

Rayanne Maria Cunha Silveira

Desenvolvimento de Dispositivo para Detectar Patologias da Visão

São Luís

2018

Rayanne Maria Cunha Silveira

Desenvolvimento de Dispositivo para Detectar Patologias da Visão

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação.

Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Coordenação de Engenharia da Computação

Orientador: Prof. Dr. João Dallyson Sousa de Almeida

São Luís

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Silveira, Rayanne Maria Cunha.

Desenvolvimento de Dispositivo para Detecção de Patologias da Visão / Rayanne Maria Cunha Silveira. - 2018.

82 f.

Orientador(a): João Dallyson Sousa de Almeida.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Maranhão, Campus Bacanga, 2018.

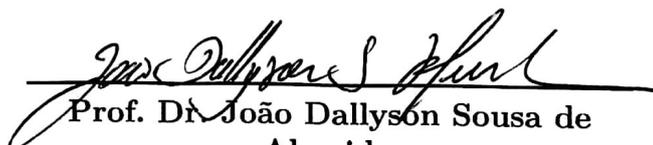
1. Patologias da visão. 2. Photoscreeners. 3. Raspberry Pi 3 B. I. Almeida, João Dallyson Sousa de. II. Título.

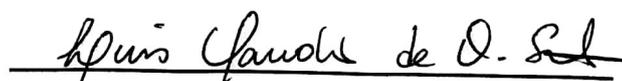
Rayanne Maria Cunha Silveira

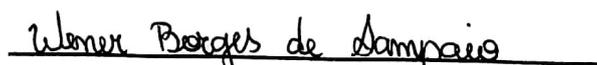
Desenvolvimento de Dispositivo para Detectar Patologias da Visão

Monografia apresentada a Coordenação do
Curso de Engenharia da Computação da Uni-
versidade Federal do Maranhão, como requi-
sito para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia da Computação.

Trabalho Aprovado em 13 de Julho de 2018.


Prof. Dr. João Dallyson Sousa de
Almeida
Orientador


Prof. Dr. Luis Claudio de O. Silva
Professor Convidado


Prof. Dr. Wener Borges Sampaio
Professor Convidado

São Luís
2018

Este trabalho é dedicado ao meu pai, Raimundo Silveira, minha mãe, June Silveira e ao meu namorado, Thalyson Dutra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus, pois sem sua permissão nada disso seria possível.

Ao meu orientador, prof. Dr. João Dallyson, por toda a confiança e apoio dados e por todos os ensinamentos passados durante o desenvolvimento deste projeto.

Um agradecimento especial ao Professor Shigeaki Leite de Lima, que além de contribuir em trabalhos anteriores, foi fundamental na conclusão deste, através do fornecimento de materiais, equipamentos e mão de obra, além dos vários ensinamentos durante as horas de trabalho. E ao professor Wener pela ajuda na etapa de testes deste trabalho, pelas palavras de admiração e incentivo.

A todos os meus familiares, com ênfase nos meus pais que me deram todo apoio para que esse sonho se concretizasse.

Ao meu namorado e melhor amigo, Thalyson Dutra, por ser um parceiro compreensivo e atencioso, por sempre estar ao meu lado nos momentos de crise e nos momentos de conquista e por todas as tardes dedicadas na execução de muitos projetos.

Aos meus amigos da engenharia da computação, por estarem ao meu lado durante essa caminhada pioneira que finalmente podemos dizer que chegou ao fim. E sim, conseguimos.

Às minhas amigas da vida toda, Ana Gabrielle, Brenda Almeida, Brenda Lohanne e Vanessa Lopes, por serem compreensivas com minha constante ausência e por estarem ao meu lado desde a época da escola. E aos meus amigos da Tutoria por proporcionarem diversos momentos de descontração.

Ao professor Luis Claudio, por ser mais que mestre, professor e orientador, por ser meu amigo. Não estaria aqui sem seus conselhos e ensinamentos. Obrigada meu mestre.

A todo o grupo de professores da engenharia da computação, que se esforçaram ao máximo para a formação da nossa turma, por acreditarem sempre na nossa capacidade e por contribuírem de forma espetacular com nossa formação pessoal e profissional.

“Faça. Ou não faça. Não existe a tentativa.”

- Mestre Yoda

RESUMO

A identificação de patologias da visão nos primeiros anos de vida contribui para um tratamento mais eficaz. Entretanto, obter o diagnóstico de pacientes na faixa etária de 0 a 3 anos a partir de métodos tradicionais como a tabela de *Snellen*, que necessita da colaboração do paciente, é inviável. O uso de *Photoscreeners* para diagnosticar esse grupo de pacientes tem sido uma opção, entretanto o custo desses dispositivos é elevado. Neste contexto, foi proposto um dispositivo, baseado em uma placa *Raspberry Pi 3 B*, com funcionalidades semelhantes aos dispositivos do mercado, porém de baixo custo e que possa incorporar diferentes métodos computacionais para detectar patologias da visão, permitindo examinar pacientes de todas as idades. Com base em um estudo de mercado foram definidas as funcionalidades que o dispositivo incorporou assim como os componentes que foram utilizados. Por fim, desenvolveu-se um protótipo que foi avaliado por profissionais da área da saúde através do questionário PSSUQ (Post-Study System Questionnaire). O dispositivo proposto apresentou um custo de produção 20 vezes menor aos valores de dispositivos do mercado e sua interface obteve uma avaliação positiva.

Palavras-chave: *Photoscreeners*. Patologias da visão. *Raspberry Pi 3 B*.

ABSTRACT

The identification of vision pathologies in the first years of life (0 to 3 years) contributes to a more effective treatment. However, obtaining the diagnosis of patients in this age from traditional methods as the Snellen table, which requires patient collaboration, is not viable. The use of Photoscreeners to diagnose this group of patients has been an option, however these devices are very expensive. In this context, a device, based on a *Raspberry Pi 3 B* board, with similar functionalities to the market's, devices was proposed, but of low cost and with a capacity to incorporate different computational methods to detect pathologies of vision, allowing to examine patients of all the ages. Based on a market study were defined the functionalities that the device would incorporate as well as the components that was used. After this, a prototype was developed and evaluated by health professionals through the PSSUQ (Post-Study System Questionnaire) questionnaire. The proposed device presented a cost of production 20 times smaller than the values of devices of the market and its interface system obtained a positive evaluation.

Keywords: *Photoscreeners*. Pathologies of Vision. *Raspberry Pi 3 B*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1.1 Dispositivo <i>PlusOptix</i>	21
Figura 2.1.2 Relatório <i>PlusOptix</i>	22
Figura 2.1.3 Dispositivo <i>Spot Vision Screener</i>	23
Figura 2.1.4 Relatório <i>Spot Vision</i>	23
Figura 2.1.5 Dispositivo <i>2WIN</i>	25
Figura 2.1.6 Relatório <i>2WIN</i>	25
Figura 2.1.7 Ótogo <i>Photoscreener</i>	26
Figura 2.1.8 MTI <i>Photoscreener</i>	27
Figura 2.3.1 Placa UP Squared Pentium Ultra.	30
Figura 2.3.2 Placa ODROID-XU4.	31
Figura 2.3.3 Placa Asus Tinker Board.	32
Figura 2.3.4 Placa Orange Pi Prime.	33
Figura 2.3.5 Placa Banana Pi BPI-M2 Ultra.	34
Figura 2.3.6 Placa Raspberry Pi 3	35
Figura 3.0.1 Etapas da metodologia.	37
Figura 3.2.1 Esquemática do circuito de controle dos LEDs e emissores infravermelhos.	39
Figura 3.2.2 Projeto de placa de circuito impresso (PCI).	40
Figura 3.2.3 Produção da placa por Corrosão.	41
Figura 3.2.4 Projeto de placa de circuito impresso (PCI).	41
Figura 3.2.5 Projeto de placa de circuito impresso (PCI).	42
Figura 3.2.6 Placa sem componentes.	42
Figura 3.2.7 Questionário aplicado.	43
Figura 4.1.1 Câmera NoIR	45
Figura 4.1.2 Tela <i>Touch Screen</i>	46
Figura 4.1.3 <i>TouchscreenCapacitivo</i>	47
Figura 4.1.4 <i>Touchscreen</i> resistivo.	48
Figura 4.3.1 Diagrama Entidade-Relacionamento do Banco de dados.	50

Figura 4.4.1 Placa de Expansão de Bateria de Lítio-íon.	52
Figura 4.4.2 Instalação do botão.	53
Figura 4.4.3 Descrição dos pinos CI 74HC595.	54
Figura 4.4.4 Visualização 3D da placa.	55
Figura 4.4.5 Placa com componentes.	55
Figura 6.1.1 Modelo 3D do dispositivo.	64
Figura 6.1.2 Acessório Lúdico.	64
Figura 6.1.3 Modelo com Acessório.	65
Figura 6.1.4 Mockup do Modelo proposto.	65
Figura 6.1.5 Modelo proposto.	66
Figura 6.2.1 Tela Inicial Configurações.	66
Figura 6.2.2 Tela Cadastro de Método.	67
Figura 6.3.1 Tela Inicial.	68
Figura 6.3.2 Seleção de Paciente.	68
Figura 6.3.3 Seleção de Exame.	68
Figura 6.3.4 Cadastro de Paciente.	69
Figura 6.3.5 Captura de Imagens.	69
Figura 7.2.1 Mini Teclado WiFi	72
Figura 7.3.1 Realização da Avaliação	73
Figura 7.3.2 Resultado Questionário PSSUQ	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor em reais dos dispositivos disponíveis no mercado	17
Tabela 2 – Especificações dos dispositivos do mercado e proposto.	29
Tabela 3 – Requisitos Funcionais da Aplicação.	57
Tabela 4 – Requisitos Não Funcionais da Aplicação.	58
Tabela 5 – Custo do dispositivo proposto	71
Tabela 6 – Comparação de custos	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPOS *American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*

ABNT *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

ANATEL *Agência Nacional de Telecomunicações*

API *Application Programming Interface*

CI *Circuito Integrado*

CRUD *Create, Read, Update e Delete*

CSI *Camera Serial Interface*

DSI *Display Serial Interface*

GHz *Giga Hertz*

GND *Graduated Neutral Density Filter*

GPIO *General Purpose Input/Output*

GUI *Graphical User Interface*

HD *High-Definition*

HDMI *High-Definition Multimedia*

IBM *International Business Machines*

IFMA *Instituto Federal do Maranhão*

ITO *Indium Tin Oxide*

LAN *Local Area Network*

LCD *Liquid Crystal Display*

LED *Light Emitting Diode*

MP *Megapixel*

MTI *Medical Technology and Innovations*

PCI *Placa de Circuito Impresso*

PSSUQ *Post-Study System Questionnaire*

PWM *Pulse Width Modulation*

RAM *Random Access Memory*

RF *Requisito Funcional*

RNF *Requisito Não Funcional*

SD *Secure Digital Card*

SUS *Sistema Único de Saúde*

USB *Universal Serial Bus*

WiFi *Wireless Fidelity*

WLAN *Wireless Local Area Network*

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Justificativa	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivos Específicos	18
1.3	Estrutura do trabalho	19
2	Estudo de Mercado	20
2.1	Dispositivos Existentes	20
2.1.1	PlusOptix	20
2.1.2	Spot Vision Screener	22
2.1.3	2WIN	24
2.1.4	Outros dispositivos	26
2.2	Conclusões acerca dos requisitos básicos do equipamento	27
2.3	Tecnologias existentes	29
2.3.1	<i>UP Squared Pentium Ultra</i>	29
2.3.2	ODROID-XU4	30
2.3.3	Asus Tinker Board	32
2.3.4	Orange Pi Prime	33
2.3.5	Banana Pi BPI-M2 Ultra	33
2.3.6	Raspberry Pi 3	34
3	Materiais e Métodos	37
3.1	Materiais	38
3.2	Métodos	38
3.2.1	Produção da Placa de Circuito Impresso	38
3.2.2	Testes e Avaliação	41
4	Hardware Proposto	44
4.1	Entrada de Dados	45
4.1.1	Câmera NoIR	45
4.1.2	Tela <i>Touchscreen</i>	46
4.2	Saída de Dados	48
4.2.1	Display LCD	48

4.3	Processamento de Dados	49
4.3.1	Sistema Operacional	49
4.3.2	Banco de Dados e SGBD	50
4.3.3	Linguagem de Programação	50
4.4	Circuitos Auxiliares	51
4.4.1	Alimentação	51
4.4.2	Botão de Ligar	52
4.4.3	Placa de Leds e Emissores Infravermelho	52
5	Software	56
5.1	Levantamento de Requisitos	56
5.2	Python 3.6	58
5.3	Implementação das Funcionalidades	59
5.3.1	CRUD de Pacientes	59
5.3.2	CRUD de Exames	59
5.3.3	Busca por critérios e seleção de paciente	60
5.3.4	Seleção de exames	61
5.3.5	Execução de exames	61
5.3.6	Emitir e exportar relatório	61
5.3.7	Personalização do relatório	62
5.3.8	Exportar Imagens	62
6	Desenvolvimento do Protótipo	63
6.1	Estrutura Física do Dispositivo	63
6.2	Interface Administrador-Dispositivo	66
6.3	Interface Cliente Dispositivo	67
7	Resultados e Discussões	70
7.1	Custo do dispositivo	70
7.2	Desempenho	71
7.3	Questionário PSSUQ	73
8	Considerações Finais	76
	Referências Bibliográficas	78

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Problemas de visão como o estrabismo, miopia, ambliopia e outros problemas refrativos são cada vez mais comuns durante a infância. Segundo ALMEIDA *et al.* (2013 apud HARLEY; NELSON; OLITSKY, 2005) apenas a ambliopia pode atingir cerca 4% da população. Especialistas acreditam que dos 3 aos 4 anos de idade, o sistema visual já esteja totalmente desenvolvido, mas ainda pode ser moldado até os 10 anos de idade. Com isso, para maior efetividade do tratamento o diagnóstico na fase de desenvolvimento é essencial, já que após desenvolvido, o tratamento dessas patologias será menos eficaz (GRAZIANO; LEONE, 2005).

Alguns exames que podem detectar patologias da visão necessitam da colaboração do paciente, seja através do posicionamento na realização do exame, ou até mesmo a partir da interação com o médico, fornecendo algumas informações durante o processo. Nesse contexto, existem dificuldades em aplicar os métodos usuais em crianças de 0 a 3 anos, que em sua maioria não conseguem colaborar da maneira necessária durante o exame (GODOI *et al.*, 2011).

Nesse sentido, seria oportuno que os programas de saúde pública priorizassem a identificação de alterações oftalmológicas nas crianças em idade pré-escolar e escolar, pois os principais problemas visuais, como estrabismo, glaucoma etc., podem diminuir a capacidade visual levando até à cegueira. A investigação de problemas oculares em crianças, com idade pré-escolar e escolar, por meio de oftalmologistas mostra-se muito dispendiosa. Uma solução viável é a utilização de dispositivos de triagem auxiliada, para posterior avaliação por oftalmologistas.

Uma das alternativas populares para realizar a triagem e detectar erros de refração e desalinhamento ocular (estrabismo) de forma simples e precisa (CLAUSEN; ARNOLD, 2007) ainda na infância, período cujo sistema visual ainda está em desenvolvimento,

são os dispositivos de rastreamento de visão conhecidos como *Photoscreeners*¹. Diversos estudos (FORCINA et al., 2017) (MATTA et al., 2009) (SINGMAN et al., 2013) utilizaram diferentes modelos de *Photoscreeners* para avaliar a acurácia, sensibilidade e outros aspectos relevantes do desempenho dos mesmos, onde vários autores apontam esses dispositivos como uma ferramenta promissora.

Apesar de promissores esses dispositivos possuem um alto custo, o que dificulta o acesso e propagação desse tipo de tecnologia. Com o intuito de facilitar o acesso a dispositivos computacionais na área da saúde, propõe-se um dispositivo, semelhante aos *Photoscreeners* existentes no mercado, de baixo custo, capaz de detectar precocemente patologias da visão baseado no processamento e análise de imagens e vídeos.

Diante do exposto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo de triagem de baixo custo que possa incorporar técnicas computacionais para detecção de patologias na visão e que poderá ser utilizado por profissionais que atuem na atenção básica de saúde e/ou docentes dos ensino básico e médio, favorecendo a detecção e tratamento precoce, a redução da incidência de baixa de visão, melhoria do rendimento escolar e desoneração do SUS pela diminuição dos custos financeiros pela não necessidade de oftalmologista.

1.1 Justificativa

A obtenção de tecnologias que auxiliam exames oftalmológicos está diretamente ligada a equipamentos de alto custo. Dispositivos como os *Photoscreeners*, apesar de possuírem bons resultados no diagnóstico que o mesmo propõe, o alto custo comercial ainda é um empecilho para algumas clínicas.

De acordo com o levantamento feito nos sites dos fabricantes de dispositivos desse gênero, foi obtido o custo de cada equipamento, valores² apresentados na Tabela 1. Analisando essa informação é possível justificar a suposição de que os dispositivos possuem um custo elevado.

Tabela 1: Valor em reais dos dispositivos disponíveis no mercado

Dispositivo	Valor
iScreener	R\$ 13.080,00
Spot Vision	R\$ 24.510,28
2Win	R\$ 22.726,50
PlusOptix	R\$ 24.148,95

Fonte: Levantamento feito pelo autor.

Todos os dispositivos apresentam configurações básicas semelhante, onde em sua

¹ São dispositivos que através da análise de imagens são capazes de detectar patologias da visão

² Os valores apontados foram convertidos do dólar para real utilizando o valor de R\$ 3,27.

maioria possuem conexão *WiFi* ou *Ethernet* para envio de informações para um computador, câmera para a aquisição de imagens, *display* para interface com o operador do equipamento e todos geram relatório com o diagnóstico do paciente. É importante ressaltar que esses dispositivos, por serem equipamentos de triagem, não dispensam a função do oftalmologista, e sim apresentam como diagnóstico um encaminhamento ou não para um especialista.

Nesse aspecto, uma das justificativas desse projeto é a produção de um dispositivo de baixo custo, que pode colaborar para a disseminação do uso de tecnologias na área médica, além de favorecer o número de diagnósticos em crianças a partir de 6 meses. Outro fator que justifica a importância deste projeto é exatamente a construção de um dispositivo que possa atuar diretamente com esse grupo de pacientes.

Além do baixo custo, o fato de ser um dispositivo portátil que não requer colaboração do paciente contribui para a relevância do projeto. Onde além da mobilidade, para garantir uma melhor interação com o paciente, o dispositivo deverá apresentar características atrativas as crianças, seja através de sons, luzes ou até mesmo do formato e cores do dispositivo.

Por fim, um outro fator que justifica a necessidade do estudo proposto é a escalabilidade do sistema. O dispositivo proposto deverá ter a capacidade de incorporar novos métodos computacionais, como técnicas de detecção de patologias da visão baseadas em imagens já desenvolvidas e apresentadas na literatura. Por tanto, os mesmos requisitos básicos apresentados nos dispositivos existentes no mercado devem ser incorporados no dispositivo proposto, para garantir suporte a incorporação de outros tipos de exames que necessitam dos mesmos requisitos. Com isso, além de permitir aumentar a quantidade de exames que o equipamento pode contribuir para a divulgação e avaliação dos métodos computacionais desenvolvidos, agregando ao projeto proposto não só um caráter tecnológico, mas também científico.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um dispositivo portátil e de baixo custo para detecção de patologias na visão.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral pretendido, faz-se necessário concluir os seguintes objetivos específicos.

- Pesquisar dispositivos de *scanners* similares ao proposto neste estudo;
- Pesquisar tecnologias que possam ser empregadas no projeto;

- Projetar o dispositivo que forneça recursos para métodos de detecção de patologias;
- Implementar interface de interação do dispositivo com o usuário;
- Implementar interface que permita cadastrar novos métodos computacionais;
- Desenvolver o protótipo do dispositivo;
- Realizar testes para a validação do produto final.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em diversos capítulos. O capítulo 2 apresenta um estudo de mercado, discorrendo sobre os dispositivos já existentes, as tecnologias que podem ser empregadas no dispositivo proposto, além de um breve estudo baseado no perfil de dispositivos obtidos para traçar os requisitos básicos do dispositivo a ser desenvolvido.

No capítulo 3, serão listados os materiais e métodos empregados no desenvolvimento do protótipo, listando as funcionalidades e características de cada tecnologia utilizada durante o processo. No capítulo 4, de forma mais detalhada, será exposta a estrutura do hardware proposto e as funções exercidas pelos componentes já apresentados no capítulo 3.

Além do hardware, o dispositivo proposto possui um software de gerenciamento e interface com o usuário. No capítulo 5, serão descritos os requisitos do sistema levantados durante a fase de desenvolvimento. No capítulo subsequente o processo de construção do protótipo é descrito, além disso será descrita a estrutura física do equipamento e as interfaces cliente-dispositivo e administrador-dispositivo.

Os demais capítulos, 7 e 8, discorrem sobre os resultados obtidos através da avaliação de desempenho do dispositivo desenvolvido e apresenta uma breve discussão sobre estes resultados. No último capítulo estão descritas as considerações finais a respeito deste trabalho.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DE MERCADO

O protótipo a ser desenvolvido oferece um serviço que atualmente é executado por alguns dispositivos já disponíveis no mercado, conforme mencionado nos capítulos anteriores, seus principais diferenciais são o baixo custo e escalabilidade do sistema. Entretanto, é necessário realizar um breve estudo dos equipamentos já disponíveis no mercado, assim como das principais tecnologias utilizadas pelos mesmos.

2.1 Dispositivos Existentes

2.1.1 PlusOptix

O *PlusOptix*, ilustrado na Figura 2.1.1, é mais um modelo de *Photoscreener* disponível no mercado. O dispositivo possui uma câmera que capta infravermelho, onde através do reflexo detectado nos olhos do paciente é realizado o diagnóstico do mesmo. Um aspecto positivo é sua interface amigável, que contribui para focar a criança durante o exame (MATTA; SINGMAN; SILBERT, 2008), como pode-se observar na ilustração, a estrutura do dispositivo apresenta uma preocupação com o design, já que existe um grupo foco de atuação, as crianças. Além da estética, o equipamento também exibe encaixes para facilitar o manuseio do equipamento.

O dispositivo é capaz de detectar anisometropia, astigmatismo, miopia, hipermetropia e anisocoria. Funcionando com o uso de pilhas recarregáveis, o produto produz um relatório no final do exame encaminhando ou não o paciente para um especialista, possui conexão com rede WLAN (Wireless Local Area Network) e oferece uma base de dados de até 100.000 entradas. O dispositivo também apresenta um *display touchscreen* para a saída e entrada de informações, a entrada para cartão SD, entrada USB e mini USB, um emissor sonoro, a câmera infravermelho, botão de iniciar o exame e botão de ligar e desligar o dispositivo.

Figura 2.1.1: Dispositivo *PlusOptix*.

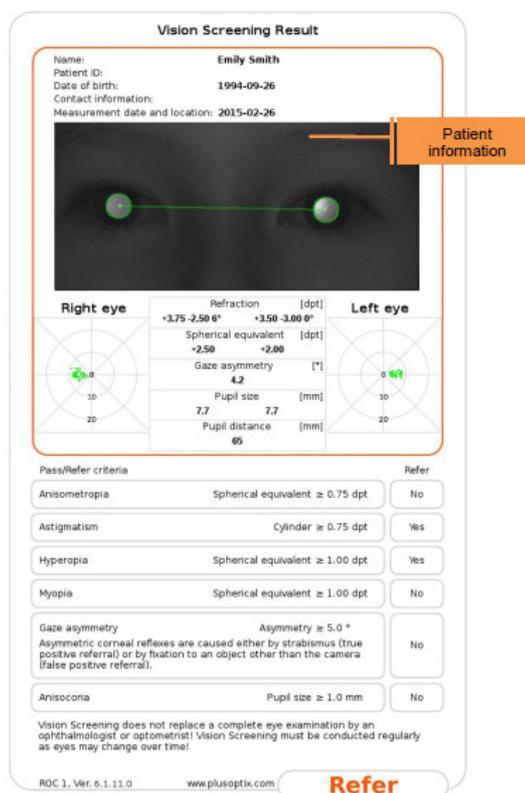
Fonte: Adaptado de (GMBH, 2016).

De acordo com o manual disponibilizado pelo fornecedor (GMBH, 2016), o relatório produzido é composto por um cabeçalho com informações do paciente e data de realização do exame, uma imagem que foi capturada pelo dispositivo seguida de informações do exame. No rodapé do relatório o paciente recebe o resultado, o termo *REFER* é utilizado caso alguma anormalidade tenha sido detectada e o termo *PASS* indica que nenhuma anormalidade tenha sido encontrada. Na Figura 2.1.2 está o modelo do relatório exposto no Manual do Usuário (GMBH, 2016).

Entretanto, dispositivos dessa natureza antes de serem utilizados para triagem de pacientes passam por uma série de estudos de validação, onde a performance do dispositivo é avaliada, muitas vezes comparando suas respostas com a de um especialista. No caso do PlusOptix, existem diversos trabalhos na literatura que buscam avaliar o dispositivo de acordo com as normas estabelecidas pela AAPOS (*American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*) (DONAHUE et al., 2013), atualizada pela última vez em 2013.

Huang et al. (2017) realizaram um estudo de avaliação de desempenho do dispositivo na detecção de fatores de risco de ambliopia em crianças chinesas de 3 a 4 anos. Durante o processo avaliativo o autor ressaltava características importantes, como a rapidez do exame e a necessidade de cooperação mínima, que facilita na interação com crianças pré-verbais. Com base nos novos parâmetros estabelecidos pela atualização das normas da AAPOS, o autor realizou teste em 1766 crianças, onde apenas 41 receberam o diagnóstico errado, totalizando 97,68% de diagnósticos corretos.

Matta et al. (2009) realizaram um estudo comparativo entre o PlusOptix e outro *Photoscreener* desenvolvido pelo MTI (*Medical Technology and Innovations*). Utilizando um grupo de 51 crianças, durante os testes cada uma foi examinada com ambos dispositivos no mesmo dia. Após os testes os autores concluíram que apesar de ambos possuírem uma

Figura 2.1.2: Relatório *PlusOptix*.

Fonte: Adaptado de (GMBH, 2016).

boa sensibilidade e especificidade, o PlusOptix obteve melhores resultados (98,9% de sensibilidade e 96,1% de especificidade).

Singman et al. (2013) em seu trabalho apresentaram algumas limitações do dispositivo em relação a pupila do paciente a ser examinado. O objetivo principal deste trabalho foi comparar vários critérios de referência e aferir sua sensibilidade e especificidade do equipamento. A partir destes resultados foi possível avaliar o desempenho do *PlusOptix* como satisfatório, já que 4 dos 7 critérios a sensibilidade e especificidade foram superiores a 80%.

2.1.2 Spot Vision Screener

Desenvolvido pela *Welch Allyn*, ilustrado na Figura 2.1.3. O *Spot Vision Screener* baseia-se na captura de imagens através de uma câmera infravermelha, processamento dessa imagem e classificação da mesma de acordo com os critérios de referência do sistema. O dispositivo é portátil e pequeno, o que para diversos estudos é considerada uma grande vantagem (SILBERT; MATTA, 2014).

Além da câmera infravermelho o dispositivo é composto por uma tela LCD de *touchscreen*, botão de ligar e desligar o dispositivo, uma porta USB, um emissor sonoro, LED (*Light Emitting Diode*) indicador do estado da bateria (carregando ou carregado)

e um conector para a fonte. Um aspecto diferenciado do dispositivo da *Welch Allyn* é o mecanismo que detecta a posição ideal para a realização do exame.

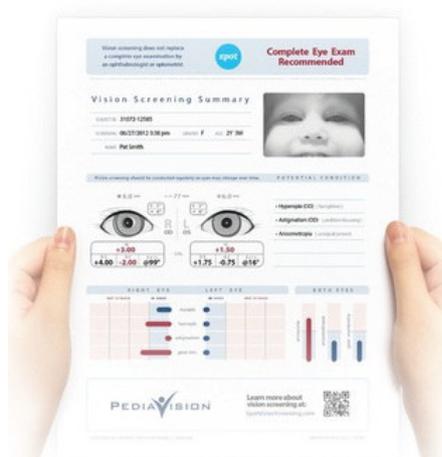
Figura 2.1.3: Dispositivo *Spot Vision Screener*.



Fonte: Adaptado de (ALLYN, 2017).

Assim como o PlusOptix, o Spot Vision disponibiliza após o exame um relatório com algumas informações. Diferente do relatório exibido na subseção anterior, o Spot apresenta o resultado final do exame no topo do documento, onde o paciente pode ou não ser “recomendado” a um especialista. No corpo do documento encontram-se as informações do paciente seguida de uma imagem do exame e as informações referentes ao exame de ambos os olhos. Na Figura 2.1.4 está o modelo do relatório exposto no estudo de caso da escola de Palmetto (VISION, 2012).

Figura 2.1.4: Relatório *Spot Vision*.



Fonte: Adaptado de (VISION, 2012).

Assim como o dispositivo anterior (Seção 2.1.1), o *Spot Vision Screener* apresenta um conjunto de critérios que são utilizados como parâmetros para o diagnóstico, e estes devem estar dentro do padrão estabelecido pela AAPOS. Com isso, encontram-se diversos trabalhos que buscam analisar e avaliar o desempenho do dispositivo. Garry e Donahue (2014), por exemplo, apresentam um estudo comparativo de duas versões de valores de referência, que apontou a especificidade e sensibilidade do dispositivo, onde as duas versões mantiveram valores aproximados de sensibilidade, 89% e 92% e especificidade a baixo de 53% e 41%.

Forcina et al. (2017) também buscam validar o dispositivo através de um estudo com crianças com menos de 3 anos de idade, tendo em vista os benefícios do diagnóstico na fase de desenvolvimento. No seu trabalho, os autores realizam o teste com um grupo controlado de 184 crianças, onde apontando a relevância de obter o diagnóstico de pacientes dessa faixa etária e ao mesmo tempo enfatiza o bom desempenho do dispositivo, com sensibilidade de 89,8% e uma especificidade de 70,4%.

Outro estudo de caso que contribui para a aceitação do dispositivo em questão foi realizado com alunos da escola de Palmetto, localizada na Florida (VISION, 2012). No estudo, além de apontar o bom desempenho do *Spot Vision Screener* também é possível apontar vantagens dos dispositivos dessa classe no geral. Segundo o relator do estudo de caso, o exame de 537 alunos durou apenas 5 horas, entretanto se o exame fosse realizado da forma tradicional demoraria cerca de 3 dias.

Jesus et al. (2016) também avaliam a acurácia do dispositivo em um estudo comparativo entre os resultados do *Spot Vision Screener* e a avaliação de refração subjetiva do especialista. Após um estudo com 134 pacientes, os autores chegaram a conclusão de que a diferença entre os parâmetros estabelecidos pelo dispositivo e o equipamento clínico eram insignificantes, classificando o dispositivo como recomendado para exames de refração.

2.1.3 2WIN

Além dos dois principais dispositivos no mercado, *Spot Vision Screener* e *PlusOptix*, existem outros com características semelhantes, entre eles o 2WIN. O dispositivo ilustrado na Figura 2.1.5 possui funcionamento semelhante aos demais equipamentos já apresentados. É equipado com uma câmera de infravermelho e um conjunto de infravermelhos para ajudar na formação da imagem, além de apresentar um *design* semelhante a uma câmera fotográfica, contribuindo para o manuseio e portabilidade (ADAPTICA, 2017b).

Segundo as especificações do fabricante, o dispositivo é capaz de identificar erros refrativos como miopia, hipermetropia, astigmatismo e outros fatores ambliogênicos, anomalias como a anisometropia, estrabismo e anisocoria, além de apresentar informações

a respeito do tamanho da pupila (ADAPTICA, 2017b). O dispositivo é composto por um *display touchscreen*, o menor dentre os dispositivos apresentados (display de 3 polegadas), entradas USB e microSD, conexão *WiFi*, bateria recarregável e carregador.

Figura 2.1.5: Dispositivo 2WIN.



Fonte: Adaptado de (ADAPTICA, 2017b).

Assim como os demais dispositivos, o 2WIN também exibe um relatório final com o resultado do exame. Além do diagnóstico final o relatório contém os dados do paciente seguidos de uma imagem obtida pelo dispositivo e todos os parâmetros analisados pelo exame. No final do documento é exibido o resultado individual, para diversas patologias e um resultado geral do exame, encaminhando ou não o paciente para o especialista (ADAPTICA, 2017a). A Figura 2.1.6 apresenta o modelo do relatório exposto no manual do dispositivo (ADAPTICA, 2017a).

Figura 2.1.6: Relatório 2WIN.

Exam Report																																								
Patient name		Exam Date: 2018-08-08 09:00 AM																																						
Exam at site		Exam by: 2WIN																																						
																																								
OD			OS																																					
Sph	Cyl	Ax	Sph	Cyl	Ax																																			
-6.50	0.00	0°	-4.25	-0.50	145°																																			
SE: -6.50	Reliability: 8		SE: -4.50	Reliability: 8																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Criteria list</th> <th>20-99yrs</th> <th>OK</th> <th>NOT OK</th> <th>Outcome</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Myopia</td> <td>Not OK</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Myopia</td> <td>Not OK</td> <td></td> <td></td> <td>✗</td> </tr> <tr> <td>Astigmatism</td> <td>OK</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Anisometropia</td> <td>Not OK</td> <td></td> <td></td> <td>✗</td> </tr> <tr> <td>Anisocoria</td> <td>OK</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> <tr> <td>Glau</td> <td>OK</td> <td></td> <td></td> <td>✓</td> </tr> </tbody> </table>						Criteria list	20-99yrs	OK	NOT OK	Outcome	Myopia	Not OK			✓	Myopia	Not OK			✗	Astigmatism	OK			✓	Anisometropia	Not OK			✗	Anisocoria	OK			✓	Glau	OK			✓
Criteria list	20-99yrs	OK	NOT OK	Outcome																																				
Myopia	Not OK			✓																																				
Myopia	Not OK			✗																																				
Astigmatism	OK			✓																																				
Anisometropia	Not OK			✗																																				
Anisocoria	OK			✓																																				
Glau	OK			✓																																				
Screening Result: Refer																																								

Fonte: Adaptado de (ADAPTICA, 2017a).

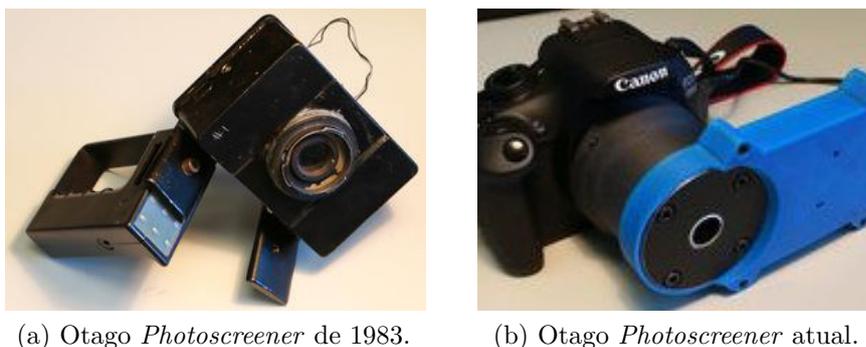
Apesar de ser desenvolvido por uma empresa italiana, o dispositivo também foi estudado e calibrado em diversos trabalhos de acordo com o critério da AAPOS. Segundo Kirk et al. (2014), a partir de um estudo de calibração do 2WIN foi possível mensurar seu desempenho. O estudo reuniu 62 crianças de 1 a 10 anos na primeira etapa, onde realizou-se a calibração do equipamento, obtendo uma taxa de 92% de sensibilidade e 88% de especificidade. Na segunda etapa, onde foi validado o experimento, o grupo de

pacientes utilizado foi de 117 crianças de 6 meses a 10 anos de idade. Os resultados foram favoráveis e positivos na avaliação do dispositivo, durante a calibração foram utilizados os dispositivos *Spot Vision Screener* e *PlusOptix* como referência.

2.1.4 Outros dispositivos

Além dos dispositivos já mencionados existem outros *Photoscreeners* que, apesar de não estarem disponíveis no mercado, foram foco de alguns estudos e colaboraram para a propagação desse tipo de dispositivo. O primeiro a ser mencionado é o *Otago Photoscreener*. Desenvolvido por um grupo na Nova Zelândia, a primeira versão do dispositivo foi produzida em 1983 (Figura 2.1.7a), Molteno et al. (1983) em seu trabalho o dispositivo foi avaliado através de um experimento com 161 alunos, onde a sensibilidade mensurada foi de 93% e especificidade de 82%.

Figura 2.1.7: Otago *Photoscreener*.

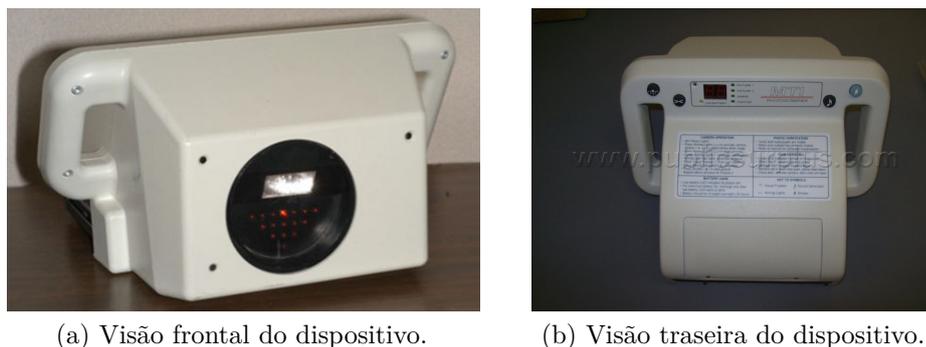


Fonte: Group (2016).

Na Figura 2.1.7b encontra-se a versão mais recente do dispositivo, onde componentes foram produzidos por meio de uma impressora 3D e acoplados a uma câmera fotográfica profissional da marca *Canon*. Assim como os demais dispositivos apresentados, o dispositivo também é focado na detecção de erros de refração, estrabismo e ambliopia.

Outro dispositivo a ser apresentado é o *photoscreener* desenvolvido pelo MTI, ilustrado na figura 4.4.2. Composto por uma câmera polaroide preto e branco, a primeira versão do dispositivo foi divulgada em 1995. Enquanto os demais dispositivos baseiam-se em uma câmera digital, o dispositivo do MTI utiliza filme e necessita de uma análise da imagem obtida, não possuindo esse processo automatizado como os demais.

Weinand, Gräf e Demming (1998) realizaram um estudo a respeito do desempenho do dispositivo através da avaliação de 1012 crianças na faixa etária de 6 meses a 2 anos. Após o exame com o dispositivo todas as crianças foram submetidas a exames com especialistas. Utilizando as fotos produzidas pelo dispositivo dois oftalmologistas classificaram a imagem de acordo com as especificações do manual do dispositivo. Por fim, os autores concluíram

Figura 2.1.8: MTI *Photoscreener*.

Fonte: Adaptado de Group (2008).

que o dispositivo possui uma boa sensibilidade (82%), recomendado-o como ferramenta potencial para exame complementar durante a infância.

Por fim, a partir dos dispositivos existentes no mercado, e já desenvolvido até o momento, pretende-se traçar um perfil de requisitos básicos que o dispositivo proposto deve apresentar para obter um bom nível de aceitação no mercado e um bom desempenho na realização do diagnóstico. Logo, a próxima seção será responsável por avaliar as especificações dos principais dispositivos e traçar o perfil desejado.

2.2 Conclusões acerca dos requisitos básicos do equipamento

O dispositivo proposto, assim como os demais dispositivos apresentados neste capítulo, consiste em análise de imagens, logo, o primeiro requisito básico que deve ser contemplado é um recurso para aquisição de imagens. Conforme visto nos principais dispositivos, a câmera utilizada, com exceção do dispositivo do MTI, é de infravermelho, contribuindo assim para análise da pupila, já que as análises de refração geralmente utilizam múltiplas imagens da pupila e o uso da luz infravermelha permite que o tamanho da pupila não varie (SILBERT et al., 2013), consequentemente identificação de erros de refração.

Um elemento diretamente ligado a câmera de infravermelho são os emissores de infravermelho, que contribuem diretamente para a obtenção dos parâmetros a serem analisados nos exames de erro de refração. Assim como o 2WIN e os demais apresentados, o dispositivo proposto deverá conter um conjunto de emissores infravermelhos para permitir a incorporação de exames de erro de refração, por exemplo.

O segundo atributo recorrente em todos os dispositivos é um periférico para a exibição das informações, tanto de configuração antes do início do exame, como após o término do mesmo. Na maioria dos dispositivos estudados essa função é desempenhada por um *display* LCD, dentre os três principais produtos do mercado, apenas o 2WIN da

Adaptica não apresenta *display touchscreen*, ferramenta que nos demais realiza também a entrada de informações.

Quanto aos formatos dos dispositivos, não existe uma unanimidade, mas o padrão varia entre carcaças com encaixes para o dispositivo ser segurado através das extremidades, o que é o caso do *PlusOptix*, *Spot Vision* e do MTI. O 2WIN e *Otago* podem ser manuseados como uma câmera fotográfica, enquanto o 2WIN apresenta um aspecto compacto e moderno, o *Otago* é na verdade uma câmera fotográfica com um modificador acoplado na lente, o que acaba obrigando-o a possuir um *design* mais comum.

Em relação a conectividade do dispositivo, dentre os principais estudados, todos apresentavam conexão *wireless* e uma porta LAN, permitindo envio de informações pela rede e em alguns casos comunicação com impressoras para emissão do relatório final elaborado no dispositivo. A partir disso, é possível apontar outro elemento essencial no dispositivo proposto, a emissão de resultados dos exames no formato de relatório, semelhante aos apresentados na Seção 2.1.

Em sua maioria, os dispositivos disponíveis no mercado também apresentam conectores USB e cartão SD, o que possibilita a importação e exportação de informações para o aparelho. Além disso, todos os dispositivos possuem um conector para recarregar a bateria ou pilhas que mantém o aparelho. Logo, para garantir a portabilidade do dispositivo proposto é necessário incorporar algum mecanismo de energia que torne o dispositivo independente de uma alimentação permanente.

Além dos aspectos já apontados, vários dos dispositivos estudados apresentam LEDs de sinalização de *status* da bateria e de interação durante o exame, podendo ser utilizado para atrair a atenção ou até mesmo como *flash*. Na Tabela 2 estão resumidas as principais características em comum dos dispositivos analisados e aquelas que o dispositivo proposto deverá possuir para garantir recursos mínimos para a incorporação de novos exames, atualização de parâmetros e emissão dos relatórios finais.

A partir dessa análise foi possível estabelecer os requisitos mínimos do protótipo, que irá torná-lo competitivo a nível de mercado por oferecer os mesmos recursos que os demais dispositivos oferecem. Vale ressaltar que dentre os dispositivos, apenas o 2WIN apresenta interface de entrada de dados por meio de botões, logo, optou-se por realizar a entrada de dados a través do *display touchscreen*.

Com os resultados obtidos é necessário definir quais tecnologias podem ser utilizadas para desempenhar cada uma das funções definidas, logo a próxima seção será responsável por discutir os aspectos a serem considerados antes de definir qual tecnologia será utilizada no protótipo.

Tabela 2: Especificações dos dispositivos do mercado e proposto.

Requisitos	PlusOptix	SpotVision	2WIN	Proposto
<i>Display</i>	X	X	X	X
<i>Touchscreen</i>	X	X	-	X
<i>Câmera</i>	X	X	X	X
<i>WiFi</i>	X	X	X	X
<i>Buzzer</i>	X	X	-	X
<i>Infravermelhos</i>	X	X	X	X
<i>LEDs</i>	X	X	-	X
<i>On/Off</i>	X	X	X	X
<i>Relatório</i>	X	X	X	X
<i>Botões Aux.</i>	-	-	X	-
<i>Porta LAN</i>	X	X	X	X
<i>Bateria</i>	X	X	X	X
<i>Interface</i>	X	X	X	X

Fonte: Levantamento feito pelo autor.

2.3 Tecnologias existentes

Após o levantamento realizado na seção anterior, antes de definir a tecnologia que será empregada em cada uma das funções é necessário definir qual ferramenta computacional será utilizada no protótipo. A definição dessa tecnologia é a mais importante, pois além de ser determinante para o poder de processamento do dispositivo irá definir quais os periféricos que serão utilizados, já que estes devem ser compatíveis com a placa escolhida.

Dentre as placas *single board*¹, como são chamadas, algumas foram selecionadas para análise com base nos requisitos que o dispositivo final deve possuir. Logo, sabe-se que é necessário suporte a um sistema operacional, além de permitir o desenvolvimento em python (linguagem de programação adotada), suporte para interface gráfica, saída para *display*, suporte para câmera, pinos de entrada e saída, custo e suporte do dispositivo.

2.3.1 UP Squared Pentium Ultra

A primeira placa analisada foi a *UP Squared Pentium Ultra* desenvolvida pela UP-BOARD baseada na *Apollo Lake platform*, uma linha de baixo custo da Intel. Com quatro núcleos de processamento e 2.5 GHz é uma das mais potentes em termos de processamento. Com uma memória RAM de 8 GB, apesar de não possuir suporte para cartão *microSD* apresenta um armazenamento interno de 128 GB, para comunicação possui duas portas *Ethernet* e não possui conexão *WiFi*.

Além das características mencionadas o dispositivo é composto por três portas USB 3.0 e duas 2.0, suporte CSI (*Camera Serial Interface*) para câmera, 100 pinos programáveis

¹ São computadores que possuem todos os elementos necessários para seu funcionamento em uma única placa.

de entrada e saída de dados, GPIO (*General Purpose Input/Output*), duas portas HDMI, suporte para sistemas operacionais como *Windows 10* e *Android*.

Na Figura 2.3.1 está ilustrada a *UP Squared Pentium Ultra*, onde é possível perceber que a mesma apresenta dimensões compactas, segundo o fabricante 85 mm de largura, 90 mm de comprimento e 29 mm de espessura. Apesar das qualidades já ressaltadas nesta Seção, a placa apresenta alguns pontos negativos relevantes para sua não utilização neste projeto, sendo o primeiro a falta de conexão *Wireless* (WiFi) e o segundo o alto custo da ferramenta.

Conforme apresentado na seção anterior, o *WiFi* é uma tecnologia presente nos dispositivos estudados, sendo utilizada no envio do relatório final para um dispositivo de impressão, por exemplo. Logo, é uma característica relevante do dispositivo proposto, já que para que o dispositivo seja mais competitivo a nível de mercado é essencial que possua tal recurso. Entretanto, existem ferramentas que possibilitam a incorporação de tal recurso a placa, porém o custo seria maior.

Figura 2.3.1: Placa UP Squared Pentium Ultra.



Fonte: Database (2018).

Nesse contexto, é oportuno apontar o segundo fator que contribuiu diretamente para a rejeição da placa para este projeto, o custo. Custando cerca de U\$250,00 (dólares), de acordo com informações do site Database (2018), é uma das mais caras, por isso, como a proposta visa um dispositivo de baixo custo, além de todos os outros aspectos, esta placa torna-se inviável.

2.3.2 ODROID-XU4

Outra tecnologia com características interessantes para a implementação deste projeto é a ODROID-XU4. Desenvolvida pela empresa *HardKernel*, esta *single board* possui um processador *octacore* Samsung Exynos5422, com *clock* de 2 GHz e memória RAM

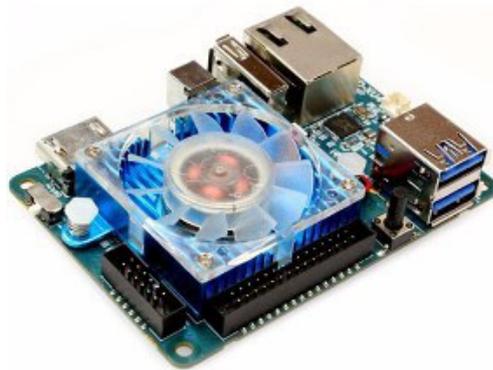
de 2 GB. Em termos de processamento, a placa apresenta números favoráveis, além de apresentar outras características importantes para sua adaptação ao projeto proposto.

Diferentemente da *Up Square*, esta placa não apresenta armazenamento interno, em contrapartida possui um *slot* para *microSD* que suporta cartões de até 64 GB. O dispositivo contém três portas USB, sendo duas 2.0 e uma 3.0, além de uma porta para conexão *Ethernet*, um aspecto negativo é que esta placa também não apresenta conexão *Wireless*.

Quanto a compatibilidade com sistemas operacionais a mesma suporta Ubuntu 15.04 e Google Android 4.4 *KitKat* e 5.0 *Lollipop* (LIMA, 2015). Apesar de possuir um valor inferior a sua antecessora (ODROID-XU3), custando cerca de U\$75,00 (dólares), ainda apresenta um valor superior a dispositivos semelhantes no mercado.

Na Figura 2.3.2 está ilustrada a *ODROID-XU4*, onde o *design* compacto proposto pelas *single boards* pode ser observado, com dimensões de 82 mm de comprimento, 58 mm de largura e 22 mm de espessura. Além dos aspectos positivos já discutidos nesta subseção, é necessário apontar os aspectos negativos que contribuíram para a não adoção desta tecnologia no protótipo proposto.

Figura 2.3.2: Placa ODROID-XU4.



Fonte: Database (2018).

Assim como a *Up Squared Pentium Ultra*, esta placa não apresenta conexão *WiFi*, requisito importante para atender as especificações do projeto. Além disso, outro elemento indispensável é a câmera infravermelho, que pode ser conectada através de uma interface de comunicação serial (CSI) ou USB. Entretanto, este dispositivo não apresenta conexão CSI, restando apenas a opção de utilizar uma câmera USB, o que aumenta o custo do protótipo, já que câmeras infravermelho USB possuem um custo maior que as que utilizam CSI, e diminui a quantidade de portas USB disponíveis.

Outro fator que contribui para a não utilização desta tecnologia é falta de suportes,

como fórum e comunidades que compartilham informações a respeito do desenvolvimento de aplicações com este dispositivo. A existência desse tipo de recurso contribui para que problemas durante o processo de desenvolvimento sejam sanados de maneira mais imediata, além disso, a placa utiliza uma configuração de pinos GPIO diferente das mais populares, dificultando mais ainda o processo de desenvolvimento.

2.3.3 Asus Tinker Board

A *Asus Tinker Board* também é uma *single board*, desenvolvida pela ASUS. Apresenta configurações promissoras que a tornam competitivas neste mercado em ascensão. Composta por um processador *Rockchip 3288 quad core* com *clock* de 1.8 GHz, memória RAM de 2 GB, quatro portas USB 2.0 e uma porta para conexão *Ethernet*. Apesar do *clock* ser inferior ao das placas já apresentadas, ainda é aceitável e similar ao de um computador mediano.

Além dessas características, pode-se apontar outros aspectos relevantes da placa, como a compatibilidade com *Android* e outros sistemas operacionais baseados em Linux, além da presença de um *slot* para *microSD*, conexão *Bluetooth* e interface serial para câmera (CSI) e *display* (DSI).

Na Figura 2.3.3 está ilustrada a placa, onde é possível perceber que o *design* também é compacto como as demais apresentadas, possuindo dimensões de 86 mm de comprimento, 54 mm de largura e 18 mm de espessura. Apesar da boa capacidade de processamento e requisitos apresentados, a placa não foi adotada no projeto final devido a um fator importante, ainda é uma tecnologia emergente.

Figura 2.3.3: Placa Asus Tinker Board.



Fonte: Database (2018).

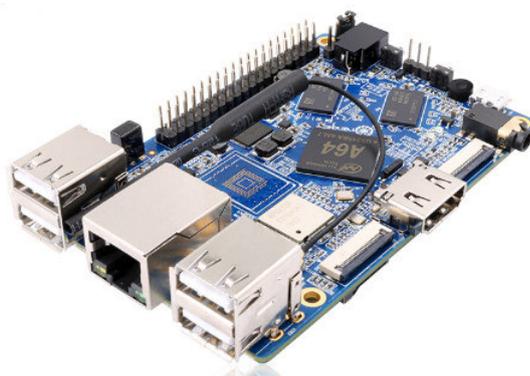
A necessidade de uma boa comunidade de suporte já foi discutida nos dispositivos anteriores, porém diferentemente dos demais apresentados, esta placa possui como maior empecilho a falta de informações que contribuam para sua utilização pela comunidade científica. Além disso, a placa possui um custo relativamente alto, pois custa cerca de

R\$454,00 no mercado nacional. Em termos de conectividade, a placa é a primeira, das placas já apresentadas, que possui conexão *WiFi*, *Ethernet* e *Bluetooth*.

2.3.4 Orange Pi Prime

Outra opção de *single board* é a *Orange Pi Prime*, que apresenta diversos recursos que, assim como a *Tinker Board*, a torna competitiva nesse mercado. Com memória RAM de 2 GB e processador com *clock* inferior a placa anterior, 1.2 GHz, sua principal vantagem é a arquitetura de 64 bits, que corrobora em uma capacidade de processar mais informações que a arquitetura de 32 bits (utilizada no processador da *Tinker Board*).

Figura 2.3.4: Placa Orange Pi Prime.



Fonte: Database (2018).

Quanto aos demais recursos, a placa oferece 3 portas USB 2.0 e uma porta para conexão *Ethernet*. Além disso, possui um *slot* para *microSD* com capacidade para cartões de até 64 GB, além das conexões *Bluetooth* e *WiFi*. A *orange Pi* também possui uma interface serial para câmera, mas não possui interface serial para *display*. A placa *Orange Pi Prime*, ilustrada na Figura 2.3.4, possui dimensões de 98 mm de comprimento por 60 mm de largura e 13 mm de espessura.

Assim como a *Tinker Board*, a *Orange Pi Prime* ainda possui uma comunidade emergente (KITS, 2018), o que contribuiu para a não utilização desta tecnologia no projeto. Com relação aos outros requisitos, a placa possui suporte para diversos sistemas operacionais, entre eles o *Android* e o *Ubuntu*, além da grande quantidade de pinos GPIO, 40 e do baixo valor no mercado U\$30 (dólares), segundo Database (2018).

2.3.5 Banana Pi BPI-M2 Ultra

Por fim, a penúltima *single board* analisada é a *Banana Pi BPI-M2 Ultra*. Composta por um processador ARM Cortex-A7 que fornece 1.5 GHz de clock, semelhante a diversos computadores medianos. Com a memória RAM igual ao *Orange Pi*, também 2 GB, esta placa apresenta como diferencial a memória interna de 8 GB, que apesar de necessitar do

micro SD para gravar o sistema operacional (HOW... , 2018), é um aspecto positivo no produto.

Figura 2.3.5: Placa Banana Pi BPI-M2 Ultra.



Fonte: Database (2018).

Outras características da placa são semelhantes a *Orange Pi*, como a quantidade de portas USB 2.0, três, quantidade de pinos GPIO, conexão CSI e a disponibilidade de conexão *Bluetooth*, *WiFi* e *Ethernet*. Apesar das semelhanças, o *Banana Pi* apresenta diferenciais, positivos e negativos. Positivamente pode-se apontar a presença da interface serial de *display* (DSI), a memória interna já mencionada e o processador mais potente. Já os pontos negativos é que, assim como a *Tinker Board* esta placa possui um processador de 32 bits, a ausência de pinos *Pulse Width Modulation* (PWM) e o preço, 10 dólares mais cara (US\$ 40 segundo Database (2018)).

O dispositivo, assim como os dois últimos apresentados, também é compatível com diversos sistemas operacionais como Android, Linux, Debian e o próprio Raspbian, sistema operacional oficial do *Raspberry Pi*. Quanto as dimensões da placa (ilustrada na figura 2.3.5) são: 92 mm de comprimento por 60 mm de largura e 13 mm de espessura.

2.3.6 Raspberry Pi 3

A última placa analisada é a *single board* mais popular atualmente, a *Raspberry Pi 3*. Composta por um processador quad-core de 1.2 GHz (o mesmo utilizado na *Orange Pi*) e arquitetura de 64 bits, apesar da memória RAM de apenas 1 GB, esta placa é utilizada em diversos trabalhos com processamento de imagens (SHEN; MUKAI, 2017) (SENTHILKUMAR; GOPALAKRISHNAN; KUMAR, 2014) e até video (BIEDERMANN et al., 2015).

Dentre as placas de maior potencial para o projeto, esta é a que possui a maior quantidade de entradas USB 2.0, no total de quatro, além de se equiparar com as demais em disponibilidade de conexão, possuindo *Bluetooth*, *WiFi* e *Ethernet*, apesar da última ser inferior a comunicação *Ethernet* das três últimas apresentadas. Enquanto as demais

apresentam a tecnologia gigabit, a placa *Raspberry Pi 3*, ilustrada na Figura 2.3.6, ainda mantém o padrão *Fast Ethernet*, também chamado de 10/100.

Figura 2.3.6: Placa Raspberry Pi 3



Fonte: Raspberry... (2017).

Assim como a *Orange Pi* e *Banana Pi*, esta placa possui 40 pinos GPIO e interface CSI para gerenciar câmeras. Diferente das demais placas apresentadas, a *Raspberry Pi 3 B* possui uma série de periféricos desenvolvidos pela empresa, dentre eles destaca-se dois tipos diferentes de câmeras de 8 MP, a versão tradicional e a NoIR.

Quanto ao design, assim como as demais placas apresentadas, seguindo a proposta das *single boards*, o *Raspberry Pi 3 B* é compacto e possui 85 mm de comprimento por 56 mm de largura e 20 mm de espessura. Assim como as demais é compatível com diversos sistemas operacionais, além do *Android* e as distribuições Linux que todas suporta, o *Raspberry Pi* tem como diferencial o suporte ao *Windows*.

Assim como o *Banana Pi*, o *Raspberry Pi 3 B* possui interface DSI e diversos *displays* compatíveis com a placa. Como aspecto negativo pode-se apontar a ausência de uma memória interna, limitando o dispositivo apenas ao *micro SD* para a gravação da imagem do sistema. Apesar do hardware inferior em alguns aspectos, o *Raspberry Pi* é mais utilizado na comunidade científica e possui maior número de usuários, que contribuem para a solução de erros e problemas enfrentados durante a utilização do dispositivo.

Quanto ao preço e disponibilidade no mercado, a *Raspberry Pi 3 B* possui a maior vantagem comparado as demais placas. Além de ser comercializada em sites consolidados no mercado como as lojas Americanas (PLACA..., 2017a), no Brasil existe um distribuidor oficial, o site Filipe Flop (PLACA..., 2017b). Nos sites mencionados o preço é em média R\$190,00 (valores podem variar), além disso, recentemente foi disponibilizada, apenas no distribuidor oficial, uma versão certificada pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

Nesse contexto, percebe-se que a placa *Raspberry Pi 3*, apesar de possuir algumas configurações de hardware inferiores a outros modelos apresentados, apresenta mais recursos compatíveis com a proposta deste trabalho, não só pela gama de informações disponíveis

nas comunidades de desenvolvimento, mas pela diversidade de periféricos e sistemas compatíveis com a placa. Um aspecto fundamental na sua escolha foi a existência da câmera NoIR, que, conforme já mencionado, também é produzida pela *Raspberry Pi 3 B*.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais utilizados na produção do protótipo do dispositivo, assim como uma breve descrição de cada componente, seguido da justificativa de sua escolha para o projeto. Além disso, neste capítulo são esboçadas as etapas de confecção dos periféricos do dispositivo, assim como são descritos os critérios de avaliação que serão utilizados para validar o protótipo. Na Figura 3.0.1 estão ilustradas as etapas executadas na realização deste projeto.

Figura 3.0.1: Etapas da metodologia.



Fonte: Imagem produzida pelo autor utilizando a ferramenta *online* Easy EDA.

3.1 Materiais

Para contemplar os requisitos básicos do sistema os seguintes materiais foram utilizados:

- **Raspberry Pi 3**
- **Camera NoIR**
- **Display *touchscreen***
- **Arranjo de LEDs e emissores infravermelho**
- **Botões**
- **Bateria**
- ***Cooler***
- **Interface do sistema**

Além destes materiais, outros elementos foram utilizados no processo de construção do dispositivo, como ferro de solda, solda, verniz isolante, *jumpers*, alicates de corte, resistores, conectores, placa PCB, cortador, perfurador, cartão de memória, papel *transfer* para circuito impresso, micro retífica, brocas de 0.7 e 0.9 mm, ferro de engomar e uma impressora a laser.

Além dos elementos físicos, alguns recursos computacionais foram utilizados no desenvolvimento do protótipo. A interface gráfica, por exemplo, foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Python, mais especificamente a biblioteca nativa para interfaces, TKinter (SHIPMAN, 2013). Além disso, como diversos métodos computacionais que estão sendo desenvolvidos pela equipe envolvida no projeto utiliza a biblioteca OpenCV (HOWSE, 2013), pode-se apontar esta biblioteca como um recurso adicionado ao dispositivo.

Mais detalhes a respeito da interface serão abordados nos capítulos subsequentes, assim como a aplicação de diversos materiais aqui citados. Na próxima seção será possível identificar a funcionalidade de alguns dos materiais, assim como os procedimentos realizados para a confecção dos circuitos auxiliares e periféricos.

3.2 Métodos

Nesta seção serão descritos os métodos utilizados na produção da placa de circuito impresso utilizada no protótipo assim como os métodos de avaliação do protótipo.

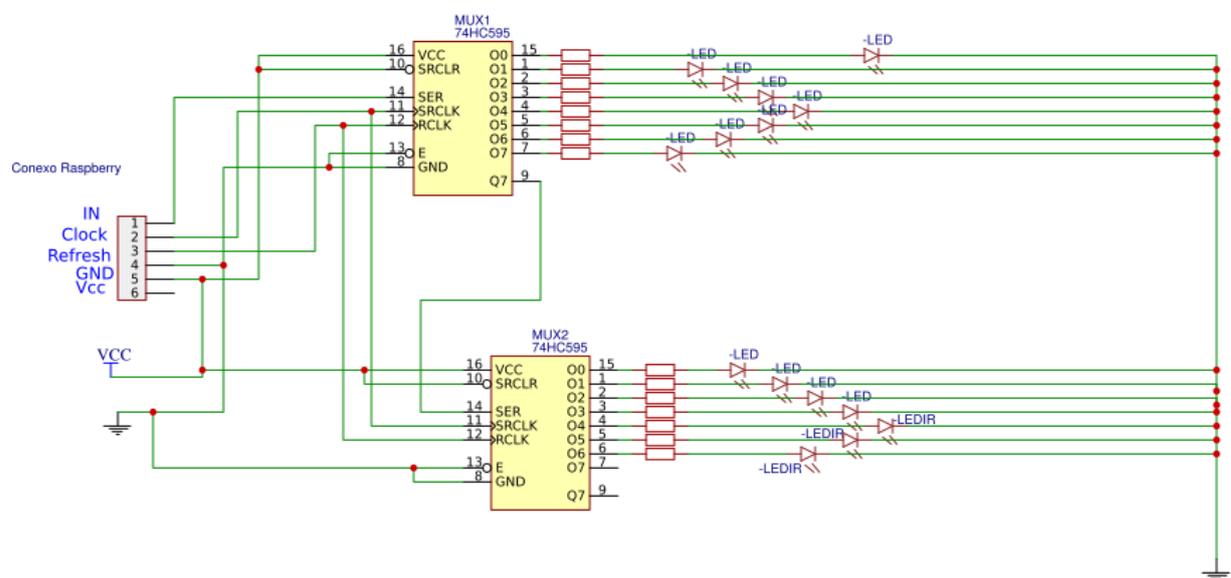
3.2.1 Produção da Placa de Circuito Impresso

Dentre os componentes utilizados na confecção do protótipo foi desenvolvida uma placa de circuito impresso responsável pelo controle dos LEDs e infravermelhos do dispositivo. Com o intuito de proporcionar mais autonomia ao desenvolvedor, foram utilizados dois CIs (Circuito Integrado) 74HC595 com o intuito de transformar uma

entrada serial em 8 entradas paralelas, afim de permitir controle cada LED e infravermelho individualmente.

A primeira etapa de desenvolvimento consiste na modelagem do circuito, onde as conexões entre os componentes eletrônicos foi simulada. Nessa etapa foi utilizada uma plataforma *online* chamada *EasyEDA*, uma ferramenta de simulação, montagem de esquemático, ilustrado na Figura 3.2.1, e elaboração de *layout* para placas de circuito impresso, Figura 3.2.2. Nela é possível identificar as ligações do circuito, onde a partir de um conjunto de cinco pinos o circuito irá se comunicar com o *Raspberry Pi 3 B*.

Figura 3.2.1: Esquemática do circuito de controle dos LEDs e emissores infravermelhos.



Fonte: Imagem produzida pelo autor.

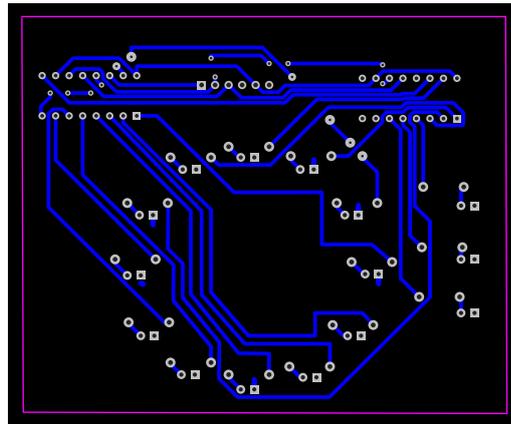
Devido a proximidade dos componentes e a sua distribuição na placa, formando um círculo de 4 cm diâmetro com os leds e emissores infravermelho, em um primeiro momento, optou-se por uma placa de dupla camada, porém, como a solda a ser realizada nos componentes deve ser feita em ambas as camadas, dificultou a fixação dos leds e emissores em uma altura uniforme, logo, optou-se por um novo modelo (Figura 3.2.2) de apenas uma camada com alguns *jumpers* de ligação entre as trilhas.

Uma vez definidas as trilhas iniciou-se o processo de confecção da placa. O método utilizado para a confecção das primeiras placas para teste foi o processo térmico e corrosão por ataque químico. Segundo Reichert (2015), essa técnica possui uma ótima relação custo-benefício, já que as placas produzidas a partir deste método possuem boa qualidade e o investimento em materiais para executá-la é baixo comparado as demais.

O procedimento realizado consiste em 3 etapas, ilustradas na Figura 3.2.3:

1. **Projeto PCI** - A primeira etapa é a produção do circuito através de um *software*

Figura 3.2.2: Projeto de placa de circuito impresso (PCI).



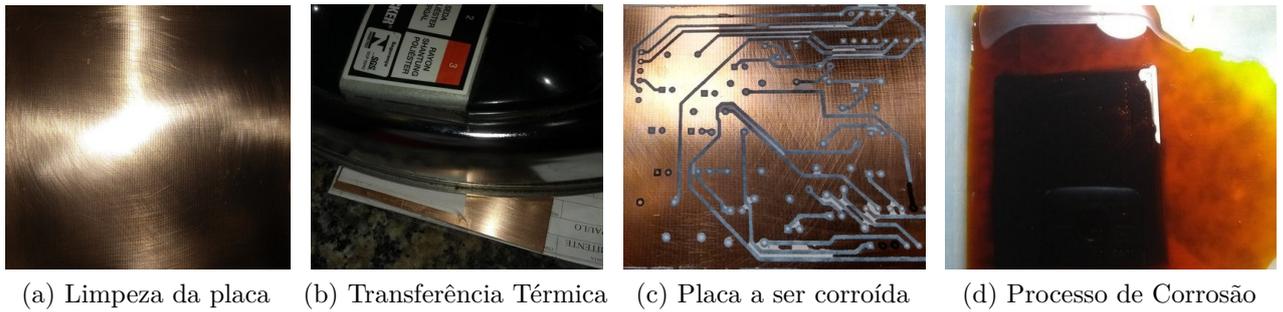
Fonte: Imagem produzida pelo autor utilizando a ferramenta *online* Easy EDA.

especializado, onde após gerar o esquemático é possível obter o *layout* da placa de circuito impresso. Conforme mencionado no início da seção, para essa etapa utilizou-se a plataforma *on line* EasyEDA e obteve-se o *layout* PCI, conforme ilustrado na Figura 3.2.2.

2. **Transferência térmica** - Com o *layout* definido, é necessário imprimi-lo utilizando uma impressora a *laser* e um papel apropriado (neste projeto foi utilizado papel *transfer* para circuito impresso) como papel couché, por exemplo (REICHERT, 2015). Em posse da impressão, pode-se iniciar o processo de transferência térmica, que foi realizado com o auxílio de um ferro de passar. Com a impressão posicionada na placa e fixada com fitas adesivas para evitar o deslocamento da folha, utiliza-se o ferro para aquecer a folha de modo que a impressão seja transferida do papel para a placa.
3. **Corrosão** - Após realizada a transferência pode-se iniciar o processo de corrosão. Vale ressaltar a importância de identificar possíveis falhas nas trilhas durante o processo de transferência e corrigir utilizando um pincel permanente. Com todos os reparos realizados, em um recipiente plástico a solução de perclorato de ferro é adicionada e a placa é mergulhada nele. O tempo de corrosão pode variar de acordo com o tamanho da área a ser corroída, para a placa utilizada no projeto (10 cm x 10 cm) o tempo médio foi de 40 min.

Após corroída a placa está pronta para ser furada e receber os componentes eletrônicos que serão soldados. Já a placa final, utilizada na montagem do protótipo foi produzida utilizando uma máquina fresadora, mais preciso e que, de acordo com Reichert (2015) é o segundo mais vantajoso em termos de qualidade, perdendo apenas para as empresas de fabricação profissional. O Instituto de Energia Elétrica da Universidade Federal do Maranhão disponibilizou a prototipadora LPKF ProtoMat S62, ilustrada na Figura 3.2.4.

Figura 3.2.3: Produção da placa por Corrosão.



(a) Limpeza da placa (b) Transferência Térmica (c) Placa a ser corroída (d) Processo de Corrosão

Fonte: Fotos produzidas pelo autor.

Figura 3.2.4: Projeto de placa de circuito impresso (PCI).



Fonte: Imagem produzida pelo autor utilizando a ferramenta *online* Easy EDA.

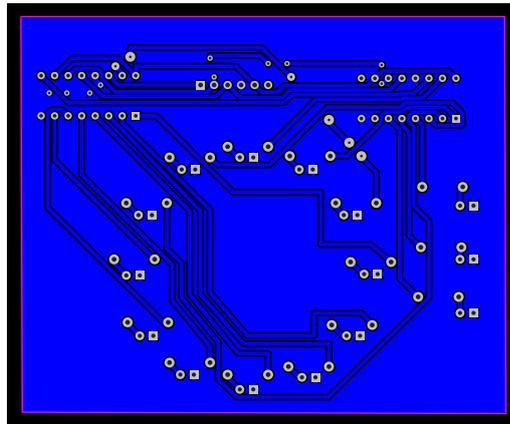
Esse processo de confecção consiste na utilização de brocas para remover o cobre da placa deixando apenas os pontos de conexão e as trilhas indicadas no projeto. Além de fazer a trilha, a máquina ainda realiza a perfuração dos pontos de encaixe de dispositivos eletrônicos e realiza o corte das bordas, caso a placa final seja menor do que a utilizada para imprimir. Para fabricar a placa acrescentou-se uma malha para o sinal GND, resultando no projeto ilustrado na figura 3.2.5.

Após obter a placa, ilustrada na Figura 3.2.6, foi executada a montagem do circuito, soldando todos os componentes. A placa possui pinos para realizar a conexão com os pinos GPIO da placa *Raspberry Pi 3 B*. Após isso, será aplicado um verniz de proteção em toda a superfície da placa, que estará pronta para ser instalada.

3.2.2 Testes e Avaliação

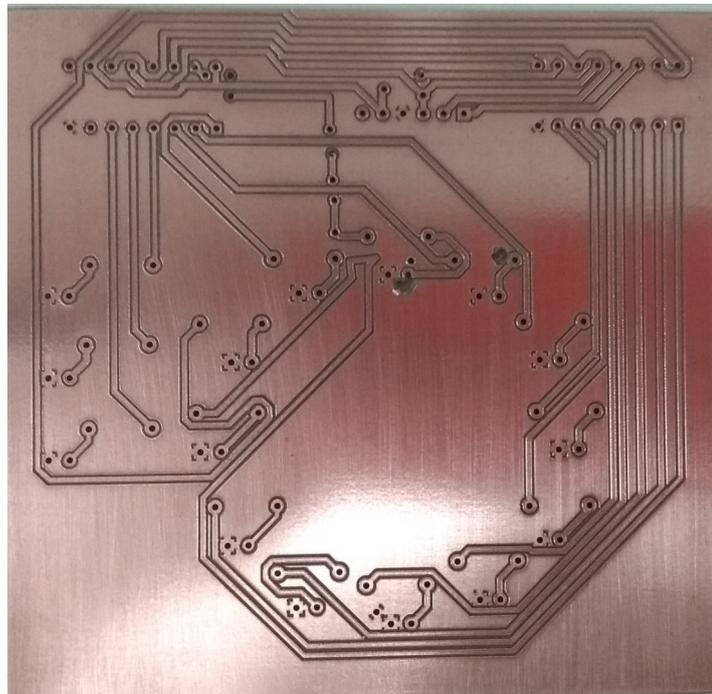
Outra etapa importante do desenvolvimento e consolidação do dispositivo proposto é a etapa de testes do equipamento. Para essa etapa uma série de testes de interação usuário-dispositivo foram realizadas, buscando avaliar o tempo de resposta do dispositivo, a organização da aplicação e o funcionamento adequado de todas as funcionalidades

Figura 3.2.5: Projeto de placa de circuito impresso (PCI).



Fonte: Imagem produzida pelo autor utilizando a ferramenta *online* Easy EDA.

Figura 3.2.6: Placa sem componentes.



Fonte: Imagem produzida pelo autor.

almeçadas no dispositivo. Os testes buscam também verificar a consistência do hardware, testando botão e autonomia do dispositivo.

Quanto aos métodos computacionais, estes serão avaliados individualmente através de métricas apropriadas, como acurácia, sensibilidade, especificidade e *kappa* (WONG; LIM, 2011), já que este trabalho tem como objetivo projetar o dispositivo que irá dar suporte aos algoritmos através da aquisição de imagens e interação de um profissional da área da saúde com este método através de uma interface amigável e não consolidar determinado algoritmo de detecção de patologias.

Além dos testes, o dispositivo também será avaliado por profissionais da área de

saúde que tiveram contato com o produto. Essa avaliação será baseada no questionário de avaliação de usabilidade de sistema (*Post-Study System Usability Questionnaire - PSSUQ*), desenvolvido originalmente pela IBM (LEWIS, 1995).

O questionário tem como principal objetivo, através de 15 questões, avaliar a experiência do usuário ao interagir com o sistema. As perguntas podem ser respondidas em uma escala de um a sete, onde um equivale a “concordo totalmente” e sete equivale a “discordo totalmente”. O questionário aplicado está ilustrado na Figura 3.2.7.

Figura 3.2.7: Questionário aplicado.

	1	2	3	4	5	6	7
Em geral, estou satisfeito com a facilidade de uso deste sistema.							
Foi simples utilizar este sistema.							
Consegui completar as tarefas e cenários rapidamente.							
Eu me senti confortável ao utilizar este sistema.							
Foi fácil aprender a usar este sistema.							
Eu poderia ser mais produtivo usando um sistema deste tipo							
O sistema apresenta ajuda clara para resolver os problemas.							
Quando errei no uso do sistema, pude recuperar a situação rapidamente.							
A informação e mensagens fornecidas no sistema estavam claras.							
Foi fácil encontrar a informação que eu precisava.							
A informação foi eficaz para auxiliar a execução das tarefas e cenários.							
A organização de informações na tela do sistema estavam claras.							
A interface do sistema é agradável.							
Eu gostei de usar a interface do sistema.							
Este sistema possui as funcionalidades que eu esperava encontrar.							

Fonte: Imagem produzida pelo autor.

CAPÍTULO 4

HARDWARE PROPOSTO

Neste capítulo será descrito mais detalhadamente os componentes do hardware do protótipo, assim como as funções que cada elemento desempenha para o funcionamento do produto final. Os componentes estão divididos em dispositivos de entrada, que capturam informações do usuário para o sistema e de saída, que exibem as informações do sistema para o usuário. Outra categoria é a de processamento de informação, onde será descrito o componente que processa as informações e hospeda a interface do dispositivo. Por fim, a última categoria refere-se aos circuitos auxiliares, como a placa de LEDs e emissores infravermelhos, a alimentação e os botões. Abaixo segue a estrutura em tópicos e os respectivos equipamentos a serem analisados.

- **Entrada de Dados**

1. Tela *touchscreen*
2. Camera NoIR
3. Botão On (discutido na seção de circuitos auxiliares)

- **Saída de Dados**

1. Display LCD
2. Placa de Leds (discutido na seção de circuitos auxiliares)

- **Processamento**

1. Raspberry Pi 3 B

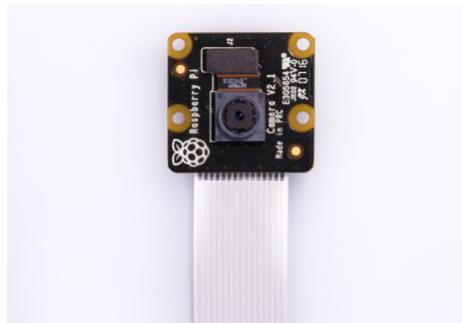
4.1 Entrada de Dados

Conforme já mencionado, os dispositivos de entrada são responsáveis por fornecer as informações do usuário para o sistema. O primeiro componente que será descrito na subseção a seguir é a Câmera NoIR, responsável pela aquisição das imagens. O segundo componente é a tela *touchscreen* utilizado para o usuário interagir com a interface do dispositivo.

4.1.1 Câmera NoIR

A câmera NoIR, utilizada neste projeto, foi escolhida com base nos exames realizados pelos *Photoscreeners*, que necessitam de imagens em ambientes semi-escuros (para facilitar a dilatação da pupila). Fabricada pela *Raspberry Pi 3 B*, apresenta uma resolução de 8 megapixels, não possui filtro IR, o que permite obter um bom desempenho em condições de pouca luminosidade (SENTHILKUMAR; GOPALAKRISHNAN; KUMAR, 2014). Sua comunicação com a placa *Raspberry* é feita através da CSI, desenvolvida especificamente para a comunicação com câmeras.

Figura 4.1.1: Câmera NoIR



Fonte: Site Fabricante (FOUNDATION,).

O periférico, ilustrado na Figura 4.1.1 apresenta quatro orifícios que permitem sua fixação em uma placa, por exemplo, como foi feita no protótipo proposto. Além da facilidade de integração, suas dimensões (24 mm de altura por 25 mm de largura) colaboram para sua empregabilidade em aplicações que buscam dimensões compactas.

Com base na pesquisa de mercado realizado, esta câmera custa cerca de R\$ 170,00¹ e não possui nenhuma concorrente semelhante no mercado². E, além de diversas placas possuírem uma interface CSI, os pinos e o modo de conexão com o processador não é o mesmo, sendo assim, a câmera não é compatível com a *Orange Pi* ou *Banana Pi*, por exemplo. Além disso, apesar do *Orange Pi* possuir câmeras compatíveis são de baixa resolução (modelos de 2 MP).

¹ Valor obtido a partir da média de três fornecedores.

² Até a realização do estudo.

4.1.2 Tela Touchscreen

Outro dispositivo utilizado na entrada de dados é a tela *touchscreen*. Responsável por duas funções, entretanto nesta subseção apenas a de entrada será explorada, o display utilizado no protótipo é responsável pela interação homem-máquina, mais detalhada no Capítulo 6. Em busca de dimensões compactas no dispositivo final, optou-se por um display de 5 polegadas, apresentado na Figura 4.1.2.

Segundo [Bhalla e Bhalla \(2010\)](#), a tecnologia *touchscreen* é uma representação eletrônica visual que permite detectar a presença e localização de um toque na região do *display*. A tecnologia utilizada para realizar a detecção do local pressionado pode variar, atualmente, os dois tipos mais comuns são a resistiva e capacitiva.

Com o intuito de identificar qual a tecnologia que melhor se aplica a proposta deste trabalho, nessa subseção serão descritas as principais características, vantagens e desvantagens de utilizar um *display* capacitivo ou resistivo.

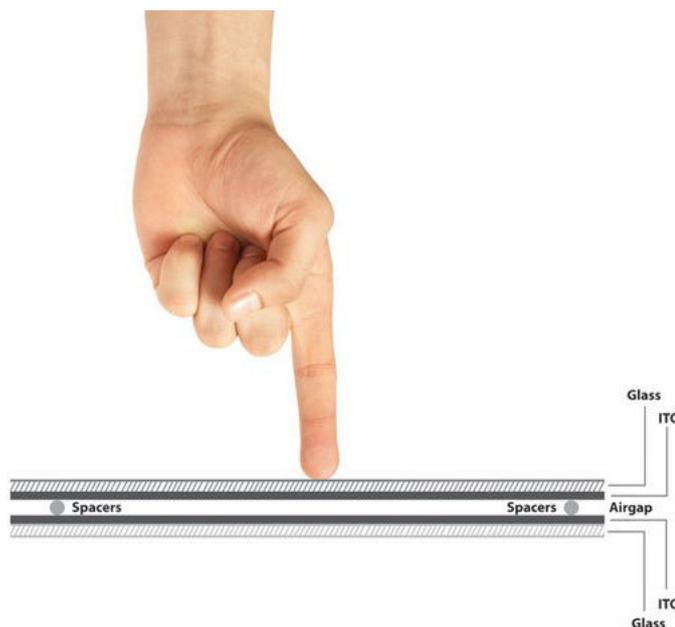
Figura 4.1.2: Tela *Touch Screen*.



Fonte: [Raspberry... \(2018\)](#).

As telas capacitivas recebem esse nome por utilizar um capacitor monitorado que, ao receber o contato, indica exatamente qual o local que ocorreu. Conforme ilustrado na Figura 4.1.3 a tela é composta por uma camada superior e uma inferior de vidro que são revestidas por um condutor espaçado por ar, no caso ilustrado o condutor é o *Indium Tin Oxide* (ITO), em português óxido de índio-estanho.

Por possuir a primeira camada de vidro esse tipo de *display* tem a superfície rígida e brilhosa. Seu funcionamento baseia-se na modificação que o contato humano, condutor, gera no campo eletrostático do local, por isso, canetas ou o uso de luvas, por exemplo, dificulta o reconhecimento do contato ([RESISTIVE... , 2012](#)). Apesar dessa característica, os *displays* capacitivos tem alta sensibilidade.

Figura 4.1.3: *Touchscreen Capacitivo*

Fonte: RESISTIVE... (2012)

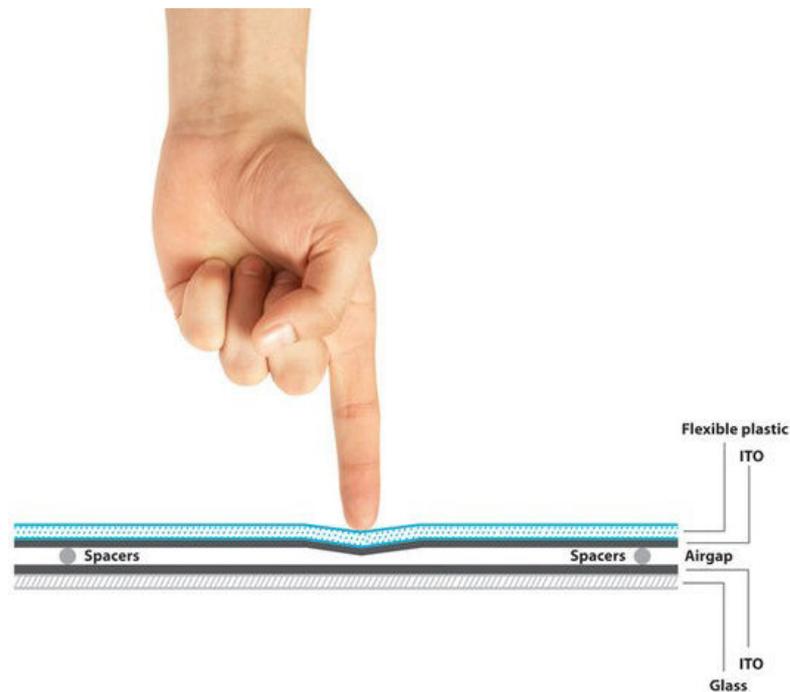
Dentre os aspectos positivos desta tecnologia é importante ressaltar, além da sensibilidade já mencionada, a capacidade de identificar múltiplos toques e a aparência mais brilhosa, por conta do vidro. Como aspectos negativos, vale ressaltar o alto custo dessa tecnologia por ser complexa, além da dependência do contato humano, a superfície de vidro diminui a durabilidade do *display*, estando mais suscetível a quebrar.

Já as telas resistivas, diferente das capacitivas não possuem a primeira camada de vidro, e sim de plástico flexível que é revestido com material condutor na parte interna. A segunda camada pode ser de vidro ou plástico resistente, a parte interna também é revestida de material condutor, que geralmente também é o ITO (BHALLA; BHALLA, 2010), assim como a anterior, também existe uma camada intermediária preenchida com ar entre as camadas condutoras, melhor ilustrado na Figura 4.1.4.

Diferente da tela capacitiva, que é rígida, o plástico flexível da tela resistiva faz com que o ponto de contato afunde um pouco com a pressão. O funcionamento está diretamente ligado a essa pressão exercida, pois ela irá promover o contato entre as camadas que gera uma resistência que ao ser mensurada determina a posição que foi pressionada (RESISTIVE..., 2012).

As principais vantagens dessa tecnologia é o baixo custo, a alta resistência a arranhões, poeira e até água, além disso, não possui a limitação do contato humano, podendo reconhecer toques com canetas e até quando o operador utiliza luva. Como desvantagens pode-se apontar a incapacidade de detectar múltiplos toques, baixa sensibilidade e contraste inferior as telas capacitivas.

Nesse contexto, com a limitação de dimensões e a busca por um dispositivo de

Figura 4.1.4: *Touchscreen* resistivo.

Fonte: RESISTIVE... (2012).

baixo custo, optou-se pelo sensor *touchscreen* resistivo. Além da tela capacitiva ser mais cara, apenas um *display* de 7 polegadas, com essa tecnologia e compatível com *Raspberry* estava disponível no mercado, contribuindo assim pela escolha do *display* resistivo.

Apesar dos aspectos negativos apontados, essa tecnologia pode ser utilizada no projeto, tendo em vista que o objetivo principal é interagir com botões com uma área de contato relativamente grande, não exigindo muita precisão. Outro fator positivo é que a durabilidade do *display* é maior, fator importante para o dispositivo em desenvolvimento.

4.2 Saída de Dados

Oposto aos dispositivos de entrada, os dispositivos de saída são os responsáveis por levar informações do sistema para o usuário, através de uma representação gráfica, ou som. Os componentes de saídas existentes no protótipo são: um *display* LCD e um conjunto de LEDs e emissores infravermelhos. Nesta seção apenas o *display* será avaliado, os demais serão descritos na seção 4.4 de circuitos auxiliares.

4.2.1 Display LCD

Conforme descrito na subseção 4.1.2, o *display* desempenha duas funções, a primeira é identificar regiões de contato, quando o usuário tenta interagir com o dispositivo. Esta função será desempenhada com base na tecnologia do sensor *touchscreen* escolhido, o

resistivo. A outra função, que será descrita nesta seção é a exibição de representações gráficas do sistema para o usuário.

O *display* escolhido possui conexão HDMI que possibilita, caso não necessite habilitar o *touchscreen*, exibir as informações sem ocupar os pinos GPIO da placa. Entretanto, como no dispositivo desenvolvido há necessidade de utilizar o reconhecimento de toque, além da conexão HDMI o *display* ocupa 26 pinos da *Raspberry Pi 3 B*.

Na Figura 4.1.2 encontra-se o *display* utilizado. O mesmo possui resolução de 800 x 400 *pixels*, HD, e dimensões de 120 mm de comprimento por 75 mm de largura.

4.3 Processamento de Dados

O elemento central do dispositivo, que realiza a conexão entre os demais componentes e os gerencia é a *single board* escolhida, a *Raspberry Pi*. Na versão inicial do protótipo foi utilizada a *Raspberry Pi 3 B*, entretanto, recentemente foi lançada a versão B+, que possui melhoras no clock do processador, agora 1.4 GHz, conexão *Ethernet* alterada para *gigabit* e versão do *Bluetooth* mais recente, 4.2. Além da placa, uma série de acessórios foram adquiridos para que o protótipo fosse desenvolvido, entre eles uma fonte de alimentação, um *cooler* para resfriar a placa, dissipadores de calor e um cartão de memória onde as informações serão armazenadas.

Após definida a *single board*, outros diversos fatores foram considerados, como qual sistema operacional seria utilizado, qual gerenciador de banco de dados seria utilizado e em qual linguagem de programação seria desenvolvida a interface gráfica.

4.3.1 Sistema Operacional

O sistema operacional escolhido foi o *Raspbian*, um sistema gratuito baseado em Debian que foi otimizado para o hardware do *Raspberry* (MENESES et al., 2016). Segundo Meneses et al. (2016), a partir do estudo comparativo realizado, o autor pode concluir que o desempenho do *Raspbian* no *Raspberry* é superior ao desempenho do Ubuntu Mate, uma distribuição Linux baseada no Ubuntu que tem como maior diferencial o baixo consumo de recursos.

Além da otimização voltada para atuar na *single board*, o *Raspbian* é amplamente utilizado na comunidade, possuindo diversas informações de problemas e possíveis soluções, o que contribui para sua utilização. Por fim, o sistema oferece todos os recursos necessários, tendo suporte para linguagens de programação como Java e *Python*, além de ser compatível com a biblioteca OpenCV.

A instalação foi realizada através do *Noobs*, instalador disponibilizado no site oficial da *Raspberry*. O *download* do mesmo pode ser feito no próprio site e deverá ser gravado

no cartão *microSD* que será utilizado no *Raspberry*.

4.3.2 Banco de Dados e SGBD

Já o banco de dados e gerenciador que foram escolhidos tiveram como critério apenas o desempenho. Como gerenciador utilizou-se o SQLite, com base na sua simplicidade, velocidade e capacidade (JUNYAN; SHIGUO; YIJIE, 2009). O banco de dados desenvolvido é pequeno e possui finalidade apenas de armazenar informações dos pacientes e exames, relacionando-os com os pacientes correspondentes. O diagrama de entidade-relacionamento está ilustrado na Figura 4.3.1.

Figura 4.3.1: Diagrama Entidade-Relacionamento do Banco de dados.



Fonte: Imagem produzida pelo autor.

Para gerenciamento da base de dados, operações básicas como INSERT, SELECT e DELETE foram implementadas utilizando a linguagem de programação que a interface foi desenvolvida.

4.3.3 Linguagem de Programação

Como linguagem para desenvolvimento do sistema que irá gerenciar o dispositivo optou-se pelo Python 3.6. Segundo Buriol e Argenta (2009), é uma linguagem multiparadigma, interpretada, de fácil aprendizado e que dispõe de vários módulos, o que faz dela uma opção que provê alta produtividade no desenvolvimento de aplicações. Além disso, a licença do *Python* permite que seja incorporados em produtos proprietários (BURIOL; ARGENTA, 2009).

Outro fator que contribui para a utilização desta linguagem é sua ascensão na comunidade acadêmica. Segundo Guo (2014), esta linguagem vem se popularizando em cursos introdutórios de universidades americanas. Apesar do desempenho de linguagens de baixo nível como C e Fortran serem sem dúvidas superiores, tratando-se de aplicação final com interface gráfica, Python contribui para um desenvolvimento mais rápido (BURIOL; ARGENTA, 2009).

Após essas definições, o sistema operacional, o gerenciador de banco de dados e as bibliotecas da linguagem Python foram configuradas. Ainda no processo de configuração,

adicionar a biblioteca OpenCV foi o procedimento mais custoso, entretanto, diversos fóruns e comunidades compartilham informações fundamentais para realizar o procedimento da maneira correta.

Com todas as configurações realizadas foi possível iniciar o desenvolvimento da interface gráfica em Python, que será melhor descrita no Capítulo 5. A interação entre o *Raspberry Pi 3 B* e seus periféricos como câmera, circuitos de leds, emissores infravermelhos e o *display touchscreen* será feito através da interface.

4.4 Circuitos Auxiliares

Além dos componentes já mencionados, alguns circuitos auxiliares foram desenvolvidos com o intuito de incorporar mais funcionalidades ao dispositivo. O principal circuito a ser descrito nesta seção é o que compõe a placa de LEDs e emissores infravermelhos. Além dele um circuito para o botão de ligar e desligar foi desenvolvido, assim como o controle de um emissor sonoro.

Todos os circuitos auxiliares interagem diretamente com o elemento central do dispositivo, a *Raspberry Pi 3 B*. Através dos pinos GPIO, a placa é capaz de controlar os circuitos, fazendo leituras ou setando valores para atuar nestes circuitos.

4.4.1 Alimentação

O primeiro circuito avaliado é o responsável pela alimentação do dispositivo. Ao longo do desenvolvimento do protótipo utilizou-se uma fonte de alimentação adquirida junto com a placa. Porém, o uso da fonte no dispositivo final implica na dependência de uma conexão com a rede de energia, limitando a mobilidade do dispositivo. Entretanto, a mobilidade do equipamento é fundamental para a realização dos exames, levando em consideração a necessidade do operador encontrar a posição ideal para a aquisição das imagens.

Nesse contexto, como alternativa optou-se por uma bateria de lítio, similar as utilizadas nos *smartphones*. Na Figura 4.4.1 está ilustrada a placa de expansão da bateria, que permite através de um cabo micro USB alimentar a *Raspberry Pi 3 B*. A placa também permite que a bateria seja carregada, através de um carregador com entrada micro USB.

As dimensões da bateria são: 85 mm de largura, 55 mm de comprimento e 20 mm de espessura, o que é condizente com a proposta compacta do protótipo. A bateria deverá ficar conectada a placa *Raspberry* e não poderá ser manuseada pelo usuário final, pois estará localizada na parte interna do dispositivo, ficando disponível apenas o conector para recarregar a bateria.

Figura 4.4.1: Placa de Expansão de Bateria de Lítio-íon.



Fonte: Placa... (2018)

4.4.2 Botão de Ligar

Outro circuito auxiliar e também muito importante para o protótipo aproximar-se de um produto final é o botão de ligar o dispositivo. A *Raspberry Pi 3 B* não possui, nativamente, um botão de ligar ou desligar a placa, ao ser alimentada com a tensão e corrente apropriada o sistema inicia automaticamente e a partir do sistema operacional é possível desligá-lo.

Para incorporar esse mecanismo ao *Raspberry* utilizou-se o pino Run, destacado na Figura 6.1.5a, para utilizar este pino foi necessário soldar um conector macho. Utilizando *jumpers* macho-fêmea foi possível conectar o botão ao pino soldado. Na Figura encontra-se a versão de testes com o botão fixado na placa. O botão tem como finalidade ligar o dispositivo.

O botão inserido ao ser acionado reinicia o sistema, que anteriormente foi encerrado, possibilitando então o uso do dispositivo. Após realizar o encerramento correto do dispositivo a *Raspberry Pi 3 B* fica em *standby*³ até o botão ser acionado. Com base na necessidade de encerrar o sistema corretamente, o botão que desliga o dispositivo foi implementado de outra forma e será descrito nas próximas seções.

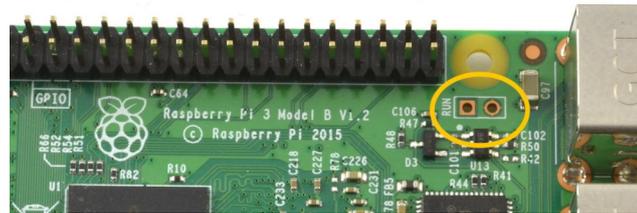
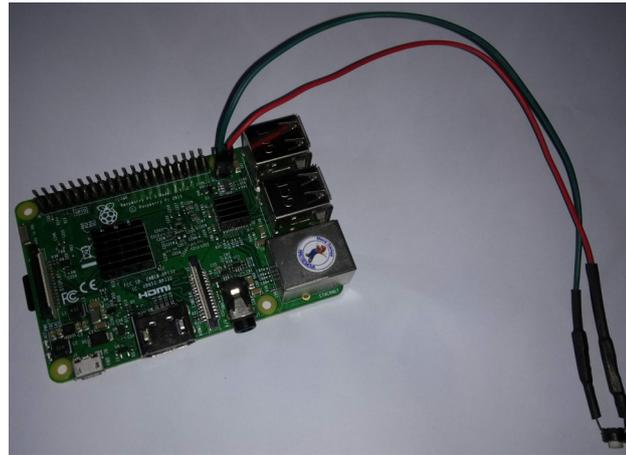
4.4.3 Placa de Leds e Emissores Infravermelho

De acordo com o que foi visto nos capítulos anteriores, o dispositivo proposto necessita de um conjunto de LEDs e emissores infravermelho para a aquisição das imagens. Para atender a este requisito, esta subseção irá descrever a placa de circuito impresso desenvolvida para exercer tal função.

O principal objetivo de disponibilizar este recurso é fornecer iluminação para aquisição de imagens através da câmera NoIR em ambientes de pouca iluminação, e

³ É o modo em que o dispositivo eletrônico fica em baixo consumo de energia, suspenso, esperando um sinal para iniciar (CHOI; HUH, 2005).

Figura 4.4.2: Instalação do botão.

(a) Pino *Run*

(b) Botão Instalado.

Fonte: Imagens do Autor.

possibilitar exames semelhantes aos realizados pelos dispositivos disponíveis no mercado, que utilizam o reflexo do infravermelho no olho do paciente para identificar patologias da visão.

A placa *Raspberry Pi 3 B* possibilita interação com componentes eletrônicos através dos pinos GPIO. Tomando como base os dispositivos analisados, a quantidade de LEDs foi escolhida, sendo três LEDs de alto brilho e 12 emissores infravermelho. O posicionamento adotado para os emissores, formando um círculo ao redor da câmera, foi definido com base no circuito apresentado por B. (2014), onde o autor propõe um circuito auxiliar para a câmera de infravermelho.

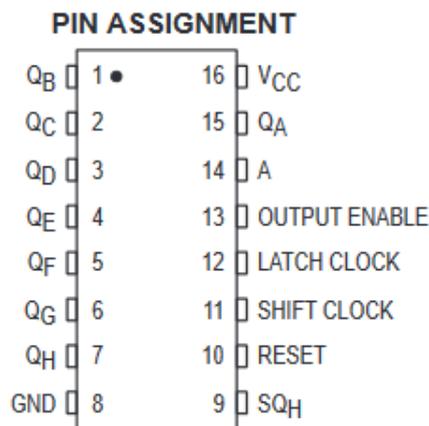
O circuito apresentado por B. (2014) consiste em um círculo de diodos emissores infravermelho ligados em série e acionados através de um transistor. Um diodo emissor infravermelho é um dispositivo eletrônico que emite luz infravermelha não visível a olho nu, que pode ser utilizada para transferir dados. O transistor é um dispositivo eletrônico que funciona como uma chave eletrônica, essa chave é acionada a partir de uma das portas GPIO do *Raspberry Pi 3 B*, acionando todos os emissores de uma vez.

Na placa projetada o acionamento é realizado individualmente, possibilitando ao desenvolvedor escolher quais os emissores serão acionados. Além dos emissores, os LEDs de alto brilho também serão acionados individualmente. Para garantir esta funcionalidade e

ocupar o menor número de portas GPIO do *Raspberry Pi 3 B* foi utilizado o CI 74HC595, que é um registrador de deslocamento, ou *shifter-register* que irá desempenhar uma função semelhante ao demultiplexador. O demultiplexador é um circuito que através de uma entrada gera diversas saídas.

O 74HC595 é um circuito integrado (CI) que possui 16 pinos, ilustrado na Figura 4.4.3, sendo um pino para entrada da tensão de corrente contínua (VCC), um pino para a conexão GND, ponto de 0 V. Além destes pinos, o CI possui oito pinos para saída de informação, estado ligado ou desligado, onde serão conectados os leds e os emissores. Os outros pinos são de configuração do funcionamento do CI, entre eles os pinos de *clock latch* e *shift*, e o pino de entrada de dados, pino 14.

Figura 4.4.3: Descrição dos pinos CI 74HC595.



Fonte: Datasheet do CI (INSTRUMENTS, 2003).

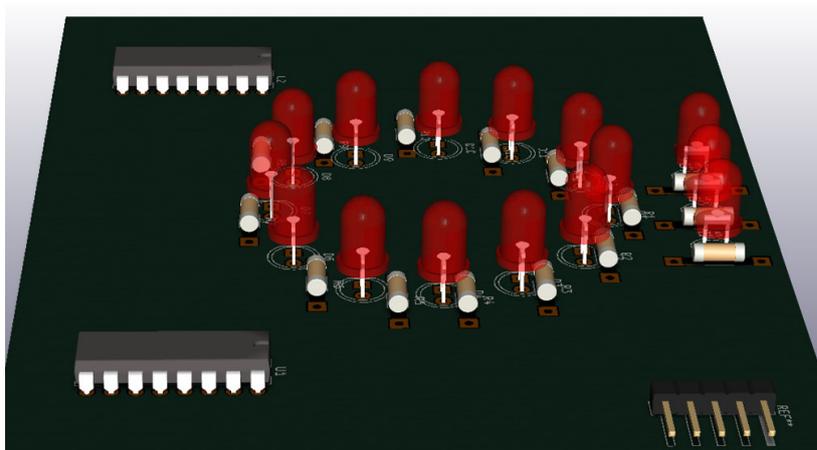
Cada CI possui 8 saídas, que irão ligar ou desligar cada emissor infravermelho e LEDs. Entretanto, neste projeto o total de 15 componentes eletrônicos deverão ser controlados, 12 emissores infravermelhos e 3 LEDs de alto brilho, para isso utilizou-se dois 74HC595 conectados em cascata, possibilitando controlar até 16 saídas. Para isso, como entrada do segundo CI será utilizada a saída do pino 9 do primeiro CI, que envia os dados em série que não foram setados nos 8 primeiros pinos.

O funcionamento do CI, nesse caso, consiste na entrada de um dado serial, que será transformado em até 16 saídas paralelas. O valor é setado bit a bit de acordo com cada oscilação do *clock* recebido no pino 11 do componente.

Após elaboração do circuito, já descrito nos capítulos anteriores, foi reproduzido utilizando o software livre multiplataforma KiCad, que permite a visualização da placa em 3D, apresentada na Figura 4.4.4 apenas para ilustração do projeto.

Como resultado final das etapas listadas no capítulo anterior obteve-se a placa final, ilustrada na Figura 4.4.5, onde pode-se perceber o posicionamento dos LEDs e emissores infravermelho, além dos CIs que foram fixados com o auxílio de soquetes apropriados. Além

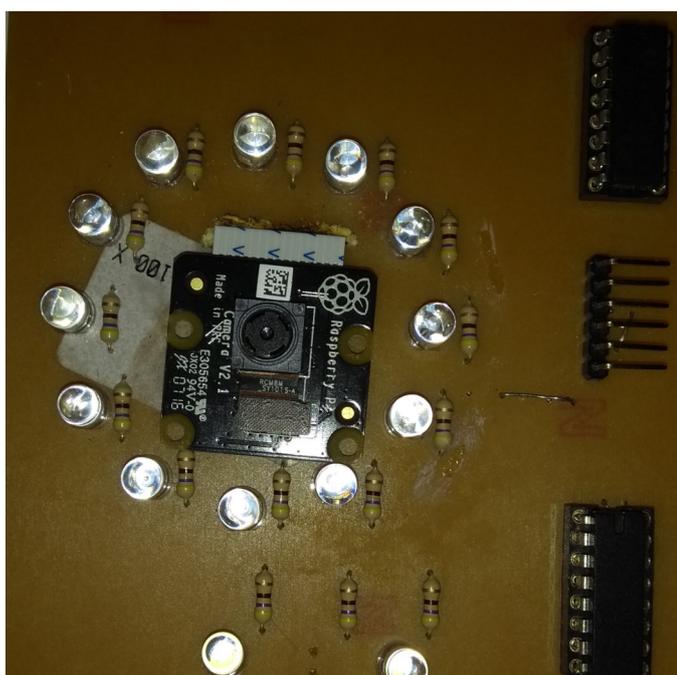
Figura 4.4.4: Visualização 3D da placa.



Fonte: Imagens do Autor.

disso, pinos machos de 90° foram utilizados para conexão dos *jumpers* que se comunicam com a placa *Raspberry Pi 3 B*.

Figura 4.4.5: Placa com componentes.



Fonte: Imagem produzida pelo autor.

CAPÍTULO 5

SOFTWARE

Neste capítulo a aplicação que gerencia o dispositivo será descrita, assim como o processo de desenvolvimento da mesma. A interface foi desenvolvida em Python e é responsável pela realização dos exames e todo o processo de cadastro de paciente e métodos computacionais. Basicamente a aplicação se divide em dois módulos: um módulo administrativo, que permite inserir e remover os métodos computacionais e o módulo de realização do exame, que lida com cadastro de paciente e o processo de execução das etapas pré e pós exame.

5.1 Levantamento de Requisitos

No desenvolvimento da aplicação, uma etapa crucial no desenvolvimento de software é o levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais (CYSNEIROS; LEITE, 2001). Segundo Cysneiros e Leite (2001), os requisitos funcionais são requisitos que expressam funções que determinado software deve ser capaz de executar ou fornecer, já os não funcionais tratam de restrições do sistema e atributos de qualidade.

Iniciando pelos requisitos funcionais, pode-se visualizar as principais funcionalidades que a aplicação deve desempenhar. Com base no estudo realizado a partir dos manuais de utilização do dispositivo *PlusOptix* (INC., 2017) e *Spot Vision Screener* (VISION, 2012) foi possível traçar funcionalidades mais genéricas como: cadastro de paciente, iniciar exame, visualização dos resultados e geração de relatório. Além destes, alguns requisitos funcionais que se adequam às necessidades específicas do dispositivo desenvolvido foram listados. Na Tabela 3 estão listados os requisitos funcionais.

Dentre os requisitos está o CRUD de pacientes e de exames (requisitos RF001 e RF002 respectivamente). Segundo Tanaka, Camargo e Gotardo (2012):

“CRUD é o acrônimo de Create, Read, Update e Delete em língua inglesa

para as quatro operações básicas utilizadas em bancos de dados que são: *Create*: Criar ou adicionar novas entradas; *Read (Retrieve)*: Ler, recuperar ou ver entradas existentes; *Update*: Atualizar ou editar entradas existentes; e *Delete (Destroy)*: Remover entradas existentes.” (TANAKA; CAMARGO; GOTARDO, 2012)

Tabela 3: Requisitos Funcionais da Aplicação.

Identificação	Requisito	Prioridade
RF001	CRUD de Pacientes	Alta
RF002	CRUD de Exames	Alta
RF003	Seleção de Paciente	Alta
RF004	Seleção de Exames	Alta
RF005	Execução de Exames	Alta
RF006	Emitir Relatório de Exames	Alta
RF007	Exportar Relatório	Média
RF008	Buscar paciente por critérios	Média
RF009	Personalização do Relatório	Baixa
RF010	Exportar Imagens	Baixa

Fonte: Levantamento feito pelo autor.

Além do CRUD, já detalhado, os demais requisitos serão detalhados a seguir.

RF003 Seleção de Pacientes: o sistema deverá permitir que o operador selecione o paciente que irá realiza o exame.

RF004 Seleção de Exames: o sistema deverá listar os métodos computacionais cadastrados para que o operador selecione quais serão executados durante o exame.

RF005 Execução de Exames: o sistema deverá executar a aquisição de imagens e métodos computacionais para analisá-las de acordo com os métodos selecionados (RF004).

RF006 Emitir Relatório dos Exames: o sistema deverá organizar os resultados de todos os métodos computacionais executados durante o exame e emitir um relatório com estes dados e os dados do paciente.

RF007 Exportar Relatório dos Exames: o sistema deverá permitir que o usuário exporte o relatório gerado para uma mídia externa.

RF008 Busca de paciente por critérios: o sistema deve possibilitar que o operador busque no banco de dados os dados do paciente a ser selecionado por diferentes critérios (nome ou data de nascimento).

RF009 Personalização do relatório: o sistema deve permitir que o operador do dispositivo personalize o cabeçalho e o rodapé do relatório, a partir do carregamento dos mesmos como arquivo de imagem.

RF010 Exportar imagens: o sistema deve fornecer meios para o operador armazenar as imagens dos exames em uma mídia externa.

Por fim, os requisitos não funcionais, conforme definido, estão relacionados com as restrições do sistema e aspectos de qualidade. No sistema desenvolvido existem diversas

restrições ligadas ao CRUD, como campos obrigatórios, entradas pré-definidas e outras. Na Tabela 4 estão listados os requisitos não funcionais.

Tabela 4: Requisitos Não Funcionais da Aplicação.

Identificação	Requisito	Prioridade
RNF001	Campos obrigatórios CRUD	Essencial
RNF002	Apenas um paciente por vez	Essencial
RNF003	Selecionar pelo menos um método	Essencial
RNF004	Interface Intuitiva	Desejável

Fonte: Levantamento feito pelo autor.

A seguir serão detalhados os requisitos não funcionais listados na tabela 4.

RNF001 Campos obrigatórios: o sistema deve impor campos obrigatórios nos CRUD, afim de evitar cadastros incompletos no banco de dados.

RNF002 Apenas um paciente por vez: a seleção de pacientes (RF003) deve permitir a seleção de apenas um paciente.

RNF003 Selecionar pelo menos um método: o sistema deve garantir que pelo menos um método computacional seja selecionado durante a seleção de exames (RF004).

RNF004 Interface intuitiva: o sistema deve possuir uma interface intuitiva para que o operador tenha uma boa usabilidade.

5.2 Python 3.6

Conforme mencionado nos capítulos anteriores, a linguagem escolhida para desenvolver a interface do sistema de gerenciamento foi o Python 3.6. Nesta seção serão descritos os principais recursos da linguagem utilizados no desenvolvimento da aplicação.

- **Tkinter**

Segundo Shipman (2013), Tkinter é uma GUI (*Graphical User Interface*) que acompanha nativamente o Python. O uso do Tkinter, assim como qualquer outra ferramenta, possui aspectos positivos e negativos. Apesar de ser simples e possuir elementos pouco explorados, esta GUI oferece grande portabilidade, além de uma documentação completa e API simples.

Com base nesses aspectos, esta ferramenta foi utilizada no desenvolvimento da aplicação que irá gerenciar o dispositivo. Apesar de algumas limitações, essa ferramenta disponibiliza diversos recursos, suficientes para desenvolver a aplicação atendendo a todos os requisitos funcionais e não funcionais listados na seção 5.1.

- **OpenCV**

Conforme já mencionado, a biblioteca OpenCV é fundamental para o sistema, tendo em vista que os métodos computacionais a serem incorporados geralmente utilizam o

OpenCV para processamento das imagens e outras técnicas computacionais. Segundo [Howse \(2013\)](#), o OpenCV é uma biblioteca de plataforma cruzada de código aberto que fornece blocos para experimentos e aplicativos de visão computacional.

Dentre os diferentes recursos computacionais utilizados pelos desenvolvedores, essa biblioteca é bastante recorrente, por apresentar diversas funções já implementadas e consolidadas, contribuindo para o desenvolvimento mais eficiente desses métodos computacionais.

- **Conexão e Comunicação com Banco de dados SQLite**

Conforme já mencionado no capítulo anterior, para armazenar os dados da aplicação optou-se pelo banco de dados relacional, gerenciado pelo SQLite, com base nos benefícios já expostos (seção 4.3.2). Logo, para realizar as operações de inserir, consultar e deletar (INSERT, SELECT e DELET) um algoritmo foi desenvolvido em python, linguagem adotada, onde a aplicação, através de funções, realiza essas ações e recebe os resultados, quando solicitado.

5.3 Implementação das Funcionalidades

Para atender aos requisitos funcionais listados na Tabela 3 funções utilizando a linguagem de desenvolvimento adotada foram desenvolvidas. Nas subseções subsequentes estão descritas cada funcionalidade e a forma de interação do usuário para executá-las.

5.3.1 CRUD de Pacientes

Utilizando alguns recursos da biblioteca Tkinter e as rotinas de inserção de dados no banco de dados SQLite, a primeira funcionalidade foi implementada. Colhendo informações como: nome completo, data de nascimento, sexo e idade do paciente, além do nome completo do responsável, o formulário com caixas de seleção e caixas de entrada de texto armazenou as respectivas informações em variáveis e as envia para a base de dados.

Já a exclusão do paciente, outro elemento do CRUD, da base de dados é feita a partir da interface do administrador. Apesar de não realizar nenhum tipo de autenticação a princípio, espera-se que o operador deixe para um profissional mais especializado operações que envolvam exclusão de registros, como o cadastro de determinado paciente.

5.3.2 CRUD de Exames

A adição de um novo método computacional, definido como exames na etapa de levantamento de requisitos, consiste em habilitar um novo método computacional a ser utilizado como exame no dispositivo. Apesar de usar componentes de seleção, semelhante ao CRUD de pacientes também recomenda-se que seja executada por um

profissional especializado (administrador). Quanto à estrutura de interação com o usuário, este procedimento possui diversas peculiaridades.

Primeiro aspecto diferencial é a necessidade de utilizar uma ferramenta de busca do *Python*, que permite selecionar um arquivo através de uma janela de seleção, que possibilita navegar por todos os diretórios do dispositivo e até visualizar informações de mídias externas que estejam conectadas ao dispositivo.

Após a seleção do arquivo desejado é necessário configurar algumas informações para personalizar as ações do dispositivo durante o exame, são elas: a quantidade de imagens que o método necessita para diagnosticar e o acionamento da placa de LEDs. A indicação da quantidade de imagens necessárias é feita através de uma caixa de entrada de texto que terá seu valor armazenado em uma variável. Já os LEDs serão pré-definidos como ligados ou desligados caso a respectiva caixa de seleção esteja marcada ou desmarcada.

Com as informações adquiridas o administrador do dispositivo pode concluir através de um botão, o cadastro do novo método. O comando emitido pelo acionamento do botão executa uma função que captura os estados definidos para cada LED e produz um número binário de 15 bits, onde 1 simboliza LED acionado e 0 não acionado, que será utilizado como entrada para os circuitos da placa de LED.

Por fim, as informações são adicionadas no final do arquivo a ser executado. Os dados são adicionados em forma de comentário e, posteriormente serão interpretados antes da execução do exame.

5.3.3 Busca por critérios e seleção de paciente

A seleção de paciente já é uma etapa que pode ser executada por um operador não especializado, pois é uma etapa que não modifica informações importantes do dispositivo e, como é uma rotina da execução do diagnóstico, possui uma interface de interação com o usuário intuitiva e objetiva.

Quanto aos recursos utilizados nesta funcionalidade, optou-se por uma sistema de busca com duas opções de parâmetros, a data de nascimento ou o nome do paciente desejado. O critério de busca deve ser determinado a partir da seleção de um *radiobutton*. A informação a ser utilizada na busca deve ser inserida na caixa de texto próxima ao botão de busca. Já o botão de busca apresenta algumas restrições, o mesmo só será habilitado após a seleção de um dos critérios de busca e só realizará a consulta de fato quando houver informação na caixa de texto.

As informações recebidas são listadas em um componente *ListBox* que permite a seleção de apenas um paciente. O botão que confirma o paciente escolhido e encaminha para o próximo procedimento do exame só é habilitado após a seleção de um dos registros retornados pela busca, impedindo inconsistência gerada pela seleção nula.

5.3.4 Seleção de exames

A seleção de exames é realizada de forma semelhante apesar de suas individualidades. O mesmo componente (*ListBox*) foi utilizado para listar os elementos disponíveis para a seleção, porém nesse caso, mais de um registro pode ser selecionado. O critério para a exibição dos itens neste caso é diferente, ao invés de uma consulta no banco de dados, os elementos a serem exibidos são selecionados em um procedimento interno que consulta a pasta onde os métodos computacionais estão armazenados.

Após a seleção dos exames, na parte inferior da interface ainda é necessário confirmar a seleção para poder realizar o envio através do botão superior. Após a confirmação, o nome dos exames selecionados é repetido em um label abaixo do *ListBox*. Caso as informações sejam modificadas, por exemplo, um método foi selecionado por engano, é necessário, após remover a seleção confirmar novamente para que as alterações façam efeito, antes de acionar o botão de enviar.

Após selecionados os exames são armazenados em uma lista que será consultada durante a rotina de execução dos exames.

5.3.5 Execução de exames

A etapa de execução de exames realiza uma série de rotinas que se repetem durante a execução de cada método computacional. Primeiramente é realizada a interpretação do código comentado no final do arquivo, que foi setada a quantidade de imagens que serão capturadas para o método em execução, em sequência a configuração dos LEDs é realizada através da passagem do número de 15 bits, gerado no cadastro do método, como entrada para os CIs da placa de LEDs.

Após definidas essas configurações iniciais é possível iniciar a captura de imagens. A tela de exames exibe uma imagem contínua, permitindo que o operador consiga posicionar o alvo adequadamente antes de iniciar as capturas. A captura é iniciada após um *click* no botão de captura em forma circular, semelhante a interface das câmeras de *smartphones*.

Após realizada a captura das n imagens, o processo de configuração se repete até a aquisição, setando individualmente as configurações de cada método na lista de execução. Os resultados de cada exame são salvos e expostos em um relatório no formato pdf.

5.3.6 Emitir e exportar relatório

A emissão do relatório é feita a partir dos resultados obtidos pelos n métodos que foram executados durante a avaliação do paciente. Nesta etapa, os dados do paciente selecionado serão utilizados para a identificação. Cada método apresenta um tipo de resultado, com seu próprio padrão de diagnóstico, entretanto, outros aspectos do relatório

são fixos.

Dentre os componentes fixos do arquivo pdf gerado tem-se o cabeçalho e rodapé que pode ser personalizado com as informações da escola ou clínica que adquiriu o dispositivo. Após o cabeçalho encontram-se as informações pessoais do paciente e abaixo os resultados de cada método computacional executado, por fim encontra-se o rodapé.

Após a geração do relatório, o usuário poderá exportá-lo para uma mídia externa. A interface responsável por essa funcionalidade recebe a seleção do diretório para o qual o operador deseja enviar uma cópia do relatório, que também ficará armazenado no dispositivo.

5.3.7 Personalização do relatório

Conforme já mencionado na subseção anterior, o relatório emitido possui campos que podem ser personalizados, o cabeçalho e o rodapé. Para isso, é necessário uma interface onde o usuário administrador pode enviar arquivos que irão ocupar este espaço. A interface é semelhante a de cadastro de exame, onde uma janela permite a seleção de um arquivo, sendo este armazenado no dispositivo ou em uma mídia externa.

O arquivo selecionado deve ser uma imagem, no formato PNG ou JPEG. O sistema não restringe a seleção de arquivos que não corresponde a essa especificação, o carregamento de um arquivo que não seja do formato especificado irá gerar erro na geração do relatório e o carregamento de uma imagem com dimensões diferentes irá prejudicar o layout do relatório, não comprometendo a geração do mesmo.

Após a seleção dos arquivos o sistema gera uma cópia do mesmo na pasta específica de imagens da interface (pasta de consulta interna do dispositivo). Caso o usuário opte por não realizar a personalização, imagens padrão serão utilizadas.

5.3.8 Exportar Imagens

Após a execução do exame o operador pode escolher armazenar ou não as imagens produzidas durante o exame. Caso opte por salvá-las as mesmas serão armazenadas em um diretório específico, podendo ser acessadas posteriormente ou exportadas através da interface do próprio sistema operacional.

CAPÍTULO 6

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo será feita a descrição do protótipo, tendo como principal objetivo ilustrar as interfaces e os meios de interação entre usuário e dispositivo. O capítulo está dividido em seções, onde a primeira ilustra a parte física do dispositivo, quais os dispositivos são utilizados para transformar a ação do usuário em algo compreensível para a interface. As outras seções tratam da interface do sistema, tendo como diferenciador o tipo de usuário que terá acesso a determinado recurso, sendo ele o operador ou administrador do dispositivo.

6.1 Estrutura Física do Dispositivo

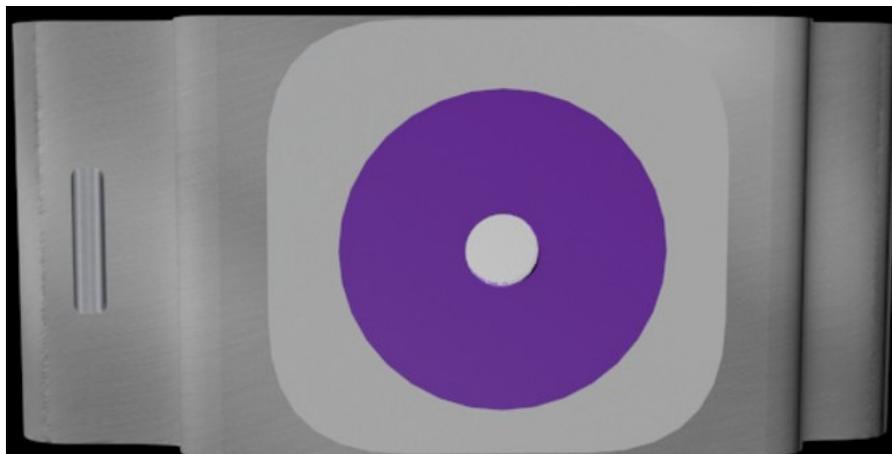
Uma parte fundamental para o desenvolvimento de um protótipo é a sua estrutura física, o envólucro que irá organizar os componentes eletrônicos que o compõe e permitirá que um usuário o manuseie. Para garantir que o equipamento promoverá conforto ao ser manuseado pelo operador, é necessário realizar uma análise do *design* que o equipamento terá.

Esta etapa do trabalho foi realizada em conjunto com uma equipe coordenada pela professora Dra. Ivana Márcia Oliveira Maia, professora de Design do Instituto Federal do Maranhão (IFMA). O principal foco da equipe foi atender as normas técnicas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas quanto aos padrões ergonômicos e incorporar características lúdicas ao *design* do equipamento para facilitar a interação com o grupo foco de pacientes, as crianças.

A primeira proposta apresentada está ilustrada na Figura 6.1.1, onde pode-se observar suportes para o encaixe das mãos do operador com um formato ergonômico. Além dos apoios, o tamanho e formato do dispositivo busca reproduzir o padrão dos equipamentos disponíveis no mercado. A região circular de cor roxa terá em seu centro a

câmera do equipamento, que por sua vez será rodeada dos LEDs e emissores infravermelhos.

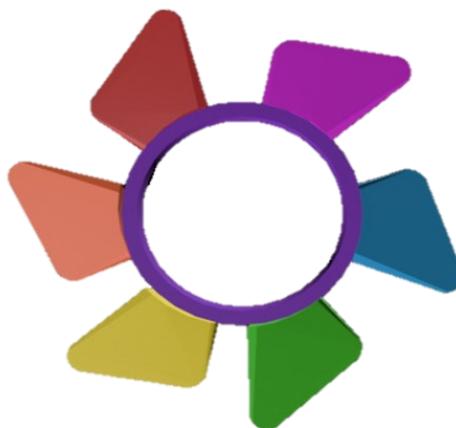
Figura 6.1.1: Modelo 3D do dispositivo.



Fonte: Imagens do Autor.

Quanto ao aspecto atrativo, na Figura 6.1.2 está ilustrada a proposta de acessório móvel que pode ser encaixado na região circular mencionada anteriormente. Uma das dificuldades em realizar exames de crianças pré-verbais ou de uma faixa etária baixa é fazer com que ela colabore para a aquisição das imagens. Por isso, a utilização do acessório busca atrair a atenção do paciente durante a realização dos exames. Apesar do público alvo infantil, o dispositivo também pode ser utilizado em exames em todas as faixas etárias, logo a utilização de um atrativo lúdico que não é fixo no dispositivo é um aspecto positivo.

Figura 6.1.2: Acessório Lúdico.



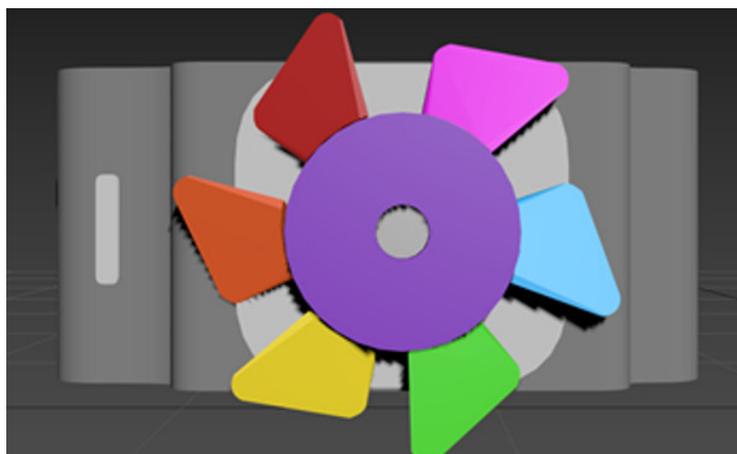
Fonte: Imagens do Autor.

Na Figura 6.1.3 é apresentado a versão de *design* proposta, com o acessório encaixado. A visão ilustrada é a do paciente, já na visão do operador encontra-se apenas o *display* LCD. Na lateral encontram-se aberturas para as portas USB e LAN.

Definido o modelo do protótipo, optou-se inicialmente por um *mockup*¹ para verificar

¹ Modelo de demonstração para avaliação de *design*.

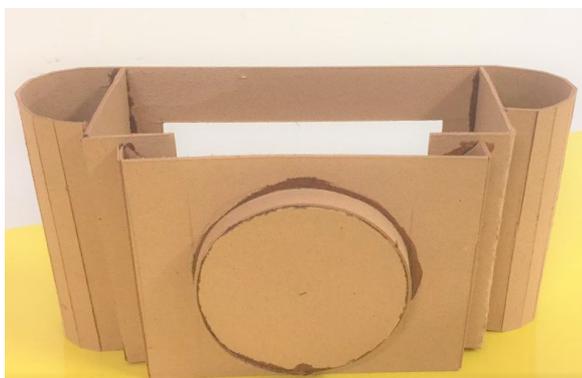
Figura 6.1.3: Modelo com Acessório.



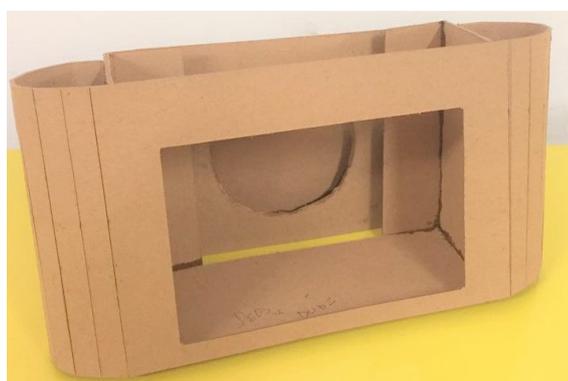
Fonte: Imagens do Autor.

como será feita a distribuição dos componentes no interior do modelo e quais as dimensões e posições das aberturas que não foram definidas no projeto inicial, como entrada para ventilação e conector para recarregar a bateria. A estrutura utilizada para montar o protótipo esta ilustrada na Figura 6.1.4.

Figura 6.1.4: Mockup do Modelo proposto.



(a) Visão paciente.



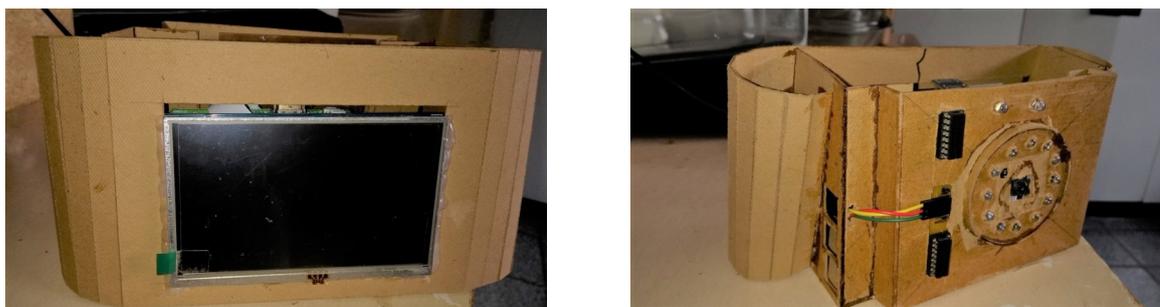
(b) Visão operador.

Fonte: Imagens do Autor.

Após a organização dos componentes dentro do *mockup* alguns ajustes foram feitos.

O primeiro foi a perfuração do círculo que dará suporte a câmera. A abertura já existente foi aumentada, e a saída para os LEDs foi feita. Além disso, uma abertura na lateral foi feita para a passagem dos CIs, que devido a placa de uma camada utilizada, não foi possível soldá-los do lado interno da placa. Após os ajustes (Figura 6.1.5 o equipamento foi finalizado e disponibilizado para os testes.

Figura 6.1.5: Modelo proposto.



(a) Visão paciente.

(b) Visão operador.

Fonte: Imagens do Autor.

6.2 Interface Administrador-Dispositivo

Assim como muitos sistemas este também dispõe de funcionalidades que não serão utilizadas no cotidiano, são funções responsáveis por configurar o dispositivo e realizar modificações no próprio sistema, mesmo que de forma limitada. Os usuários responsáveis por lidar com essas operações serão denominados administradores. A tela inicial das configurações está ilustrada na Figura 6.2.1.

Figura 6.2.1: Tela Inicial Configurações.

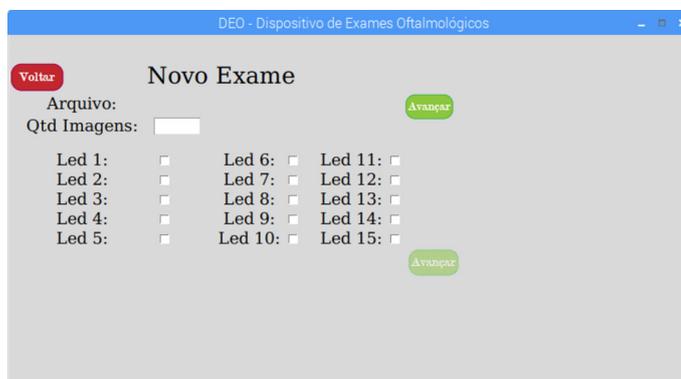


Fonte: Imagens do Autor.

A primeira funcionalidade do administrador, e uma das mais recorrentes, é o cadastro de métodos computacionais. Esta operação requer conhecimento de recursos do dispositivo e do método que está sendo cadastrado, por isso, um operador sem conhecimento

técnico terá dificuldades para realizar tal função. A tela com a qual o usuário irá interagir está ilustrada na Figura 6.2.2.

Figura 6.2.2: Tela Cadastro de Método.



Fonte: Imagens do Autor.

Outra funcionalidade para esse nível de usuário é a exclusão de métodos e/ou pacientes do dispositivo. Uma operação de extrema importância, que remove permanentemente informações da base de dados do dispositivo deve ser feita apenas por um usuário com conhecimento técnico, para evitar exclusão de informações indevidas. A tela de exclusão é igual a de seleção, tanto para paciente quanto para o usuário, a diferença é que o método ou paciente escolhido será removido da base de dados.

Por fim, a última funcionalidade administrativa é a responsável pela personalização do relatório gerado pelo dispositivo, permitindo que o administrador insira um cabeçalho e rodapé no formato de imagem para customizar o relatório.

6.3 Interface Cliente Dispositivo

Após configurado, o dispositivo está pronto para ser operado por um profissional da saúde, ou até mesmo um professor em uma escola. Esse usuário, que só lida com a parte prática da execução dos exames será chamado de cliente.

O cliente terá acesso a tela inicial do sistema, ilustrada na Figura 6.3.1, onde o mesmo pode iniciar um exame, caso o paciente já possua cadastro ou realizar o cadastro de um novo paciente. Optando pela primeira alternativa, o cliente será direcionado a tela de seleção de paciente, ilustrada na Figura 6.3.2, onde a busca na base de dados pode ser feita tanto por nome do paciente quanto por data de nascimento. Após a busca, apenas um paciente pode ser selecionado, feito isso o cliente é direcionado a seleção de exames.

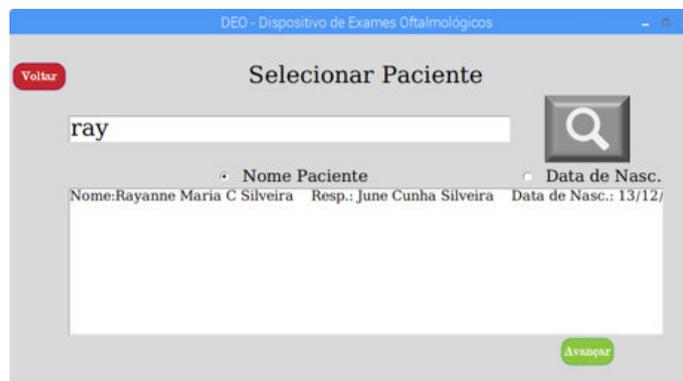
Optando por cadastrar um novo paciente, o cliente é direcionado a um formulário (Figura 6.3.4) onde as informações pessoais devem ser inseridas. Após realizar o cadastro o cliente é direcionado para seleção de exames (Figura 6.3.3). Na seleção de exames serão listados os métodos computacionais cadastrados no dispositivo, podendo um ou mais serem

Figura 6.3.1: Tela Inicial.



Fonte: Imagens do Autor.

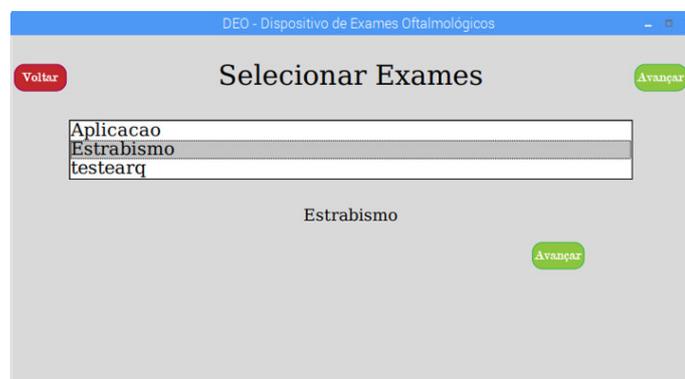
Figura 6.3.2: Seleção de Paciente.



Fonte: Imagens do Autor.

selecionados para a execução. Após a seleção dos métodos o cliente é direcionado para a captura de imagens (Figura 6.3.5).

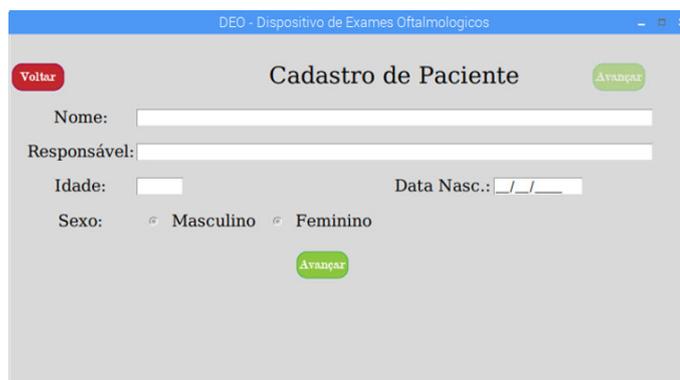
Figura 6.3.3: Seleção de Exame.



Fonte: Imagens do Autor.

O operador, denominado de cliente, pode apenas iniciar a captura de imagens após enquadramento da região dos olhos, a quantidade de imagens é pré-definida de acordo com a necessidade de cada método. Após a aquisição de todas as imagens o dispositivo

Figura 6.3.4: Cadastro de Paciente.



A captura de tela mostra uma interface web com o título "DEO - Dispositivo de Exames Oftalmológicos". O formulário "Cadastro de Paciente" contém os seguintes campos: "Nome:" com um campo de texto; "Responsável:" com um campo de texto; "Idade:" com um campo de texto; "Data Nasc.:" com um campo de data no formato "/ /"; e "Sexo:" com duas opções de radio button, "Masculino" e "Feminino". Há um botão "Voltar" em vermelho no canto superior esquerdo e um botão "Avançar" em verde no canto superior direito. Um segundo botão "Avançar" em verde está localizado abaixo dos campos de sexo.

Fonte: Imagens do Autor.

Figura 6.3.5: Captura de Imagens.



Fonte: Imagens do Autor.

gera um relatório que informa o resultado de cada método em uma linguagem adequada para compreensão de um profissional especializado.

CAPÍTULO 7

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos e analisados os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto. A análise do dispositivo foi realizada sob três perspectivas, a primeira, um dos principais focos deste trabalho, o custo, a segunda está relacionada ao desempenho do dispositivo e por fim, a análise de usabilidade do sistema através do questionário PSSUQ.

7.1 Custo do dispositivo

Uma das principais justificativas deste trabalho é o alto custo dos dispositivos disponíveis no mercado que executam funções semelhantes ao equipamento proposto. Conforme ilustrado na Tabela 1, os dispositivos mais atuais possuem um custo acima de R\$20.000,00.

Na Tabela 5 encontra-se a lista de materiais utilizados para a construção do protótipo e os respectivos valores de mercado, por fim estima-se o valor gasto para a produção do dispositivo proposto. Os valores apresentados referem-se a realidade do comércio nacional. Além dos custos apresentados nesta tabela, também houve um investimento em instrumentos utilizados na confecção, como ferro de solda, solda, suporte e outros. Estes custos não afetam diretamente o valor individual do protótipo.

Conforme apontado na Seção 3.2.1, dois procedimentos de confecção foram avaliados e utilizando o equipamento para produção da placa final o único custo foi com o fornecimento da placa de fenolite, computada na análise da Tabela 5. Porém, em uma produção de escala do dispositivo, pode-se optar por uma fabricação com acabamento mais profissional, disponibilizada pelo site EasyEDA, mesmo utilizado para projetar o circuito, que também confecciona placas desse tipo, cobrando U\$2,00 (dois dólares) para confeccionar 10 placas.

Tabela 5: Custo do dispositivo proposto

Componente	Quantidade	Valor	Total
Raspberry pi 3 B	1	R\$199,99	R\$199,99
Cartão de memória 16 GB	1	R\$30,00	R\$30,00
Dissipador de calor	2	R\$3,00	R\$6,00
Kit 40 Jumpers	1	R\$14,50	R\$14,50
Placa de fenolite	1	R\$1,00	R\$1,00
Emissor infravermelho (10 unid)	12	R\$0,75	R\$9,00
Kit 10 Resistores 470 Ω	2	R\$3,00	R\$6,00
Bateria	1	R\$184,00	R\$184,00
Camera NoIR	1	R\$135,00	R\$135,00
Display Touch Screen 5"	1	R\$274,00	R\$274,00
Mini Teclado e Mouse WiFi	1	R\$55,00	R\$55,00
Led Alto-Brilho (10 unid)	1	R\$3,00	R\$3,00
		Total	R\$917,49

Fonte: Levantamento feito pelo autor.

Além dos custos descritos ainda será computado o valor gasto para a elaboração da parte externa do equipamento, tendo em vista que o tipo de material a ser utilizado ainda não foi definido. Sabe-se também que os valores apresentados são limitados ao custo do dispositivo e não sugestão de valor no mercado, pois este ainda deverá considerar custos de desenvolvimento. Apesar disso o valor do dispositivo proposto ainda é muito inferior as tecnologias disponíveis no mercado, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6: Comparação de custos

Dispositivo	Valor
iScreener	R\$ 13.080,00
Spot Vision	R\$ 24.510,28
2Win	R\$ 22.726,50
PlusOptix	R\$ 24.148,95
Proposto	R\$ 1.000,00*

Fonte: Levantamento feito pelo autor.

7.2 Desempenho

Em termos de desempenho, até a conclusão deste trabalho, apenas rotinas de baixo processamento foram testadas no equipamento. Utilizando algoritmos que envolvem processamento de imagens e vídeo em tempo real, o tempo de resposta foi regular apesar do aquecimento da placa, tornando o uso dos dissipadores e *cooler* fundamental.

Simulando os métodos computacionais a partir de programas que modificam imagens recebidas como entrada (semelhante ao processo a ser feito pelos exames), o tempo médio de espera na aquisição das imagens entre um método e outro é de 2 segundos e, após

a execução de todos os programas da lista de execução, nos piores casos a espera para geração do relatório foi de 7 segundos.

A estrutura utilizada no desenvolvimento da interface gráfica foi de transição de telas, ao invés da atualização de conteúdo. Nas primeiras etapas de desenvolvimento a técnica de atualização de conteúdo foi utilizada, porém, tendo em vista a necessidade de trocar informações entre procedimentos, remover componentes para inserir outros não obteve o resultado esperado.

Entretanto, ao alternar para a transição de telas os resultados foram melhores, realizar o fluxo de informações foi mais simples e, apesar da mudança de telas, o tempo de resposta é quase insignificante, dando fluidez à aplicação.

Além dessa alteração, na fase de desenvolvimento foi possível perceber a baixa sensibilidade do *touch screen* do *display* utilizado, o que dificultou o aproveitamento de toda a região da tela, já que quase não se obteve resposta ao toque na região das bordas da tela. Como solução, optou-se por um mini-teclado *Wireless* (sem fio) que possui um *touchpad*¹, dando mais precisão ao operador.

O teclado utilizado também contribui para melhor utilização da tela, já que na entrada de dados textual seria necessário exibir um teclado virtual, que além de prejudicar a visualização da interface também se tornou uma opção complicada tendo em vista a baixa precisão do *display*. O teclado utilizado (Figura 7.2.1) foi incluso no custo do dispositivo discutido na seção anterior.

Figura 7.2.1: Mini Teclado WiFi



Fonte: Imagens do Autor.

Após a utilização do teclado foi possível aproveitar melhor o espaço das telas, contribuindo para uma melhor organização dos elementos da interface. O uso do *touchpad* contribuiu para a precisão de seleção de elementos em listas e caixas de marcação, elementos muito utilizados na interface.

¹ É um dispositivo sensível ao toque que transforma o toque do usuário em uma posição na tela do dispositivo.

Por fim, é importante ressaltar o baixo desempenho da bateria adicionada ao dispositivo, com uma autonomia de apenas 2 horas quando o uso do equipamento é constante, tem-se uma durabilidade abaixo da necessidade dos especialistas e dos outros dispositivos disponíveis no mercado. Como solução, indica-se o uso do equipamento alimentado por uma fonte própria para *Raspberry* quando o uso for contínuo e de longa duração, apesar de diminuir a mobilidade do equipamento.

7.3 Questionário PSSUQ

A avaliação da usabilidade do sistema que dá suporte ao dispositivo foi realizada através do questionário PSSUQ, listado na Seção 3.2.2. Antes do preenchimento do questionário médicos oftalmologistas foram submetidos a um experimento, onde estes tiveram acesso ao dispositivo e exploraram todas as funcionalidades do sistema, afim de ter uma experiência completa de interação com a interface.

O processo de testes durou cerca de 1 hora, apenas dois médicos participaram do experimento (ilustrado pela Figura 7.3.1). Iniciando a análise do experimento, antes de discutir os resultados do questionário, alguns aspectos que foram apontados pelos profissionais da área serão apresentados.

Figura 7.3.1: Realização da Avaliação



(a) Médico manuseando equipamento



(b) Médico testando câmera do equipamento

Fonte: Imagens do Autor.

- **Utilização do Mini-teclado:** Apesar da maioria dos dispositivos populares no mercado como o *Plusoptix* e o *Spot Vision* não possuírem entrada de dados via teclado, ambos os especialistas apontaram que o formato do teclado e a semelhança do *touchpad* com os já utilizados em *notebooks* facilita a operação do equipamento, assim como o teclado físico aumenta a precisão, comparado ao teclado mais compacto de letras próximas dos teclados virtuais apresentados nestes dispositivos.

- **Estrutura física do equipamento:** Ambos os profissionais ressaltaram aspectos positivos na estrutura do equipamento, os encaixes para segurar o dispositivo têm um aspecto anatômico que facilita o manuseio.
- **Visualizar Relatório:** Aspecto que diminuiu a satisfação dos operadores em relação ao software. A dificuldade em acessar as pastas diminuiu a intuitividade do dispositivo. Por isso, uma nova tela foi adicionada ao sistema, onde após a execução do exame o usuário pode optar em voltar para o menu inicial ou ser direcionado ao local onde o relatório foi armazenado.
- **Clareza da Interface:** Outro ponto positivo na avaliação dos especialistas foi a interface limpa e objetiva, que tornou a experiência mais natural durante os testes realizados.

O questionário PSSUQ possui uma escala de avaliação de 1 a 7, onde 1 o avaliado discorda totalmente e 7 concorda totalmente com a afirmação proposta. Na Figura 7.3.2 encontram-se os resultados obtidos, de vermelho o valor assinalado pelo médico 1 e de verde o valor assinalado pelo médico 2.

Figura 7.3.2: Resultado Questionário PSSUQ



Fonte: Imagens do Autor.

A partir dos resultados ilustrados na Figura 7.3.2, foi possível perceber, em uma análise geral, uma boa aceitação dos avaliadores. Analisando os resultados das questões referentes a importância desse tipo de dispositivo, iniciando pela afirmação envolvendo o aumento da produtividade utilizando o equipamento, ambos os avaliadores deram nota máxima, o que valida a importância do desenvolvimento deste tipo de dispositivo.

As afirmações relacionadas a interface em sua maioria obtiveram nota máxima de ambos os avaliadores, porém as afirmações relacionadas a clareza de informações teve uma divergência entre as notas obtidas. Apesar disso, realizando o cálculo da média entre as notas (7 e 5) ainda obteve-se uma resposta positiva.

As demais afirmações estão relacionadas a facilidade de utilização do sistema e as funcionalidades existentes e obtiveram respostas diferentes dos avaliadores. De acordo com o que já foi discutido nesta seção, é possível apontar a ausência da interface de direcionamento para o relatório gerado como principal fator negativo observado pelos avaliadores. Porém, é importante ressaltar que a nota mínima obtida foi 5, o que mostra que as limitações encontradas são de pouco impacto no desempenho do sistema.

CAPÍTULO 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial de desenvolver um dispositivo de baixo custo para dar suporte a métodos computacionais que detectam patologias da visão foi alcançada. De acordo com os resultados apontados, o dispositivo proposto possui um custo de produção muito inferior aos dos principais dispositivos do mercado. Apesar da breve avaliação de desempenho, ainda há necessidade de testar a versão final do protótipo com métodos computacionais incorporados, para assim avaliar o desempenho total do dispositivo.

Um método computacional está em fase de incorporação ao dispositivo, após finalizada esta etapa pretende-se realizar a avaliação final do desempenho do equipamento com os mesmos profissionais que realizaram a avaliação do sistema, buscando validar não só o equipamento, mas também o desempenho dos métodos computacionais.

Além disso, a qualidade dos resultados obtidos a partir do desenvolvimento deste produto oferecerá subsídios para divulgar o dispositivo desenvolvido no mercado afim de facilitar a realização de triagens de pacientes realizadas por profissionais que atuem na atenção básica de saúde e docentes dos ensinos básicos e médios, favorecendo o diagnóstico e tratamento precoce.

Com base no sistema, o resultado obtido a partir da aplicação do questionário PSSUQ foi satisfatório e utilizado como parâmetro para melhorias da fase de conclusão do projeto. O principal aspecto negativo do sistema, a busca para visualizar o relatório produzido durante o exame, antes feita com recursos do sistema operacional, agora é feita a partir de uma interface gráfica.

O *design* do protótipo obteve uma boa aceitação dos especialistas da área da saúde que avaliaram, o estudo ergonômico realizado proporcionou conforto na operação do equipamento. Vale ressaltar a necessidade da definição do material a ser utilizado na confecção do dispositivo final.

Por ser um protótipo inicial, em trabalhos futuros algumas melhorias podem ser feitas, em termos de *software* e de *hardware*. No *software*, incluir funções que permitam buscar e visualizar relatórios passados são opções de incrementos. Já no *hardware* aponta-se a modificação do *display* como principal sugestão de melhoria, tendo em vista que o custo final de produção da uma margem para investir em componentes como o *display* capacitivo apresentado na seção 4.1.2, que apesar de ser um pouco maior, é mais preciso.

Outra possível melhoria no *hardware* é a atualização da *Raspberry Pi 3 B* pela versão B+, que foi lançada no mercado após o início deste projeto. O novo modelo possui pequenas melhorias, dentre elas a mais importante é o aumento do *clock* do processador, de 1.2 GHz para 1.4 GHz. Um aspecto positivo de fazer um *upgrade* da placa para outra versão *Raspberry Pi 3 B* é que toda a estrutura do protótipo poderá ser mantida, tendo em vista que as outras placas apresentadas (*Orange Pi*, *Banana Pi* e *etc.*) como opções não possuem compatibilidade com todas os componentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAPTICA. *2WIN Binocular Mobile Refractometer and Vision Analyzer*. 2017. Disponível em: <www.adaptica.com/2win-support/>. Acesso em: 28/08/2017. Citado na página 25.

ADAPTICA. *2WIN Photoscreener*. 2017. Disponível em: <www.adaptica.com/products/2win/>. Acesso em: 28/08/2017. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

ALLYN, W. *Spot Vision Screener*. 2017. Disponível em: <www.welchallyn.com>. Acesso em: 28/08/2017. Citado na página 23.

ALMEIDA, J. D. S. d. et al. *Metodologia computacional para detecção e diagnóstico automáticos e planejamento cirúrgico do estrabismo*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Maranhão, 2013. Citado na página 16.

B., J. E. *Enginursday: Time-lapse with the Raspberry Pi Pt. 2*. 2014. Disponível em: <www.sparkfun.com/news/1396>. Acesso em: 10/07/2017. Citado na página 53.

BHALLA, M. R.; BHALLA, A. V. Comparative study of various touchscreen technologies. *International Journal of Computer Applications*, Citeseer, v. 6, n. 8, p. 12–18, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 47.

BIEDERMANN, D. H. et al. Using raspberry pi for scientific video observation of pedestrians during a music festival. *arXiv preprint arXiv:1511.00217*, 2015. Citado na página 34.

BURIOL, T. M.; ARGENTA, M. A. Acelerando o desenvolvimento e o processamento de análises numéricas computacionais utilizando python e cuda. *Métodos Numéricos e Computacionais em Engenharia-CMNE CILAMCE*, 2009. Citado na página 50.

CHOI, H.-S.; HUH, D. Techniques to minimize power consumption of smps in standby mode. In: IEEE. *Power Electronics Specialists Conference, 2005. PESC'05. IEEE 36th*. [S.l.], 2005. p. 2817–2822. Citado na página 52.

CLAUSEN, M. M.; ARNOLD, R. W. Pediatric eye/vision screening. referral criteria for the pedia vision plus optix s 04 photoscreener compared to visual acuity and digital photoscreening. kindergarten computer photoscreening. *Binocul Vis Strabismus Q*, v. 22, n. 2, p. 83–9, 2007. Citado na página 16.

CYSNEIROS, L. M.; LEITE, J. *Requisitos não funcionais: da elicitação ao modelo conceitual*. Tese (Doutorado), 2001. Ciência da Computação - PUC-RJ, 2001. Citado na página 56.

DATABASE, T. S. B. C. *ASUS Tinker Board vs. Intel Galileo (Gen 2) vs. Orange Pi Prime vs. UP Squared Pentium Ultra*. 2018. Disponível em: <www.board-db.org/compare/>. Acesso em: 15/01/2018. Citado 5 vezes nas páginas 30, 31, 32, 33 e 34.

DONAHUE, S. P. et al. Guidelines for automated preschool vision screening: a 10-year, evidence-based update. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus* {JAAPOS}, Elsevier, v. 17, n. 1, p. 4–8, 2013. Citado na página 21.

FORCINA, B. D. et al. Performance of the spot vision screener in children younger than 3 years of age. *American Journal of Ophthalmology*, Elsevier, v. 178, p. 79–83, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

FOUNDATION, R. P. *PI NoIR Camera V2*. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/pi-noir-camera-v2/>>. Citado na página 45.

GARRY, G. A.; DONAHUE, S. P. Validation of spot screening device for amblyopia risk factors. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, Elsevier, v. 18, n. 5, p. 476–480, 2014. Citado na página 24.

GMBH, P. *User Manual*. 2016. Disponível em: <www.metavision.com.br/produto.html>. Acesso em: 22/01/2016. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

GODOI, A. L. de S. et al. Prevalência de ambliopia e capacidade preditiva da triagem ocular para o exame oftalmológico em pré-escolares. *Convibra Saúde*, 2011. Citado na página 16.

GRAZIANO, R. M.; LEONE, C. R. Problemas oftalmológicos mais frequentes e desenvolvimento visual do pré termo extremo. *Jornal de pediatria*, SciELO Brasil, v. 81, n. 1, p. 95–100, 2005. Citado na página 16.

GROUP, E. R. *Otago Photoscreener*. 2016. Disponível em: <http://elec.otago.ac.nz/w/index.php/Otago_Photoscreener>. Acesso em: 29/12/2017. Citado na página 26.

GROUP, L. T. P. *MTI Photoscreener - MTI PS100*. 2008. Disponível em: <www.publicsurplus.com/>. Acesso em: 2/01/2018. Citado na página 27.

GUO, P. Python is now the most popular introductory teaching language at top us universities. *BLOG@ CACM*, July, p. 47, 2014. Citado na página 50.

HARLEY, R. D.; NELSON, L. B.; OLITSKY, S. E. *Harley's pediatric ophthalmology*. [S.l.]: Lippincott Williams & Wilkins, 2005. Citado na página 16.

HOW to burn Linux image to eMMC. 2018. Disponível em: <www.board-db.org/compare/>. Acesso em: 15/01/2018. Citado na página 34.

HOWSE, J. *OpenCV computer vision with python*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2013. ISBN 978-1782163923. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 59.

- HUANG, D. et al. Pediatric vision screening using the plusoptix a12c photoscreener in chinese preschool children aged 3 to 4 years. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, v. 7, n. 1, p. 2041, 2017. Citado na página 21.
- INC., P. *PlusOptix Photoscreener*. 2017. Disponível em: <plusoptix.com/pt-br/>. Acesso em: 28/08/2017. Citado na página 56.
- INSTRUMENTS, T. *SNx4HC595 8-Bit Shift Registers With 3-State Output Registers*. 2003. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf>>. Acesso em: 30/05/2018. Citado na página 54.
- JESUS, D. L. d. et al. Comparison between refraction measured by spot vision screeningtm and subjective clinical refractometry. *Clinics*, SciELO Brasil, v. 71, n. 2, p. 69–72, 2016. Citado na página 24.
- JUNYAN, L.; SHIGUO, X.; YIJIE, L. Application research of embedded database sqlite. In: IEEE. *Information Technology and Applications, 2009. IFITA'09. International Forum on*. [S.l.], 2009. v. 2, p. 539–543. Citado na página 50.
- KIRK, S. et al. Calibration and validation of the 2win photoscreener compared to the plusoptix s12 and the spot. *Journal of pediatric ophthalmology and strabismus*, SLACK Incorporated, v. 51, n. 5, p. 289–292, 2014. Citado na página 25.
- KITS, R. P. S. *Top Raspberry Pi 3 Alternatives of 2017*. 2018. Disponível em: <www.raspberrypistarterkits.com/alternatives/top-raspberry-pi-alternatives/>. Acesso em: 03/05/2018. Citado na página 33.
- LEWIS, J. R. Ibm computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human–Computer Interaction*, Taylor & Francis, v. 7, n. 1, p. 57–78, 1995. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10447319509526110>>. Citado na página 43.
- LIMA, T. *Hardkernel ODROID-XU4*. 2015. Disponível em: <www.embarcados.com.br/hardkernel-odroid-xu4/>. Acesso em: 17/01/2018. Citado na página 31.
- MATTA, N. S. et al. Comparison between the plusoptix and mti photoscreeners. *Archives of Ophthalmology*, American Medical Association, v. 127, n. 12, p. 1591–1595, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 21.
- MATTA, N. S.; SINGMAN, E. L.; SILBERT, D. I. Performance of the plusoptix vision screener for the detection of amblyopia risk factors in children. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, Elsevier, v. 12, n. 5, p. 490–492, 2008. Citado na página 20.
- MENESES, R. A. et al. Raspbian vs ubuntu mate um paralelo do desempenho na raspberry pi. *Anais do WSCAD-WIC 2016*, p. 43, 2016. Citado na página 49.
- MOLTENO, A. et al. The otago photoscreener, a method for the mass screening of infants to detect squint and refractive errors. *Transactions of the Ophthalmological Society of New Zealand*, v. 35, p. 43–49, 1983. Citado na página 26.

- PLACA de Expansão de Bateria de Lítio-íon para Raspberry Pi - AZUL 20631. 2018. Disponível em: <https://pt.gearbest.com/raspberry-pi/pp_603488.html>. Acesso em: 02/08/2017. Citado na página 52.
- PLACA Raspberry Pi 3 B. 2017. Disponível em: <<https://www.americanas.com.br>>. Acesso em: 5/10/2017. Citado na página 35.
- PLACA Raspberry Pi 3 B. 2017. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com-/produto/raspberry-pi-3-model-b/>>. Acesso em: 25/11/2017. Citado na página 35.
- RASPBERRY Pi 3 B. 2017. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Placa-Raspberry-Quadcore-1-2ghz-Bluetooth/dp/B01CD5VC92>>. Acesso em: 5/10/2017. Citado na página 35.
- RASPBERRY Pi 5 HDMI LCD Display w/touch. 2018. Disponível em: <www.electrodragon.com>. Acesso em: 18/02/2018. Citado na página 46.
- REICHERT, L. *Aplicação de metodologia multiprojeto à confecção de placas de circuito impresso em trabalhos acadêmicos*. 2015. Monografia (Graduação) - Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.
- RESISTIVE vs Capacitive Touchscreen. 2012. Disponível em: <<https://techexplainer.wordpress.com/2012/04/02/resistive-vs-capacitive-touchscreen/>>. Acesso em: 28/03/2018. Citado 3 vezes nas páginas 46, 47 e 48.
- SENTHILKUMAR, G.; GOPALAKRISHNAN, K.; KUMAR, V. S. Embedded image capturing system using raspberry pi system. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, v. 3, n. 2, p. 213–215, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 45.
- SHEN, B. Y.; MUKAI, S. A portable, inexpensive, nonmydriatic fundus camera based on the raspberry pi® computer. *Journal of ophthalmology*, Hindawi, v. 2017, 2017. Citado na página 34.
- SHIPMAN, J. W. *Tkinter 8.4 reference: a GUI for Python*. 2013. Disponível em: <<http://infohost.nmt.edu/tcc/help/pubs/tkinter.pdf>>. Acesso em: 15/04/2018. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 58.
- SILBERT, D. I.; MATTA, N. S. Performance of the spot vision screener for the detection of amblyopia risk factors in children. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, Elsevier, v. 18, n. 2, p. 169–172, 2014. Citado na página 22.
- SILBERT, J. et al. Pupil size and anisocoria in children measured by the plusoptix photoscreener. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, Elsevier, v. 17, n. 6, p. 609–611, 2013. Citado na página 27.
- SINGMAN, E. et al. A comparison of referral criteria used by the plusoptix photoscreener. *Strabismus*, Taylor & Francis, v. 21, n. 3, p. 190–194, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 22.

TANAKA, L. C.; CAMARGO, F. M.; GOTARDO, R. A. Sistema gerenciador de banco de dados: Sgbd exist xml. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e de Gestão Tecnológica*, v. 2, n. 1, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 56 e 57.

VISION, P. *Palmetto Elementary Case Study*. 2012. Disponível em: <www.centraltexaslionskidsight.org/uploads/9/9/1/2/9912903-/spot_palmettoelementary_casestudy.pdf>. Acesso em: 25/10/2017. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 56.

WEINAND, F.; GRÄF, M.; DEMMING, K. Sensitivity of the mti photoscreener for amblyogenic factors in infancy and early childhood. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology*, Springer, v. 236, n. 11, p. 801–805, 1998. Citado na página 26.

WONG, H. B.; LIM, G. H. Measures of diagnostic accuracy: sensitivity, specificity, ppv and npv. *Proceedings of Singapore healthcare*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 20, n. 4, p. 316–318, 2011. Citado na página 42.