrões de alto contraste com o fundo preto e os elementos textuais e visuais em cores com proporção de contraste mínima de 7:1, como pode ser visto na Figura 3.3.

3.3.3 Modelos de Vocalização

Este trabalho é uma ramificação de uma pesquisa paralela sobre modelos de vocalização para gráficos, que tem como objetivo propor e validar as melhores formas para descrever o conteúdo de um gráfico de dados para um usuário com deficiência visual. Em um primeiro momento da pesquisa um questionário foi aplicado e respondido por 94 voluntários que associaram um nível de relevância para cada elemento de um gráfico de barras. As respostas entre 0 e 10 foram categorizadas em intervalos de relevância: baixa (0, 1, 2 e 3), média (4, 5, 6 e 7) e alta (8, 9 e 10). A figura 3.7 mostra a proporção da resposta dos voluntários por intervalo de relevância para cada elemento do gráfico.

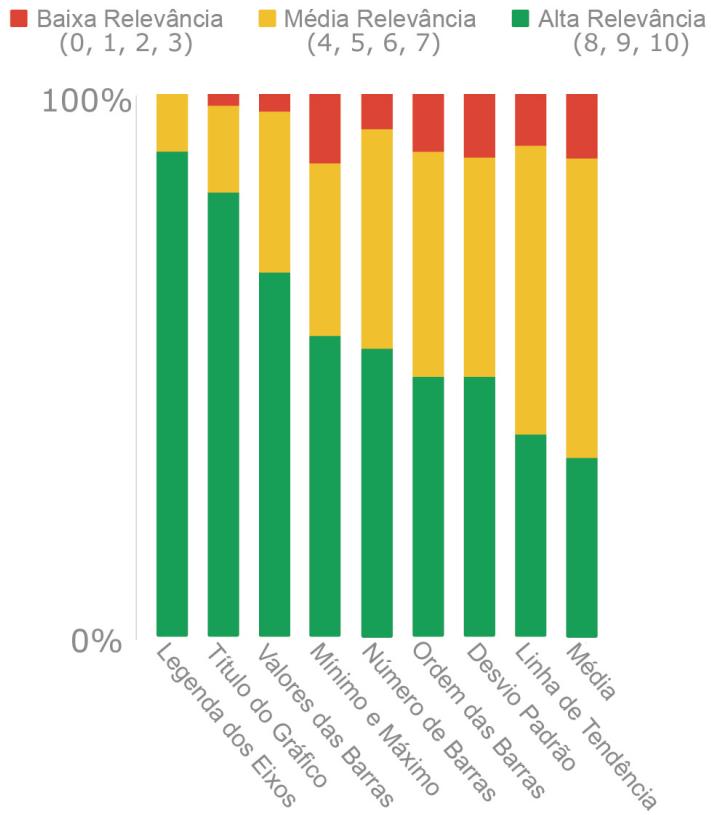


Figura 3.7: Proporção de relevâncias para cada elemento de um gráfico de barras.

Fonte: Adaptada de [34].

Os elementos escolhidos para compor os modelos iniciais foram os três avaliados com maior relevância. Legenda dos eixos, título dos eixos X e Y, e valores individuais das barras. Os modelos propostos e validados em [34] para gráficos de barras simples e agrupadas são mostrados a seguir.

Gráfico de Barras Simples:

Este é um gráfico de barras verticais. Seu título é {title}. A legenda do eixo y é {legenda do eixo y}. A legenda do eixo x é {legenda do eixo x}. A primeira barra é {nome da barra} e apresenta valor {valor da primeira barra}. (...) A n-ésima barra é denominada {nome da n-ésima barra} e apresenta valor {valor da n-ésima barra}.

Gráfico de Barras Agrupadas:

Este é um gráfico de barras verticais agrupadas. Seu título é {título}. A legenda do eixo y é {legenda do eixo y}. A legenda do eixo x é {legenda do eixo x}. O gráfico é composto

pelos grupos de barras {nome do primeiro grupo (...)} nome do n-ésimo grupo}. Cada grupo contém {número de barras} barras denominadas: {nome da primeira série, (...), nome da n-ésima série}, que serão apresentadas nessa ordem. O primeiro conjunto de barras é {nome do primeiro grupo} e possui valores {valor da primeira série, (...), valor da n-ésima série}. O n-ésimo conjunto de barras é {nome do n-ésimo grupo} e possui valores {valor da primeira série, (...), valor da n-ésima série}.

Os modelos de vocalização propostos foram pensados para a vocalização ininterrupta do gráfico, ou seja, para que sejam lidos do começo ao fim. A ferramenta deste trabalho tem a proposta de deixar que o usuário escolha, interagindo, qual elemento ele quer que seja lido para ele. Com isso em mente, os modelos foram adaptados e divididos em elementos individuais. O primeiro elemento de cada modelo é a introdução, que não depende de interação por toque e é lida automaticamente ao carregar o gráfico. Os elementos seguintes (Título, legenda dos eixos e nomes/valores das barras, grupos e séries) são lidos individualmente de acordo com o que o usuário tocar. A introdução, assim como o que é lido para cada elemento para gráficos de barras simples e para gráficos de barras agrupadas pode ser visto nos Quadros 3.1 e 3.2, respectivamente.

Para os gráficos de barras agrupadas, a leitura do nome das séries foi movida da introdução para serem lidos e repetidos a cada interação com um grupo de barras. Como o modelo proposto usado de base é feito pensado na descrição ininterrupta, ler o nome dos grupos apenas uma vez faz sentido, mas para uma ferramenta interativa o usuário dependeria de sua memória para lembrar o nome das séries, não fossem eles repetidos a cada interação.

Introdução	Este é um gráfico de barras verticais.
Título	Seu título é {título}.
Legenda do Eixo X	A legenda do eixo x é {legenda do eixo x}.
Legenda do Eixo Y	A legenda do eixo y é {legenda do eixo y}.
Barras	A n-ésima barra é {nome da n-ésima barra} e apresenta valor {valor da n-ésima barra}.

Quadro 3.1: Modelo de vocalização para gráficos de barras simples, modificado para a ferramenta.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Introdução	Este é um gráfico de barras verticais.
Título	Seu título é {título}.
Legenda do Eixo X	A legenda do eixo x é{legenda do eixo x}.
Legenda do Eixo Y	A legenda do eixo y é {legenda do eixo y}.
Grupos	O n-ésimo conjunto de barras é {nome do n-ésimo grupo}. A série {nome da 1 ^a série} possui valor {valor da 1 ^a série}, (...), a série {nome da k-ésima série} {valor da k-ésima série}.

Quadro 3.2: Modelo de vocalização para gráficos de barras agrupadas, modificado para a ferramenta.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Capítulo 4

Testes e Resultados

Neste capítulo é mostrado o perfil dos participantes que aceitaram realizar os testes com a ferramenta desenvolvida neste trabalho, bem como o procedimento do teste realizado pelos participantes. Em seguida são apresentados os resultados quantitativos e qualitativos do teste e, por último, uma entrevista com um especialista.

4.1 Participantes

O estudo foi realizado com 45 pessoas, todos estudantes de graduação e de pós-graduação da Universidade Federal do Pará (UFPa), e de todas as três grandes áreas do conhecimento. O único critério exigido para participar dos testes era que o participante soubesse o que eram gráficos de barras.

A seleção dos voluntários ocorreu através de uma breve conversa com o participante, convidando-o a realizar o teste aplicado neste trabalho. Após a aceitação do participante, o trabalho desenvolvido foi então apresentado verbalmente, demonstrando a motivação do estudo, os objetivos, a estimativa do tempo de duração do teste e as etapas de cada tarefa que seria realizada. A figura 4.1 mostra a porcentagem dos usuários pertencentes a cada área.

Logo após a apresentação do trabalho, o voluntário deveria ler o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido), onde foi estabelecido que, ao assinar o termo, o participante declarava estar ciente que os dados coletados nos testes seriam utilizados unicamente para fins de pesquisa acadêmica. O TCLE utilizado está disponível no Apêndice A. Este termo deixa claro o objetivo do trabalho, informando alguns pontos sobre a restrição dos dados do participante e declarando por fim que o participante aceitaria os termos. Após assinar o TCLE, o voluntário estava habilitado a realizar as tarefas elaboradas.

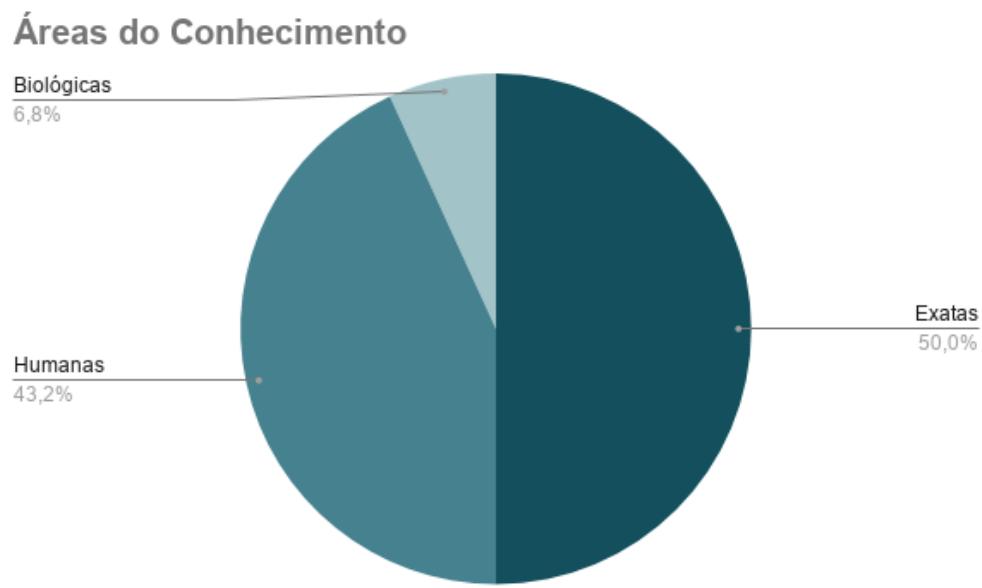


Figura 4.1: Distribuição dos participantes do teste entre as áreas de conhecimento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Ferramentas e Procedimentos do Teste

Os participantes foram divididos em três grupos, um grupo de controle, que fez o teste podendo olhar normalmente para o gráfico; um grupo que utilizou óculos de diminuição de acuidade visual e um grupo que realizou o teste estando vendado. Cada grupo com 15 participantes.

4.2.1 Procedimentos do Teste

Para a realização do teste, o participante, após aceitar os termos e assinar o TCLE, passava por uma revisão sobre gráficos de barra, onde lhe eram explicados os nomes e as funções de cada elemento visual que compõe um gráfico de barras simples e um gráfico de barras agrupadas. Elementos como séries, grupos, eixos, legendas e títulos eram explicados utilizando um par de gráficos criados apenas para esta etapa. Após esse momento de familiarização o aplicativo era, então, demonstrado para o participante, que tinha a oportunidade de conhecer todos os *menus*, todas as formas de carregamento de gráfico, a forma principal de interação e como escolher as opções que se encaixam em cada grupo de deficiência visual.

Para a escolha do grupo de testes que cada participante seria colocado um número aleatório entre 1 e 3 era gerado usando a ferramenta de geração de números aleatórios do Google,

caso o número gerado fosse 1 o participante era colocado no grupo de controle, caso o número gerado fosse 2 o participante era colocado no grupo de simulação de baixa visão e caso o número gerado fosse 3 o participante era colocado no grupo de simulação de cegueira. O Quadro 4.1 mostra as opções do aplicativo que foram definidas para cada grupo de testes.

GRUPO	Vocalização	Vibração	Alto Contraste	Fonte
Controle	Desligado	Desligado	Desligado	Pequena
Baixa Visão	Desligado	Desligado	Ligado	Grande
Cegueira	Ligado	Ligado	Desligado	Pequena

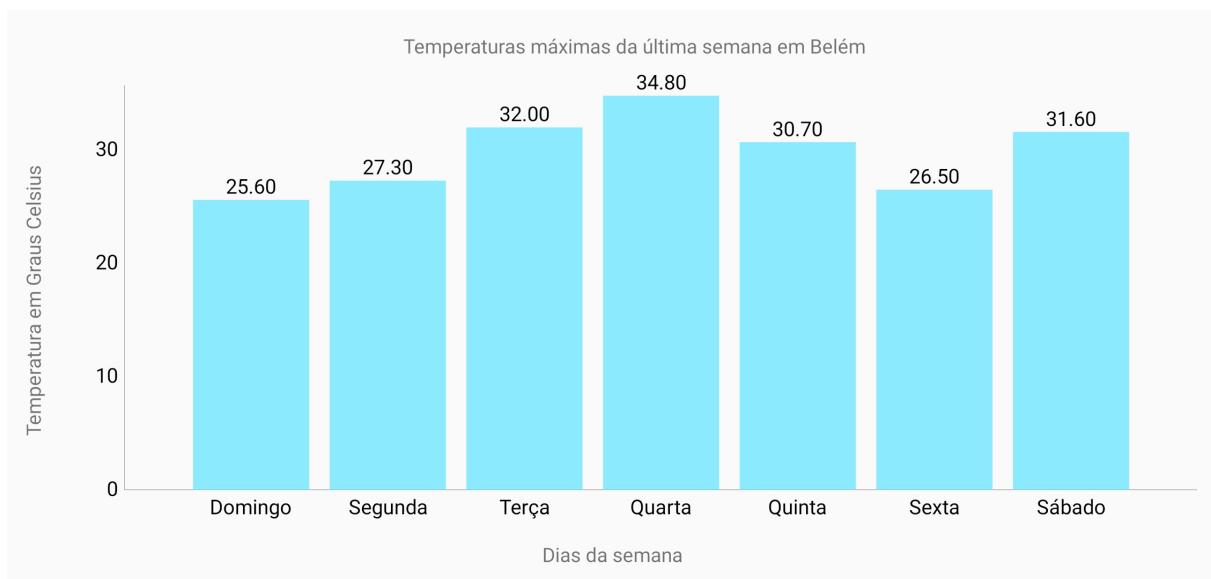
Quadro 4.1: Opções utilizadas para cada grupo de teste.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

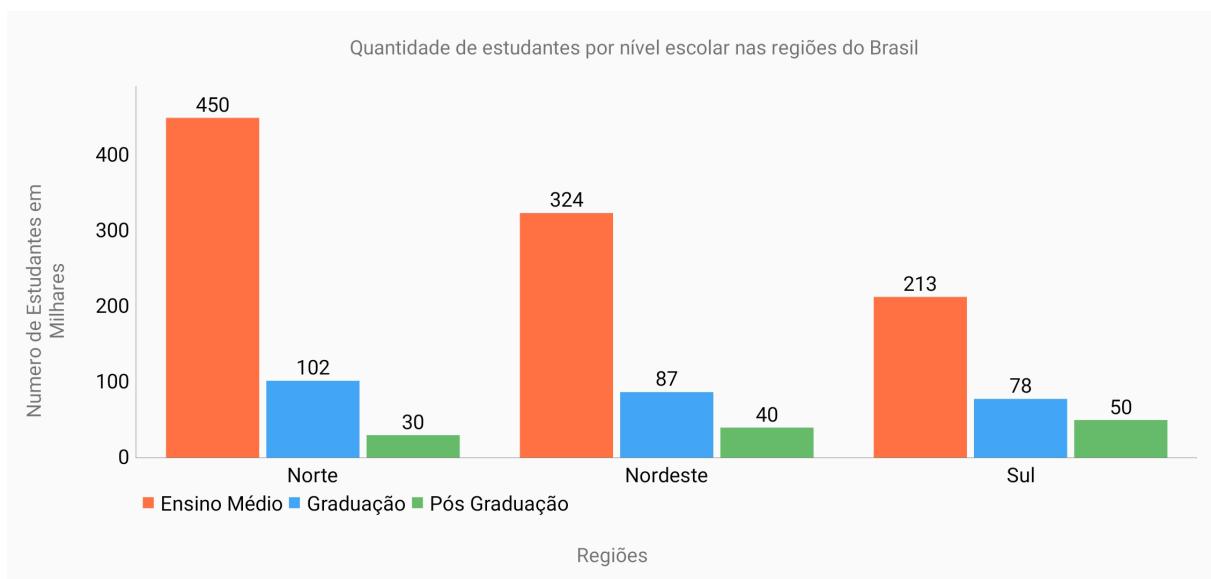
Dois gráficos foram utilizados no procedimento do teste, um gráfico de barras simples, que será referido como Gráfico A, e um gráfico de barras agrupadas, que será referido como Gráfico B. Ambos podem ser vistos na Figura 4.2a e na Figura 4.2b, respectivamente.

Cada grupo, então, era apresentado primeiro com o Gráfico A e em seguida com o Gráfico B. Os participantes do grupo de controle podiam olhar os gráficos normalmente, os participantes do grupo de simulação de baixa visão viam os gráficos através dos óculos de simulação e com o aplicativo configurado com o alto contraste e a fonte grande e os participantes do grupo de simulação de cegueira estavam vendados e interagiam com os gráficos através do toque e da resposta auditiva e háptica.

Cada gráfico poderia ser inicialmente analisado por 2 minutos e então era pedido para que o participante fizesse um resumo verbal do conteúdo apresentado no gráfico. Então, seis perguntas eram feitas sobre cada gráfico, as perguntas feitas para cada gráfico são mostradas no Quadro 4.2. O participante podia checar novamente o gráfico para buscar a resposta da pergunta, e os acertos e erros de cada pergunta eram anotados. Após as perguntas o usuário respondia, também, se houve alguma dificuldade e se ele tinha algum comentário para fazer sobre a etapa. Caso o voluntário fosse do grupo de simulação de cegueira ele também era questionado sobre se ele achava que algo poderia ser mudado na descrição do gráfico que fosse melhorar o entendimento dele.



(a) Gráfico A, barras simples.



(b) Gráfico B, barras agrupadas.

Figura 4.2: Gráficos utilizados nos testes.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Perguntas sobre o Gráfico A	Perguntas sobre o Gráfico B
Q1A Qual o título do gráfico?	Q1B Qual o título do gráfico?
Q2A Qual a legenda do eixo X?	Q2B Qual a legenda do eixo X?
Q3A Qual a legenda do eixo Y?	Q3B Qual a legenda do eixo Y?
Q4A Quantas barras tem o gráfico?	Q4B Quais os nomes dos grupos?
Q5A Quais os dois dias com maior temperatura?	Q5B Quantos alunos fazem Pós-Graduação no nordeste?
Q6A Qual a menor temperatura?	Q6B Qual região tem mais alunos no Ensino Médio?

Quadro 4.2: Perguntas sobre os gráficos feitas aos participantes do teste.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

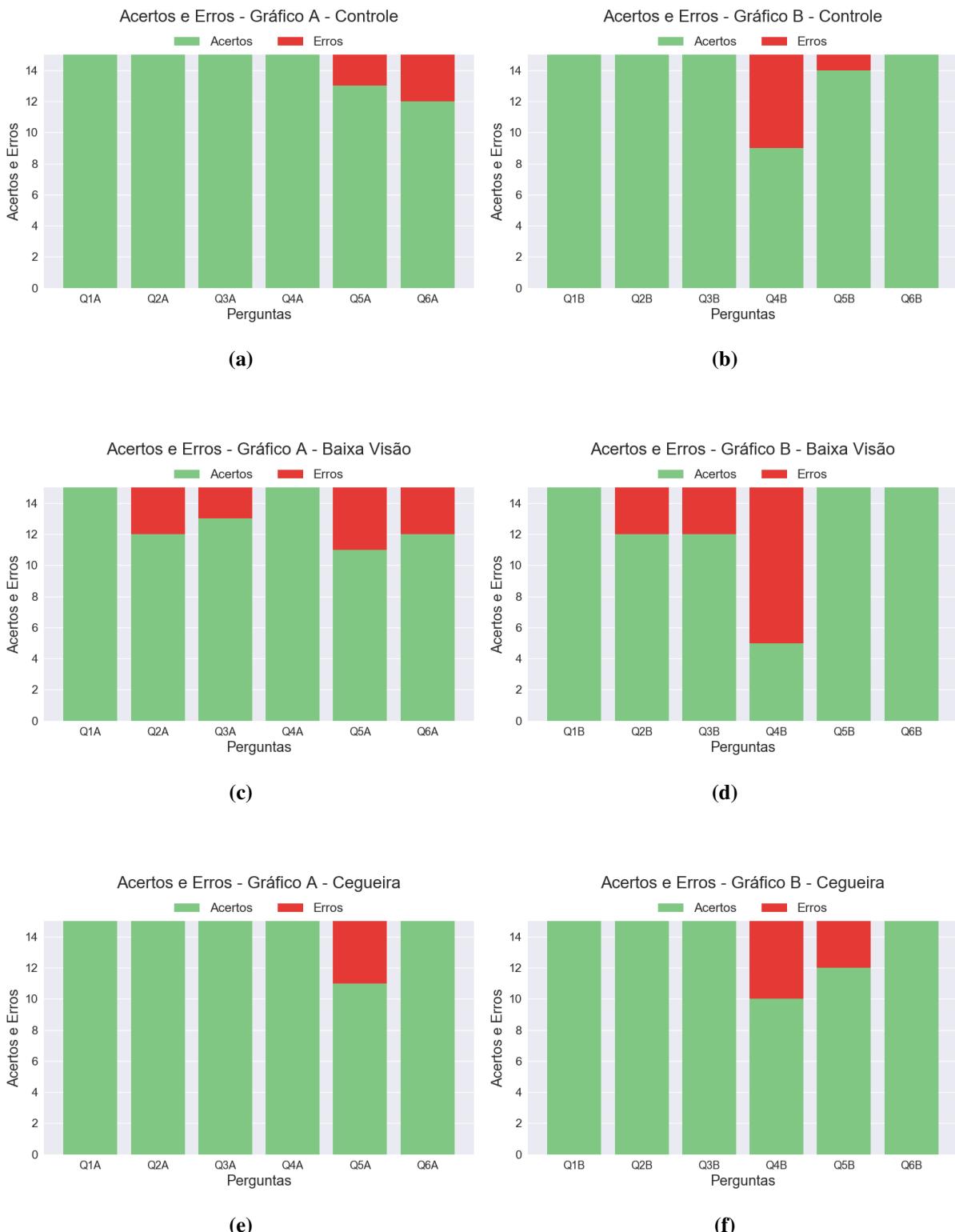
4.3 Resultados e Discussão

Durante o teste, além dos acertos e erros de cada questão objetiva e das perguntas subjetivas feitas ao final de cada etapa, o tempo que o participante demorou para encontrar a resposta e responder cada pergunta também foi contabilizado. Esta sessão aborda a análise dos dados coletados e o que pode ser inferido a partir deles.

4.3.1 Análise Quantitativa

A Figura 4.3 mostra os acertos e erros para cada pergunta em cada grupo de testes para o Gráfico A e para o Gráfico B. No grupo de controle os erros no gráfico A foram concentrados nas perguntas Q5A e Q6A, ambas perguntas que envolvem comparar os valores de todas as barras. Os participantes que erraram essas questões tentaram respondê-las comparando apenas visualmente a altura das barras e ignorando o valor quantitativo codificado por elas, mas o gráfico possui, propositalmente, barras com valores bem próximos, o que possivelmente os confundiu.

A pergunta Q4B foi a com mais erros em todos os grupos, essa quantidade de erros pode estar associada ao mau entendimento dos elementos dos gráficos de barras agrupadas. Todos os participantes que erraram essa pergunta confundiram Grupos com Séries e ao invés de responder a Q4B com os Grupos "Norte, Nordeste e Sul", que podem ser vistos na Figura 4.2b,

**Figura 4.3:** Gráficos utilizados nos testes.**Fonte:** Elaborada pelo autor.

responderam "Ensino Médio, Graduação e Pós-Graduação" que são, na verdade, as Séries. Dos 21 participantes que erraram a Q4B, apenas 5 (23,8%) eram da área das ciências exatas, o que provavelmente se deva a maior familiaridade dos alunos de exatas com gráficos de barra. É importante lembrar que antes do início do teste todos os participantes fizeram um treinamento, onde foram apresentados aos nomes de todos os elementos dos gráficos.

É possível notar também, nas Figuras 4.3c e 4.3d que o grupo de simulação de baixa visão foi o que acumulou mais erros. Alguns participantes erraram as perguntas Q2A, Q2B, Q3A e Q3B que dizem respeito às legendas dos eixos X e Y. Todos os participantes que erraram essas perguntas confundiram o eixo X com o eixo Y, possivelmente, também, pela falta de familiaridade com gráficos. A pergunta Q5A teve um aumento no número de erros, possivelmente devido a maior dificuldade de comparar a altura das barras pelos participantes que estavam usando os óculos de diminuição de acuidade visual.

O grupo de simulação de cegueira foi o que teve a menor quantidade de erros, menos até que o conjunto de controle. Isso se deve ao fato de que o modelo de vocalização dos gráficos diz o nome do elemento que está sendo lido e evita confusões, ao procurar o eixo X, por exemplo, o participante encontra o elemento que a leitura inicia com "A legenda do eixo X é...", o que elimina a necessidade do conhecimento prévio de qual dos dois eixos é o X.

O tempo entre o momento que o aplicador do teste terminou de fazer cada uma das perguntas até o momento em que o participante terminou de responder foi mensurado e pode ser visto na Figura 4.4. É possível notar como a média de tempo para responder às perguntas aumentou a cada nível de dificuldade visual. O grupo de controle foi o com menores tempos, seguido do grupo de baixa visão e o de cegueira teve as maiores médias.

Na Figura 4.4c é possível notar, também, que as perguntas que mais demoraram para serem respondidas pelos participantes do grupo de simulação de cegueira foram as perguntas que envolviam comparação entre todas as barras do gráfico, como a Q5A, Q6A, e Q6B. Isso se deve ao fato que para conseguir responder essas perguntas o participante teve que explorar todos os elementos do gráfico e esperar que todos fossem lidos para encontrar a resposta, ao contrário das pessoas dos grupos que podiam enxergar, que tinham a opção de apenas comparar visualmente o tamanho das barras, o que é muito mais rápido.

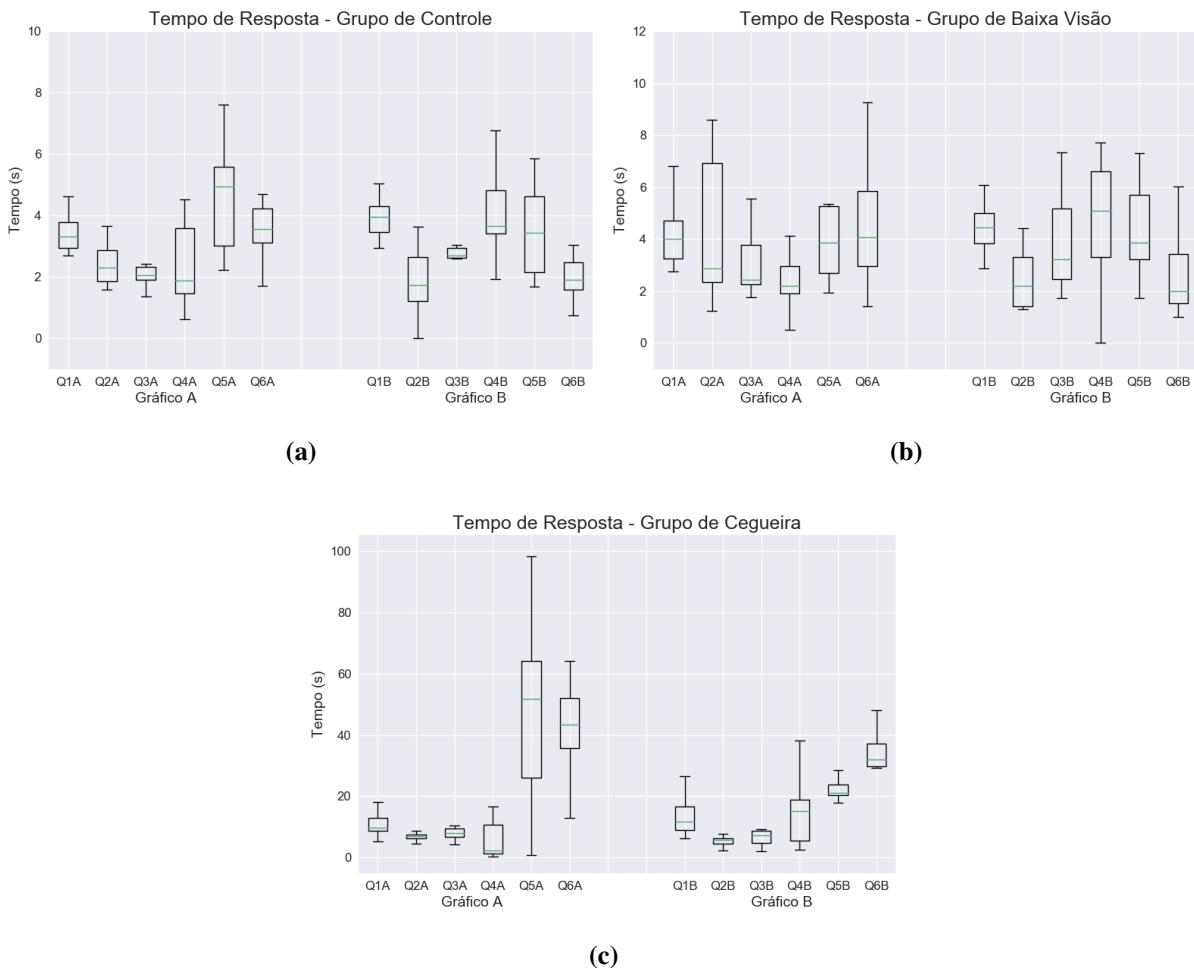


Figura 4.4: Boxplot dos tempos para resposta de cada pergunta

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.2 Análise Qualitativa

Para a análise qualitativa, foram consideradas as falas dos participantes ao descreverem os gráficos e ao comentarem sobre sua experiência no final de cada etapa do teste. Os participantes do teste serão referenciados por Px, onde x é o identificador do participante. As categorias de significados que emergiram estão descritas a seguir.

4.3.2.1 Introdução do Gráfico

Ao carregar um gráfico na ferramenta, se a vocalização estiver ligada, o tipo de gráfico é vocalizado para o usuário. Explicitando que se trata de um gráfico de barras simples ou um gráfico de barras agrupadas. Três participantes do grupo de simulação de cegueira comentaram

sobre a possível inclusão de uma introdução que revelasse mais aspectos sobre o gráfico. P45 argumenta: *"Ela (a voz) não fala a quantidade de, barras, grupos e de séries. Deveria falar, iria ajudar muito. Deixar mais claro."*, enquanto P14 chegou a não encontrar o último grupo de barras do gráfico de barras agrupadas e só descobriu que havia mais um grupo ao retirar os óculos, ele argumenta: *"Agora que vim ver que tem um grupo Sul. Seria bom ele falar ao abrir o gráfico a quantidade de grupos e de séries que tem. Ou pelo menos a quantidade de barras"*. Essa opção pode ser, facilmente adicionada na ferramenta, com uma opção nas configurações onde o usuário pode escolher se deseja essa introdução mais detalhada ou não.

4.3.2.2 Óculos de Baixa Visão

Dois participantes do grupo de simulação de baixa visão deram evidências qualitativas de que os óculos de simulação de baixa acuidade visual cumpriu o seu propósito de simular neles uma pessoa que sofre de baixa visão. P13 falou *"Acho que o óculos atrapalha a visão, mas não tanto assim. Ainda consigo ver."* e P41 disse *"Tá' tudo embaçado e difícil de ver (...)"*, isto, junto com os dados quantitativos que podem ser vistos na Figura 4.4 que mostra que o grupo de simulação de baixa visão demorou mais tempo que o grupo de controle para encontrar e responder às perguntas, confirma o que é apresentado em [20], que afirma que, apesar de não substituírem testes com pessoas com deficiências visuais que resultem em baixa visão, óculos de simulação de baixa acuidade visual são uma boa ferramenta para possibilitar o design acessível.

4.3.2.3 Voz Sintética

P5 achou a voz sintetizada pouco agradável: *"Eu só achei a voz da mulher enjoada"* e P14 comentou sobre a velocidade da vocalização dos dados *"(...) quando ela 'tá' descrevendo o gráfico é muito rápido. Poderia ser mais compassado."*. A vocalização dos dados na ferramenta é feita pela API de sintetização de voz da Google com a voz e a velocidade padrão, o ajuste dessas duas opções está disponível na API e talvez seja interessante a adição de uma opção nas configurações para que o usuário possa, também, ajustar a velocidade e selecionar a voz que prefere para a vocalização.

4.3.2.4 Legenda de Séries

O aplicativo apresenta os gráficos de barras agrupadas como mostrado na Figura 4.2b, com um elemento visual representando a legenda das séries que compõem os grupos do grá-

fico, porém, esse elemento não é interativo, ou seja, ao ser tocado ele não gera uma resposta vocalizando seu conteúdo como fazem os outros elementos visuais do gráfico. Essa opção não foi implementada por falta de suporte da API de gráficos MPAndroidChart a eventos de toque sobre as legendas das séries. Apesar de os nomes das séries serem lidos durante a leitura de cada grupo de barras, os participantes P1 e P10, ambos do grupo de simulação de cegueira, sentiram falta de um elemento que pudessem tocar que lesse as séries do gráfico e disseram, respectivamente: "*Nesse eu senti uma dificuldade por não ter um elemento das séries para que eu pudesse interagir, tive que descobrir as séries tocando em cada grupo. Se tivesse um elemento das séries seria mais rápido.*" e "*(...) não tem o elemento da legenda (das séries) para arrastar, para ele ler as séries para mim. Procurei no começo, mas não achei.*".

4.3.2.5 Relevância dos Elementos dos Gráficos

A primeira tarefa do usuário no teste, após um primeiro momento de observação do gráfico, era que ele descrevesse o gráfico que ele viu/interagiu. O objetivo desta etapa era descobrir a relevância de cada elemento do gráfico para o usuário. Alguns participantes, como o P23, foram bem minimalistas, ele disse sobre o gráfico A (Figura 4.2a) "*Ele ilustra as temperaturas da última semana em Belém*". Alguns, como o P35, foram extremamente detalhistas, ele descreveu sobre o gráfico B (Figura 4.2b) o título, a legenda dos eixos X e Y, a unidade do eixo y, nomes dos grupos e séries, e o mínimo e máximo de cada série.

A Figura 4.5 mostra os elementos mais utilizados pelos participantes para descrever os gráficos A e B. O título do gráfico é o elemento mais utilizado em ambos. No gráfico de barras agrupadas o segundo elemento mais utilizado foi o nome dos grupos e/ou das séries, seguido das legendas dos eixos, enquanto para o de barras simples as legendas dos eixos X e Y ocupam a posição 3 e 2, respectivamente. No gráfico de barras simples, pouco é mencionado os nomes das barras, que talvez por serem muitas seria uma tarefa enfadonha, enquanto são citados mais vezes os valores de mínimo e máximo. Já nos gráficos de barras agrupadas, o mínimo e máximo é pouco citado, talvez por existir mais de uma forma de dar o máximo e o mínimo de um gráfico de barras agrupadas.

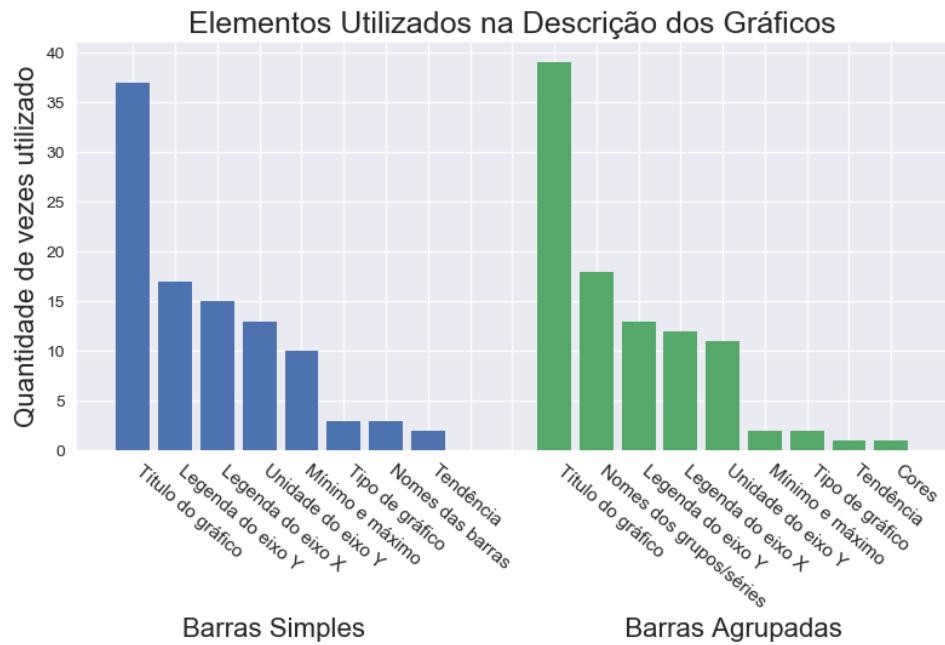


Figura 4.5: Frequênciade uso dos elementos dos gráficos nas descrições dadas pelos participantes do teste.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.3 Entrevista com Especialista

Um especialista, funcionário da Coordenadoria de Acessibilidade (COACCESS) da UFPa que trabalha de forma direta no apoio para alunos com deficiências visuais foi entrevistado e testou a ferramenta. Alguns pontos importantes advindos da entrevista são discutidos a seguir:

- Cenário Atual: O especialista entrevistado trabalha diretamente com a adaptação de materiais gráficos para alunos com deficiências visuais, tanto imagens quanto gráficos de dados. Ao ser perguntado sobre como essa adaptação é feita atualmente ele respondeu: "*(...) Imprimimos esse material em braille para eles, mapas, gráficos, tudo. Imprimimos naquela máquina ali. Uma impressora braille. (...) Ou fazemos assim, ou descrevemos as imagens, Como se fosse uma áudio-descrição.*". A COACCESS possui duas impressoras braille que imprimem em alto-relevo em um papel especial. Ainda segundo o especialista, cada impressora custa em torno de vinte mil reais. Todo conteúdo de gráfico que chega para ser adaptado é analisado e preparado por um funcionário, um software especial chamado Monet [35] é utilizado para que esse gráfico seja desenhado de forma compatível a ser impresso pela impressora braille. Um exemplo de um gráfico desenhado no Monet e impresso na COACCESS com uma de suas impressoras braille pode ser visto na Figura

4.6. Quando a descrição por voz sintetizada é escolhida, o mesmo funcionário cria uma descrição textual do gráfico que é disponibilizada para o aluno.

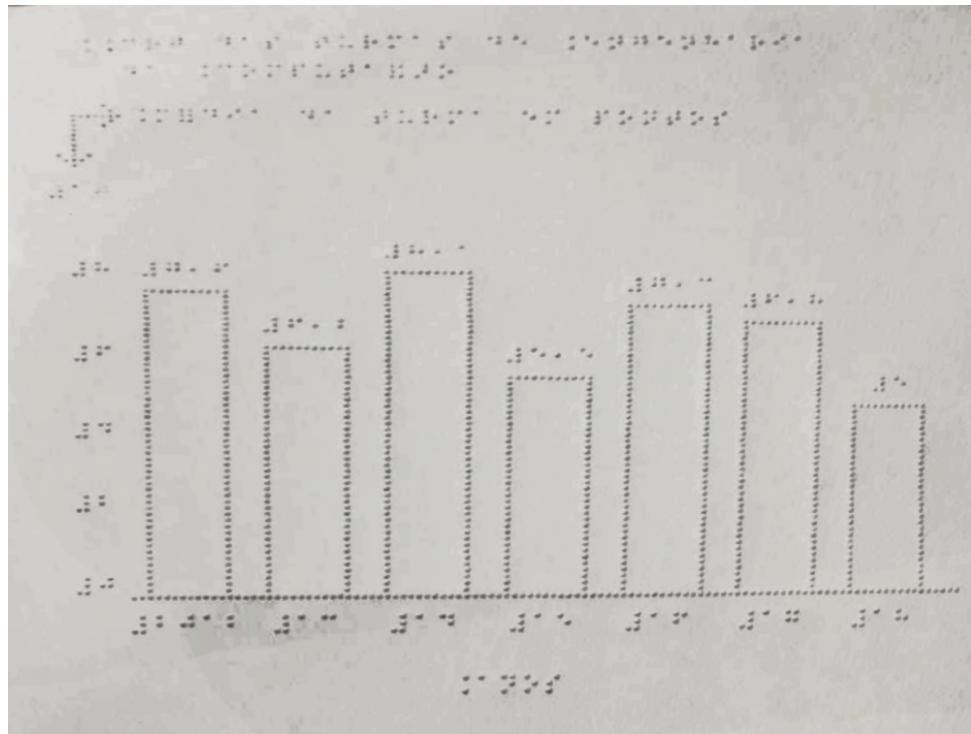


Figura 4.6: Gráfico de barras impresso em braille.

Fonte: Capturada pelo autor.

- Alfabetização em Braille: O especialista também contou que a maior parte dos alunos dependem mais da áudio-descrição do que dos materiais em braille, pois nem todos são alfabetizados em braille. Principalmente os alunos com baixa visão ou os com perda de visão tardia. Ele disse: "*(...) Nem todos os alunos são alfabetizados em braille. Na verdade a grande maioria chega com um déficit na aprendizagem do braille. (...) Geralmente para cegos congênitos o aprendizado do braille é um pouco mais rápido. Mas a maioria deles usa programas leitores como o DOSVOX. Para quem está perdendo agora a visão é mais complicado (...).*"
- Áudio-Descrição: Ao ser perguntado sobre como a áudio-descrição dos gráficos é feita para os alunos que utilizam softwares vocalizadores o especialista respondeu: "*A gente analisa o gráfico, entende o que ele quer passar e passamos uma visão geral (...).*" Foi mostrado ao especialista dois gráficos, um de barras simples e um de barras agrupadas, e foi pedido para que ele os descrevesse como os descreveria para um aluno. A descrição

realizada pelo especialista é a mesma realizada pela aplicação proposta neste trabalho, o que valida ainda mais os modelos de vocalização utilizados.

- Apresentação da Aplicação: A ferramenta proposta foi mostrada para o especialista que teve a chance de interagir com ela e experimentar todos os modos de interação. O especialista mostrou interesse na ferramenta, parabenizou e disse: "*Achei o trabalho de vocês sensacional, vai meio que acabar com meu trabalho aqui (risos) (...). Muito bacana!*".

Ele também sugeriu que fosse implementado o suporte a descrição de tabelas e planilhas que são muito utilizadas pelos alunos e que os leitores de tela também não conseguem ler: "*Uma coisa interessante também seria extrair e gerar gráficos a partir de tabelas, os alunos da estatística deficientes visuais estão tendo muita dificuldade com planilhas. Eles não conseguem acessar essa informação e os leitores não conseguem ler também. Quando a gente pega um material com tabela é muito difícil. Temos que adaptar tudo.*

Capítulo 5

Considerações Finais

Este trabalho apresentou a proposta de uma ferramenta cujo objetivo é permitir que pessoas cegas ou com baixa visão possam interagir e obter o conteúdo de gráficos de barras simples e agrupadas. Para garantir maior alcance de usuários a ferramenta foi desenvolvida para funcionar em telefones celulares inteligentes com o sistema operacional Android. Após os ajustes necessários descobertos durante a fase de testes da versão atual e de uma próxima bateria de testes o aplicativo será disponibilizado gratuitamente na loja de aplicativos do Android, a Google Play Store.

Da análise dos acertos e erros às perguntas é possível concluir que a interação proposta para pessoas cegas não só funciona bem, no propósito de permitir a exploração do conteúdo do gráfico, mas também adiciona informações que são suficientes até para facilitar o entendimento do gráfico comparado a pessoas sem nenhuma deficiência visual. O que sugere que ela possa ser usada, também, no processo de aprendizagem, para ensinar pessoas cegas sobre gráficos. A alternativa para pessoas com baixa visão também serve bem ao propósito de permitir que o conteúdo de gráficos estejam acessíveis para esse grupo de indivíduos, embora ainda caibam correções para talvez facilitar a comparação direta entre componentes visuais com valores muito aproximados.

Com base nos testes realizados foi possível comprovar que a ferramenta cumpre bem o propósito entendido e que uma pessoa cega consegue interagir com os gráficos e obter as mesmas informações que uma pessoa sem nenhuma deficiência visual, com a única desvantagem de mais tempo ser necessário para a obtenção de algumas informações, primariamente informações que dependam da comparação entre todas as barras do gráfico.

Verificou-se ainda, com base na quantidade elevada de erros, que cabem melhorias nas

opções para pessoas com baixa visão, talvez disponibilizando fontes ainda maiores. O tamanho máximo de fonte atual é limitação da API MPAndroidChart, utilizada para a geração da visualização dos gráficos, mas que é de código aberto e pode ser modificada a fim de se aumentar ainda mais o tamanho das fontes. Modificações também cabem na vocalização dos dados, onde os participantes do teste indicaram melhorias como ler na introdução a quantidade de barras, grupos e séries e também na velocidade de fala da voz sintetizada.

Gráficos são importantes ferramentas para a apresentação de dados, seja no meio da aprendizagem ou no meio profissional, mas são uma forma de representação inherentemente visual. A adaptação de gráficos para a representação auditiva representa a possibilidade de inclusão no processo de aprendizagem para as 6,5 milhões de pessoas com deficiências visuais que existem somente no Brasil [3]. Pesquisando a bibliografia não se encontrou nenhum outro software com a mesma proposta e a ferramenta apresentada neste trabalho se mostrou capaz de ser uma primeira opção para essas pessoas.

5.1 Publicações

O desenvolvimento dos modelos de vocalização para gráficos de dados está em andamento desde o início de 2019, onde os primeiros modelos de descrição corrida foram propostos e testes com usuários foram realizados. Esse primeiro momento da pesquisa foi publicado, em formato de artigo completo, na 23^a Conferência Internacional de Visualização da Informação (IV2019), sob o título *Proposal and Evaluation of Textual Description Templates for Bar Charts Vocalization* [34].

5.2 Trabalhos Futuros

A partir do proposto e apresentado neste trabalho, as correções e melhorias encontradas durante a realização dos testes com usuários são o primeiro passo para a melhoria da ferramenta. Melhorias estas: O estudo da adição de um elemento visual de legenda das séries para a visualização de gráficos de barras agrupadas, ajuste dos modelos de vocalização para que mais informações sejam dadas ao usuário no momento que o gráfico é carregado (como a quantidade de barras do gráfico) e configurações ajustáveis para a velocidade de vocalização e seleção da voz sintética utilizada.

Testes simulando baixa visão e cegueira são uma forma simples de conseguir avaliar características de acessibilidade para *softwares*, mas não substitui o teste com pessoas que realmente fazem parte desses grupos. Conseguir liberação dos órgãos pertinentes para realização desses testes é primordial para continuar o desenvolvimento da ferramenta.

O suporte para mais tipos de gráficos também é importante para garantir a versatilidade da ferramenta, permitindo que usuários carreguem não apenas gráficos de barras, mas outros tipos comuns de gráficos como gráficos de pizza, gráficos de linha, entre outros. A adição de novos tipos de gráficos depende da pesquisa e testes de novos modelos de vocalização para esses tipos de gráficos e tem de ser feita de modo sequencial, um novo tipo de gráfico por vez.

A ferramenta desenvolvida neste trabalho foi implementada para utilização com o sistema operacional Android. Para garantir maior alcance e atender a regiões que, diferente do Brasil, o Android não é o sistema operacional mais utilizado, como nos Estados Unidos [36], uma versão para iOS e uma versão web para ser utilizada em computadores podem ser desenvolvidas seguindo as mesmas diretrizes.

Assim como sugerido pelo especialista entrevistado, o suporte para a descrição e geração de gráficos através de planilhas e tabelas também deve ser estudado.

Por fim, técnicas de extração automática utilizando ferramentas de visão computacional que descrevem processos para, sem intermédio humano, obter dados de gráficos existem [37, 38] e podem ser estudadas e implementadas na ferramenta para que a criação da versão compatível com a ferramenta do gráfico não tenha que ser responsabilidade do autor. Permitindo o acesso, inclusive, a conteúdos mais antigos, criados sem acessibilidade em mente.

Referências Bibliográficas

- [1] W. H. Organization *et al.*, “Global data on visual impairments 2010,” *Geneva: World Health Organization*, 2012.
- [2] D. Pascolini and S. P. Mariotti, “Global estimates of visual impairment: 2010,” *British Journal of Ophthalmology*, vol. 96, no. 5, pp. 614–618, 2012.
- [3] “Censo demográfico de 2010,” IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=destaques>
- [4] F. Scientific, “Jaws for windows,” *On-line). Web:* http://www.freedomscientific.com/fs_products/software_jawsinfo.asp, 2011.
- [5] J. A. Borges, “Dosvox-um novo acesso dos cegos à cultura e ao trabalho,” *Benjamin Constant*, no. 3, 1996.
- [6] “30ª pesquisa anual do uso de ti,” Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/ensinoeconhecimento/centros/cia/pesquisa>
- [7] R. K. Panchal and M. A. K. Patel, “A comparative study: Java vs kotlin programming in android,” *International journal of Innovative Trends in Engineering & Research*, vol. 2, no. 9, 2017.
- [8] P. Jahoda, “Mpandroidchart,” *GitHub,[Online]. Available: https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart.[Accessed November 2019]*, 2016.
- [9] H. A. Al-Ofeishat and M. A. Al Rababah, “Near field communication (nfc),” *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, vol. 12, no. 2, p. 93, 2012.
- [10] V. Coskun, K. Ok, and B. Ozdenizci, *Near field communication (NFC): From theory to practice*. John Wiley & Sons, 2011.

- [11] “Patents pertaining to the qr code,” DENSO WAVE INCORPORATED. Disponível em: <https://www.qrcode.com/en/patent.html>
- [12] T. J. Soon, “Qr code,” *Synthesis Journal*, vol. 2008, pp. 59–78, 2008.
- [13] D. Wave, “Information technology automatic identification and data capture techniques qr code bar code symbology specification,” *International Organization for Standardization, ISO/IEC*, vol. 18004, 2015.
- [14] Y. Liu, J. Yang, and M. Liu, “Recognition of qr code with mobile phones,” in *2008 Chinese control and decision conference*. IEEE, 2008, pp. 203–206.
- [15] “Mobile vision api,” Google. Disponível em: <https://developers.google.com/vision>
- [16] A. Satyanarayan, D. Moritz, K. Wongsuphasawat, and J. Heer, “Vega-lite: A grammar of interactive graphics,” *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 23, no. 1, pp. 341–350, 2016.
- [17] J. Wouters, C. Traber, M. Riedi, M. Reber, and J. Keller, “Text to speech synthesis,” Jul. 12 2011, uS Patent 7,979,280.
- [18] E. M. Eide, “Training of text-to-speech systems,” 2003, uS Patent 6,535,852.
- [19] H. Snellen, “Probefbuchstaben zur bestimmung der sehscharfe, utrecht, v: d,” 1862.
- [20] C. Cardoso and P. Clarkson, “Impairing designers: using calibrated physical restrainers to empathise with users,” in *2nd International Conference for Universal Design in Kyoto, International Association for Universal Design*, 2006.
- [21] M. Zagar and S. Baggarly, “Low vision simulator goggles in pharmacy education,” *American journal of pharmaceutical education*, vol. 74, no. 5, p. 83, 2010.
- [22] I. L. Bailey and J. E. Lovie, “New design principles for visual acuity letter charts.” *American journal of optometry and physiological optics*, vol. 53, no. 11, pp. 740–745, 1976.
- [23] H.-K. Kuo, M.-T. Kuo, S. Tiong, P.-C. Wu, Y.-J. Chen, and C.-H. Chen, “Visual acuity as measured with landolt c chart and early treatment of diabetic retinopathy study (etdrs) chart,” *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol. 249, no. 4, pp. 601–605, 2011.

- [24] M. Bach *et al.*, “The freiburg visual acuity test-automatic measurement of visual acuity,” *Optometry and vision science*, vol. 73, no. 1, pp. 49–53, 1996.
- [25] “Zimmerman low vision simulation kit,” Zimmerman Low Vision Simulation Kit (ZLVSK). Disponível em: <http://www.lowvisionsimulationkit.com/>
- [26] J. Goodman-Deane, S. Waller, A.-C. Collins, and P. J. Clarkson, “Simulating vision loss,” in *Contemporary Ergonomics and Human Factors 2013*. ROUTLEDGE in association with GSE Research, 2013, vol. 347, no. 354, pp. 347–354.
- [27] A. Awada, Y. B. Issa, J. Tekli, and R. Chbeir, “Evaluation of touch screen vibration accessibility for blind users,” in *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ser. ASSETS ’13. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 48:1–48:2. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2513383.2513430>
- [28] H. M. Kamel and J. A. Landay, “Sketching images eyes-free: A grid-based dynamic drawing tool for the blind,” in *Proceedings of the Fifth International ACM Conference on Assistive Technologies*, ser. Assets ’02. New York, NY, USA: ACM, 2002, pp. 33–40. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/638249.638258>
- [29] D. Pires, B. Furtado, T. Carregã, L. Reis, L. L. Pereira, R. Craveirinha, and L. Roque, “The blindfold soundscape game: A case for participation-centered gameplay experience design and evaluation,” in *Proceedings of the 8th Audio Mostly Conference*, ser. AM ’13. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 9:1–9:7. Disponível em: <http://doi.acm.org/10.1145/2544114.2544122>
- [30] A. Studio, “Android studio,” *The Official IDE for Android*, 2017.
- [31] “Operating system market share worldwide,” GS Statatcounter. Disponível em: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/>
- [32] “Painel de distribuição de versões,” Android. Disponível em: <https://developer.android.com/about/dashboards>
- [33] B. Caldwell, M. Cooper, L. G. Reid, and G. Vanderheiden, “Web content accessibility guidelines (wcag) 2.0,” *WWW Consortium (W3C)*, 2008.

- [34] C. L. T. De Oliveira, A. T. D. A. Silva, E. M. Campos, T. D. O. Araújo, M. P. Mota, B. S. Meiguins, and J. M. De Moraes, “Proposal and evaluation of textual description templates for bar charts vocalization,” in *2019 23rd International Conference Information Visualisation (IV)*. IEEE, 2019, pp. 163–169.
- [35] “Instituto benjamin constant lança o programa monet - gerador de gráficos táticos,” Benjamin Constant. Disponível em: <http://www.acessibilidadebrasil.org.br/joomla/noticias/666-instituto-benjamin-constant-lanca-o-programa-monet-gerador-de-graficos-tateis>
- [36] “Mobile operating system market share united states of america,” GS Statatcounter. Disponível em: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/united-states-of-america>
- [37] M. Savva, N. Kong, A. Chhajta, L. Fei-Fei, M. Agrawala, and J. Heer, “Revision: Automated classification, analysis and redesign of chart images,” in *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 2011, pp. 393–402.
- [38] D. Jung, W. Kim, H. Song, J.-i. Hwang, B. Lee, B. Kim, and J. Seo, “Chartsense: Interactive data extraction from chart images,” in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2017, pp. 6706–6717.
- [39] D. Han, C. Zhang, X. Fan, A. Hindle, K. Wong, and E. Stroulia, “Understanding android fragmentation with topic analysis of vendor-specific bugs,” in *2012 19th Working Conference on Reverse Engineering*. IEEE, 2012, pp. 83–92.

Apêndice A

TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Sou aluno em graduação em Engenharia da Computação da Universidade Federal do Pará – UFPA. Estou responsável pelo projeto ChartVision por: Profª. Drª. Marcelle Pereira Mota, cujo tema é “Avaliação de uma aplicação móvel para interação com gráficos de dados por deficientes visuais”. Neste projeto, estamos estudando como apresentar as informações existentes em gráficos de barras para auxiliar o acesso de pessoas com deficiências visuais. Nessa etapa do projeto, gostaria de saber se a aplicação exerce o papel entendido e se é fácil de utilizar.

Solicito seu consentimento para a realização do teste, assim como para a gravação de áudio. Para decidir sobre o seu consentimento, é importante que você conheça as seguintes informações sobre a pesquisa:

- Os dados e áudios coletados, destinam-se estritamente a atividades de análise e desenvolvimento do projeto de pesquisa.
- A divulgação desses resultados pauta-se no respeito à sua privacidade, e o anonimato dos participantes será preservado em quaisquer documentos a serem elaborados.
- O consentimento para o teste é uma escolha livre, feita mediante a prestação de todos os esclarecimentos necessários sobre a pesquisa.
- O teste pode ser interrompido a qualquer momento, segundo a sua disponibilidade e vontade.
- Estarei disponível para contato por meio do e-mail alantas@outlook.com.

Tendo em vista os itens acima apresentados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento em participar da pesquisa. Declaro que recebi cópia deste termo de consentimento, e autorizo a realização da pesquisa e a divulgação dos dados obtidos neste estudo.

Belém, ____ de _____ de 2019.

assinatura do aplicador

assinatura do participante