



USO DE EQUIPAMENTO VESTÍVEL PARA CAPTURA DO AMBIENTE
FLORESTAL. ESTUDO DE CASO: CONTAGEM DE FOLHAS DE DOSSEL

Mateus Coelho Silva

Orientadores: Ricardo Augusto Rabelo Oliveira
Servio Pontes Ribeiro

Ouro Preto
Fevereiro de 2020

USO DE EQUIPAMENTO VESTÍVEL PARA CAPTURA DO AMBIENTE
FLORESTAL. ESTUDO DE CASO: CONTAGEM DE FOLHAS DE DOSSEL

Mateus Coelho Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientadores: Ricardo Augusto Rabelo
Oliveira
Servio Pontes Ribeiro

Ouro Preto
Fevereiro de 2020

S586u

Silva, Mateus Coelho.

Uso de equipamento vestível para captura do ambiente florestal
[manuscrito]: estudo de caso: contagem de folhas de dossel / Mateus Coelho
Silva. - 2019.

78f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Rabelo Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Pontes Ribeiro.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de
Ciências Exatas e Biológicas. Departamento de Computação. Programa de Pós-
Graduação em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação.

1. Computação vestível. 2. Visão computacional. 3. Sistemas embarcados
(Computadores). I. Oliveira, Ricardo Augusto Rabelo. II. Ribeiro, Sérgio
Pontes. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 004.358

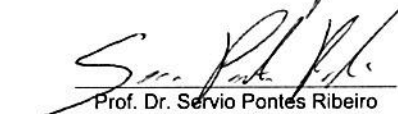



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO


Aos 05 dias do mês de julho do ano de 2019, às 09:00 horas, nas dependências do Departamento de Computação (Decom), foi instalada a sessão pública para a defesa de dissertação do mestrando **Mateus Coelho Silva**, sendo a banca examinadora composta pelo Prof. Dr. Ricardo Augusto Rabelo Oliveira (Presidente - UFOP), pelo Prof. José Augusto Miranda Nacif (Membro - Externo), pelo Prof. Dr. Saul Emanuel Delabrida Silva (Membro - UFOP) e pelo Prof. Dr. Servio Pontes Ribeiro (Co-Orientador - UFOP). Dando início aos trabalhos, o presidente, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de dissertação, concedeu ao mestrando 60 minutos para apresentação do seu trabalho intitulado "Uso de Equipamento Vestível para Captura do Ambiente Florestal. Estudo de Caso: Contagem de Folhas de Dossel". Terminada a exposição, o presidente da banca examinadora concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 60 minutos para perguntas e respostas ao candidato sobre o conteúdo da dissertação, na seguinte ordem: Primeiro, Prof. José Augusto Miranda Nacif; segundo, Prof. Saul Emanuel Delabrida Silva; terceiro, Prof. Servio Pontes Ribeiro; quarto, Prof. Ricardo Augusto Rabelo Oliveira. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca examinadora procedesse à análise e decisão, anunciando, a seguir, publicamente, que o mestrando foi aprovado por unanimidade, sob a condição de que a versão definitiva da dissertação deva incorporar todas as exigências da banca, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 6 (seis) meses à Coordenação do Programa. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, vai assinada pelos membros da banca examinadora e pelo mestrando. Ouro Preto, 05 de julho de 2019.


Prof. Dr. Ricardo Augusto Rabelo Oliveira

Presidente


Prof. Dr. Servio Pontes Ribeiro


Prof. José Augusto Miranda Nacif


Prof. Dr. Saul Emanuel Delabrida
Silva


Mestrando

*Nós somos uma maneira do
cosmos conhecer a si mesmo.*

Carl Sagan

Agradecimentos

A jornada nunca foi simples. Contudo, aquele que tem amigos nunca está sozinho. Gostaria de dedicar essa conquista aos meus amigos. Aos amigos de dentro de casa, que sempre me dão força. Aos amigos do laboratório iMobilis, por acompanharem a jornada com boas risadas. Aos amigos que estão longe, por provarem que a ponte entre o Brasil e os Emirados não é tão longa. Aos amigos que não vejo há muito tempo, pois espero encontrá-los. Aos amigos que converso sempre, pois espero não perdê-los nos ciclos da vida.

Obrigado pela estadia.

O autor gostaria de agradecer à FAPEMIG, CAPES, CNPq e UFOP pelo fomento ao projeto de pesquisa apresentado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo da Dissertação apresentada à UFOP como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

USO DE EQUIPAMENTO VESTÍVEL PARA CAPTURA DO AMBIENTE FLORESTAL. ESTUDO DE CASO: CONTAGEM DE FOLHAS DE DOSSEL

Mateus Coelho Silva

Fevereiro/2020

Orientadores: Ricardo Augusto Rabelo Oliveira
Servio Pontes Ribeiro

Programa: Ciência da Computação

O crescimento do uso de dispositivos vestíveis com computadores embarcados é um aspecto observado tanto em aplicações comerciais quanto no ambiente acadêmico. Apesar disso, ainda há poucos registros de pesquisa e cooperação no sentido de desenvolver equipamentos vestíveis para pesquisa em campo. Uma das áreas onde esse tipo de tecnologia pode ser aplicada para melhorar o processo de pesquisa é a ecologia. Especialmente no estudo de dosséis florestais, as restrições de segurança e processos manuais apresentam um potencial de aplicação e melhoria através dispositivos vestíveis. Dessa maneira, esse trabalho apresenta uma análise de aspectos do desenvolvimento de protótipos para o uso de equipamento vestível na realização de tarefas de captura do ambiente florestal.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviações

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.1.1	Dosseis Florestais	3
1.1.2	Estudos de Dosséis	4
1.2	Descrição do Problema	4
1.2.1	Estudo de Caso	6
1.3	Objetivos	7
1.4	Contribuições	8
1.5	Instituições Envolvidas	9
1.6	Organização do Texto	9
2	Referencial Teórico	11
2.1	Requisitos de um Sistema Embarcado Vestível	11
2.2	Dispositivos Vestíveis	14
2.2.1	Definição de Dispositivos Vestíveis	14
2.2.2	Vestíveis em Ecologia	18
2.3	Extração de Informações a partir de Vestíveis	20
2.3.1	Fusão de Dados	20
2.3.2	Visão Computacional	22
3	Metodologia	25
3.1	Definição de Requisitos	25
3.2	Desenvolvimento de Protótipos	26
3.2.1	Primeiro Protótipo	28
3.2.2	Segundo Protótipo	31
3.2.3	Terceiro Protótipo	38

SUMÁRIO

4	Resultados e Discussões	45
4.1	Primeiro Protótipo	45
4.1.1	Resultados dos Testes	47
4.2	Segundo Protótipo	52
4.2.1	Resultados dos Testes	53
4.2.2	Resultados dos Testes - Otimizações de Arquitetura	54
4.3	Terceiro Protótipo	57
4.3.1	Resultados dos Testes	58
4.3.2	Resultados dos Testes - Otimizações de Arquitetura	61
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	67
5.1	Conclusões	67
5.2	Trabalhos Futuros	68
5.3	Agradecimento aos Órgãos de Fomento	68
	Referências Bibliográficas	69

Lista de Figuras

1.1	Exemplo de Dossel Florestal	3
1.2	Visão Inferior de um Dossel Florestal	5
1.3	Ilustração do Método do Cilindro	6
1.4	Aplicação do Método do Cilindro em Dosséis Florestais, retirada do acervo do prof. Sérgio P. Ribeiro	7
1.5	Conjectura a respeito do uso de equipamentos vestíveis em pesquisas de dosséis florestais	7
2.1	Diagrama de co-design	12
2.2	Diagrama Y de Gajski-Kuhn	13
2.3	Dispositivos vestíveis comerciais	15
2.4	Locais no corpo onde se utilizam dispositivos vestíveis, adaptado de [1]	17
2.5	Aplicações de vestíveis em diferentes partes do corpo, adaptado de [1]	18
2.6	Resultado da Pesquisa na plataforma Scopus	19
3.1	Diagrama de Gajski-Khun realçando as etapas de prototipagem em alto nível	27
3.2	Pirâmide de Requisitos para Prototipagem em Alto Nível	28
3.3	Arquitetura Proposta para o Primeiro Protótipo	29
3.4	Diagrama Esquemático de Conexões do Primeiro Protótipo	30
3.5	Sensor de Corrente ACS714	31
3.6	Primeira Arquitetura Proposta para o Segundo Protótipo	33
3.7	Arquiteturas Alternativas para o Segundo Protótipo	34
3.8	Sensores de Corrente ACS712	35
3.9	Diagrama do Teste de Qualidade de Serviço	36
3.10	Teste de Precisão do LIDAR	38
3.11	Terceira versão do protótipo	39
3.12	Arquitetura da terceira versão do sistema	40
3.13	Tela principal de funcionamento da plataforma WeCOST, adaptada de [1]	40
3.14	Processo de fusão de dados em aplicação	41

LISTA DE FIGURAS

3.15	Algoritmo para aplicação de fusão de dados	42
3.16	Diagrama do sistema de testes de energia	43
3.17	Teste de qualidade de dados para o terceiro protótipo	44
4.1	Protótipo produzido de acordo com a Primeira Arquitetura	46
4.2	Algoritmo Utilizado na primeira aplicação	47
4.3	Padrões de Corrente do Teste de Energia	48
4.4	Resultado do Teste de <i>Long Run</i> para o Primeiro Protótipo	49
4.5	Visualização dos Testes de Precisão da IMU	50
4.6	Visualização dos Testes de Precisão do LIDAR	51
4.7	Protótipo Produzido de acordo com a Segunda Arquitetura	52
4.8	<i>Frame</i> gerado utilizando o Segundo Protótipo	53
4.9	Resultado do Teste de <i>Long Run</i> para o Segundo Protótipo	54
4.10	Teste de <i>Long Run</i> para a Arquitetura 1-Nodal	55
4.11	Teste de <i>Long Run</i> para a Arquitetura 2-Nodal	55
4.12	Teste de <i>Long Run</i> para a Arquitetura 3-Nodal	56
4.13	Captura do anteparo de calibração	58
4.14	Pontos obtidos a partir da calibração experimental	58
4.15	Modelo de Regressão Linear	59
4.16	Modelo de Regressão “Polinomial”	60
4.17	Comparação entre os modelos de regressão	61
4.18	Colocação de objetos virtuais usando Fusão de Dados	61
4.19	Consumo energético médio em cada etapa	62
4.20	Comportamento do consumo médio temporal do protótipo	63
4.21	Resultados dos testes de precisão	64
4.22	Resultados dos testes de precisão após a calibração	65

Lista de Tabelas

4.1	Resultado do Teste de Qualidade de Serviço	57
4.2	Resultado do Teste de Qualidade de Dados	57
4.3	Resultados dos Testes de <i>Long Run</i>	63

Lista de Abreviações

BSN *Body Sensor Network*, Redes de Sensores Corporais

CNN *Convolutional Neural Network*, Rede Neural Convolutacional

DoF *Degrees-of-Freedom*, Graus de Liberdade

HUD *Head-Up Display*

HW Hardware

IMU *Inertial Measurement Unit*, Unidade de Medição Inercial

IoT *Internet of Things*, Internet das Coisas

LIDAR *Laser Radar*

PAN Personal Area Network

PWM *Pulse-Width Modulation*, Modulação em Largura de Pulso

QoS *Quality of Service*, Qualidade de Serviço

SO Sistema Operacional

SoC *System-on-Chip*, Sistema em Chip

SW Software

WBAN *Wireless Body Area Network*

WSN *Wireless Sensor Network*, Redes de Sensores Wireless

Capítulo 1

Introdução

A integração de atividades humanas e sistemas computacionais dá origem ao conceito de sistemas ciber-físicos. Rajukmar *et al.* [2] ressaltam que esses sistemas transformam a maneira como as pessoas interagem com o mundo ao seu redor. Baheti e Gill [3] ressaltam que essa revolução possibilita o desenvolvimento de futuras tecnologias. Lee [4] afirma que essas novas arquiteturas de sistemas são possibilitadas por computadores embarcados e com conectividade.

Essa tendência é reforçada por um conjunto de características típicas de determinados sistemas embarcados. Sistemas com dispositivos independentes que possuem conexão, por exemplo, são parte de uma tendência chamada *Internet of Things* (IoT). Shin e Park [5] reforçam que esse tipo de tecnologia promove mudanças no espectro social, negócios e na maneira como interagimos com o mundo.

Dentro desse contexto, um tipo especial de dispositivo que tem ganhado notoriedade são os vestíveis. Billinghamurst e Starner [6] afirmam que essas soluções apresentam novas maneiras de adquirir e gerenciar informações. Estes dispositivos possuem grande flexibilidade, e podem ser utilizados em diversos contextos como:

- Facilitar mudanças de atitude quanto à saúde [7];
- Monitorar atividades físicas [8–10];
- Monitorar a saúde de usuários, [11–13], inclusive o estado mental [14];
- Auxiliar a navegação para deficientes visuais [15–17];
- Extrair informações de condições ambientais [18–20];

Essa flexibilidade e diversidade de áreas significa também que a computação tem que trabalhar em interdisciplinaridade. Hoje vestíveis são essenciais para trabalhos perigosos na indústria e caracterização de ambientes industriais altamente monitorados [21–23] e mesmo em trabalhos sensíveis e de difícil acesso no corpo para cirurgias [24–26].

No entanto, seu uso para medições em ambientes de pesquisa científica não é tão difundido quanto se esperaria. Pesquisas de campo em ambientes extremos, com dificuldade de acesso e mobilidade, como ambientes aquáticos, topos de árvores, penhascos, são alguns exemplos de locais críticos para realização de aferições. A possibilidade de um dispositivo não-obstrusivo coletar os dados representa um ganho em segurança e eficiência nesses processos.

O presente trabalho aborda o projeto e desenvolvimento de uma tecnologia vestível para aplicação no ambiente florestal, em especial para permitir que técnicos de escalada obtenham dados científicos dos dosséis das florestas com a mesma eficiência e comparabilidade que são obtidos no solo. Dados abióticos de temperatura, umidade etc, são fáceis para um técnico obter, mas medições quantitativas de dados bióticos, como densidade de folhas, lianas, níveis de herbivoria [27, 28], aferições fisiológicas [29] são mais complexos, e muitas vezes dependem do pesquisador *in locu*.

Portanto, para certas aferições no dossel sempre houve dois limitantes: treinar o escalador em ciência ou o cientista em escalada, agregado à baixa mobilidade nas copas das árvores, em se trabalhando com segurança total. Desta forma, equipar um escalador profissional, que sempre terá uma maior amplitude de movimentação em segurança, a um equipamento vestível que obtenha dados automaticamente, pode trazer grandes avanços em diferentes áreas do conhecimento relacionadas aos habitats de dossel (do clima à ecologia de interações inseto-planta).

1.1 Motivação

No âmbito das pesquisas florestais, as folhas apresentam traços bióticos funcionais relevantes a ser avaliados no dossel florestal. Cornelissen et al. [30] afirmam que a medição de parâmetros nas folhas serve como indicador de respostas do ecossistema. Eles sugerem diversas características e métodos a serem avaliados nas folhas presentes no dossel. Alguns desses parâmetros são físicos, como área foliar específica e tamanho da folha. Outros são químicos, como a quantidade de fósforo e nitrogênio presentes na folha. Eles ressaltam ainda que os parâmetros mais fáceis de serem medidos devem ser favorecidos em processos de pesquisa.

No contexto dos dosséis florestais, o acesso às áreas de pesquisa representa um aumento na dificuldade da coleta de dados. Lowman [31] afirma que plantas representam uma fonte de dados quantitativos importante no dossel florestal. Contudo, ela afirma que o avanço dos estudos nesse ambiente está diretamente relacionado ao acesso a esses estratos. Desde que o pesquisador ganhe acesso ao dossel, ele pode aplicar diversas técnicas para realizar suas avaliações. Como os dosséis são regiões de difícil acesso, essa dificuldade também expõe a necessidade para criação de técnicas

mais eficientes para a captura de dados.

Simberloff [32] reafirma essa importância no contexto do gerenciamento de florestas. Esse processo é importante na manutenção da biodiversidade. Ele afirma que há três principais ferramentas que contribuem com essa manutenção. A primeira delas é o estudo cuidadoso da história natural. A segunda é a realização de experimentos de campo controlados e replicáveis. Por fim, a terceira é o monitoramento intenso do ambiente.

As aferições desses dados no dossel florestal são importantes parâmetros sobre a saúde ambiental, inclusive servindo como indicadores dos impactos das mudanças climáticas. Stork et al. [33] ressaltam que os estudos em dosséis podem indicar qual é a resposta desses ecossistemas às mudanças climáticas. Ozanne et al. [34] indicam que é importante montar uma rede de aferições replicável em escala global, através da qual essas informações serão extraídas em diferentes regiões. Nessas aferições, a estimativa da herbivoria é essencial para prever a evolução futura da floresta.

1.1.1 Dosséis Florestais

Para gerenciar as florestas, é importante ampliar a compreensão sobre elas. Compreender o ecossistema de uma floresta passa pelo conhecimento da biodiversidade desse ambiente. Para conhecer melhor a biodiversidade, Ozanne *et al.* [34] apresentam a importância do papel dos dosséis florestais. De acordo com eles, **Dosséis Florestais** são a junção das copas das árvores de uma floresta. Os autores ressaltam que os dosséis desempenham um papel crucial dessas estruturas na manutenção da biodiversidade e provisão dos ecossistemas local e global.



Figura 1.1: Exemplo de Dossel Florestal

A Figura 1.1 mostra um exemplo de foto aérea de dossel florestal¹. Nakamura *et al.* [35] sustentam que os dosséis são interfaces dinâmicas entre organismos e a atmosfera. Eles formam ecossistemas estratificados verticalmente, e são regiões com alta biodiversidade e possibilitadores de processos bioquímicos. Eles ainda ressaltam que o entendimento dos dosséis é vital para gerenciar e conservar os ecossistemas florestais.

1.1.2 Estudos de Dosséis

Ribeiro e Corbara [36] afirmam que parte do desconhecimento das espécies florestais ocorre devido aos topos de florestas (dosséis) serem menos estudados que a camada abaixo das copas das árvores. Eles exemplificam o esforço citando uma iniciativa internacional na qual participaram para realizar estudos de caracterização de dosséis. O objetivo dos pesquisadores é buscar essas respostas escondidas nos topos das árvores.

Ribeiro e Corbara [36] ressaltam ainda que cerca 95% das espécies viventes no planeta são insetos. Se considerarmos as espécies de animais, esse percentual chega a 99%. A insuficiência de estudos em dosséis mencionada também prejudica o conhecimento da distribuição de insetos em todos os *habitats* da floresta.

Todos esses fatores indicam a importância do estudo de dosséis para a ecologia. A contribuição da tecnologia em auxílio aos cientistas que estudam a área é importante para o desenvolvimento da ciência. O estudo intensificado dos dosséis florestais irá permitir o melhor conhecimento e preservação desses ecossistemas. Dessa maneira, o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem os estudos ecológicos é uma maneira de utilizar a ciência para conhecer e proteger o planeta.

1.2 Descrição do Problema

Conforme demonstrado, o gerenciamento de florestas e o estudo de dosséis florestais são tópicos importantes na preservação ambiental, direcionando decisões econômicas e mesmo políticas públicas. Ainda, esses processos carecem de novos equipamentos, especialmente para procedimentos de pesquisa realizados dentro do ambiente florestal.

Portanto, nesse trabalho analisamos as perspectivas do uso de equipamentos vestíveis em pesquisas de campos de ecologia através dos estudos de dosséis. O acesso aos dosséis florestais é difícil e requer habilidades de escalada específicas. Por consequência disso, esses procedimentos de pesquisa expõem os pesquisadores a um

¹Vista em 19/06/2016 em <https://ak3.picdn.net/shutterstock/videos/29093113/thumb/1.jpg>



Figura 1.2: Visão Inferior de um Dossel Florestal

nível alto de risco. A Figura 1.2 mostra a visão inferior de um dossel florestal². Como é possível perceber, muitas árvores possuem alturas consideráveis e acesso difícil.

Mazzochi *et al.* [37] classificam a escalada de árvores como uma atividade de alto risco, dado a grande altura e conseqüente risco de queda. Quanto maior o tempo no qual o escalador se encontra suspenso, maior o risco de um acidente. Dessa forma, é importante coletar o máximo de informações possível e coletar essas informações com a maior velocidade possível.

Os estudos de dosséis são realizados essencialmente por biólogos portando equipamentos analógicos, mecânicos ou mesmo manuais. Os bons resultados obtidos pelos biólogos são através de dados coletados em processos manuais, dispondo de instrumentação eletrônica mínima ou quase nenhuma. O nível de informatização e automação dessa etapa do processo é mínima.

Sob a perspectiva de computação embarcada, isso apresenta um campo ainda pouco explorado, onde sistemas embarcados e vestíveis podem ser aplicados em favor desses pesquisadores.

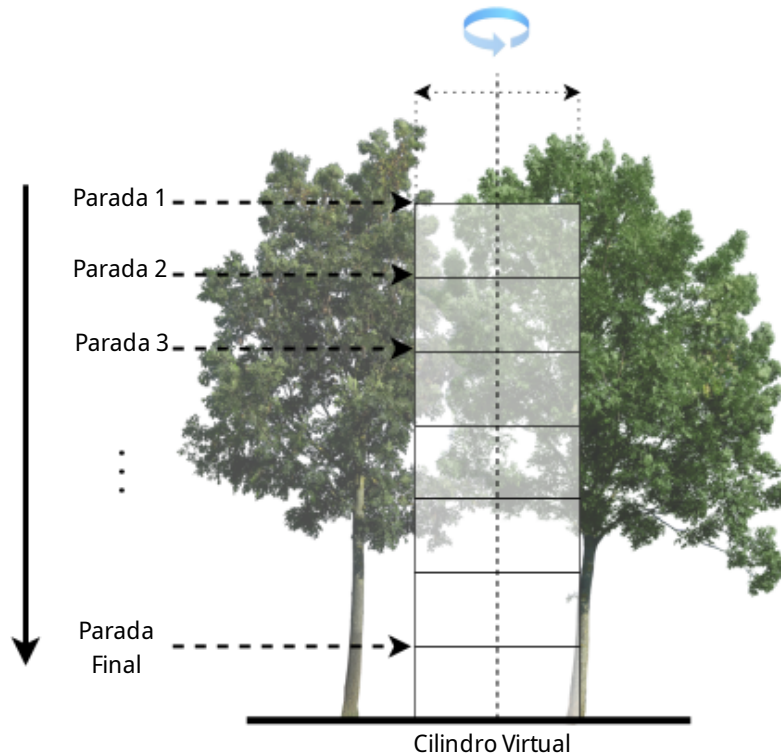


Figura 1.3: Ilustração do Método do Cilindro

1.2.1 Estudo de Caso

A tarefa que serve como estudo de caso nesse trabalho é o método do cilindro (*Pin-Cylinder Transect Method*) [27, 38, 39]. Esse método estabelece uma região virtual cilíndrica de um metro de diâmetro para estudos dentro do dossel. Essa região começa em um local aleatório na parte alta do dossel e termina a uma distância de três metros sobre o chão.

Nesse método, o pesquisador para em alturas específicas enquanto desce pelo dossel. Em cada parada, o pesquisador amostra a quantidade de folhas e analisam qualitativamente algumas características delas. A Figura 1.3 ilustra a região do cilindro e as paradas do pesquisador.

Conforme mencionado, o processo aplicado é manual e expõe o pesquisador ao risco de permanecer durante horas em processo de escalada de árvores altas com diversos equipamentos em mãos. A Figura 1.4 mostra a aplicação do método do cilindro no contexto.

Através das etapas de construção e validação de protótipos nesse sentido, esperamos estabelecer caminhos para o uso de equipamentos vestíveis em pesquisas de campo. A Figura 1.5 mostra uma conjectura de como dispositivos vestíveis podem apresentar informações ao pesquisador durante escaladas em dosséis florestais.

²Visto em 19/06/2019, em <https://foreststewardshipnotes.files.wordpress.com/2014/05/forest-canopy-comp-w-wa-mature-forest-upper-skagit-rvr.jpg>



Figura 1.4: Aplicação do Método do Cilindro em Dosséis Florestais, retirada do acervo do prof. Sérgio P. Ribeiro



Figura 1.5: Conjectura a respeito do uso de equipamentos vestíveis em pesquisas de dosséis florestais

1.3 Objetivos

Conforme mencionado na seção anterior, os processos de pesquisa em campo de ecólogos são normalmente pouco automatizados. Essa situação apresenta uma área de pesquisa com potencial de inovação tecnológica para cientistas envolvidos no estudo de sistemas embarcados. Sendo assim, esse projeto tem o seguinte objetivo:

- Analisar a perspectiva do uso de dispositivos vestíveis em pesquisas de dosséis

através de um estudo de caso.

Os tópicos, análises e contribuições que esse projeto busca contemplar são:

- Analisar as perspectivas de uso de sistemas embarcados em ambientes externos;
- Realizar um trabalho interdisciplinar, promovendo a cooperação entre pesquisadores de diferentes áreas;
- Conhecer o alcance do uso de equipamentos vestíveis em pesquisas de ecologia, especialmente em pesquisas de dosséis;
- Revisar aspectos metodológicos do projeto de sistemas embarcados, especialmente no contexto de vestíveis;
- Propor e evoluir arquiteturas para construir um sistema embarcado vestível para realizar pesquisas de dosséis;
- Propor e desenvolver protótipos de acordo com as arquiteturas concebidas para realizar processos que auxiliem as pesquisas em dosséis florestais;
- Analisar propostas de otimização de arquiteturas através de mudanças em elementos de hardware e software.

1.4 Contribuições

Os dados, experimentos e resultados desse trabalho geraram ou contribuíram com os seguintes trabalhos:

- Analyzing the Effect of Increased Distribution on a Wearable Appliance - IEEE COMPSAC 2019 [Qualis A2] [40]
- Smart-Helmet development for Ecological Field Research Applications - CSBC 2019/46º SEMISH [Qualis B4] [41]
- Software and Hardware Requirements and Trade-Offs in Operating Systems for Wearables: A Tool to Improve Devices' Performance - MDPI Sensors 2019 [Qualis A1] [1]
- Toward the Design of a Novel Wearable System for Field Research in Ecology - SBESC 2018 [Qualis B2] [42]
- Capacete Inteligente para pesquisas de campo em Ecologia. Número de Registro: BR1020180720180. INPI - 2018 [Depósito de Patente]

1.5 Instituições Envolvidas

O trabalho foi realizado no laboratório *iMobilis*, localizado no Departamento de Computação (DECOM) da Universidade Federal de Ouro Preto. A pesquisa foi fomentada com bolsa de estudos do Programa de Apoio à Pós-Graduação da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

1.6 Organização do Texto

O Capítulo 2 apresenta uma visão geral do referencial teórico para o presente trabalho. Além disso, esse capítulo ainda apresenta o estado da arte do uso de equipamentos vestíveis em pesquisas de campo para ecologia. O Capítulo 3 aborda a metodologia de estabelecimento de requisitos, projeto de protótipos e testes de validação. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos para cada etapa de desenvolvimento. O capítulo 5 aborda as conclusões obtidas através dos resultados da pesquisa e os próximos passos no sentido de cumprir o objetivo.

Capítulo 2

Referencial Teórico

O capítulo anterior apresentou uma visão geral sobre o gerenciamento de florestas e o estudo de dosséis florestais. Nele, foram apresentados elementos que demonstram a importância da criação de novas tecnologias que atendam a uma demanda por aplicações inovadoras, especialmente para estudos realizados dentro da floresta. Esse capítulo apresenta os elementos necessários para constituir um sistema embarcado, que é o tipo de solução portátil para o interior do ambiente florestal. Portanto, são discutidos conceitos importantes para evoluir em direção ao objetivo principal desse trabalho.

Vahid e Givargis [43] afirmam que é difícil obter uma definição perfeita para um sistema embarcado. Contudo, eles afirmam que esses sistemas possuem um conjunto de características em comum. Segundo eles, sistemas embarcados trabalham sempre com a mesma função, possuem restrições fortes de projeto, são reativos e de tempo real. Um dispositivo embarcado trabalha sempre com o mesmo objetivo, e tem limitações de multifuncionalidade em relação a computadores *Desktop*.

2.1 Requisitos de um Sistema Embarcado Vestível

A prototipagem de sistemas embarcados vestíveis iniciam no estabelecimento de requisitos. As principais restrições de um sistema embarcado são: **energia**, **robustez** e **comunicação/sincronização** [44]. Além disso, dispositivos vestíveis possuem limitações mais rigorosas quanto a geometria e conforto. Essas limitações muitas vezes não são o foco para o projeto de sistemas de uso geral. Além disso, eles devem responder continuamente a estímulos e executar tarefas em um intervalo definido de tempo sem atraso.

Xie *et al.* [45] apresentam o requisito de **Energia** como o primeiro requisito a ser analisado nesse tipo de sistema, especialmente para sistemas heterogêneos e distribuídos. Informação essa também reforçada por Tan e Yin [46] e Munoz *et al.* [47]. Cherupalli *et al.* [48] afirmam ainda que sistemas vestíveis, IoT e redes de

sensores usualmente possuem fortes restrições energéticas.

Comunicação e **Sincronização** juntos, formam um requisito básico de sistemas embarcados e vestíveis. Fracarolli *et al.* afirmam que o projeto de um sistema embarcado precisa considerar requisitos de comunicação antes mesmo do *co-design* de Hardware e Software. Chen *et al.* [49] e Abad *et al.* constataam ainda que o requisito de tempo-real de um sistema embarcado, especialmente distribuído, é crítico. Esse conhecimento é importante para o controle dos processos associados, monitoramento e prevenção de erros.

O requisito de **Robustez** também é um dos principais a ser considerado no projeto de sistemas embarcados e vestíveis [50]. Ele possui dois aspectos principais. O primeiro deles é o aspecto estrutural, que deve ser levado em conta na construção de protótipos e produtos. O segundo é uma “robustez funcional”, que acontece através de um projeto baseado em requisitos. Alnawasreh *et al.* [51] chamam atenção ainda para o fato de que sistemas com distribuição possuem mais fontes de falha que sistemas não-distribuídos. Barkalov *et al.* [52] ressaltam ainda que o projeto de sistemas embarcados e distribuídos necessita focar também nessa prevenção de falhas.

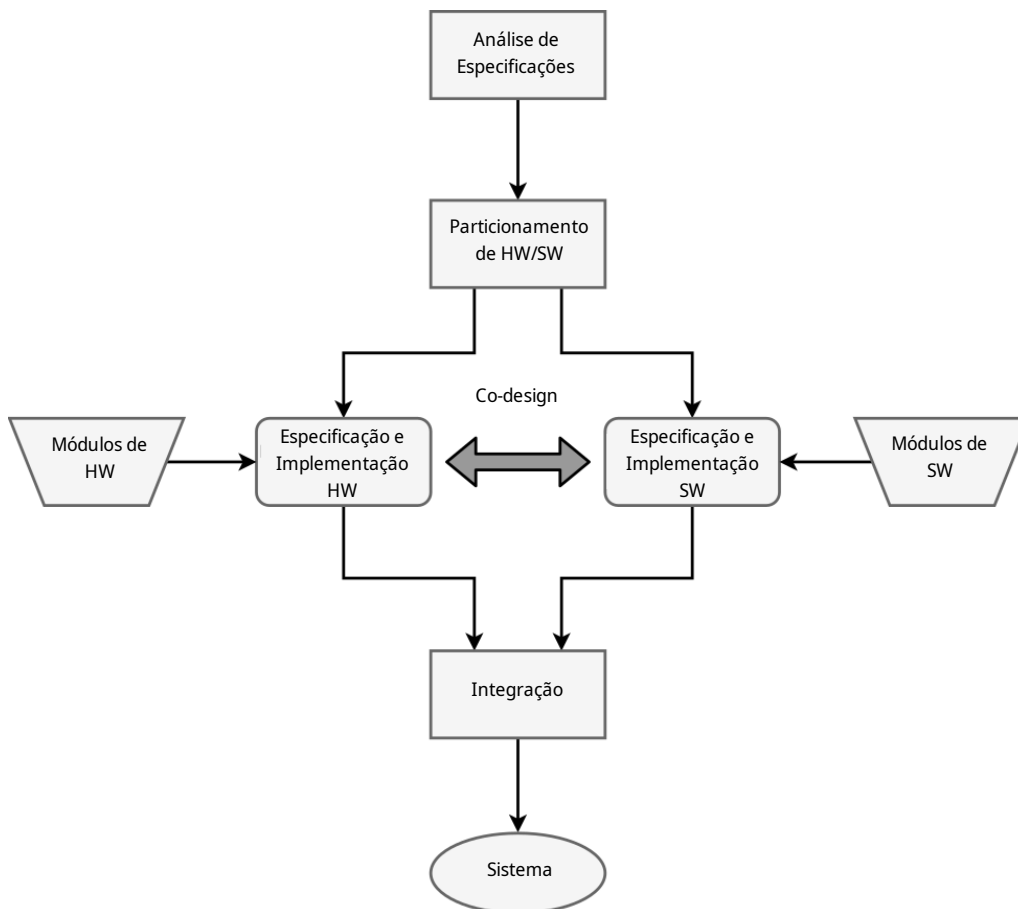


Figura 2.1: Diagrama de co-design

Camposano e Wilberg [53] afirmam ainda que sistemas embarcados possuem um

conjunto de características que devem ser respeitadas. O sistema deve executar as suas tarefas corretamente, respeitar restrições de tempo real, são digitais e possuem software embarcado.

Segundo esses autores, o controle do funcionamento do sistema é em parte controlado pelo Hardware e em parte pelo Software. Portanto, o projeto e implementação de HW e SW geralmente são paralelos. O desenvolvimento paralelo é conhecido como *co-design*. A Figura 2.1, baseada na representação de Jansen [54], representa o processo de desenvolvimento de HW e SW concorrente chamado *co-design*.

Para compreender o processo necessário para projetar um sistema embarcado, Gajski e Khun [55] criaram uma representação gráfica dos requisitos do sistema ordenados em 3 classes: **Comportamentais**, **Estruturais** e **Geométricos**. Essa representação pode ser vista na Figura 2.2.

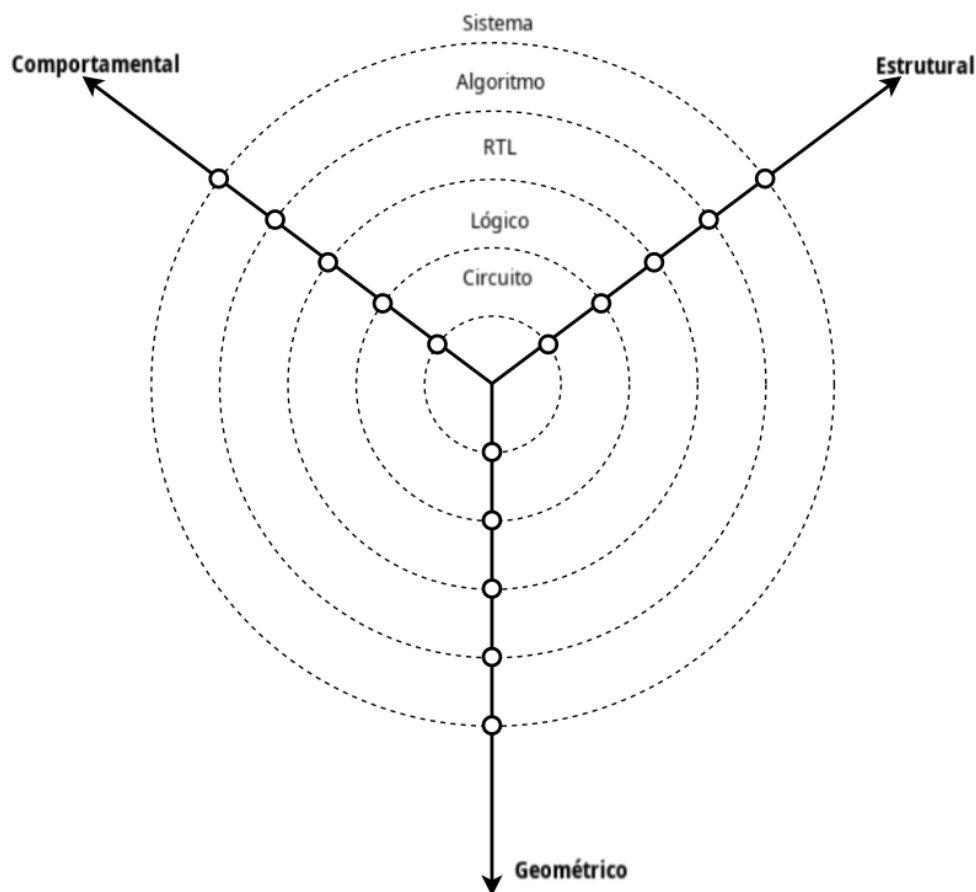


Figura 2.2: Diagrama Y de Gajski-Kuhn

Os círculos concêntricos do diagrama representam níveis de abstração na hora de conceber o sistema. Quanto mais distante do centro, maior o grau de abstração onde se está trabalhando. Embora existam diversas trilhas representadas em diagramas de Gajski-Kuhn [55–59], a maior parte dos cientistas recomenda um processo com topologia *Top-Down*, das camadas mais externas (maior abstração) até as camadas

mais internas (maior refinamento). O processo geralmente se inicia no estabelecimento de requisitos comportamentais (*behavioral*).

Conforme dito acima, o desenvolvimento de um sistema embarcado passa por diversas etapas. É preciso aliar o conhecimento de Hardware e Software para dimensionar, caracterizar e planejar a execução do projeto. Nesse sentido, é preciso caracterizar bem o problema a ser resolvido, estudar outros dispositivos que resolvem problemas semelhantes. Além disso, é importante revisar as técnicas, dispositivos e algoritmos que serão utilizados dentro do trabalho.

O sistema é composto essencialmente por dispositivos vestíveis, prototipados com microcomputadores com esse fim que executam diversas tarefas. As tarefas mais complexas são algoritmos de extração de informação que envolvem fusão de dados e visão computacional.

Sendo assim, é preciso conhecer os conceitos de dispositivos vestíveis, fusão de dados e visão computacional. Além disso, é necessário conhecer o estado da arte envolvendo essa classe de dispositivos, principalmente usando as técnicas citadas acima.

2.2 Dispositivos Vestíveis

Antes de discutir as possibilidades de uso de um vestíveis, é necessário primeiro entender o conceito por trás desses dispositivos. Existem diversas definições para esse tipo de dispositivo. Contudo, apesar de definições serem diversas, alguns aspectos aparecem frequentemente e podem ajudar a construir uma definição mais completa dos requisitos e características para definir um sistema como vestível.

2.2.1 Definição de Dispositivos Vestíveis

Uma definição inicial para vestíveis é de dispositivos tecnológicos embarcados que podem ser integrados como peças de vestuário. Bonato [60] apresenta os dispositivos vestíveis como “dispositivos totalmente não-obstrusivos”, em seu trabalho sobre o uso desses elementos em aplicações da área de saúde.

A Figura 2.3 apresenta dispositivos vestíveis comerciais¹, usados para monitoramento da saúde do usuário através de passos ou mesmo de movimentos durante o sono. Dispositivos como esses usam técnicas similares às apresentadas por Yang e Hsu [61] para monitoramento de atividades físicas.

Billinghurst e Starner [6] afirmam que os vestíveis tem que satisfazer a três objetivos. O primeiro é a mobilidade. Os dispositivos devem ser portáteis para

¹Fonte da Imagem: http://fitbit.expertproductinquiry.com/ClientImages/force_both_1600x925.png (Visto em 19/09/2017)



Figura 2.3: Dispositivos vestíveis comerciais

onde o usuário for. O segundo é “ampliar a realidade”. Essa característica pode ser adicionada sobrepondo imagens e/ou sons gerados por computador ao ambiente real percebido pelo usuário. O terceiro objetivo é adicionar sensibilidade ao contexto, ou seja, a capacidade de detectar mudanças no ambiente monitorado.

Rhodes [62] indica que a definição generalista de dispositivos vestíveis é de computadores que estão com o usuário durante todo o tempo. Segundo esse autor, esse computador deve ser confortável e fácil de manter e usar, como qualquer peça de roupa.

Apesar de a definição generalista ser suficiente para englobar a maioria dos vestíveis, ela ainda é pobre em detalhes. O trabalho de Rhodes cita ainda características essenciais para sistemas vestíveis:

- Portátil enquanto está operando;
- Utilizável sem precisar das mãos;
- Possui sensores;
- Recolhe e trata informações mesmo em estado passivo;
- Sempre ativo e funcionando.

Segundo esse autor, essas peculiaridades servem para diferenciar simples assistentes pessoais digitais de dispositivos vestíveis.

Como mencionado, uma característica importante dos vestíveis é possuir sensores e estar sempre ativo e operante. Essa característica é importante para tornar o sistema “consciente” a mudanças em variáveis monitoradas. Para aplicações de uso externo, como o alvo desse estudo, é importante que o sistema seja capaz de detectar

e extrair características do ambiente. A sensibilidade de um programa ou dispositivo a mudanças no contexto do ambiente é conhecida como “*Context-Awareness*”.

Pascoe [63] estuda o aumento da sensibilidade de vestíveis a mudanças no contexto do ambiente através de sensores. Seu trabalho identifica quatro capacidades genéricas contextuais que são usadas por vestíveis para aumentar a percepção do contexto. As características são sensoriamento, adaptação, descoberta de recursos e ampliação. Essas características foram aplicadas a um dispositivo também usado em campo em ecologia, e são importantes também para a solução produzida no trabalho descrito nessa dissertação.

O conceito de dispositivos vestíveis passa constantemente pela “ampliação da realidade”. Em seu livro, Barfield [64] analisa a evolução histórica dos dois conceitos e como eles se relacionam. As definições de “Realidade Aumentada” apresentadas convergem no sentido de ser uma aplicação que combina os mundos real e virtual. Frequentemente, as plataformas que possibilitam as aplicações de realidade virtual são dispositivos vestíveis. Ele ainda explicita que a maioria das pessoas define um vestível como um dispositivo suficientemente leve para ser trajado.

Starner *et al.* [65] analisam os benefícios que realidade ampliada por vestíveis é capaz de fornecer. Nessa análise, os autores afirmam que esses dispositivos cumprem o objetivo de ser assistentes pessoais mais eficientes. Vestíveis apresentam novas maneiras de gerenciar e visualizar a informação.

Esses elementos tem ganhado popularidade no mercado, e vem aumentando sua presença nas casas e no dia-a-dia das pessoas. Starner [66] analisou a trajetória desses produtos até chegar às prateleiras de lojas de eletrônicos. Nessa análise, o autor considera um vestível como qualquer computador que possa ser trajado e fornecer serviços enquanto o usuário realiza outras tarefas.

Nesse trabalho, o autor também faz um levantamento dos maiores empecilhos ao se desenvolver um vestível. Segundo esse trabalho, a maior limitação de qualquer dispositivo desses é a fonte de energia. Outros desafios que devem ser sobrepostos são o aquecimento, a conectividade, gerenciamento de Entradas/Saídas e o *display*.

Amft e Lukowicz [67] analisam a evolução dos vestíveis através do tempo. O autor ressalta que a origem dos dispositivos vestíveis pode ser atribuída à invenção de relógios de bolso no século XVI. A concepção moderna desses elementos é atribuída aos trabalhos de Steve Mann e Thad Starner, no início da década de 1990. Os trabalhos desses pesquisadores foram a vanguarda da computação vestível moderna.

Novamente, esses autores estabelecem um conjunto de características que esses aparatos devem possuir. Um vestível deve estar sempre com o usuário, ter uma interface que o torna usável para qualquer um engajado em qualquer ambiente, aumentar a percepção humana sobre o ambiente e aumentar a capacidade mental do usuário através da percepção de contexto.

Os autores analisam ainda as perspectivas de avanço desse tipo de dispositivo. Segundo eles, algumas características estarão presentes na próxima geração de vestíveis. Eles citam a evolução de *head-sets*, *displays* e *touchpads* como plataformas de ampliação de realidade, melhoria da interface e usabilidade. Microssensores estarão mais presentes, cada vez mais profundamente embarcados em acessórios. Sensoriamento, comunicação e geração de energia serão características intrínsecas, mesmo em tecidos.

Amorim et al. [1] avaliam os vestíveis primeiramente pela localização onde esses dispositivos serão anexados. De acordo com os autores, esses dispositivos podem ser classificados inicialmente como colocados na cabeça, no tronco ou nos membros. Essas localidades estão ilustradas na Figura 2.4.

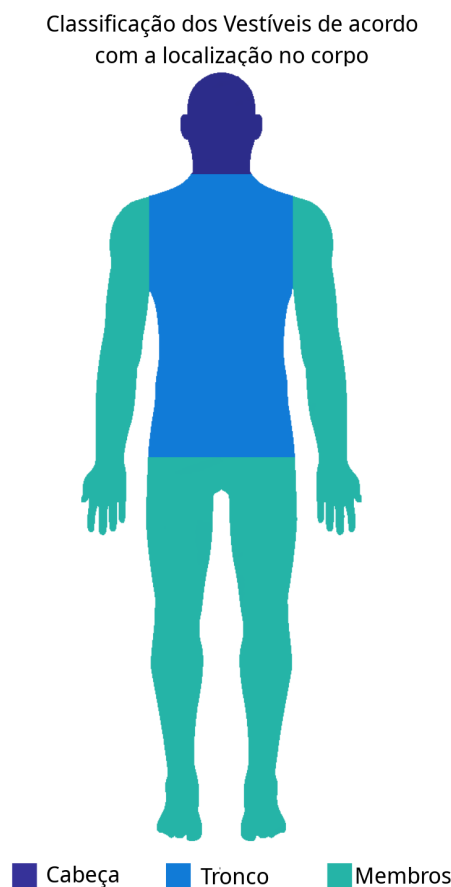


Figura 2.4: Locais no corpo onde se utilizam dispositivos vestíveis, adaptado de [1]

Os autores ainda discutem várias aplicações para cada uma dessas posições. Essas aplicações podem ser voltadas para o monitoramento de variáveis de contexto ambiental, como também para monitoramento de variáveis do ambiente. A Figura 2.5 mostra muitas destas aplicações pesquisadas apresentadas no texto.

Uma última análise pertinente a esse assunto é fornecida por Wei [68]. Seu trabalho analisa a conectividade de dispositivos vestíveis com a nuvem e a interseção com a Internet das Coisas. Ele ressalta que a segurança dos dados é importante,

Sensores Vestíveis: Localizações Corporais e Aplicações

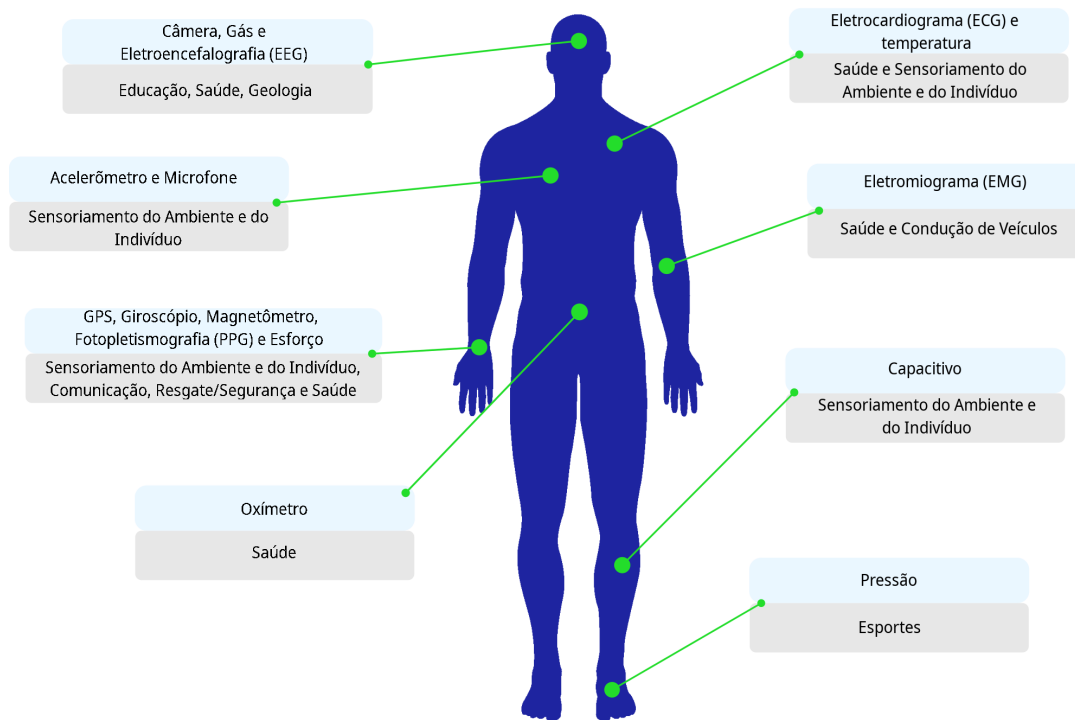


Figura 2.5: Aplicações de vestíveis em diferentes partes do corpo, adaptado de [1]

principalmente porque vestíveis normalmente armazenam dados e a tendência é que eles sejam conectados à nuvem.

Através dessa análise, é possível identificar algumas características comuns a vestíveis. É essencial que eles estejam operacionais durante todo o tempo que são trajados e que ampliem a realidade do usuário. É importante que, ao ampliar essa realidade, o dispositivo use sensores para aumentar a percepção do usuário ao ambiente. Além disso, o dispositivo deve ser sensível a mudanças no ambiente (contexto).

2.2.2 Vestíveis em Ecologia

A despeito da popularidade de dispositivos vestíveis, ainda há poucos registros na bibliografia do uso desses equipamentos em contexto de ecologia. Em 5 de junho de 2018, um balanço realizado através de uma pesquisa na plataforma *Scopus*² obteve apenas 188 resultados combinando as palavras *Wearable* e *Ecolog**. A quantidade anual de trabalhos indexados com esses termos aumenta a partir de 2012, atingindo 40 resultados em 2016. Esses números indicam que o tema é ainda pouco explorado, mas o aumento da frequência com que eles são encontrados revela um potencial de ampliação desse tipo de colaboração. A Figura 2.6 mostra o resultado desse balanço

²<https://www.scopus.com/>

feito na plataforma.

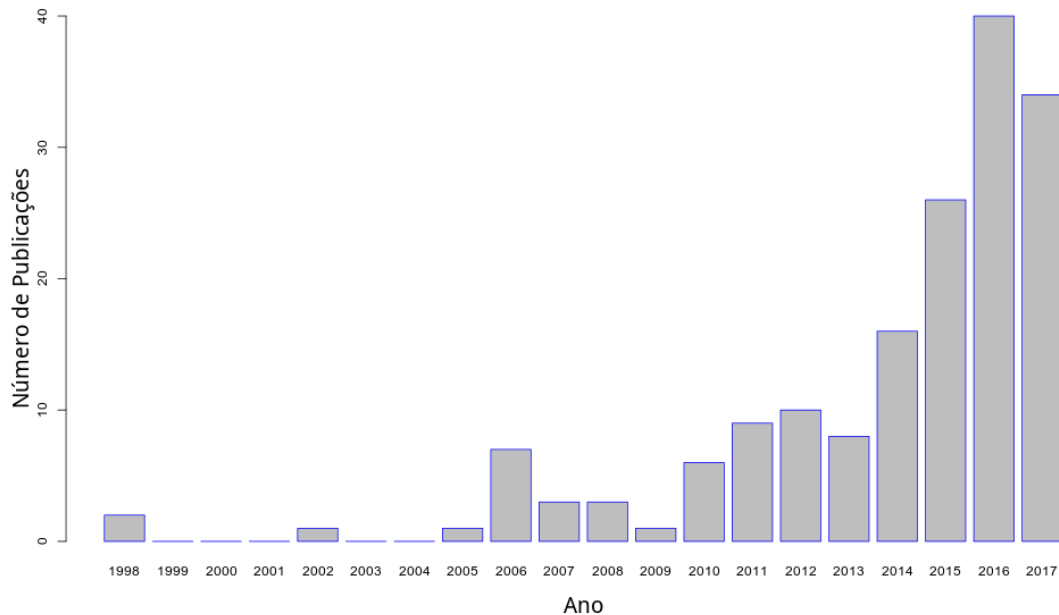


Figura 2.6: Resultado da Pesquisa na plataforma Scopus

Nesse trabalho, é importante conhecer outros trabalhos relacionados que de alguma forma se identificam com o contexto global do problema. Para isso, é preciso identificar soluções baseadas em vestíveis para Ecologia. Ao percorrer a literatura em busca de um dispositivo vestível usado para estudos de dosséis em florestas, nenhuma solução previa foi encontrada. Dessa maneira, a busca por trabalhos relacionados explora soluções criadas para procedimentos e pesquisas de campo externo.

Delabrida *et al.* [69] propuseram um novo dispositivo composto por um *Head-Up Display* (HUD) e sensores conectados a uma placa de desenvolvimento. Nessa solução, o ambiente é capturado usando uma câmera, e a aplicação de realidade aumentada é apresentada através de um *smartphone*. O aplicativo faz uso da *Google Cardboard API*³ para apresentar a imagem capturada sobreposta com os dados sensoriais. Aplicações com processamento centrado em *smartphones* são interessantes para esse tipo de aplicação, pois apresentam uma alternativa com mais mobilidade sem a necessidade de embarcar um sistema com alta capacidade computacional.

Delabrida *et al.* [70] desenvolveram outro HUD especificamente voltado para aplicações em trabalhos ecológicos de campo. Eles novamente apresentam as informações sensoriais através de aplicações baseadas em *smartphones*, usando a *Google Cardboard API*. Esse vestível possui diversas funcionalidades, como a medição de distância e o monitoramento de condições climáticas. O sistema foi construído fazendo uso de diferentes placas de desenvolvimento.

³API desenvolvida pela empresa *Google* para programação de aplicações de Realidade Virtual

Baber *et al.* [71] desenvolveram um vestível para ser usado em pesquisas de campo de arqueologia. A unidade de processamento desenvolvida por eles foi montada sobre um cinto, que também abriga alguns sensores. Esse sistema é mais antigo e dispunha de menos ferramentas. Portanto, é uma solução mais simples.

Pirkl *et al.* [72] apresentaram um sistema vestível sensorial usado em obras de construção civil. O sistema é construído sobre um capacete de segurança padrão para esse tipo de ambiente. Para realizar o sensoriamento, o dispositivo possui sensoriamento para localização usando Unidade de Medição Inercial (IMU) e Radar Laser (LIDAR), estimativa da dimensão de cômodos utilizando LIDAR, e detecção de material através de ultrassom. Uma câmera de luz infravermelha permite a visualização da temperatura de superfícies, o que pode facilitar a detecção de vazamento de materiais.

Portanto, existem diversos pesquisadores explorando o uso de vestíveis em aplicações de campo. Apesar de não haver dispositivos voltados para a realização da mesma tarefa aqui apresentada, existem soluções com características que posteriormente podem ser úteis na criação desse aparato.

2.3 Extração de Informações a partir de Vestíveis

Após a garantia de funcionamento constante e geração de dados, é necessário transformar esses dados em informação. As informações podem ser extraídas com maior ou menor grau de automação dentro do sistema, conforme a aplicação desejada pelo usuário. Dentro do universo de dispositivos vestíveis, os dados para percepção de contexto são adquiridos a partir de sensores.

O processo de geração de dados a partir de múltiplos sensores é denominado **Fusão de Dados**. A utilizarmos uma câmera como um dos sensores presentes na solução, também é necessário conhecer o processo de extração de informações a partir de imagens. Esse processo é denominado **Visão Computacional**. Esses dois contextos são abordados nessa seção, para compreender como eles se relacionam com o desenvolvimento de dispositivos vestíveis.

2.3.1 Fusão de Dados

De acordo com Hall e Llinas [73], as técnicas de fusão de dados combinam valores adquiridos por múltiplos sensores a informações prévias para aumentar a precisão da informação adquirida a partir da percepção de contexto. Eles reforçam que esse tipo de técnica tem sido utilizada em meios militares e não-militares. Em seu trabalho, eles ainda afirmam que esse processo é semelhante ao que seres humanos e animais desenvolveram para unir as informações fornecidas pelos sentidos.

Lahat *et al.* [74] entendem que cada um dos sensores ou nós-sensores apresentam uma visão ou informação diferente sobre o mesmo fenômeno. Cada elemento componente de um sistema embarcado distribuído é um nó ou modal dentro da arquitetura completa. Os autores também ressaltam que esse tipo de característica é comum aos seres vivos, em seus sentidos. A abundância de dados de diferentes naturezas faz com que a fusão de dados de múltiplos sensores seja utilizada para construção de informações de contexto. Zheng [75] ainda resalta que dados de diferentes modalidades possuem naturezas diferentes. Esses dados, portanto, possuem representação, volume, escala e densidade diferentes.

O conceito de fusão de dados tem sido utilizado em diversas aplicações. Alguns exemplos dessas aplicações são:

- Joshi *et al.* [76] usaram técnicas de fusão de dados ópticos e de radar para Mapeamento e Monitoramento de territórios.
- Ji *et al.* [77] usaram a fusão de dados de sensores como alternativa para caracterização de solos.
- Calhoun e Sui [78] utilizam fusão de dados multimodais para buscar diagnósticos de doenças cerebrais complexas.
- Wang *et al.* [79] analisam o uso de redes de sensores interconectadas em arquitetura de Internet das Coisas (*IoT*) para monitoramento de cidades.
- Kumar *et al.* [80] utilizam fusão de dados de múltiplos sensores para reconhecimento de linguagem de sinais.

A construção de sistemas embarcados é essencial para a aquisição e armazenamento de dados multimodais. A fusão de dados fornece ao usuário um retorno dos dados produzidos utilizando esses sistemas.

Fusão de Dados no Contexto de Vestíveis

Williamson *et al.* [81] ressaltam que os vestíveis são uma das principais categorias de dispositivos na Internet das Coisas. Eles são dispositivos constituídos por sensores, que possibilitam a criação de serviços mais personalizados, ainda provendo ubiquidade. Para tal, essas soluções possuem múltiplos sensores produzindo dados de contexto. Dentro dessa seção, estudamos a importância de trabalhar os dados produzidos por sistemas embarcados. Portanto, a fusão de dados é um problema importante também dentro do contexto de sistemas vestíveis.

Dentro do contexto de cuidados de saúde, por exemplo, Gravina *et al.* [82] apresentam o conceito de Redes de Sensores Corporais (BSN). Esse tipo de rede integra múltiplos sensores de monitoramento de atividades corporais/biológicas. Como

esse tipo de rede pode ser constituída por diferentes sensores ou nós-sensores, eles compõem um sistema heterogêneo requerendo atenção especial para a fusão de dados. Eles ressaltam que a heterogeneidade impacta diretamente o desempenho.

Ainda dentro do contexto de saúde, Hayeri [83] apresenta um modelo de previsão de índices de glicose baseados em fusão de dados de sensores embarcados em vestíveis e aprendizado de máquina. Com essa técnica, o sistema conseguiu prever os índices de glicose dentro da próxima hora com 93% de precisão.

Em um ambiente interconectado, os sensores embarcados em aplicações podem ser associados a sensores e equipamentos externos para a composição de um sistema baseado em Internet das Coisas. Li *et al.* [84] exploram essa possibilidade para monitoramento de atividades humanas e detecção de quedas. O sistema com múltiplos sensores e fusão de dados apresentado por eles obteve um desempenho superior a sistemas baseados em sensores únicos. Koshmak *et al.* [85] também propõem uma abordagem no mesmo sentido, utilizando sensores em vestíveis, sensores do ambiente e sensores baseados em visão computacional. Ainda, Mohebbi *et al.* [86] propõem o uso de fusão de dados de sensores vestíveis e externos para localização de pessoas em ambientes internos.

Todos esses trabalhos indicam que aumentar a modalidade de um sistema embarcado vestível para integrar múltiplos sensores requer algoritmos de fusão de dados para suas aplicações. Sistemas vestíveis podem conter sensores de diversas naturezas, inclusive sensores baseados em visão computacional.

2.3.2 Visão Computacional

Conforme mencionado na seção anterior, parte do sistema de sensoriamento de um vestível pode ser baseado em visão computacional. Em seu livro sobre o tema, Szeliski [87] diz que a capacidade humana de reconhecimento de padrões a partir de segmentações de imagens é um processo aparentemente simples. Contudo, esse processo não é compreendido completamente, a ponto de ser artificialmente reproduzível. Enquanto isso, pesquisadores de visão computacional propõem modelos de algoritmos para extração de informações e análise a partir de imagens. Ele resalta que a visão computacional apresenta problemas difíceis, por se tratar de um problema de recuperação de informação a partir de uma fonte insuficiente.

Visão Computacional no Contexto de Vestíveis

Ampliar a realidade utilizando aplicações vestíveis é um conceito explorado na literatura. Diversos autores apresentam aplicações recentes utilizando uma combinação entre visão computacional e dispositivos vestíveis.

Taverriti *et al.*, por exemplo, [88] desenvolveram uma aplicação para ampliação

da experiência dentro de museus. Eles realizam uma classificação de objetos dentro do museu baseada em uma Rede Neural Convolucional (CNN) compacta. O sistema possui a capacidade de reconhecer onde estão as obras de arte e, em certos casos, até mesmo identificar qual obra está presente no contexto.

Stearns e Thieme [89] propuseram um sistema baseado em visão computacional para detecção de pessoas em ambientes dinâmicos. Esse sistema visa ajudar pessoas com deficiência visual a evitar colisões durante locomoções no dia-a-dia. As principais características desse sistema são a detecção geral de pessoas e a detecção de pose para estimativa do movimento.

Wang *et al.* [90] também propuseram um sistema vestível para auxiliar a locomoção de pessoas com deficiência visual. O sistema proposto por eles possui 3 principais características: identificação de espaço para caminhada, planejamento de uma trajetória segura e reconhecimento de determinados objetos.

Hassannejad *et al.* [91] propuseram um sistema baseado em vestíveis e visão computacional para monitoramento de hábitos alimentares. Esse sistema é composto por uma ferramenta de visão computacional para classificação e estimativa da quantidade dos alimentos de cada refeição e dispositivos vestíveis para reconhecimento de gestos.

Estes e outros sistemas modernos são resultados da combinação de dispositivos vestíveis e visão computacional. Esse tipo de abordagem se apresenta como o objetivo final dentro do processo de extração de dados no estudo de caso apresentado nesse trabalho.

Capítulo 3

Metodologia

Conforme abordado no capítulo anterior, um dispositivo vestível é um sistema embarcado. A metodologia para criar um sistema embarcado foi abordada inicialmente no Capítulo 2. Inicialmente, é necessário definir os requisitos fundamentais que os protótipo devem buscar respeitar. Para desenvolver o sistema, a metodologia proposta segue princípios do *co-design*, previamente apresentados no Capítulo 2. O desenvolvimento de Hardware e Software é simultâneo e paralelo.

3.1 Definição de Requisitos

Como mencionado no início do Capítulo 2, os requisitos básicos de um sistema embarcado são: **Energia**, **Robustez**, **Sincronização** e **Comunicação**. Ao abordar sistemas vestíveis, ainda existem requisitos específicos de conforto, portabilidade e percepção de contexto. Para fazer um levantamento dos requisitos, tudo isso deve ser considerado na análise qualitativa do processo descrito na subseção 1.2.1. Além das informações ali presentes, foram realizadas análises baseadas em entrevistas com os usuários potenciais dessa plataforma. O seguinte conjunto de restrições e requisitos é resultado dessa análise qualitativa:

- A duração total do processo de escalada e pesquisa é de até 3 horas. O dispositivo deve ter autonomia e disponibilidade durante esse período, conforme os requisitos básicos de um dispositivo vestível;
- Para o requisito de **energia**, os primeiros protótipos possuirão fontes acima do necessário. As primeiras versões de protótipos servirão como provas de conceito para análise do gasto energético a partir dessa fonte;
- O requisito de **robustez** física deve ser cumprido na montagem dos protótipos. A evolução na direção de produzir um equipamento vestível deve apresentar soluções cada vez mais robustas;

- Os primeiros protótipos também servirão como provas de conceito para analisar a **comunicação** e **sincronização** com os sensores;
- O requisito de **robustez** funcional do sistema deve ser cumprido através do cumprimento dos demais aspectos em **energia**, **comunicação** e **sincronização**;
- Para cumprir requisitos de portabilidade, a solução será acoplada ao capacete do pesquisador;
- O capacete deve cumprir os mesmos requisitos de conforto e segurança prévios;
- O conjunto de sensores que compõem o dispositivo vestível devem prover capacidade de localização e inferência de distância a elementos. Além disso, o dispositivo deve ser capaz de gerar e extrair informações de imagens.

As unidades que permitem a medição de localização são sensores conhecidos como Unidades de Medição Inercial (IMU) . Para medição de distância, os sensores indicados são radares. Para distâncias entre 0 e 40 m, um sensor candidato para realizar essa tarefa é o radar laser (LIDAR). As imagens podem ser obtidas utilizando câmeras com os mais diversos protocolos de comunicação. Posteriormente, os dados obtidos podem ser utilizados também para produzir uma visualização tridimensional do dossel, que pode ser disponibilizada usando ferramentas de realidade aumentada.

3.2 Desenvolvimento de Protótipos

Schütz [92] aborda a metodologia de projeto inicialmente através do diagrama Y de Gajski-Khun, previamente introduzido no início do capítulo 2. Ele exemplifica que a criação de um Circuito Integrado pode ser resumida em uma acomodação de polígonos que contém padrões elétricos/lógicos. A união desses circuitos deve se comportar de acordo com um padrão esperado. Essa descrição resume os requisitos comportamentais, físicos e funcionais do sistema.

As estratégias de criação das versões do protótipo durante esse trabalho usaram ferramentas de prototipagem como placas de expansão. O uso de elementos de hardware prontos elimina a necessidade do desenvolvimento direto de todas as partes do circuito integrado durante o processo de prototipagem. Dessa maneira, as operações descritas durante a definição de requisitos e execução da prototipagem estão apenas nas camadas de maior abstração do diagrama, realçadas na Figura 3.1.

O uso de ferramentas como o diagrama proposto por Gajski e Khun [55] foi adaptado para as especificações do projeto, a despeito das abordagens na literatura sobre a utilização dos mecanismos de projeto de sistemas embarcados para circuitos

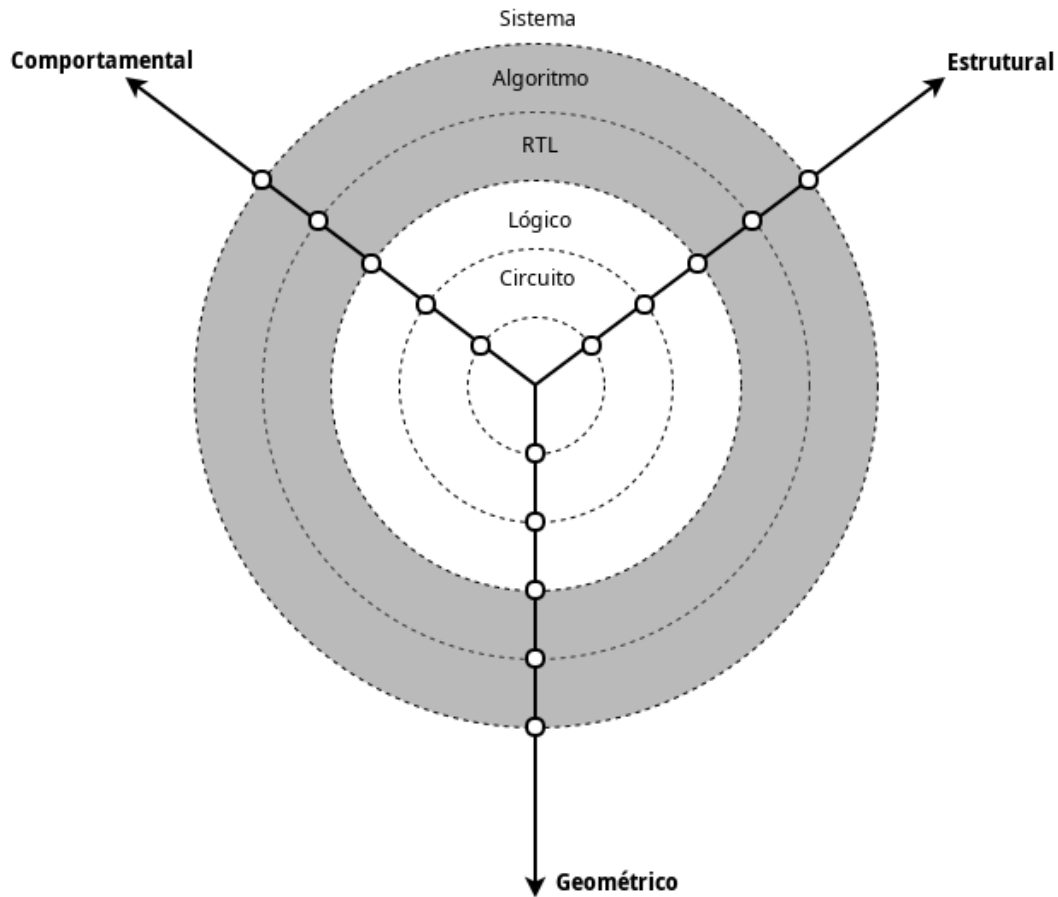


Figura 3.1: Diagrama de Gajski-Khun realçando as etapas de prototipagem em alto nível

integrados. A partir da análise desse diagrama, é possível perceber que o processo de criação dificilmente abraça todos os requisitos em altos níveis de abstração. O trabalho acima do *Register-Transfer Level* tem requisitos comportamentais, estruturais e geométricos cada vez mais afastados.

A partir desse contexto, tomamos como referência que um protótipo produzido com essa definição de requisitos dificilmente atende todas as especificações. Sob essa visão, um protótipo que atende a requisitos comportamentais e estruturais, por exemplo, terá dificuldades em atender também a requisitos geométricos. Esse afastamento pode ser visualizado sob a forma de uma “Pirâmide de Requisitos”. A Figura 3.2 apresenta essa visualização. A consequência disso é que os protótipos utilizados como prova de conceito nesse contexto devem atender preferencialmente um ou dois grupos de requisitos.

A despeito dessa dificuldade, etapas subsequentes de prototipagem não devem ignorar os requisitos cumpridos ou demonstrados nas etapas anteriores. Essa pirâmide demonstra simplesmente uma relaxação que pode ser realizada em determinados requisitos, para cumprimento de outros.

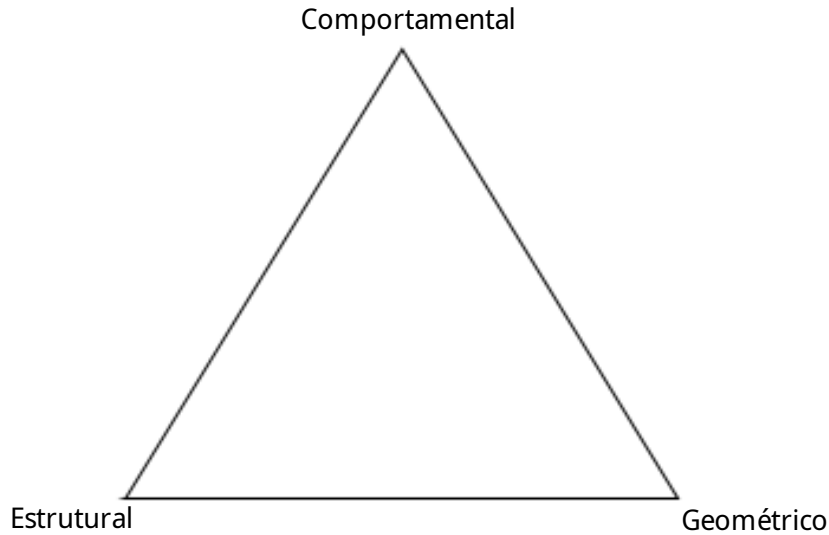


Figura 3.2: Pirâmide de Requisitos para Prototipagem em Alto Nível

Na etapa inicial desse trabalho, dois protótipos foram desenvolvidos como prova de conceito para aproximação de uma solução viável. O primeiro deles testa a viabilidade do uso dos equipamentos levantados nesse estudo. O segundo procura transformar esse conjunto de equipamentos em uma solução vestível. O segundo protótipo também serve como base para análise do efeito do aumento da distribuição da carga de computação do sistema.

3.2.1 Primeiro Protótipo

A aproximação de um protótipo que cumpra todas as tarefas levantadas no estudo de caso passa pela criação de versões diferentes para cumprir requisitos. Ainda conforme o levantamento feito anteriormente, há uma dificuldade no cumprimento integral de todos os requisitos levantados pelo sistema em etapas iniciais de prototipagem.

O primeiro requisito a ser analisado é o gasto energético. Esse requisito é uma das bases de qualquer sistema embarcado. Dessa maneira, esse requisito deve ser analisado em todas as etapas de prototipagem. Dentro das categorias de requisitos, o gasto energético pode ser interpretado como requisito comportamental.

Outro requisito que esse sistema busca cumprir é a presença e fusão de todos os elementos necessários para o sensoriamento do ambiente em uma única solução. Esse requisito pode ser interpretado como estrutural.

Baseado nisso, o primeiro protótipo foi desenvolvido como uma prova de conceito para requisitos comportamentais e estruturais. Conforme mencionado anteriormente, a fusão de requisitos comportamentais e estruturais dificulta o cumprimento de requisitos geométricos, que não serão inicialmente explorados.

Arquitetura Proposta

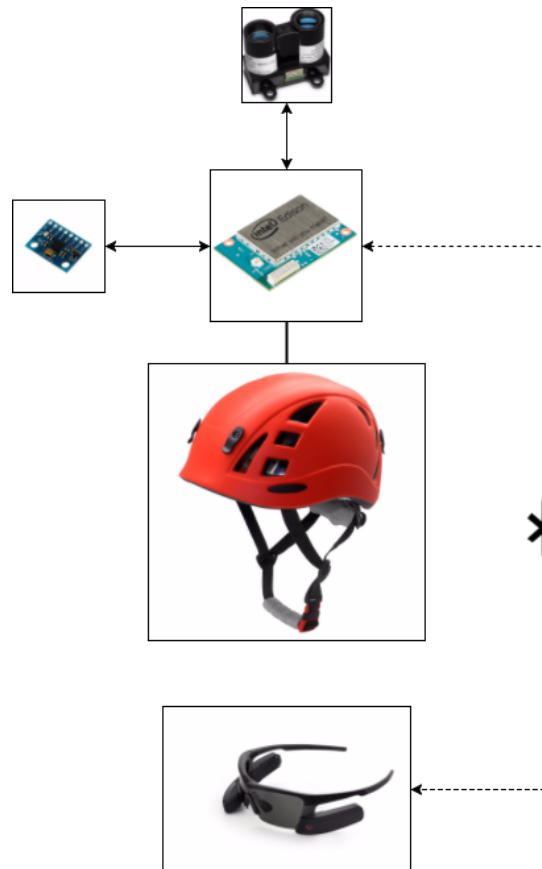


Figura 3.3: Arquitetura Proposta para o Primeiro Protótipo

A arquitetura proposta para a primeira versão está representada na Figura 3.3. Essa arquitetura usa um Sistema-em-Chip (SoC) Intel® Edison com placa de expansão baseada em Arduino como unidade central de processamento. O manual de operações do equipamento¹ descreve que a solução possui um processador dual-core Intel® Atom™, 1 GB de memória RAM, 4 GB de memória interna, placa de rede com comunicação Wireless e Bluetooth. O módulo de expansão permite a alimentação e utilização da placa com compatibilidade de pinagem da plataforma Arduino.

Os sensores envolvidos na montagem do protótipo são o LIDAR Lite V1 e uma unidade de medição inercial MMA8452Q composto por três acelerômetros que o conferem três graus de liberdade (3-DoF). A largura temporal do sinal é proporcional à distância lida pelo sensor. Além disso, essa arquitetura possui um servo-motor para realizar uma varredura do espaço medindo a localização de diferentes pontos.

Para leitura do LIDAR Lite V1, é necessário monitorar uma saída do sensor que é modulada em largura de pulso (PWM). A leitura do acelerômetro usa o protocolo de comunicação digital I2C. Essa arquitetura propõe a apresentação dos dados

¹https://www.intel.com/content/dam/support/us/en/documents/edison/sb/edison-module_HG_331189.pdf

através de uma aplicação de realidade aumentada, utilizando para isso um protocolo de comunicação sem fio. A Figura 3.4 mostra o diagrama de conexões realizado representando essa proposta.

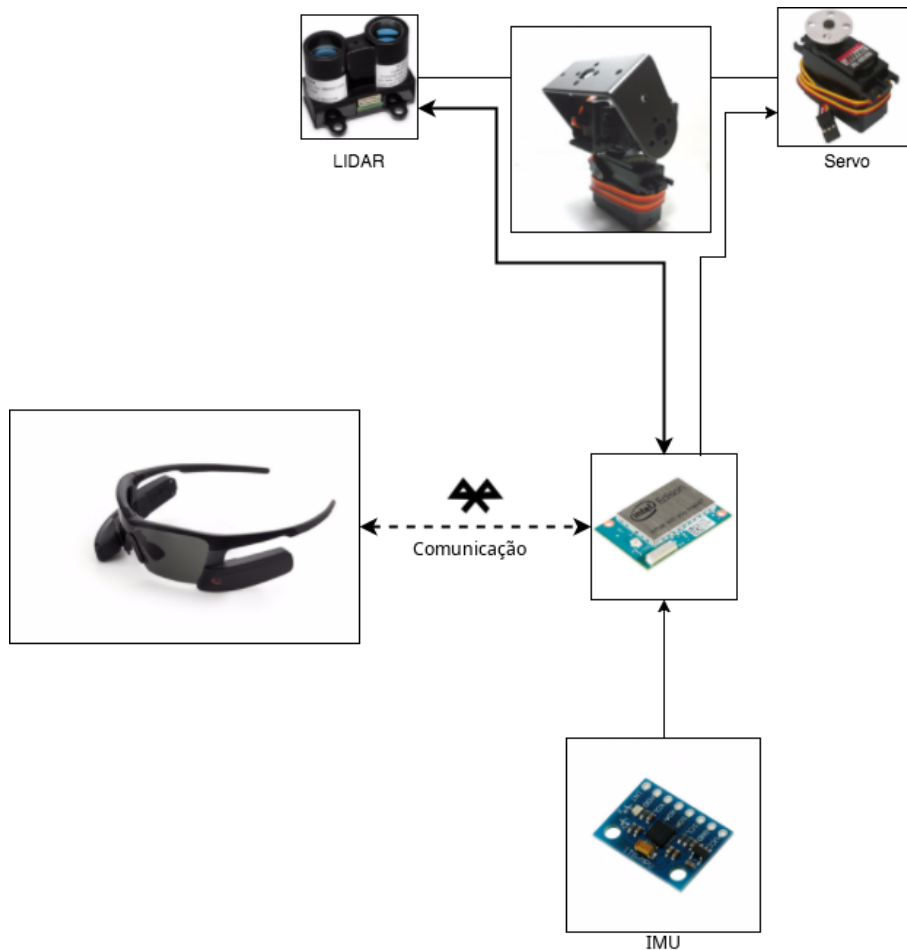


Figura 3.4: Diagrama Esquemático de Conexões do Primeiro Protótipo

A bateria que alimenta o sistema é um *Power Bank* de uso comercial. A alimentação é adaptada de um cabo USB de uso comum, com tensão de alimentação de 5V, adaptado para alimentar a placa através de pinos externos da placa de expansão. O servo-motor foi alimentado de maneira independente, havendo portanto duas frentes de alimentação.

Metodologia de Testes

Os testes sugeridos para esse protótipo analisam os recursos previamente citados como parte do processo de criação dessa versão. O primeiro requisito citado foi energético e o segundo foi comportamental.

Para avaliar o requisito energético, inicialmente realizou-se um teste de corrente média, avaliando cada uma das entradas independentes do processo. Em seguida, a autonomia do sistema foi verificada através de um teste de *Long Run*. O teste de

autonomia também permite observar a robustez do sistema.

Os testes requisito energético foram realizados utilizando um sensor de corrente ACS714 conectado a um microcontrolador Arduino Uno. O microcontrolador é responsável pela coleta e transmissão de dados via USB. A Figura 3.5² mostra o sensor utilizado durante esse processo. Para o teste de corrente média, o sensor amostra a corrente medida com um intervalo de amostragem de cerca de 15 ms durante 30 s. Para o teste de *Long Run*, uma média de 500 amostras foi tomada em intervalos de cerca de 6s até a exaustão da bateria.

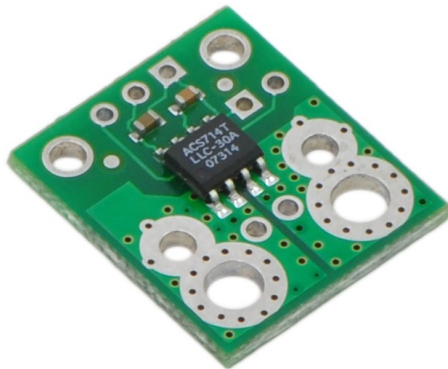


Figura 3.5: Sensor de Corrente ACS714

O teste utilizado para avaliar o requisito comportamental do sistema verificou a precisão dos dados adquiridos com ajuda dos sensores. Para tal, o protótipo foi submetido a uma inclinação de 90 graus para verificar a precisão da IMU. Além disso, o LIDAR foi submetido a um teste de precisão sendo posicionado a uma distância fixa de um obstáculo. Esse teste foi utilizado com diferentes taxas de amostragem, de modo a observar se esse fator interferiu na qualidade das medidas.

3.2.2 Segundo Protótipo

O primeiro protótipo serviu como prova de conceito para elementos comportamentais e estruturais, com a possibilidade de relaxação de requisitos geométricos. No segundo protótipo, busca-se aliar requisitos geométricos e estruturais, com possibilidade de relaxação em requisitos comportamentais. Apesar dessa relaxação, é necessário posteriormente conhecer a qualidade das tarefas realizadas também nesse requisito.

Para cumprir o requisito geométrico, é necessário produzir uma solução que seja vestível na forma de um capacete. Inicialmente, a validação da ferramenta nesse quesito é qualitativa. O cumprimento dessa etapa é considerado satisfatório com a produção de uma versão do protótipo na forma de um capacete vestível.

²Fonte da Imagem: <https://a.pololu-files.com/picture/0J1311.1200.jpg>

O requisito seguinte, estrutural, é a capacidade de montar os sensores do sistema sobre o capacete garantindo a possibilidade de funcionamento e leitura. O requisito de robustez mínimo é o funcionamento ininterrupto do sistema durante uma adaptação do teste de *Long Run*. Esse teste mostra ainda a robustez do sistema, além de servir como análise da corrente média e gasto energético total que podem ser também ser considerados requisitos comportamentais.

Como o protótipo possui uma relaxação dos requisitos comportamentais, também foram apresentadas propostas de otimização da arquitetura para contrabalancear as perdas possíveis no desempenho das tarefas. Essas propostas sugerem o aumento da quantidade de *SoCs* para dividir a carga computacional. Para tal, cada *SoC* é interpretado como um dispositivo *IoT*, obtendo informações de contexto e disponibilizando através de servidores para interpretação por outra máquina.

Com base nessas informações e nos testes realizados previamente, uma nova arquitetura de funcionamento foi proposta.

Arquitetura Proposta

A arquitetura proposta para o segundo protótipo busca aliar as informações dos mesmos sensores previamente apresentados aos dados de uma câmera alinhada com esses elementos. Esse conjunto de elementos permite visualizar os dados lidos pelos sensores, ampliando a realidade através do recurso de imagem. A Figura 3.6 mostra a segunda arquitetura proposta para o protótipo.

Os resultados obtidos para o primeiro protótipo sob o aspecto da robustez, demonstrados no Capítulo 4, bem como a descontinuidade da plataforma Intel® Edison levaram à substituição da unidade de computação utilizada. A instabilidade mecânica e elétrica do servo-motor, bem como a dificuldade de coordenação do movimento do servo com o movimento natural da cabeça levaram à remoção desse elemento para o segundo protótipo.

A unidade computacional central para a primeira proposta de arquitetura é o *SoC* Raspberry Pi Zero W. De acordo com o fabricante³, Essa ferramenta possui um processador single-core ARM11, placa de rede com comunicação Wi-Fi e Bluetooth, 512 MB de memória RAM e é alimentada através de uma entrada μ USB (5V).

O primeiro sensor utilizado nessa arquitetura é o LIDAR Lite V1, novamente monitorado através de um sinal *PWM*. A CPU mais fraca, *single-core* e sem suporte a operações de tempo real faz com que a leitura de largura temporal de pulso desse sinal possa ter sua qualidade comprometida. Sendo assim, essa medição serve também como parâmetro do comprometimento da qualidade dos requisitos comportamentais do sistema.

³<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>

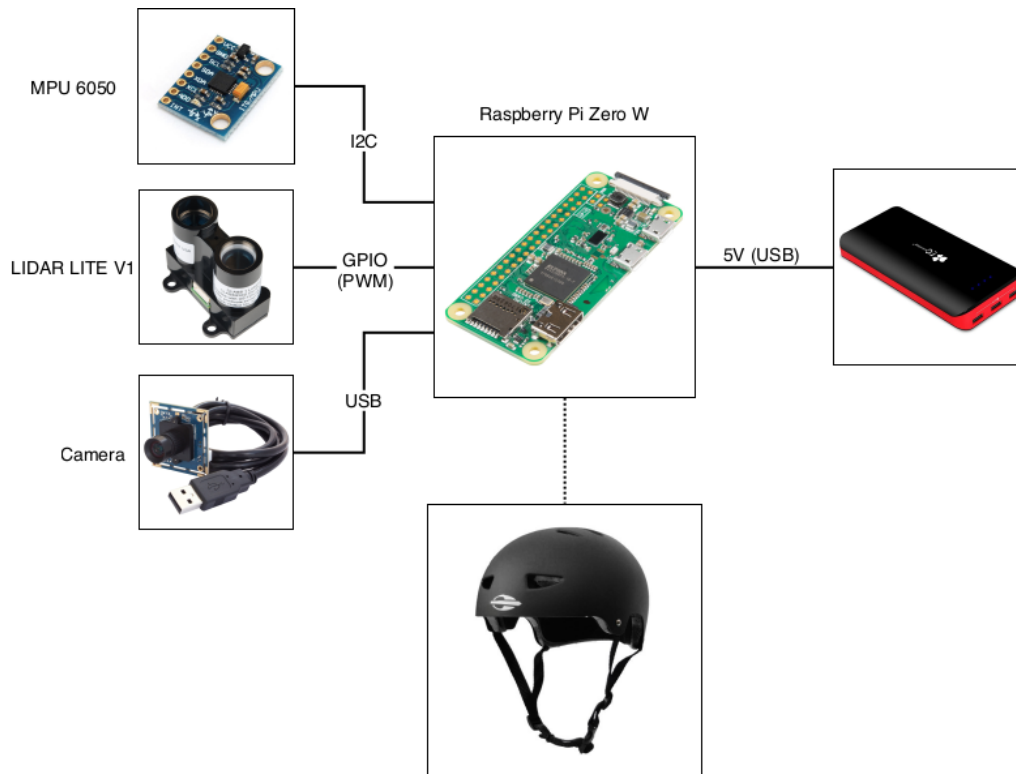


Figura 3.6: Primeira Arquitetura Proposta para o Segundo Protótipo

Mais uma vez, utilizamos uma IMU. Contudo, o modelo utilizado nessa arquitetura é MPU6050. De acordo com os dados do fabricante⁴, essa unidade é um sensor de seis graus de liberdade (6-DoF) composto por acelerômetros e giroscópios. Novamente, a IMU se comunica através de barramento digital I2C. O sistema é alimentado pelo mesmo modelo de bateria previamente utilizado.

O protótipo deve coletar os dados de todos os sensores. Em seguida, ele deve transmitir os dados coletados para outra unidade computacional.

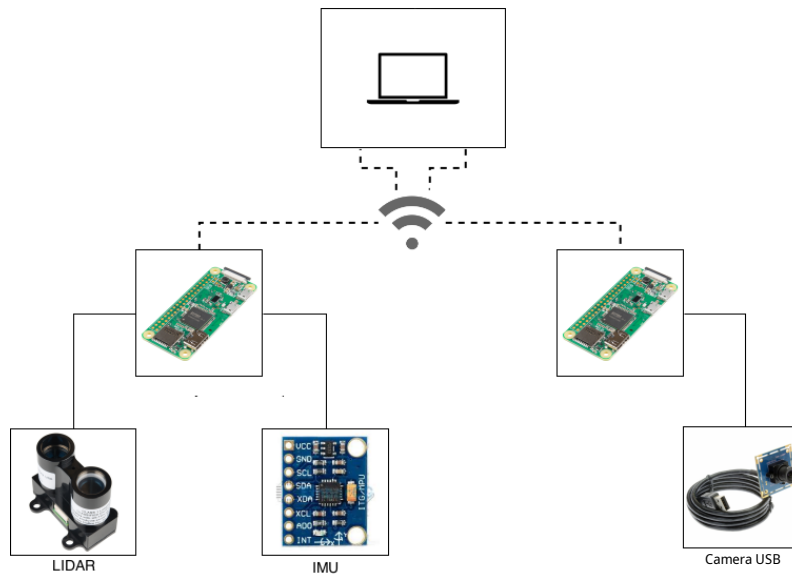
Otimizações de Arquitetura

O requisito comportamental do sistema fica comprometido pela mudança de *SoC*, como previsto anteriormente. Uma maneira de melhorar o desempenho do sistema quanto à qualidade dos dados é o aumento na quantidade de *SoCs* envolvidos no processo de extração de informação. A distribuição da carga de computação elimina a sobrecarga sobre um nó de processamento central.

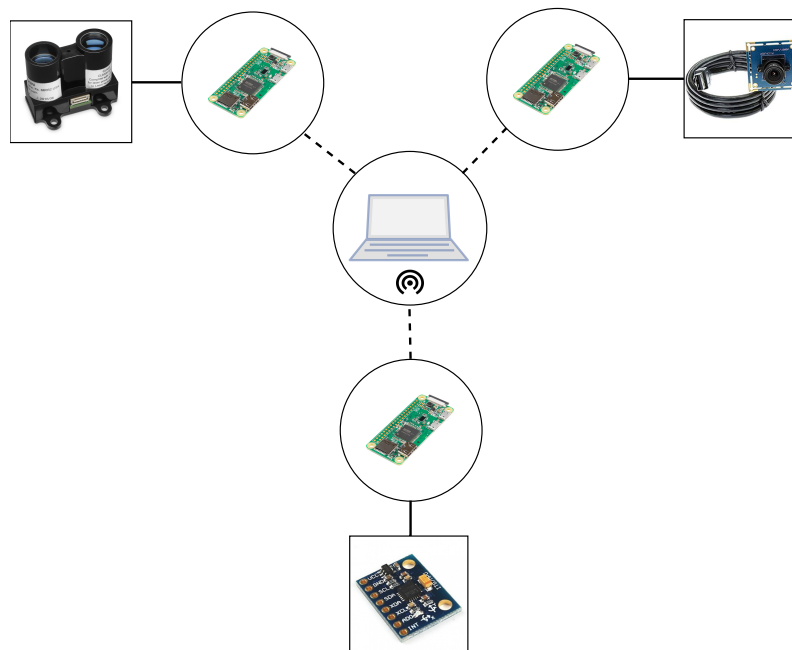
Dessa maneira, duas arquiteturas com diferentes níveis em distribuição de carga por hardware foram propostas com o objetivo de otimizar o funcionamento dessa aplicação. Essas arquiteturas são apresentadas na Figura 3.7. A primeira delas,

⁴https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3%204.pdf

representada na Figura 3.7a, separa a leitura da câmera da leitura dos sensores, utilizando um código para transmitir os dados de vídeo em rede local. A segunda arquitetura para esse protótipo, apresentada na Figura 3.7b, utiliza um *SoC* para coletar e transmitir os dados de cada um dos sensores, além de um terceiro responsável pela transmissão das imagens.



(a) Arquitetura 2-Nós



(b) Arquitetura 3-Nós

Figura 3.7: Arquiteturas Alternativas para o Segundo Protótipo

De acordo com a expectativa, os parâmetros comportamentais são os mais pre-

judicados na execução da primeira arquitetura. Dessa maneira, o conjunto de testes para caracterizar essas arquiteturas propostas deve considerar o impacto do aumento da distribuição da carga de computação sobre esse aspecto.

Metodologia de Testes

O primeiro teste aplicado sobre o protótipo avaliou o desempenho energético comparado à primeira versão. Sendo assim, o experimento escolhido foi uma replicação do teste de *Long Run* realizado no primeiro protótipo. A unidade de sensoriamento utilizada foi a mesma. O resultado reflete o aspecto de robustez do sistema, tendo em vista os resultados do protótipo anterior, apresentados no Capítulo 4.

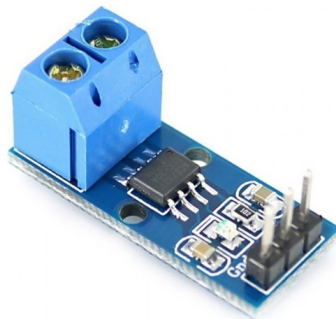


Figura 3.8: Sensores de Corrente ACS712

Após a validação da arquitetura principal, uma bateria de testes é necessária para comparar as diferentes arquiteturas sugeridas para otimização, de modo a verificar o efeito das propostas de melhoria. Inicialmente, o aspecto energético foi avaliado para todas as arquiteturas. Para tal, o teste proposto unifica os testes energéticos aplicados no primeiro protótipo. Esse novo teste de *Long Run* é realizado utilizando sensores de corrente ACS712, conforme demonstrados na Figura 3.8. Novamente, esses sensores utilizam um microcontrolador Arduino Uno como plataforma de aquisição de dados e transmissão via comunicação serial.

Os testes de corrente são utilizados para levantar três informações sobre o sistema: Corrente Média, Variação da Corrente e Gasto Energético Total. Para amostrar a corrente instantânea, o sistema adquire 10 amostras do valor de corrente medido pelo sensor em sequência. Esse processo é repetido com um intervalo de amostragem de cerca de 5s. A Corrente Média é a média dos valores lidos. A variação da corrente é o desvio padrão das amostras. O gasto energético total é a integral da corrente no tempo do início até a exaustão da bateria.

A precisão das medições foi testada amostrando-se o valor de distância medido pelo LIDAR preso ao capacete posicionado a 30 cm de distância de um anteparo.

O LIDAR foi escolhido como parâmetro de qualidade por ser prejudicado por interrupções no processo de amostragem da largura temporal do degrau.

Por fim, outros aspectos importantes de sistemas embarcados, especialmente distribuídos, é a comunicação e sincronização entre processos. Para isso, uma metodologia de testes foi concebida, com formalização baseada nos conceitos de Qualidade de Serviço (*QoS*). O diagrama demonstrado na Figura 3.9 mostra o conjunto de testes aplicados para esse contexto. O teste busca utilizar os tempos que o sistema demora para adquirir os dados da câmera e dos sensores como parâmetro de qualidade.

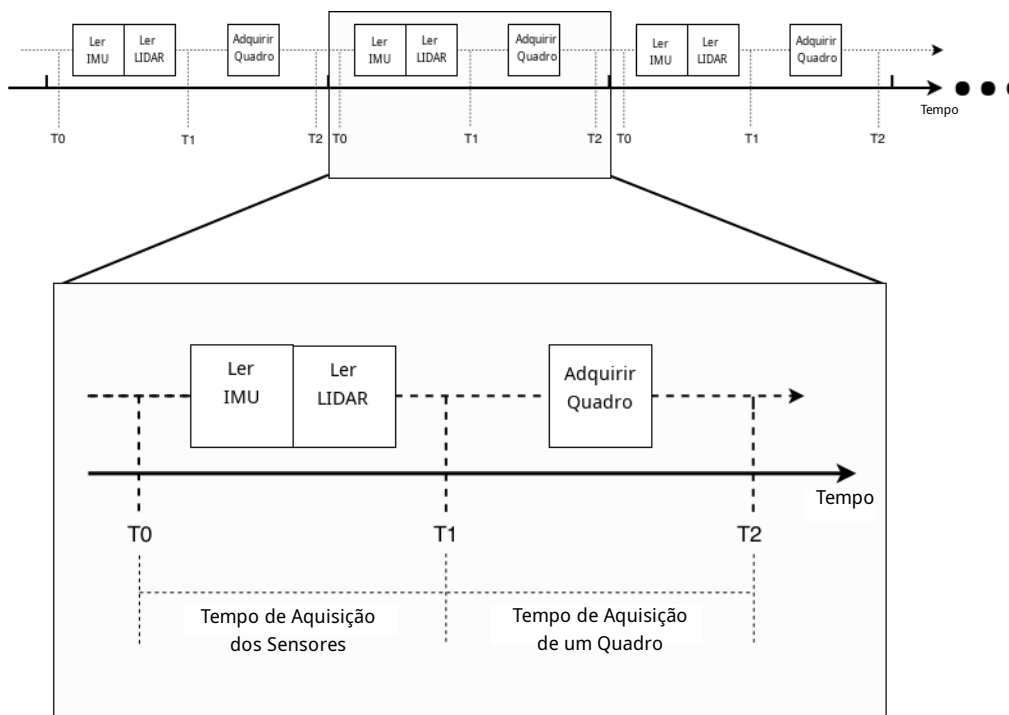


Figura 3.9: Diagrama do Teste de Qualidade de Serviço

Boukerche e Samarah [93] formalizaram um teste para qualidade de uma Rede de Sensores Wireless (WSN). A formalização realizada para esse teste é baseada no modelo usado para WSNs. Contudo, essa descrição formal foi adaptada para o contexto desse protótipo.

O primeiro aspecto dessa formalização é o estabelecimento do conceito de *timeslot*. O tempo de duração do teste é dividido em n intervalos de tamanho igual. A cada intervalo $\lambda = t_{i+1} - t_i$ é dado o nome de *timeslot*, para todo $1 < i < n$. Após estabelecer o conceito de *timeslot*, é preciso mais um conjunto de definições para definir um fator de qualidade:

Definição 1. *Seja $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i\}$ um grupo que representa os sensores usados*

nessa aplicação. Cada elemento s_a representa uma leitura completa do a -ésimo sensor.

Definição 2. Seja $P = \{p_1, p_2, \dots, p_j\}$ um conjunto de padrões possíveis, onde um padrão p_a é caracterizado por um conjunto de leituras de sensores $S_s \subseteq S$ em uma ordem definida.

Definição 3. Seja $F(p_a, n) = f_n$ a quantidade de observações de um padrão p_a dentro de um intervalo definido de n timeslots.

Definição 4. Seja $F_t(p_a)$ o número total de observações do padrão p_a durante o período de testes, independente do tamanho do timeslot.

O fator de qualidade $Q_s(p_i, k)$ estabelecido para um padrão p_i esperado dentro de um intervalo de k timeslots é dado por:

$$Q_s(p_i, k) = \frac{F(p_i, k)}{F_t(p_i)} \quad (3.1)$$

Esse teste precisa comparar sistemas com performances diferentes utilizando o fator de qualidade definido na Equação 3.1. Para tal, o objetivo final do teste é determinar a quantidade mínima de timeslots $M(p_d, \alpha) = N_p$ para cada sistema, de forma que a garantir a leitura de um padrão p_d com fator de qualidade α ($Q_s(p_d, N_p) = \alpha$, $0.0 < \alpha < 1.0$). Com isso, o teste de sincronização e comunicação fica formalizado como um teste de qualidade de serviço.

Formalizando o escopo do teste real para um teste de qualidade de serviço, temos que o conjunto de sensores definido para o teste é $S = \{s_1, s_2, s_3\}$, onde s_1 representa a amostragem da IMU, s_2 representa a amostragem do LIDAR e s_3 representa a aquisição de um frame da câmera. O conjunto de padrões de medições analisadas é dado por $P = \{p_1, p_2, p_3\}$, onde $p_1 = s_1s_2$, $p_2 = s_3$ e $p_3 = s_1s_2s_3$.

Para esse teste, o sistema responsável pela computação central amostra os valores absolutos de tempo T_0 , T_1 e T_2 4000 vezes. Os intervalos de tempo para realizar as medições de cada padrão $p_i \in P$ serão quantidades inteiras de timeslots de tamanho λ dados por δ_1 , δ_2 e δ_3 . Esses intervalos são calculados de acordo com as seguintes equações:

- $\delta_1(i) = \frac{T_{1i} - T_{0i}}{\lambda} + 1$
- $\delta_2(i) = \frac{T_{2i} - T_{1i}}{\lambda} + 1$
- $\delta_3(i) = \frac{T_{3i} - T_{3i-1}}{\lambda} + 1$, para $2 < i < n$

Por fim, para mensurar a precisão das medições, o protótipo foi posicionado de forma que o LIDAR estivesse a 30 cm de um anteparo. A média e o desvio padrão

indicam a precisão e exatidão das medições. Conforme mencionado, o LIDAR sofre o maior impacto em precisão devido à sobrecarga computacional no nó responsável pela leitura. Essa medição busca analisar o impacto das diferentes arquiteturas propostas para o segundo protótipo no parâmetro comportamental do sistema. A Figura 3.10 apresenta um diagrama que representa esse teste.

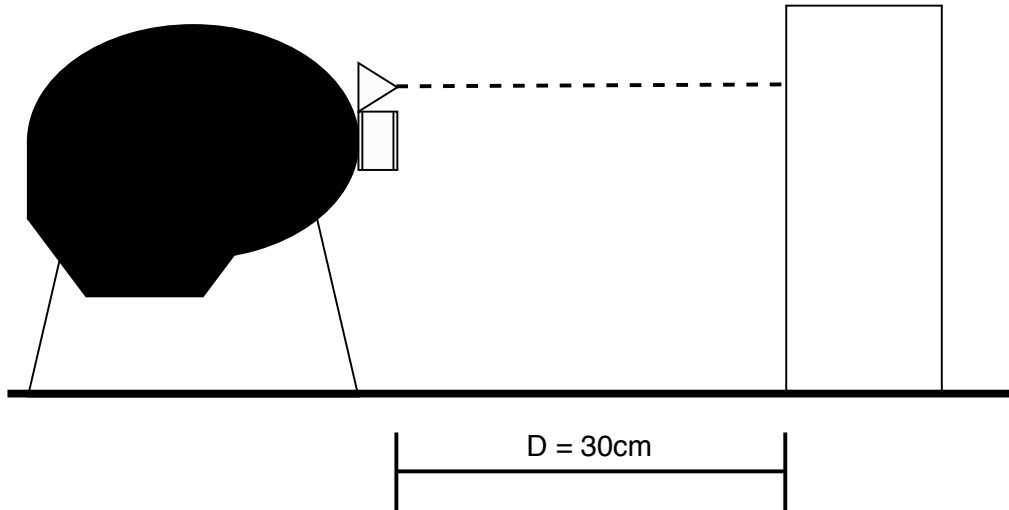


Figura 3.10: Teste de Precisão do LIDAR

3.2.3 Terceiro Protótipo

O terceiro protótipo traz evoluções comportamentais e geométricas ao sistema, sem priorizar a evolução de aspectos estruturais. A arquitetura do dispositivo vestível é a mesma arquitetura 2-Nodal apresentada na Subseção 3.2.2, assim como os mesmos sensores e os mesmos computadores-em-chip. Apesar da arquitetura do vestível permanecer a mesma, a visão geral do sistema agora inclui as aplicações que consomem os dados produzidos.

Para a evolução de aspectos geométricos, a plataforma utilizada para a construção do vestível foi um novo capacete com modelo utilizado na escalada. Os sensores, SoCs e a bateria foram acomodados sobre esse dispositivo em compartimentos próprios criados para essa acomodação. O uso de um compartimento de proteção representa um avanço estrutural de robustez do sistema. Apesar disso, o sistema possui praticamente a mesma estrutura utilizada previamente para construção do protótipo anterior.

Para a evolução comportamental do sistema, os principais aspectos considerados são a possibilidade da construção de aplicações que interagem com o vestível, aplicando fusão de dados e visão computacional. Conforme apresentado na seção anterior, o dispositivo disponibiliza as informações coletadas através de uma rede local de área corporal (WBAN). Essa arquitetura visa a distribuição da carga com-

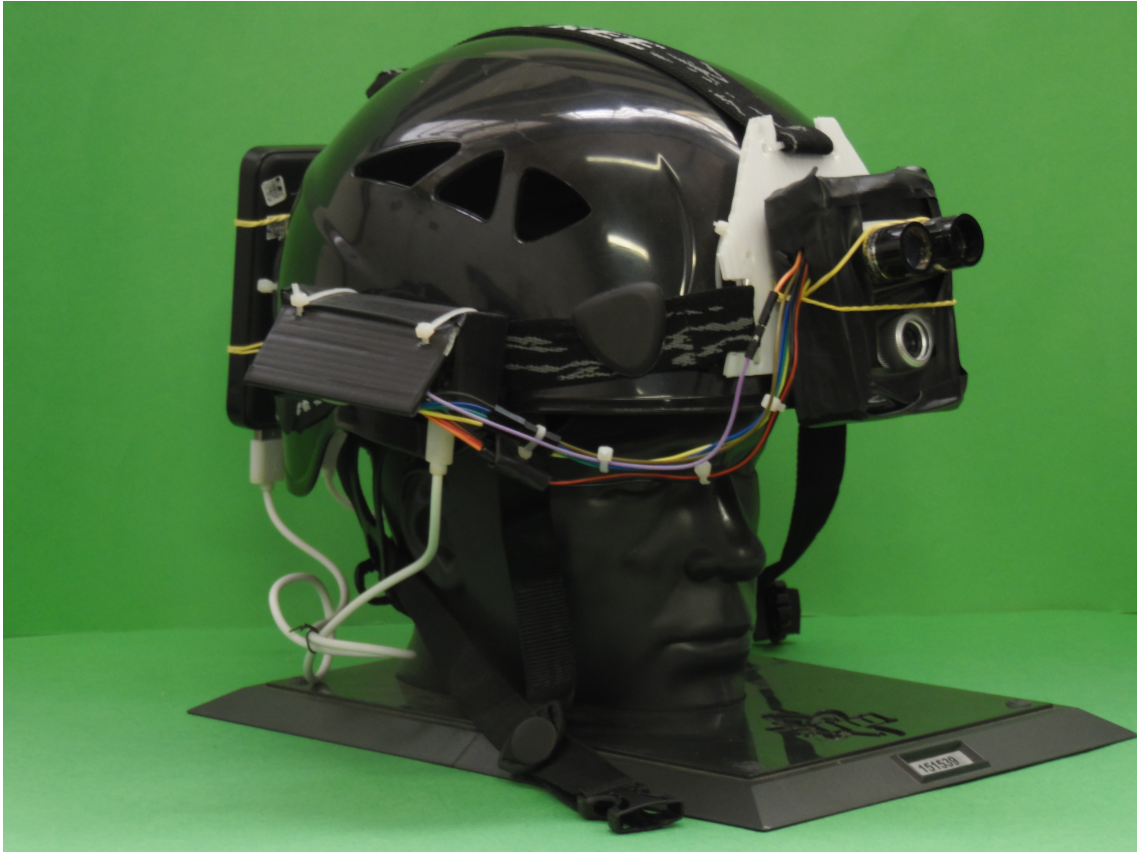


Figura 3.11: Terceira versão do protótipo

putacional, e também a flexibilidade para a criação de diferentes aplicações que consomem os dados produzidos por cada um dos sensores. A Figura 3.12 representa a arquitetura do terceiro sistema, considerando também as possíveis aplicações que consumirão os dados produzidos pelo vestível.

A fusão de dados ocorre a nível de aplicação. O conceito de fusão de dados foi apresentado no Capítulo 2, Seção 2.3, Subseção 2.3.1. Nesse tipo de aplicação, os dados obtidos pelos sensores são combinados a informações existentes para a criação de um algoritmo de fusão de dados. Nessa situação, esse algoritmo serve para os fins de ampliação da realidade através da percepção de contexto e extração de informações utilizando visão computacional.

Otimizações de Arquitetura

Após a validação dos aspectos da arquitetura, também foram investigadas algumas otimizações com efeitos em aspectos estruturais sobre a mesma arquitetura física. Utilizando o mesmo protótipo, realizou-se um estudo sobre o efeito da otimizações no Sistema Operacional (SO) em elementos estruturais e comportamentais do protótipo.

Para criar versões otimizadas do sistema operacional, a plataforma *WeCOST*

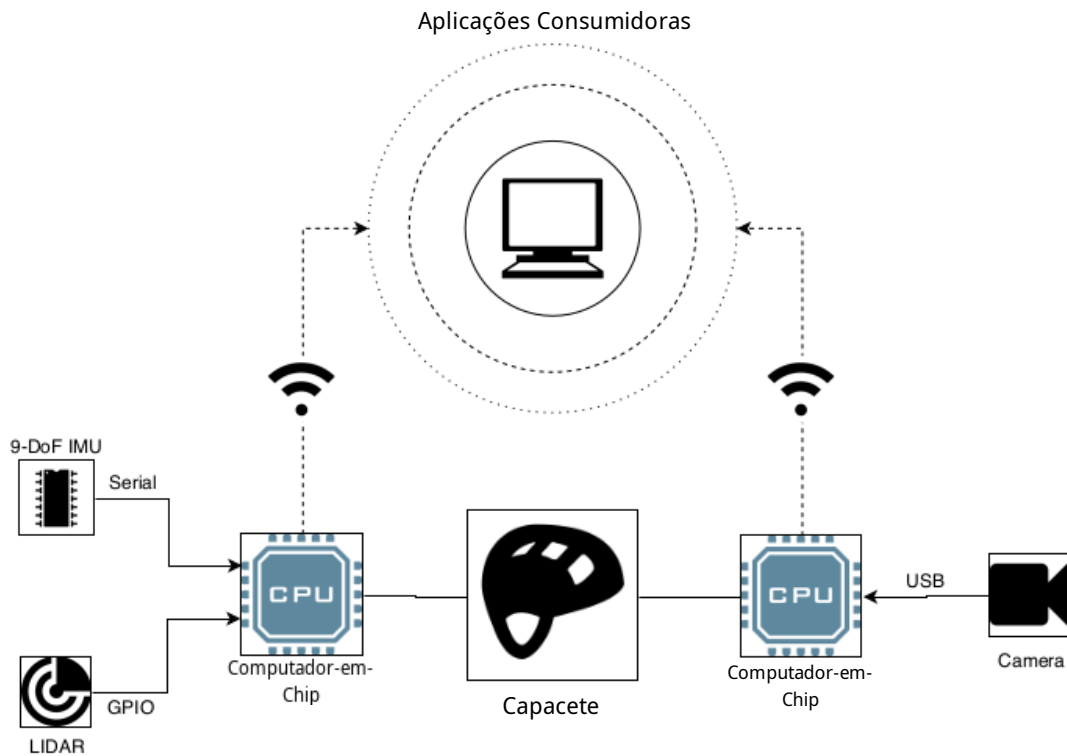


Figura 3.12: Arquitetura da terceira versão do sistema

proposta por Amorim *et al.* [1] foi utilizada. Essa plataforma constrói um SO apenas com a base Linux e os módulos necessários para a comunicação com os elementos que compõem o sistema. A Figura 3.13 apresenta a tela principal da ferramenta utilizada.

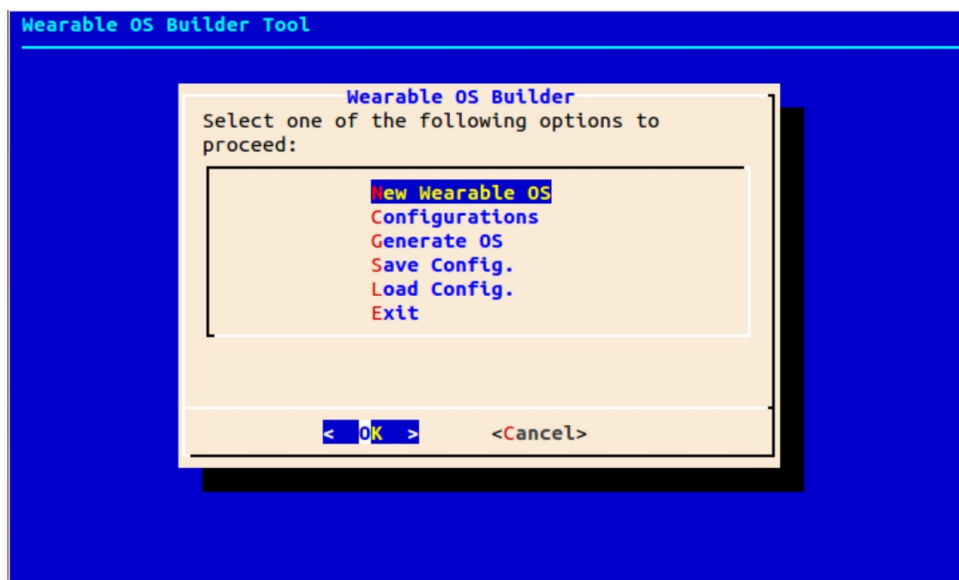


Figura 3.13: Tela principal de funcionamento da plataforma WeCOST, adaptada de [1]

Com essa ferramenta, foram geradas versões otimizadas do SO para os dois

computadores-em-chip que compõem a arquitetura utilizada. Com isso, foi realizada uma análise acerca da possibilidade de melhoria em requisitos estruturais como o consumo energético do sistema através do uso de um SO otimizado. Além disso, é preciso determinar qual efeito a ferramenta apresenta na qualidade final dos dados produzidos.

Metodologia de Testes

O principal objetivo dessa versão do protótipo é atingir uma ampliação de realidade utilizando os dados adquiridos pelos sensores, e realizar algoritmos-exemplo de extração de dados usando visão computacional.

No protótipo anterior, verificou-se a possibilidade de produzir uma aplicação que amplia a realidade usando os sensores presentes nesse sistema. A primeira parte do processo do terceiro protótipo é gerar um algoritmo de ampliação de realidade. A aplicação de ampliação de realidade consiste na colocação de objetos virtuais com ajuda dos dados dos sensores.

O processo descrito no estudo de caso desse trabalho é o método do cilindro. Nele, o pesquisador determina manualmente a posição de um transecto em um grupo de folhas usado como anteparo. Nesse sentido, o objetivo desse algoritmo é colocar o transecto virtualmente na visualização de realidade aumentada do sistema. O tamanho desse transecto virtual é verificado usando a fusão dos dados de imagem e sensores.

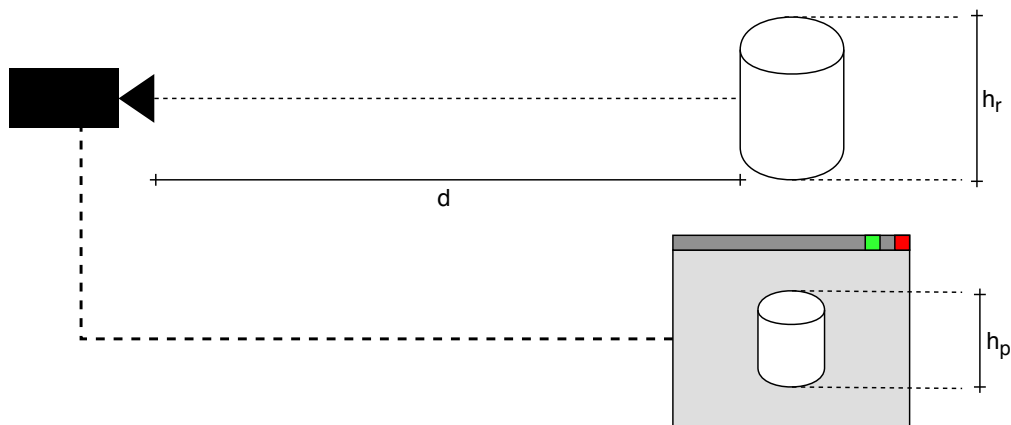


Figura 3.14: Processo de fusão de dados em aplicação

Os dados obtidos pelos sensores e computadores embarcados permitem ao protótipo é fornecer dados de imagem, inclinação da cabeça do pesquisador e distância até um anteparo. Assim, para a colocação de um objeto virtual em um ambiente real, utilizamos os dados de imagem e distância. O protótipo mensura sua distância (d) até um anteparo colocado diante dele. Um objeto de altura real h_r , colocado diante do

protótipo produzirá uma imagem com uma determinada altura h_p medida em *pixels*. A Figura 3.14 apresenta uma ilustração desse cenário.

Devido à perspectiva, quanto maior a distância d , menor a altura h_p da imagem projetada do objeto de altura h_r . Como a altura do objeto é constante, para cada valor de distância, o objeto possui uma relação *pixel/cm*. Portanto, é possível estabelecer uma função matemática que relaciona as duas grandezas para fornecer a base de informação real que orienta o algoritmo de fusão de dados. Para aferir essa relação, foi necessário capturar dados da altura h_p de um objeto de altura conhecida h_r para diferentes valores de distância d . Com o estabelecimento dessa relação, o algoritmo para produzir uma aplicação que utiliza essa informação para realizar a fusão de dados está representado na Figura 3.15.

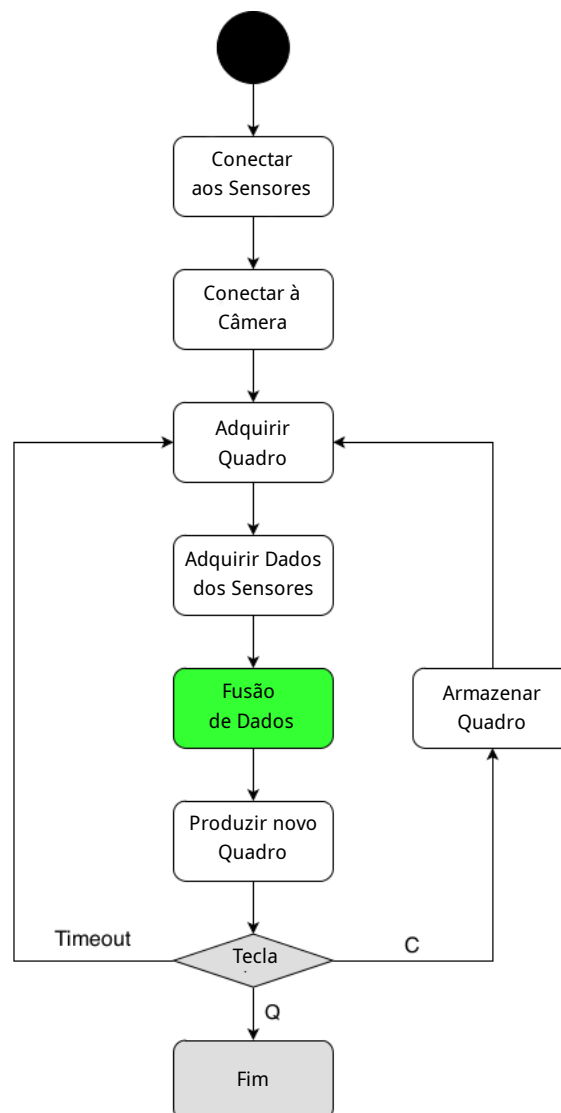


Figura 3.15: Algoritmo para aplicação de fusão de dados

Após a bateria de testes que valida a aplicação proposta na evolução da arquitetura no terceiro protótipo, é necessário também testar os elementos de otimização

propostos na subseção anterior. Para isso, os primeiros testes propostos para essa sessão avaliam o consumo energético a partir de uma rotina de funcionamento. Além disso, outro teste analisa a qualidade dos dados produzidos, para verificar se a qualidade da informação obtida é compatível.

Os testes de **Energia** foram divididos em duas partes distintas. Na primeira delas, avaliamos o custo energético médio para a execução de uma rotina pré-definida. Nessa rotina, os primeiros 60 segundos são reservados para a inicialização do sistema, das aplicações em cada um dos computadores em chip e da aplicação que consome os dados. Depois disso, o consumo energético é monitorado durante os 240 segundos subsequentes. Esse teste foi realizado 30 vezes, para compreensão do valor médio de consumo.

A segunda etapa repete os testes de *Long Run*, avaliando apenas o tempo de autonomia do dispositivo. Para esse teste, as execuções longas foram realizadas com uma bateria de menor capacidade e repetidas três vezes.

Novamente, o sensor utilizado para os testes de energia foi a unidade de medição de corrente ACS712, ligado a um Arduino Uno que transmite os dados adquiridos usando comunicação serial, conforme demonstrado na Figura 3.16.

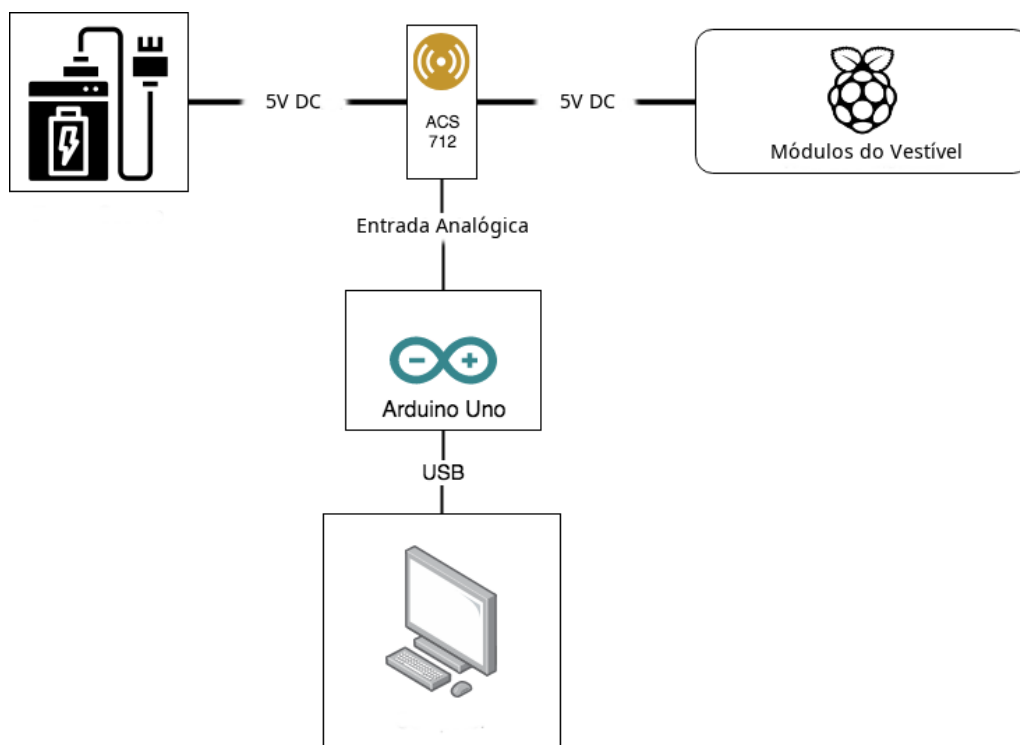


Figura 3.16: Diagrama do sistema de testes de energia

Para o teste de qualidade de dados, o protótipo foi posicionado a diferentes distâncias de um anteparo, e 1000 medições foram realizadas para cada distância. A distância inicial testada foi de 50 cm, e a posição do anteparo foi afastada gradualmente em passos de 50 cm até uma distância final de 400 cm. A Figura 3.17

representa a maneira como o teste foi realizado. Para cada uma das distâncias, foram analisados os dados de média e desvio padrão dos valores medidos, tanto para o protótipo com sistema operacional com otimizações quanto para o protótipo usando um sistema operacional de uso geral.

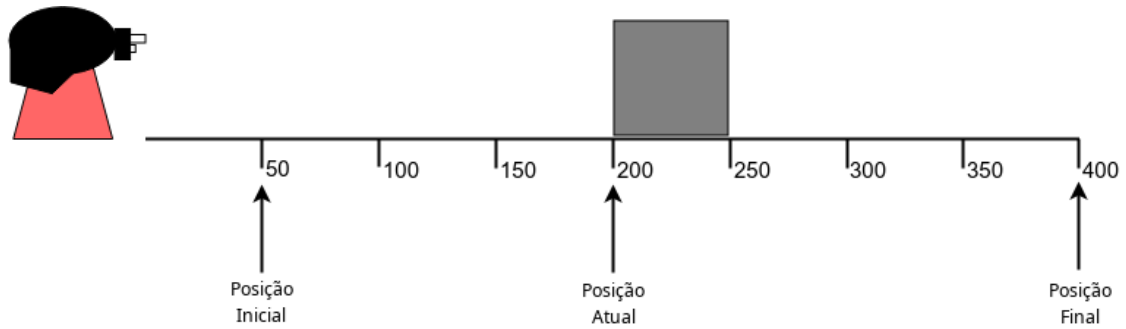


Figura 3.17: Teste de qualidade de dados para o terceiro protótipo

Capítulo 4

Resultados e Discussões

No capítulo anterior, inicialmente foram abordados os requisitos e metodologia de criação de protótipos para aproximação de uma solução. Os requisitos foram estabelecidos a partir de uma análise do estudo de caso. Em seguida, o texto apresenta os aspectos metodológicos do estudo de caso. O último capítulo ainda apresentou as primeiras arquiteturas propostas para a evolução do trabalho e os testes propostos para validação dos aspectos apresentados nessas arquiteturas.

Esse capítulo apresenta as primeiras versões de protótipos produzidas a partir das arquiteturas apresentadas. Em seguida, o texto apresenta os resultados para os testes de validação propostos, com comentários preliminares sobre as conclusões tomadas a partir desses testes.

4.1 Primeiro Protótipo

O primeiro protótipo foi construído de acordo com o modelo de arquitetura apresentado na Subseção 3.2.1. Essa versão não possui o compromisso de cumprir requisitos de um dispositivo vestível, que podem ser interpretados como requisitos geométricos. A solução produzida pode ser vista na Figura 4.1.

Esse protótipo centraliza a aquisição de todos os dados dos sensores utilizando o Computador-em-Chip Intel® Edison. Essa placa possui um sistema operacional Yocto Linux e possui capacidade de estabelecer conexão com a rede Wireless local. A placa de expansão Arduino permite o controle da aquisição de dados utilizando os pinos digitais de Entrada/Saída. Conforme mencionado, os dados da IMU são lidos utilizando comunicação I2C, e os dados do LIDAR são adquiridos monitorando o sinal de saída modulado.

De acordo com o manual do fabricante¹, o sinal de saída do LIDAR possui uma relação de 1 ms/m. O servo-motor utilizado é controlado por um sinal modulado em

¹<https://www.robotshop.com/media/files/pdf/operating-manual-11m20c132i500s011.pdf>

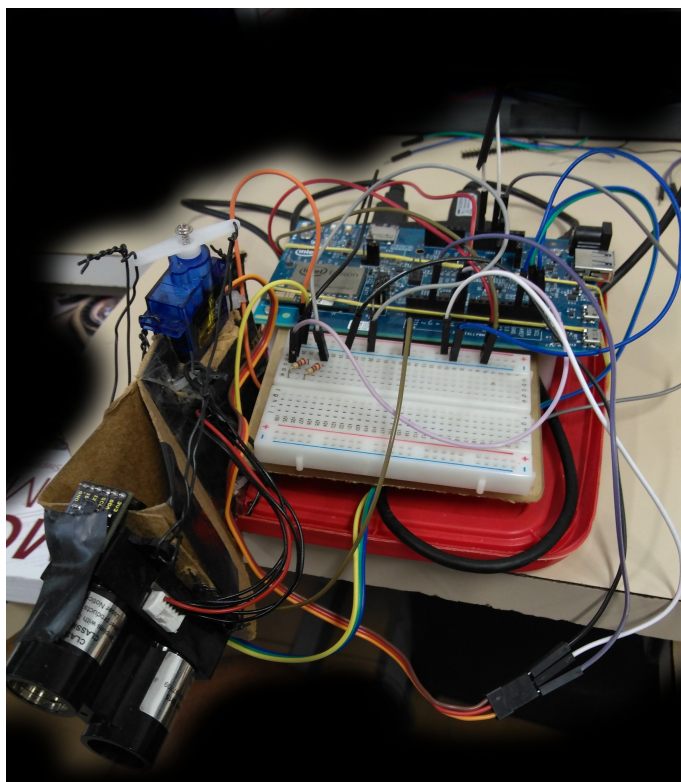


Figura 4.1: Protótipo produzido de acordo com a Primeira Arquitetura

largura de pulso para realizar uma varredura horizontal, movimentando o LIDAR. Esse movimento é registrado pela IMU, presa juntamente com o LIDAR na estrutura móvel. O sistema é alimentado com 5V, utilizando um *Power Bank* comercial.

A aplicação construída adquire os dados de maneira paralela, utilizando para isso o algoritmo demonstrado na Figura 4.2. Essa visualização foi criada de acordo com a metodologia proposta por Sebastian Schaetz² para representação de programas multi-tarefa.

Nesse algoritmo, inicialmente a tarefa principal inicializa e calibra os sensores. Em seguida, o sistema lança 3 tarefas: Aquisição dos dados do LIDAR, aquisição dos dados da IMU e controle do servo-motor. Cada uma das tarefas responsáveis pelos sensores amostram os dados e armazenam em um arquivo para análise posterior durante o período de leitura estabelecido.

Quando as aquisições são encerradas, a tarefa principal sinaliza o término da execução da tarefa que controla o motor. Em seguida, o programa toma a decisão de encerrar ou não a aplicação, caso todos os testes já tenham sido realizados.

²<http://www.soa-world.de/echelon/2009/07/visualizing-multithreading.html>

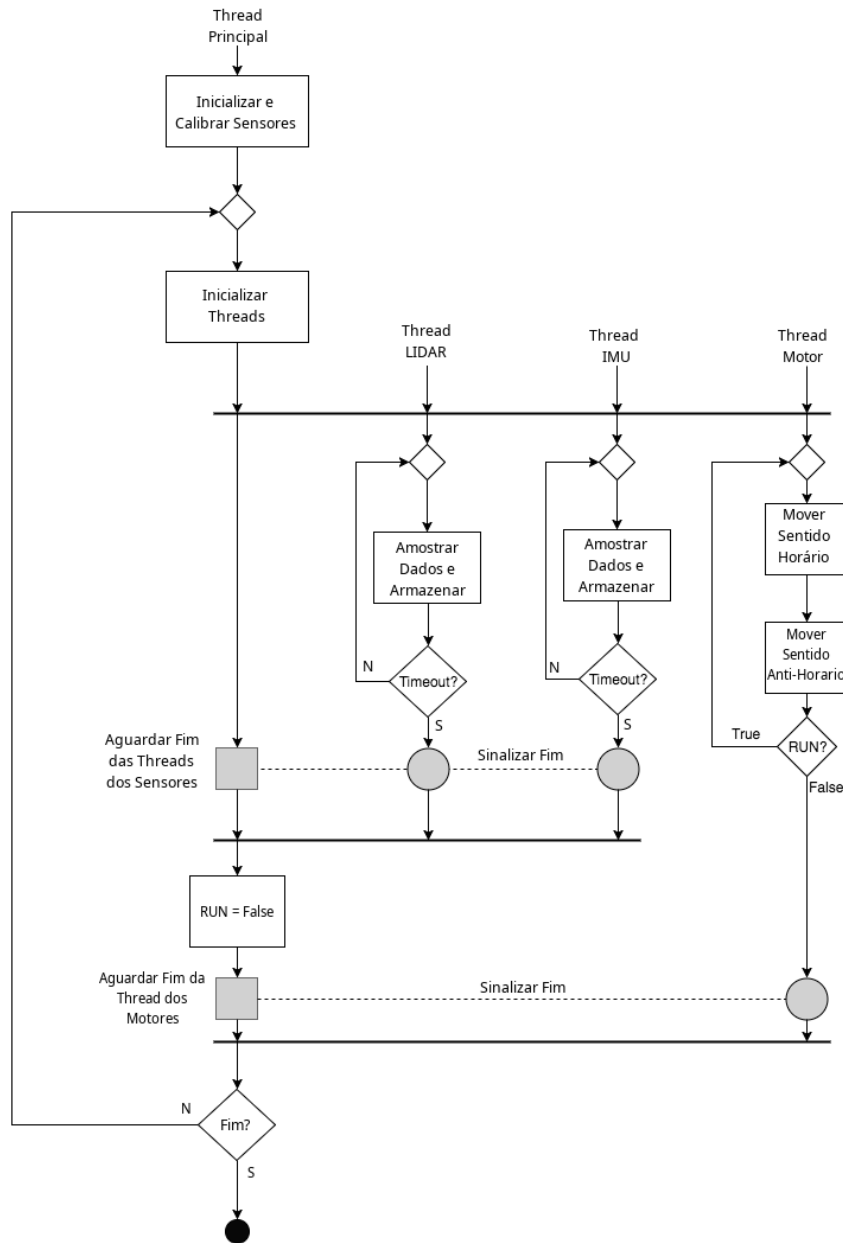
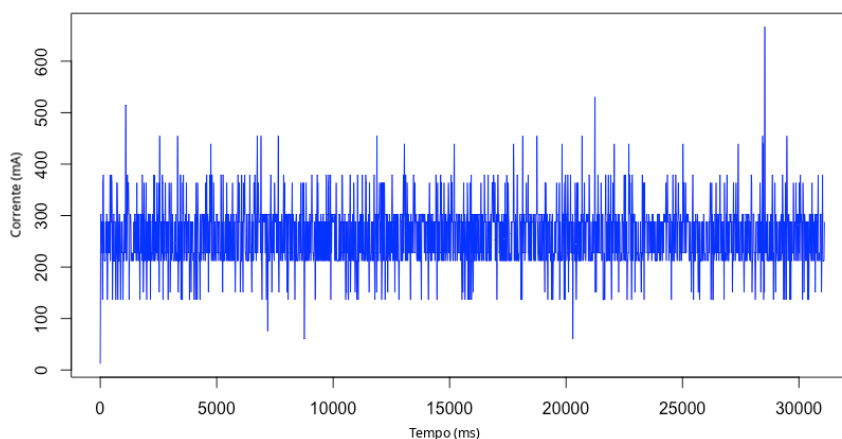


Figura 4.2: Algoritmo Utilizado na primeira aplicação

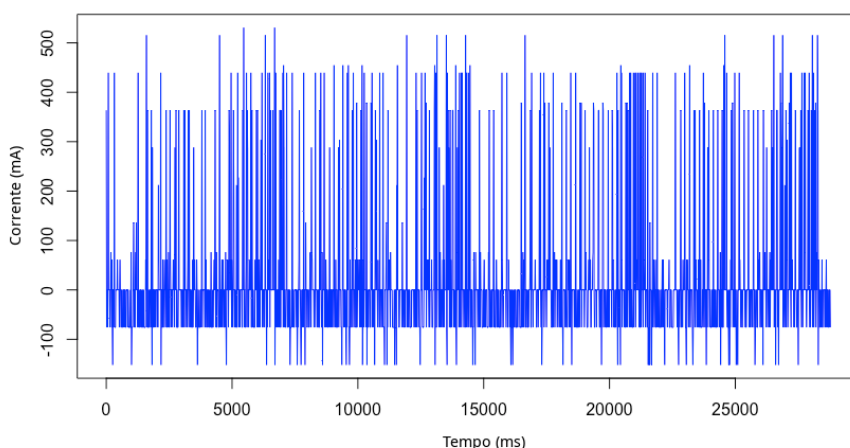
4.1.1 Resultados dos Testes

Os testes realizados no sistema seguem a metodologia apresentada na Subseção 3.2.1. O primeiro conjunto de testes proposto avalia os requisitos energéticos monitorando a corrente consumida pelo protótipo. A primeira etapa do teste de requisitos energéticos foi a avaliação da corrente média e variação em cada uma das entradas independentes que alimentam o sistema.

A Figura 4.3 apresenta os resultados para a primeira etapa desse teste. A primeira entrada de alimentação fornece corrente para a IMU, LIDAR e para o *SoC*. A segunda entrada de alimentação fornece energia para o servo-motor. Essa entrada teve pico de corrente de 666mA. A corrente que alimenta a primeira entrada foi



(a) Padrão de Corrente da Primeira Alimentação



(b) Padrão de Corrente da Segunda Alimentação

Figura 4.3: Padrões de Corrente do Teste de Energia

de 265 ± 65 mA dentro do intervalo de teste. A corrente que alimenta a segunda entrada foi de 21 ± 139 mA. O pico de corrente medido para essa entrada foi de 530 mA. A corrente da entrada que alimenta apenas o servo-motor é mais baixa em média, mas varia mais do que a corrente associada aos sensores e o *SoC*.

O próximo teste de desempenho energético foi o de *Long Run*. Esse teste busca avaliar o padrão de consumo energético do protótipo, além de avaliar a autonomia de funcionamento da solução contendo os sensores e atuadores propostos. Para esse teste, o comportamento foi observado para apenas uma das saídas, tendo em vista que as informações de caráter quantitativo independem do padrão. O resultado

desse teste pode ser visto na Figura 4.4. A figura apresenta os dados lidos conforme apresentado na metodologia de testes em azul. Além disso, o gráfico apresenta uma visualização da tendência dessa corrente utilizando uma média móvel.

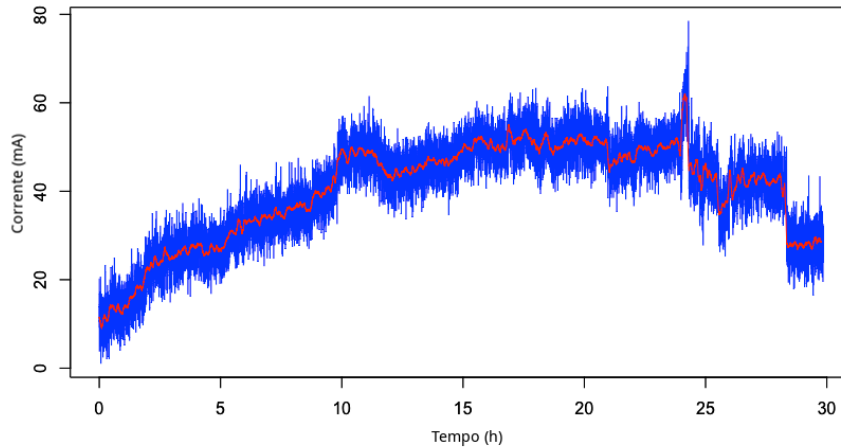


Figura 4.4: Resultado do Teste de *Long Run* para o Primeiro Protótipo

A autonomia do protótipo foi de cerca de 30 horas durante o período de teste. A corrente média medida durante esse teste foi de 40 ± 11 mA. Isso demonstra uma média dentro do valor esperado do teste anterior. A baixa variação é dada pelo padrão de medição, que toma 500 amostras dentro de um intervalo de cerca de 6s. O valor de pico medido nesse teste foi de 78mA. Variações grandes e instantâneas no valor médio da corrente indicam momentos onde o sistema sofreu uma queda e precisou reiniciar o funcionamento.

O teste final busca caracterizar os sensores de acordo com a precisão e exatidão dos dados produzidos. A metodologia aplicada para esse teste está descrita na Subseção 3.2.1. Pela característica digital, a precisão dos dados fornecidos pela IMU é uma característica inerente ao equipamento. Já no caso do LIDAR, a precisão é uma combinação do desempenho do SoC responsável pelo monitoramento e do sensor. O teste ainda compara o desempenho dos sensores utilizando diferentes taxas de aquisição.

Para a IMU, 35 medições foram realizadas após girar o protótipo em cerca de 90 graus para cima. Os resultados desse teste podem ser visualizados na Figura 4.5. Para uma taxa de aquisição de 10ms, o valor de ângulo encontrado foi de $89,9 \pm 0,2$ graus. Para uma taxa de aquisição de 100ms, o valor lido foi de $89,7 \pm 0,2$ graus. Por fim, para uma taxa de aquisição de 1000ms, o valor lido foi de $90,8 \pm 0,2$ graus. Esses valores indicam que no caso da IMU, a precisão das medições não é afetada pela taxa de amostragem.

Para o LIDAR, 35 medições foram realizadas para um objeto a uma distância

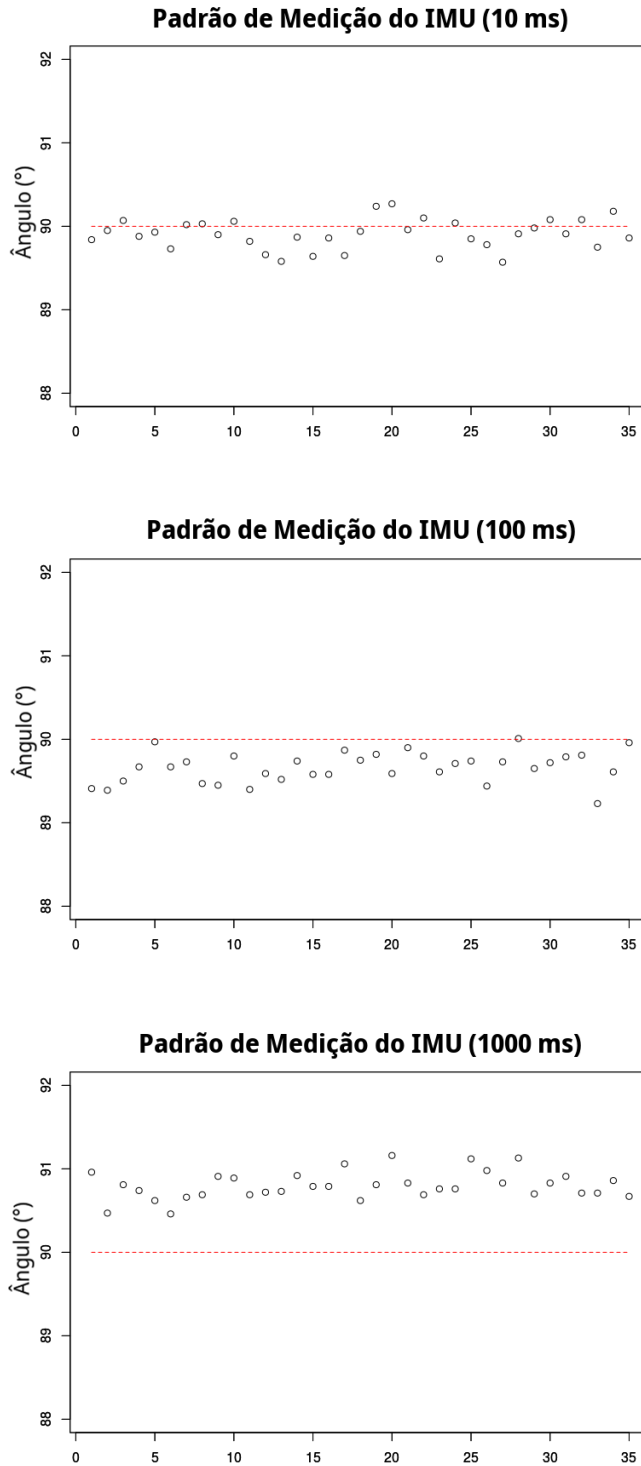


Figura 4.5: Visualização dos Testes de Precisão da IMU

de 20cm do sensor. Os resultados desse teste podem ser visualizados na Figura 4.6. Para uma taxa de aquisição de 10ms, o valor obtido foi de $18,9 \pm 2,9$ cm. Para uma taxa de aquisição de 100ms, o valor obtido foi de $20,6 \pm 0,9$ cm. Por fim, para uma taxa de aquisição de 1000ms, o valor obtido foi de $18,5 \pm 1,9$ cm. Esses valores

indicam que esse sistema consegue obter melhor os dados do LIDAR a uma taxa de amostragem mais baixa.

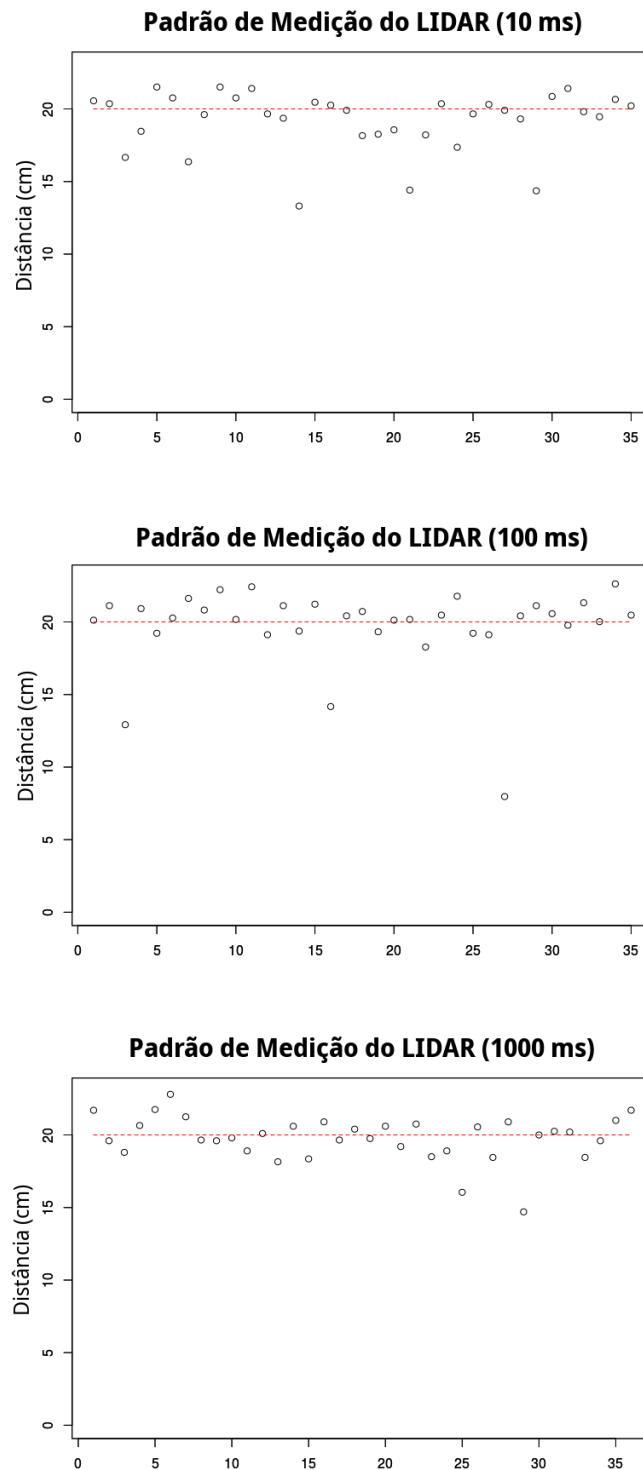


Figura 4.6: Visualização dos Testes de Precisão do LIDAR

Por fim, uma análise qualitativa do funcionamento do protótipo mostrou que a presença do servo-motor causa instabilidades mecânicas e elétricas no sistema. Sob

o ponto de vista do objetivo final, é difícil coordenar a movimentação do motor com o movimento natural da cabeça. Portanto, o servo motor foi retirado da arquitetura do segundo protótipo. Além disso, o encerramento da plataforma Intel® Edison e a dificuldade com compatibilidades de Hardware e Software levaram à substituição da solução na próxima arquitetura proposta.

4.2 Segundo Protótipo

O segundo protótipo foi inicialmente construído de acordo com o primeiro modelo de arquitetura apresentado na Subseção 3.2.2. Essa versão foi dimensionada para cumprir requisitos geométricos e estruturais, podendo haver prejuízos na estrutura comportamental. A solução produzida pode ser vista na Figura 4.7.

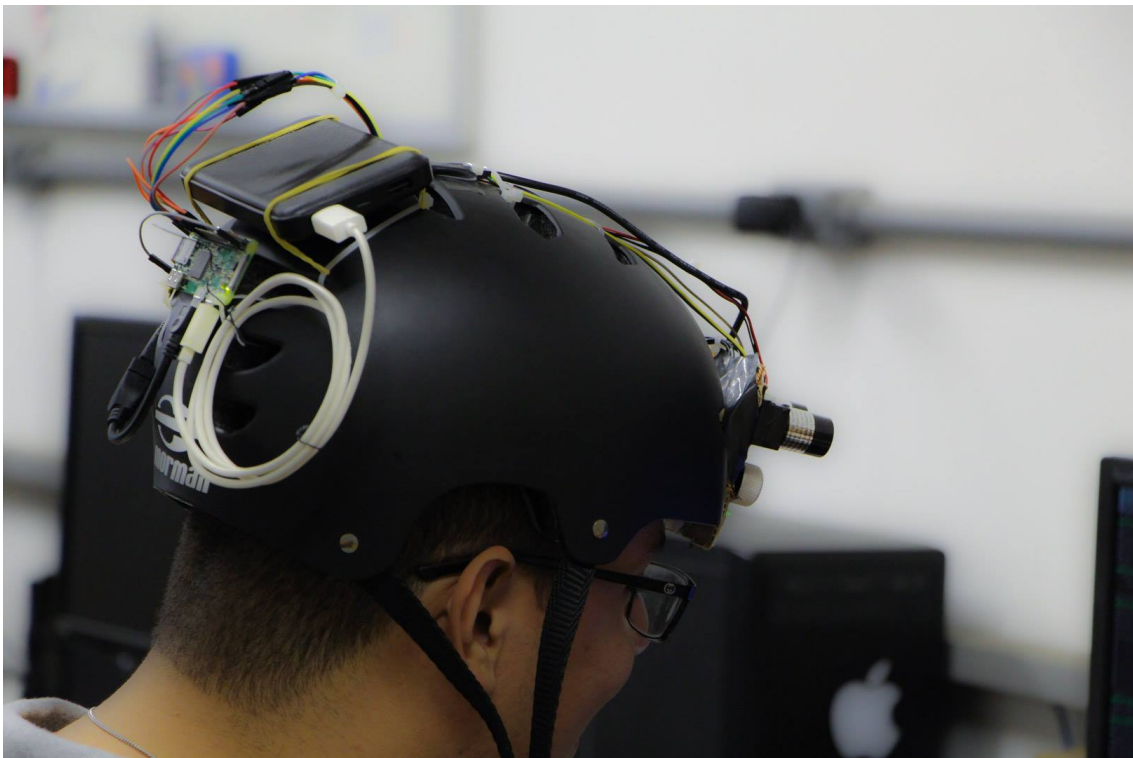


Figura 4.7: Protótipo Produzido de acordo com a Segunda Arquitetura

O segundo protótipo inicialmente também adquire os dados de todos os sensores utilizando o SoC embarcado. O Computador-em-Chip escolhido para essa aplicação foi a *Raspberry Pi Zero W*. Essa placa possui um sistema operacional Linux baseado em Debian (Raspbian), e também possui capacidade de conexão a uma rede *Wireless* local. Essa placa possui pinos de Entrada/Saída digitais e barramento de comunicação I2C que permitem a utilização dos mesmos tipos sensores.

A placa é alimentada utilizando um *Power Bank* comercial através de uma entrada μ USB, fornecendo 5V de tensão. A placa por sua vez oferece a alimentação.

de 5V para o LIDAR e 3,3V para a IMU. A IMU utilizada é do modelo MPU6050, que também permite a comunicação usando o barramento I2C. Além desses sensores, o protótipo possui uma câmera USB que permite a aquisição de imagens do ambiente e fusão dos dados.

O algoritmo utilizado para realizar o processo previsto utiliza apenas uma tarefa, que realiza as leituras dos sensores em sequência. Em seguida, o computador transmite a imagem adquirida e os dados dos sensores utilizando uma conexão local via SSH. A Figura 4.8 apresenta a visualização gerada usando o protótipo.

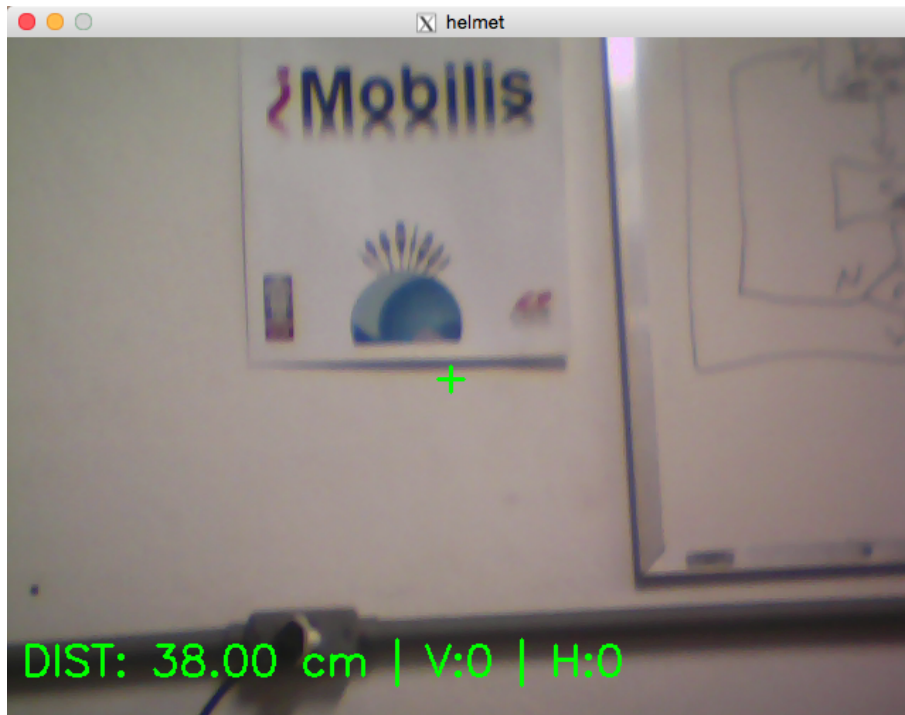


Figura 4.8: *Frame* gerado utilizando o Segundo Protótipo

4.2.1 Resultados dos Testes

Os testes realizados seguem a metodologia apresentada na Subseção 3.2.2. O primeiro teste proposto remonta o teste de *Long Run* realizado usando a versão anterior. Esse teste fornece uma visualização da robustez do sistema. No teste anterior, descontinuidades indicavam momentos de instabilidade do sistema. Além disso, esse teste permite avaliar a autonomia do sistema usando o novo conjunto de sensores.

Nessa etapa inicial, o *frame* gerado não foi transmitido, para aproximar o teste do teste realizado com o protótipo anterior. Como o sistema possui apenas uma entrada, esse teste fornece uma visão geral do gasto energético total esperado para esse protótipo.

O protótipo teve uma autonomia inicial medida de cerca de 19 horas durante o período de teste. A corrente média foi de $236 \pm 4,8$ mA. O pico registrado foi

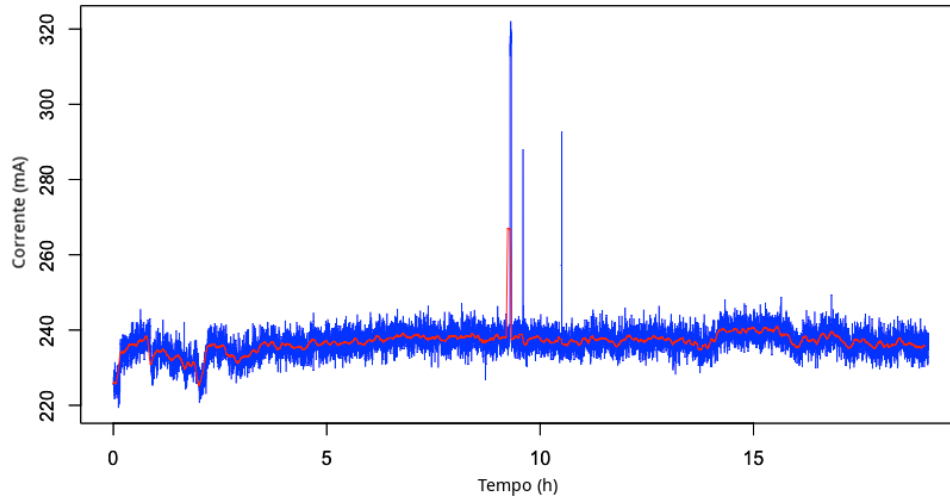


Figura 4.9: Resultado do Teste de *Long Run* para o Segundo Protótipo

de 322,1 mA. A maior estabilidade do consumo energético é reflexo de um sistema com maior robustez mecânica e elétrica. O teste foi realizado com o mesmo sistema montado para a versão anterior.

4.2.2 Resultados dos Testes - Otimizações de Arquitetura

Uma análise qualitativa sobre o teste demonstrou uma sobrecarga do *SoC* responsável por adquirir todas as informações. Dessa maneira, a proposta para eliminar esse prejuízo foi a distribuição de carga computacional, utilizando para isso mais *SoCs* que compõem uma rede de sensores. Esses novos nós formam uma rede conhecida como *Personal Area Network* (PAN) ou *Wireless Body Area Network* (WBAN) [94]. Essa mudança de escalabilidade através de arquiteturas multi-nodais está descrita na Subseção 3.2.2, bem como os testes propostos para avaliar as diferentes arquiteturas.

A arquitetura que possui apenas um nó será chamada de 1-Nodal. As demais arquiteturas propostas serão chamadas 2-Nodal e 3-Nodal. Para essa bateria de testes, a primeira arquitetura (1-Nodal) produz o *frame* exatamente como no teste anterior, porém dessa vez o transmite usando a conexão SSH. As arquiteturas multi-nodais (2-nodal e 3-nodal) adquirem o dado da câmera usando um nó e os dados dos demais sensores utilizando outros nós.

Teste de *Long Run*

O primeiro teste para avaliar as diferentes versões desse sistema analisa o requisito energético. Esse teste é uma variação do teste de *Long Run* aplicado sobre o sistema anterior.

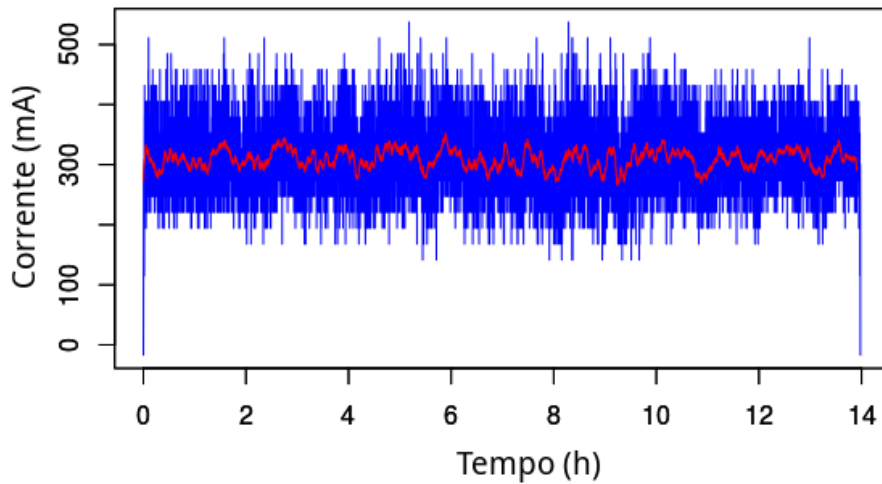


Figura 4.10: Teste de *Long Run* para a Arquitetura 1-Nodal

A Figura 4.10 apresenta o resultado do teste para a arquitetura 1-Nodal. A corrente medida foi de 309 ± 60 mA. O total de energia consumido foi 4320 mAH até a exaustão da bateria. A autonomia do sistema foi de cerca de 14 horas.

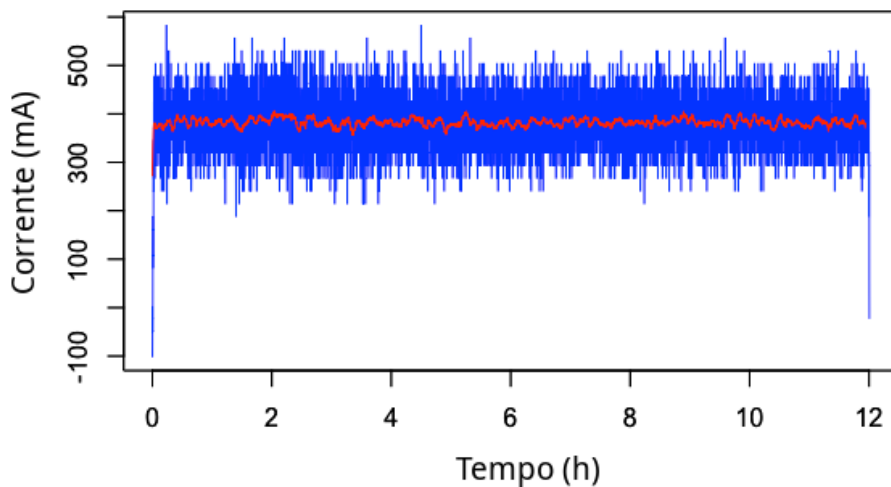


Figura 4.11: Teste de *Long Run* para a Arquitetura 2-Nodal

A Figura 4.11 apresenta o resultado do teste para a arquitetura 2-Nodal. A corrente medida foi de 381 ± 56 mA. O total de energia consumido foi 4584 mAH até a exaustão da bateria. A autonomia do sistema foi de cerca de 12 horas.

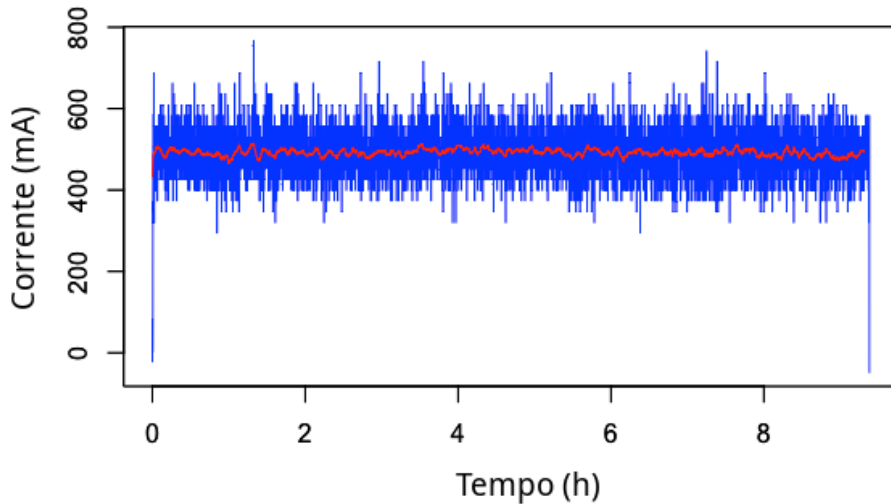


Figura 4.12: Teste de *Long Run* para a Arquitetura 3-Nodal

A Figura 4.12 apresenta o resultado do teste para a arquitetura 3-Nodal. A corrente medida foi de 491 ± 57 mA. O total de energia consumido foi 4610 mAH até a exaustão da bateria. A autonomia do sistema foi de cerca de 9 horas e 30 minutos.

O padrão de gasto energético constante nos testes de *Long Run* para todas as arquiteturas indicam que a distribuição não interferiu na robustez do sistema. Porém, há um impacto energético para cada novo *SoC* envolvido na aquisição de dados. No caso desse sistema, cada novo nó representou um aumento de 80mA a 100mA no consumo médio de corrente. Cada novo nó causa uma diminuição na autonomia do sistema. Essa diminuição tem valor entre duas horas e duas horas e meia utilizando esses componentes.

O próximo teste aplicado sobre esse sistema foi o teste de Qualidade de Serviço. Conforme mencionado na Subseção 3.2.2, esse teste busca a quantidade mínima de *timeslots* para garantir um fator de qualidade pré-definido. Para esse teste, desejamos o máximo fator de qualidade, considerando o espaço amostral de medições (4000 medidas). Isso significa o valor $\alpha = 1.0$. O tamanho do *timeslot* escolhido foi o mínimo valor de amostragem utilizado na versão anterior do protótipo ($\lambda = 10ms$). A tabela 4.1 apresenta o resultado do teste de qualidade de serviço.

O teste de Qualidade de Serviço indica uma melhora significativa quando há sobrecarga computacional em um nó do sistema. Porém, o efeito da mudança de

Tabela 4.1: Resultado do Teste de Qualidade de Serviço

	$M(p_1, 1.0)$	$M(p_2, 1.0)$	$M(p_3, 1.0)$
1-Nodal	5	5	18
2-Nodal	1	1	3
3-Nodal	1	1	4

escalabilidade quando o sistema não apresenta característica de sobrecarga é nulo ou adverso. Esse efeito ocorre pois o sistema central tem que gerenciar mais conexões locais para transmitir e receber dados. Essa característica neutraliza uma potencial melhora do aumento da distribuição da carga de computação.

O último teste para comparar as diferentes versões do sistema foi o teste de qualidade dos dados. A tabela 4.2 apresenta os resultados para as diferentes arquiteturas. O aumento da incerteza na arquitetura 3-Nodal provavelmente reflete apenas uma diferença na configuração do nó responsável pela leitura dos dados, tendo em vista que a placa foi reaproveitada de outros projetos.

Tabela 4.2: Resultado do Teste de Qualidade de Dados

	Distância Medida (cm)
1-Nodal	29.4 ± 5.60
2-Nodal	29.3 ± 3.72
3-Nodal	22.1 ± 9.34

4.3 Terceiro Protótipo

Conforme mencionado na Subseção 3.2.3, o terceiro protótipo apresenta uma versão mais robusta da arquitetura 2-Nodal. O modelo da arquitetura é apresentado na Figura 3.12, com ênfase nas aplicações que utilizarão os dados. Quaisquer aplicações que utilizam os dados produzidos pelos nós-sensores necessitam fazer parte de uma rede local de área corporal (WBAN).

A aplicação desenhada sobre o escopo do método do cilindro busca estabelecer uma relação entre dimensões reais e virtuais. A grandeza utilizada para determinar essa relação é a distância até um anteparo. Para estabelecer os dados que servirão para construção do modelo do algoritmo de fusão de dados, foi necessário adquirir dados de distância e aferir a altura em *pixels* de uma imagem com tamanho real conhecido. Em seguida, é necessário estabelecer uma relação matemática através de uma regressão.

4.3.1 Resultados dos Testes

Para realizar esse teste, construímos um anteparo de dimensões conhecidas e aferimos a distância e as dimensões em *pixels* para o tamanho do objeto. Utilizando-se de 19 pontos aferidos em diferentes distâncias, buscamos estabelecer uma relação matemática através de um processo de regressão.

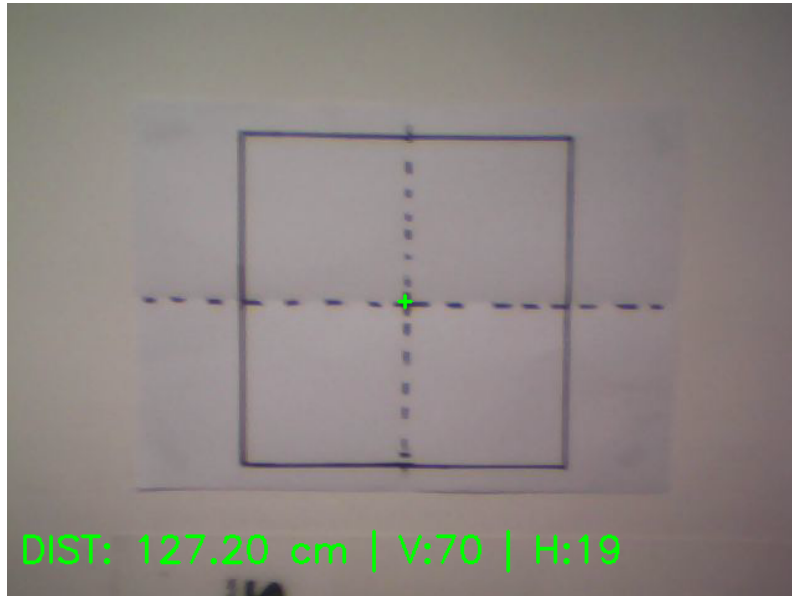


Figura 4.13: Captura do anteparo de calibração

O anteparo de calibração construído foi um quadrado de 40cm de lado. Esse anteparo foi posicionado sobre uma parede, e as diferentes capturas de dados foram realizadas utilizando o protótipo e uma aplicação auxiliar consumindo os dados. A Figura 4.13 mostra uma captura realizada utilizando o protótipo, contendo a imagem do anteparo e os valores dos sensores.

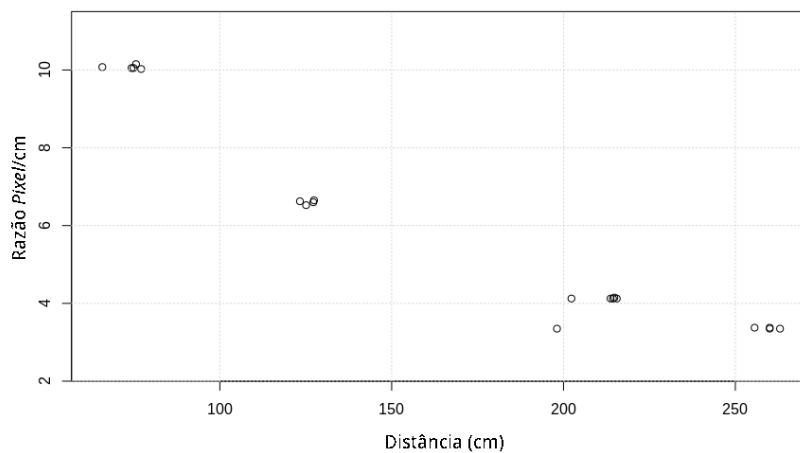


Figura 4.14: Pontos obtidos a partir da calibração experimental

A visualização é a mesma fornecida pelo segundo protótipo, reforçando o uso da mesma arquitetura e conseqüentemente a mesma base estrutural, apesar das mudanças geométricas no sistema. Através de imagens como a Figura 4.13, pares de pontos foram gerados com dados correspondentes a distância mensurada pelo sensor, e relação *pixel/cm* para cada imagem. Como o quadrado tem dimensões conhecidas, a relação *pixel/cm* é facilmente obtida dividindo o tamanho do quadrado da imagem em *pixels* por sua dimensão real. Os pontos obtidos através desse processo estão presentes na Figura 4.14.

O primeiro modelo de regressão candidato a resolver esse problema foi o linear. Uma regressão linear nada mais é do que uma função linear do tipo $y = Ax + B$ [95]. Ao procurar essa relação, assumimos que a função matemática candidata a relacionar a razão $R(d)$ expressa em *pixel/cm* com a distância d expressa em cm é no formato $R(d) = A.d + B$.

$$R(d) = -0,036d + 12,04 \quad (4.1)$$

A equação 4.1 apresenta o modelo de regressão linear obtido a partir dos pontos apresentados na Figura 4.14.

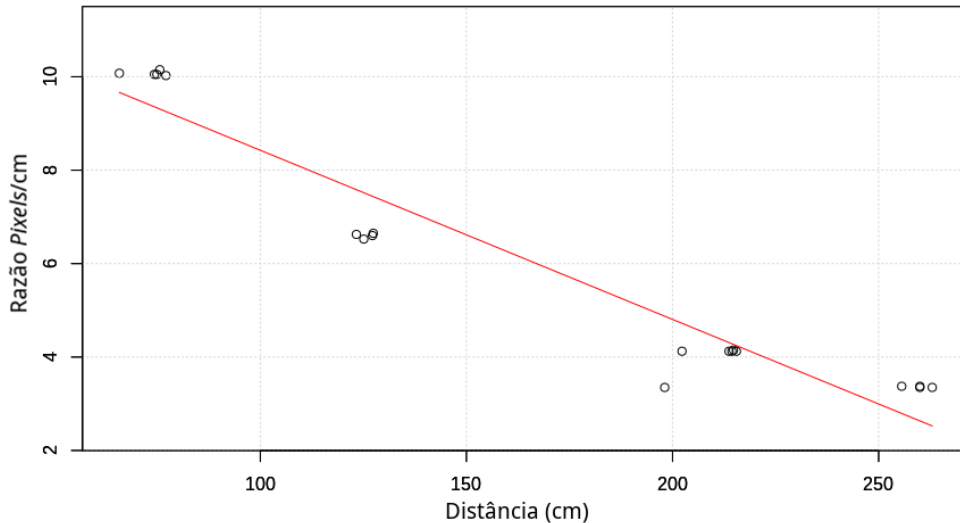


Figura 4.15: Modelo de Regressão Linear

Essa aproximação obteve um coeficiente de determinação $R^2 = 0,92$, o que é um indicativo inicial de que o modelo é um bom candidato a resolver o problema. A Figura 4.15 apresenta o resultado da curva obtida a partir do modelo de regressão linear apresentado na equação 4.1.

Apesar do resultado apresentar índices estatísticos potencialmente bons, verificou-se que o comportamento do algoritmo de fusão de dados era inadequado para de-

terminados pontos, especialmente quando a distância diminui ou aumenta muito. Assim, o modelo linear não apresentou comportamento adequado para esse conjunto de pontos.

A partir da inspeção visual dos pontos, o modelo seguinte proposto como solução para o algoritmo de fusão de dados é baseado na equação $y = A.x^B$. Esse tipo de modelo é similar a uma regressão polinomial, e é conhecido como *Power Regression*. Ele pode ser reduzido a uma relação linear usando logaritmos ($\log y = \log A + B.\log x$). Sendo assim, ao procurar essa relação, assumimos que a função matemática candidata a relacionar a razão $R(d)$ com a distância d é no formato $R(d) = A.d^B$.

$$R(d) = 435,7.d^{-8,874} \quad (4.2)$$

A equação 4.2 apresenta o modelo de regressão “polinomial” obtido a partir dos pontos apresentados na Figura 4.14.

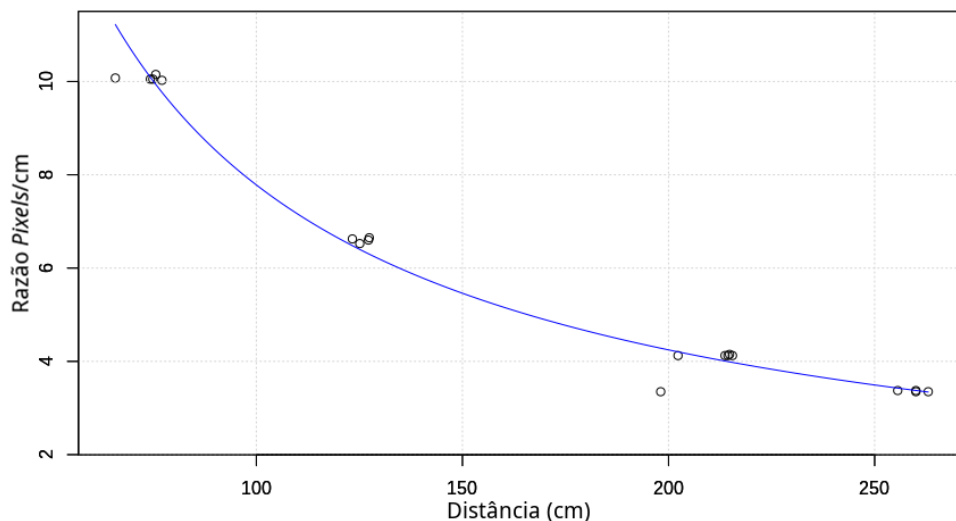


Figura 4.16: Modelo de Regressão “Polinomial”

Essa aproximação obteve um coeficiente de determinação $R^2 = 0,97$, o que é um indicativo inicial de que o modelo é um candidato ainda melhor do que o primeiro a resolver o problema. A Figura 4.16 apresenta o resultado da curva obtida a partir do modelo de regressão apresentado na equação 4.2.

O comportamento que o algoritmo de fusão de dados apresentou utilizando o novo modelo de regressão foi adequado. O resultado apresentou índices estatísticos bons e a curva de regressão representa melhor os dados aferidos experimentalmente. Dessa forma, o modelo de regressão obtido é considerado adequado para o desempenho do algoritmo de fusão de dados. A Figura 4.17 evidencia a evolução do segundo modelo de regressão em relação ao primeiro.

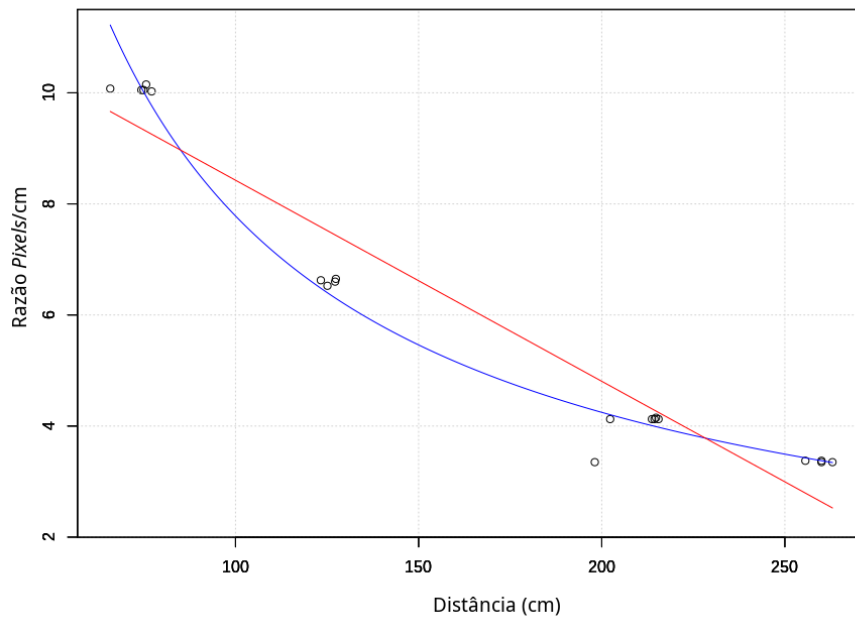


Figura 4.17: Comparação entre os modelos de regressão

A etapa seguinte à utilização de dados reais de calibração para o algoritmo de fusão de dados foi a colocação de um objeto virtual no sistema. Esse objeto é um quadrado, de mesma dimensão do quadrado de calibração, que foi colocado sobre o centro da imagem. Assim, por inspeção visual, é possível aferir a qualidade dos resultados obtidos. A Figura 4.18 mostra o resultado da colocação de objetos virtuais no sistema utilizando o algoritmo de Fusão de Dados proposto.

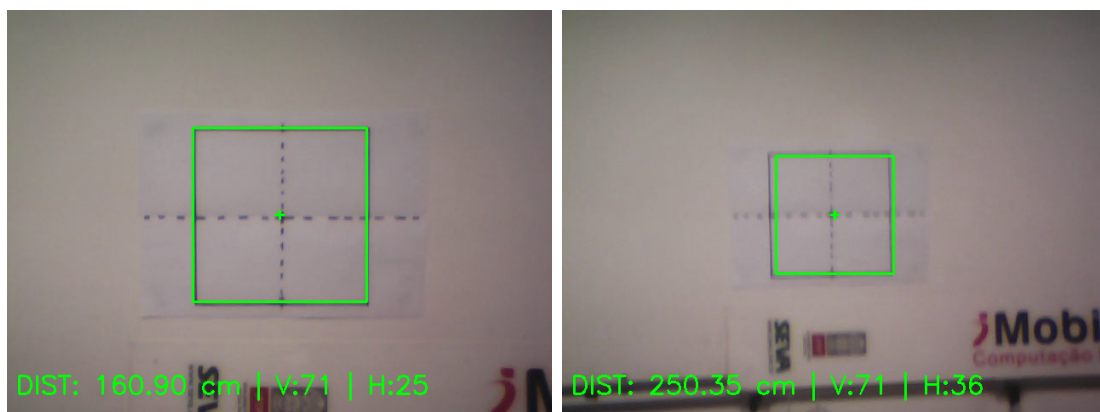


Figura 4.18: Colocação de objetos virtuais usando Fusão de Dados

4.3.2 Resultados dos Testes - Otimizações de Arquitetura

Como comprovado no Capítulo 2, o requisito de **energia** é um dos principais e mais básicos no projeto e construção de soluções embarcadas. Ainda, os elementos de

software e hardware estão integrados, e possuem interdependência. Dessa maneira, uma maneira de melhorar o sistema é otimizando elementos de software intimamente relacionados com elementos de hardware.

Dentro desse contexto, um dos elementos indispensáveis de software com alta integração com o hardware é o Sistema Operacional. Conforme mencionado no Capítulo 3, Subseção 3.2.3, é possível gerar versões de SOs com otimizações a partir da ferramenta apresentada por Amorim *et al.* [1].

Essa seção de testes busca, portanto, comparar o desempenho do sistema utilizando versões de SO com otimizações e versões que utilizam um SO de uso geral. Os sistemas com SO de uso geral apresentam o Raspbian Lite, um SO Linux criado pelo fabricante dos Computadores-em-Chip para ser utilizado com o hardware.

O primeiro aspecto comparado foi o consumo energético. Para compreender esse aspecto, uma rotina foi repetida dez vezes para cada versão do protótipo, de acordo com a seguinte cronologia:

- 0s a 60s – Tempo de Boot e Inicialização de Software
- 60s a 240s – Produção de dados e transmissão para aplicação consumidora.

Nesse cronograma, foram amostrados os dados de corrente utilizando uma média de 10 medições subsequentes do sensor. Após adquiriros dados, foram realizados dois tipos de observações.

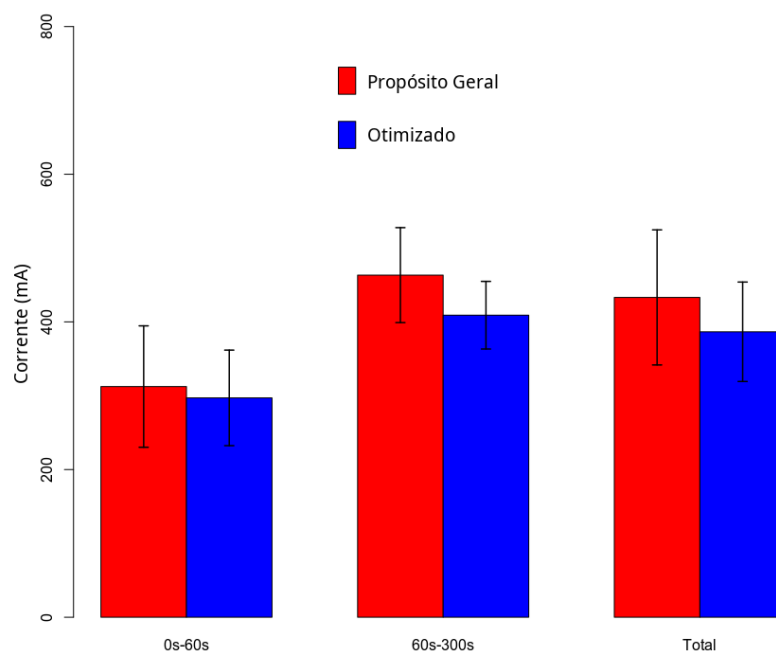


Figura 4.19: Consumo energético médio em cada etapa

A primeira análise apresenta uma comparação entre o consumo energético médio durante os primeiros 60 segundos, no intervalo entre os 60 e 240 segundos e a tendência total, como apresentado na Figura 4.19. Nela, os dados de consumo médio da versão com sistema operacional de uso geral está apresentada em vermelho e os dados da versão otimizada estão apresentados em azul.

Os resultados dessa primeira observação mostram que nos primeiros 60 segundos a versão com Sistemas Operacionais otimizados obteve uma redução média no consumo de 5,2%. A redução no intervalo de 60 a 240 segundos foi de 13,3%. No total, a redução média de consumo foi de 12,0%. Essa tendência indica o ganho potencial ao utilizar sistemas operacionais otimizados.

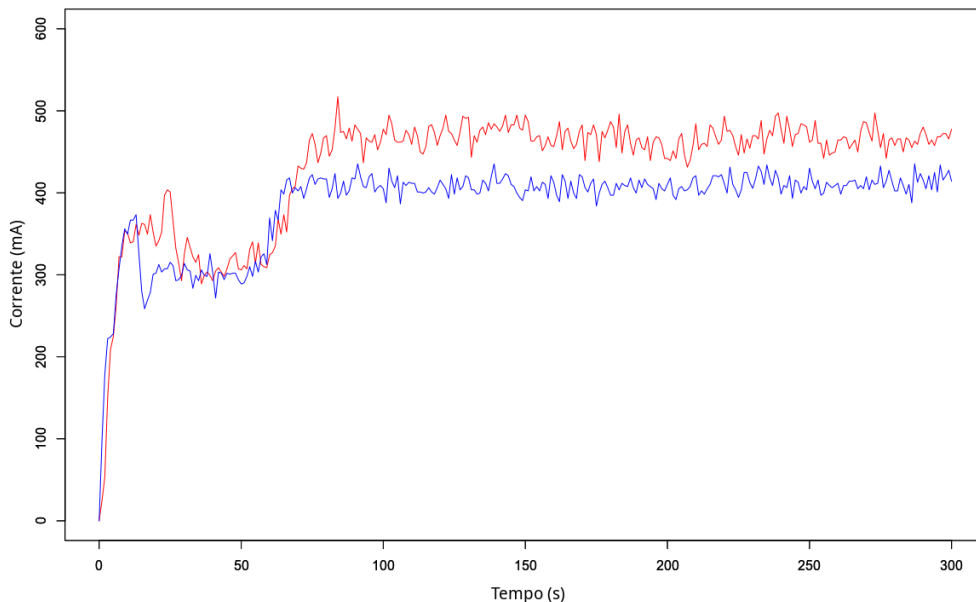


Figura 4.20: Comportamento do consumo médio temporal do protótipo

Essa observação é reforçada pela segunda análise, onde observamos o comportamento médio temporal para a corrente de segundo a segundo, conforme demonstrado na Figura 4.20. Novamente, os dados da versão com otimizações foi apresentada em azul, e da versão com SO de uso geral em vermelho.

Tabela 4.3: Resultados dos Testes de *Long Run*

SO de Uso Geral			
Round 1	Round 2	Round 3	Mean
2324.37 s	2315.32 s	2466.50 s	2368.73 ± 84.79
SO Otimizado			
2974.29 s	2999.90 s	2942.64 s	2972.27 ± 28.68 s

Os dados anteriores indicam que há um ganho significativo no consumo energético médio. A observação final dentro dessa bateria de experimentos vem dos testes de *Long Run*. Nele, buscamos compreender como essa redução no consumo se traduz em um ganho final na autonomia do sistema. O experimento consistiu em três rodadas de execuções para cada versão. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.3. Os resultados mostram que a redução no consumo energético se traduz em uma autonomia cerca de 25% maior do protótipo.

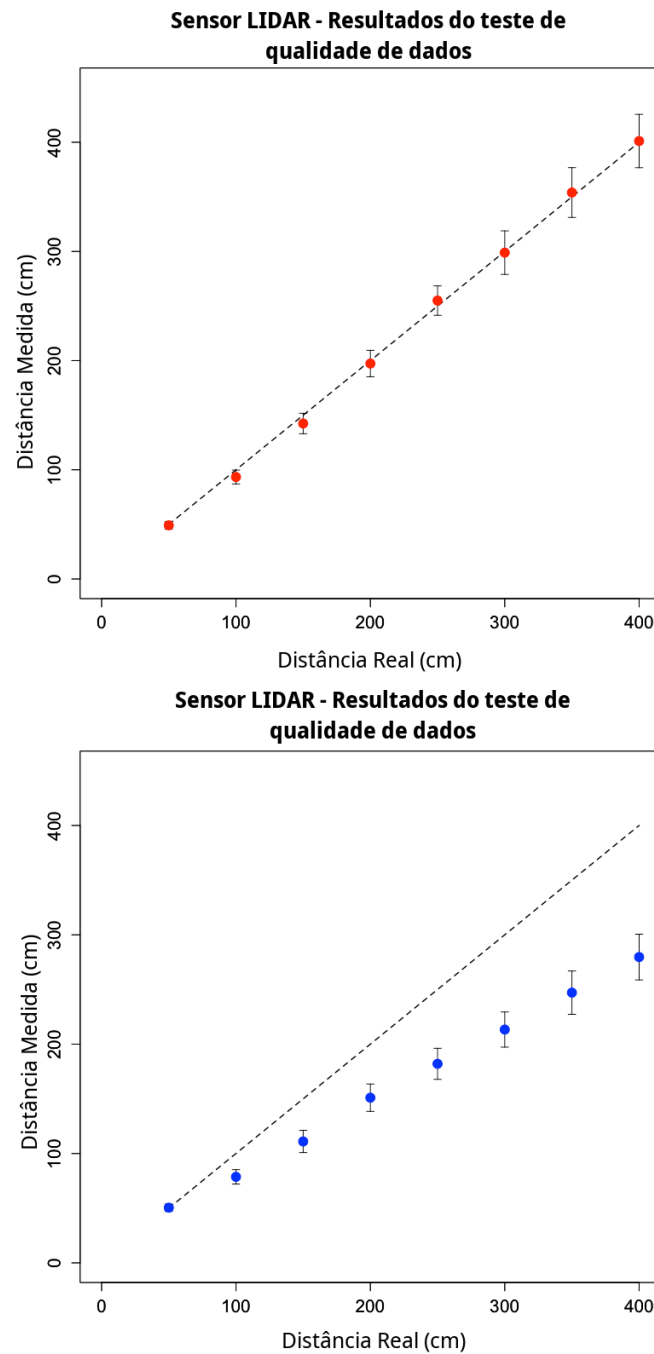


Figura 4.21: Resultados dos testes de precisão

O último teste comparando as duas arquiteturas é a análise da qualidade de

dados, conforme apresentado na Subseção 3.2.3. Para isso, os dados do LIDAR adquiridos para diferentes distâncias foram utilizados como parâmetro de qualidade. A média e o desvio padrão das medições de cada versão do protótipo foram analisadas e comparadas. A Figura 4.21 mostra os dados obtidos para os dois experimentos.

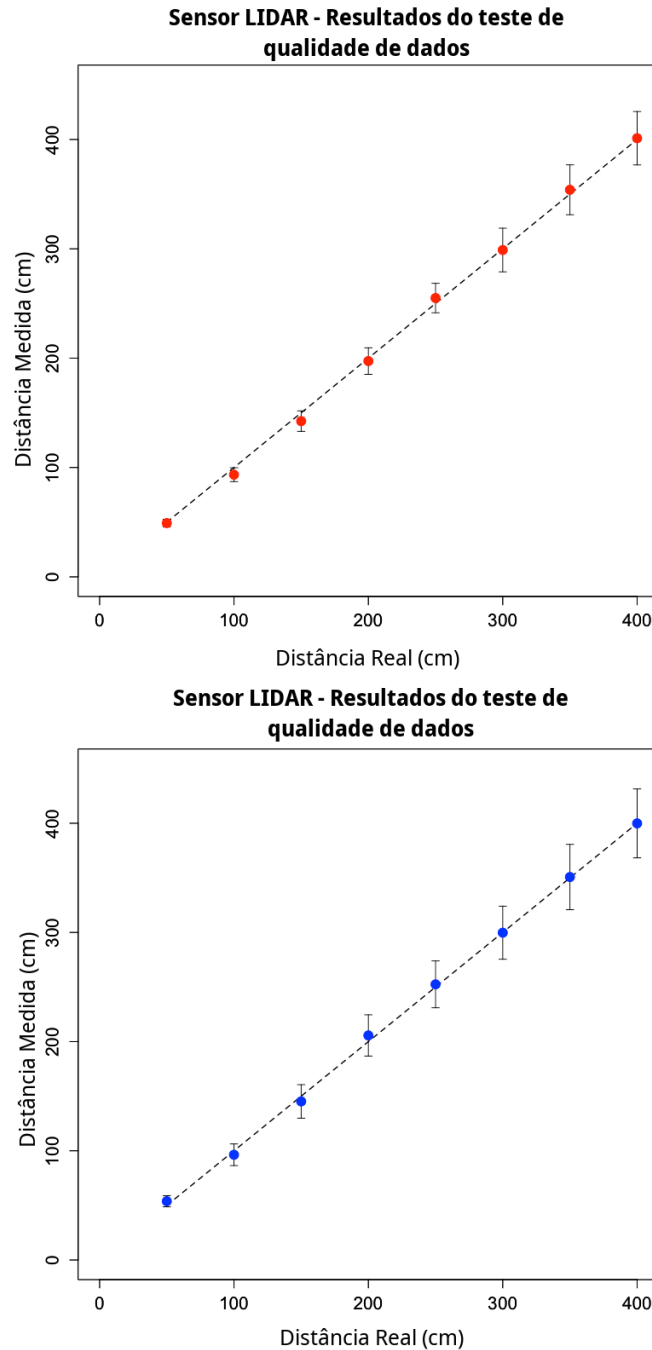


Figura 4.22: Resultados dos testes de precisão após a calibração

Novamente, o gráfico com pontos vermelhos mostra os dados obtidos com a versão do protótipo com SOs de uso geral, e o gráfico com pontos azuis mostra a versão com SOs otimizados. A linha tracejada em ambos os gráficos mostra o comportamento ideal dos sistemas. No eixo das abscissas, estão representadas as distâncias reais

entre o protótipo e o anteparo, e o eixo y mostra as distâncias medidas.

Inicialmente, o desvio padrão dos dados adquiridos possui aproximadamente a mesma magnitude. Contudo, os dados da versão otimizada mostram um erro sistemático de linearidade. Para corrigir esse erro, foi aplicada uma calibração, corrigindo a inclinação da curva. A Figura 4.22 mostra o comportamento de ambos os sistemas após a calibração. Apesar do comportamento se aproximar do ideal, o desvio padrão aumentou na magnitude do ajuste linear realizado, tornando a incerteza um pouco maior que na versão com SOs de uso geral.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

Esse trabalho apresenta uma análise sobre a perspectiva do uso de equipamentos vestíveis com computadores embarcados na captura de informações do ambiente do dossel florestal. Para isso, um processo de contagem de folhas é usado como estudo de caso.

Em seguida, aborda aspectos metodológicos para propor e conceber um sistema embarcado vestível que auxilie na tarefa descrita no estudo de caso. Nessa etapa, são apresentados os principais requisitos para o projeto e prototipagem de sistemas embarcados vestíveis, e como esses requisitos são aliados em etapas iterativas de modelagem de soluções.

Além disso, o trabalho apresenta etapas iterativas de evolução da arquitetura da solução proposta. Utilizando a metodologia estudada, diferentes versões da arquitetura foram propostas com base em análises iterativas de cada uma das etapas.

Por fim, o trabalho apresenta etapas de prototipagem no sentido de aproximar-se de uma solução final. Os protótipos produzidos foram submetidos a testes de validação para as propostas iniciais e propostas de otimização. Esse capítulo apresenta as conclusões obtidas a partir desse trabalho e as etapas a serem cumpridas.

5.1 Conclusões

Os estudos de dosséis florestais são importantes ferramentas para ecólogos realizarem levantamentos sobre a biodiversidade florestal. Contudo, há pouca colaboração da academia no sentido de produzir soluções que auxiliem esses estudos. O uso de computadores vestíveis apresenta uma perspectiva interessante de avanço nesse sentido, especialmente quando há restrições de segurança.

O desenvolvimento de um sistema embarcado vestível passa pelo levantamento de requisitos de acordo com necessidades básicas de sistemas embarcados vestíveis. Um sistema vestível possui os mesmos requisitos básicos de um sistema embarcado

de uso geral, porém precisa lidar com outros requisitos definidos apenas em seu próprio contexto.

Esse trabalho levanta esses requisitos e apresenta uma visão geral da metodologia para concepção desses sistemas. Especialmente no contexto de prototipagem utilizando ferramentas de alto nível, não há um estabelecimento claro de metodologia completa para concepção, criação e validação de sistemas embarcados. Esse trabalho contribui abordando aspectos pontuais, especialmente na concepção e início do processo de prototipagem.

Além das conclusões parciais apresentadas no Capítulo 4, os resultados obtidos com os protótipos sugerem que o trabalho se aproxima de uma solução que permite o cumprimento das tarefas estabelecidas no estudo de caso. Tudo isso indica que o trabalho cumpre o principal objetivo estabelecido, além de cumprir também os tópicos e contribuições secundárias propostas.

5.2 Trabalhos Futuros

Para etapas futuras desse trabalho, o sistema pode ser evoluído para incluir o reconhecimento automático de objetos de interesse na imagem. Esse tipo de aplicação envolve conhecimentos de visão computacional, como também *Machine Learning* e *Deep Learning*.

Além disso, outro aspecto a ser explorado são testes piloto envolvendo a experiência do usuário final. Esses testes vão garantir a facilidade de uso e identificar possíveis gargalos na aceitação da solução final pelos usuários-alvo.

5.3 Agradecimento aos Órgãos de Fomento

O autor gostaria de agradecer à FAPEMIG, CAPES, CNPq e UFOP pelo fomento ao projeto de pesquisa apresentado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

- [1] JP AMORIM, V., C SILVA, M., AR OLIVEIRA, R. “Software and Hardware Requirements and Trade-Offs in Operating Systems for Wearables: A Tool to Improve Devices’ Performance”, *Sensors*, v. 19, n. 8, pp. 1904, 2019.
- [2] RAJKUMAR, R., LEE, I., SHA, L., et al. “Cyber-physical systems: the next computing revolution”. In: *Design Automation Conference*, pp. 731–736. IEEE, 2010.
- [3] BAHETI, R., GILL, H. “Cyber-physical systems”, *The impact of control technology*, v. 12, n. 1, pp. 161–166, 2011.
- [4] LEE, E. A. “Cyber-physical systems-are computing foundations adequate”. In: *Position paper for NSF workshop on cyber-physical systems: research motivation, techniques and roadmap*, v. 2, pp. 1–9. Citeseer, 2006.
- [5] SHIN, D.-H., JIN PARK, Y. “Understanding the Internet of Things ecosystem: multi-level analysis of users, society, and ecology”, *Digital Policy, Regulation and Governance*, v. 19, n. 1, pp. 77–100, 2017.
- [6] BILLINGHURST, M., STARNER, T. “Wearable devices: new ways to manage information”, *Computer*, v. 32, n. 1, pp. 57–64, 1999.
- [7] PATEL, M. S., ASCH, D. A., VOLPP, K. G. “Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change”, *Jama*, v. 313, n. 5, pp. 459–460, 2015.
- [8] CASE, M. A., BURWICK, H. A., VOLPP, K. G., et al. “Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data”, *Jama*, v. 313, n. 6, pp. 625–626, 2015.
- [9] DOOLEY, E. E., GOLASZEWSKI, N. M., BARTHOLOMEW, J. B. “Estimating accuracy at exercise intensities: a comparative study of self-monitoring heart rate and physical activity wearable devices”, *JMIR mHealth and uHealth*, v. 5, n. 3, pp. e34, 2017.

- [10] PATEL, M. S., FOSCHINI, L., KURTZMAN, G. W., et al. “Using wearable devices and smartphones to track physical activity: initial activation, sustained use, and step counts across sociodemographic characteristics in a national sample”, *Annals of internal medicine*, v. 167, n. 10, pp. 755–757, 2017.
- [11] HAGHI, M., THUROW, K., STOLL, R. “Wearable devices in medical internet of things: scientific research and commercially available devices”, *Health-care informatics research*, v. 23, n. 1, pp. 4–15, 2017.
- [12] WU, W., HAICK, H. “Healthcare Monitoring: Materials and Wearable Devices for Autonomous Monitoring of Physiological Markers (Adv. Mater. 41/2018)”, *Advanced Materials*, v. 30, n. 41, pp. 1870309, 2018.
- [13] HONG, Y. J., JEONG, H., CHO, K. W., et al. “Wearable and Implantable Devices for Cardiovascular Healthcare: from Monitoring to Therapy Based on Flexible and Stretchable Electronics”, *Advanced Functional Materials*, v. 29, n. 19, pp. 1808247, 2019.
- [14] BIRENBOIM, A., DIJST, M., SCHEEPERS, F. E., et al. “Wearables and location tracking technologies for mental-state sensing in outdoor environments”, *The Professional Geographer*, pp. 1–13, 2019.
- [15] CHAUDHARY, A., VERMA, D., OTHERS. “State of Art on Wearable Device to Assist Visually Impaired Person Navigation in Outdoor Environment”, *State of Art on Wearable Device to Assist Visually Impaired Person Navigation in Outdoor Environment (March 11, 2019)*, 2019.
- [16] BAI, J., LIU, Z., LIN, Y., et al. “Wearable Travel Aid for Environment Perception and Navigation of Visually Impaired People”, *Electronics*, v. 8, n. 6, pp. 697, 2019.
- [17] PRAKASH, R. J., NIVETHA, G., SRI, G. S., et al. “Wearable Navigation for Blind People”, *Journal of Computer Technology & Applications*, v. 10, n. 2, pp. 10–17, 2019.
- [18] FUNG, A. G., RAJAPAKSE, M. Y., MCCARTNEY, M. M., et al. “Wearable Environmental Monitor To Quantify Personal Ambient Volatile Organic Compound Exposures”, *ACS sensors*, 2019.
- [19] MAAG, B., ZHOU, Z., THIELE, L. “W-air: Enabling personal air pollution monitoring on wearables”, *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, v. 2, n. 1, pp. 24, 2018.

- [20] SERBANESCU, M., PLACINTA, V., HUTANU, O., et al. “Smart, low power, wearable multi-sensor data acquisition system for environmental monitoring”. In: *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, pp. 118–123. IEEE, 2017.
- [21] LOPEZ, J. M. C. “Remote Monitoring for Safety of Workers in Industrial Plants: Learned Lessons Beyond Technical Issues”. In: *Geographical and Fingerprinting Data to Create Systems for Indoor Positioning and Indoor/Outdoor Navigation*, Elsevier, pp. 301–310, 2019.
- [22] BERNAL, G., COLOMBO, S., AL AI BAKY, M., et al. “Safety++: Designing IoT and Wearable Systems for Industrial Safety through a User Centered Design Approach”. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, pp. 163–170. ACM, 2017.
- [23] ROMERO, D., MATTSSON, S., FAST-BERGLUND, Å., et al. “Digitalizing occupational health, safety and productivity for the operator 4.0”. In: *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, pp. 473–481. Springer, 2018.
- [24] HASHIMOTO, D. A., PHITAYAKORN, R., FERNANDEZ-DEL CASTILLO, C., et al. “A blinded assessment of video quality in wearable technology for telementoring in open surgery: the Google Glass experience”, *Surgical endoscopy*, v. 30, n. 1, pp. 372–378, 2016.
- [25] IQBAL, M. H., AYDIN, A., BRUNCKHORST, O., et al. “A review of wearable technology in medicine”, *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 109, n. 10, pp. 372–380, 2016.
- [26] KOLODZEY, L., GRANTCHAROV, P. D., RIVAS, H., et al. “Wearable technology in the operating room: a systematic review”, *BMJ Innovations*, v. 3, n. 1, pp. 55–63, 2017.
- [27] PONTES RIBEIRO, S., BASSET, Y. “Gall-forming and free-feeding herbivory along vertical gradients in a lowland tropical rainforest: the importance of leaf sclerophylly”, *Ecography*, v. 30, n. 5, pp. 663–672, 2007.
- [28] RIBEIRO, S. P., BASSET, Y. “Effects of sclerophylly and host choice on gall densities and herbivory distribution in an Australian subtropical forest”, *Austral ecology*, v. 41, n. 2, pp. 219–226, 2016.

- [29] SANCHES, L., DE CARVALHO ALVES, M., JÚNIOR, J. H. C., et al. “Estimativa do coeficiente Priestley-Taylor em floresta monodominante cambazal no Pantanal”, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 4, 2010.
- [30] CORNELISSEN, J., LAVOREL, S., GARNIER, E., et al. “A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide”, *Australian journal of Botany*, v. 51, n. 4, pp. 335–380, 2003.
- [31] LOWMAN, M. D. “Plants in the forest canopy: some reflections on current research and future direction”, *Plant Ecology*, v. 153, n. 1-2, pp. 39–50, 2001.
- [32] SIMBERLOFF, D. “The role of science in the preservation of forest biodiversity”, *Forest Ecology and Management*, v. 115, n. 2, pp. 101–111, 1999.
- [33] STORK, N. E., BALSTON, J., FARQUHAR, G., et al. “Tropical rainforest canopies and climate change”, *Austral Ecology*, v. 32, n. 1, pp. 105–112, 2007.
- [34] OZANNE, C., ANHUF, D., BOULTER, S., et al. “Biodiversity meets the atmosphere: a global view of forest canopies”, *Science*, v. 301, n. 5630, pp. 183–186, 2003.
- [35] NAKAMURA, A., KITCHING, R. L., CAO, M., et al. “Forests and their canopies: achievements and horizons in canopy science”, *Trends in Ecology & Evolution*, 2017.
- [36] RIBEIRO, S., CORBARA, B. “Dossel florestal: a fronteira desconhecida.” *Ciência Hoje.*, v. 217, 2005.
- [37] MAZZOCCHI, F., CECCHINI, M., MONARCA, D., et al. “An Overview of Risk Assessment for Tree Climber Arborists”, 2015.
- [38] RIBEIRO, S. P., BASSET, Y., KITCHING, R. “Density of insect galls in the forest understorey and canopy: Neotropical, Gondwana or global patterns?” In: *Neotropical Insect Galls*, Springer, pp. 129–141, 2014.
- [39] RIBEIRO, S. P., SILVA, M., TAGLIATI, M. C., et al. “Vegetation traits and herbivory distribution in an Australian subtropical forest”, *Memoir. Queensland. Mus.*, v. 55, pp. 481–493, 2011.
- [40] SILVA, M., OLIVEIRA, R. “Analyzing the Effect of Increased Distribution on a Wearable Appliance”. In: *2019 IEEE 43rd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*. IEEE, jul. 2019. doi:

10.1109/compsac.2019.10176. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/compsac.2019.10176>>.

- [41] SILVA, M. C., RIBEIRO, S. P., DELABRIDA, S., et al. “Desenvolvimento de capacete inteligente para aplicações de pesquisa de campo ecológico”. In: *Anais do XLVI Seminário Integrado de Software e Hardware*, pp. 69–80. SBC, 2019.
- [42] SILVA, M., DELABRIDA, S., RIBEIRO, S., et al. “Toward the Design of a Novel Wearable System for Field Research in Ecology”. In: *2018 VIII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC)*, pp. 160–165. IEEE, 2018.
- [43] VAHID, F., GIVARGIS, T. *Embedded system design: a unified hardware/software introduction*. New York: Wiley, 2002.
- [44] HANSEN, F. O. “Energy-Aware Model-Driven Development of a Wearable Healthcare Device”. In: *Software Engineering in Health Care: 4th International Symposium, FHIES 2014, and 6th International Workshop, SEHC 2014, Washington, DC, USA, July 17-18, 2014, Revised Selected Papers*, v. 9062, p. 44. Springer, 2017.
- [45] XIE, G., ZENG, G., XIAO, X., et al. “Energy-efficient scheduling algorithms for real-time parallel applications on heterogeneous distributed embedded systems”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 28, n. 12, pp. 3426–3442, 2017.
- [46] TAN, Y., YIN, X. “A dynamic scheduling algorithm for energy harvesting embedded systems”, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, v. 2016, n. 1, pp. 114, 2016.
- [47] MUNOZ, D.-J., MONTENEGRO, J. A., PINTO, M., et al. “Energy-aware environments for the development of green applications for cyber–physical systems”, *Future Generation Computer Systems*, v. 91, pp. 536–554, 2019.
- [48] CHERUPALLI, H., KUMAR, R., SARTORI, J. “Exploiting dynamic timing slack for energy efficiency in ultra-low-power embedded systems”, *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, v. 44, n. 3, pp. 671–681, 2016.
- [49] CHEN, B., HU, G., HO, D. W., et al. “Distributed covariance intersection fusion estimation for cyber-physical systems with communication constraints”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, v. 61, n. 12, pp. 4020–4026, 2016.

- [50] NIU, L., HAN, Q., WANG, T., et al. “Reliability-Aware Energy Management for Embedded Real-Time Systems with (m, k)-Hard Timing Constraint”, *Journal of Signal Processing Systems*, v. 90, n. 4, pp. 515–536, 2018.
- [51] ALNAWASREH, K., PELLICCIONE, P., HAO, Z., et al. “Online robustness testing of distributed embedded systems: An industrial approach”. In: *2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice Track (ICSE-SEIP)*, pp. 133–142. IEEE, 2017.
- [52] BARKALOV, A., TITARENKO, L., ANDRZEJEWSKI, G., et al. “Fault detection variants of the CloudBus protocol for IoT distributed embedded systems”, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, v. 17, n. 2, pp. 3–11, 2017.
- [53] CAMPOSANO, R., WILBERG, J. “Embedded system design”, *Design Automation for Embedded Systems*, v. 1, n. 1, pp. 5–50, 1996.
- [54] JANSEN, D. “Hardware/Software Co-Design”. In: *The Electronic Design Automation Handbook*, Springer, pp. 172–198, 2003.
- [55] GAJSKI, D., KUHN, R. “Guest editors’ Introduction, New VLSI tools”, 1983.
- [56] HEMANI, A. “Charting the EDA roadmap”, *IEEE Circuits and Devices Magazine*, v. 20, n. 6, pp. 5–10, 2004.
- [57] VEREDAS-RAMIREZ, F., SCHEPPLER, M., PFLEIDERER, H. “A survey on reconfigurable computing systems: Taxonomy and metrics”. In: *IV Workshop on Reconfigurable Computing and Applications (JCRA), Spain, 2004*.
- [58] ABID, M. *System-Level Hardware Synthesis of Dataflow Programs with HEVC as Study Use Case*. Tese de Doutorado, INSA de Rennes, 2016.
- [59] SOUZA, J. T. *Técnicas de Co-Design Aplicadas ao Desenvolvimento de uma Interface USB*. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.
- [60] BONATO, P. “Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, v. 22, n. 3, pp. 18–20, 2003.
- [61] YANG, C.-C., HSU, Y.-L. “A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring”, *Sensors*, v. 10, n. 8, pp. 7772–7788, 2010.

- [62] RHODES, B. J. “The wearable remembrance agent: A system for augmented memory”. In: *Wearable Computers, 1997. Digest of Papers., First International Symposium on*, pp. 123–128. IEEE, 1997.
- [63] PASCOE, J. “Adding generic contextual capabilities to wearable computers”. In: *Wearable Computers, 1998. Digest of Papers. Second International Symposium on*, pp. 92–99. IEEE, 1998.
- [64] BARFIELD, W. *Fundamentals of wearable computers and augmented reality*. CRC Press, 2015.
- [65] STARNER, T., MANN, S., RHODES, B., et al. “Augmented reality through wearable computing”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 6, n. 4, pp. 386–398, 1997.
- [66] STARNER, T. “How wearables worked their way into the mainstream”, *IEEE Pervasive Computing*, v. 13, n. 4, pp. 10–15, 2014.
- [67] AMFT, O., LUKOWICZ, P. “From backpacks to smartphones: Past, present, and future of wearable computers”, *IEEE Pervasive Computing*, v. 8, n. 3, 2009.
- [68] WEI, J. “How Wearables Intersect with the Cloud and the Internet of Things: Considerations for the developers of wearables.” *IEEE Consumer Electronics Magazine*, v. 3, n. 3, pp. 53–56, 2014.
- [69] DELABRIDA, S. E., DANGELO, T., OLIVEIRA, R. A. R., et al. “Towards a wearable device for monitoring ecological environments”. In: *Computing Systems Engineering (SBESC), 2015 Brazilian Symposium on*, pp. 148–153. IEEE, 2015.
- [70] DELABRIDA, S., D’ANGELO, T., OLIVEIRA, R. A. R., et al. “Wearable HUD for Ecological Field Research Applications”, *Mobile Networks and Applications*, v. 21, n. 4, pp. 677–687, 2016.
- [71] BABER, C., CROSS, J., WOOLLEY, S. I., et al. “Wearable computing for field archaeology”. In: *Wearable Computers, 2001. Proceedings. Fifth International Symposium on*, pp. 169–171. IEEE, 2001.
- [72] PIRKL, G., HEVESI, P., AMARISLANOV, O., et al. “Smart helmet for construction site documentation and work support”. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct*, pp. 349–352. ACM, 2016.

- [73] HALL, D. L., LLINAS, J. “An introduction to multisensor data fusion”, *Proceedings of the IEEE*, v. 85, n. 1, pp. 6–23, 1997.
- [74] LAHAT, D., ADALI, T., JUTTEN, C. “Multimodal data fusion: an overview of methods, challenges, and prospects”, *Proceedings of the IEEE*, v. 103, n. 9, pp. 1449–1477, 2015.
- [75] ZHENG, Y., OTHERS. “Methodologies for Cross-Domain Data Fusion: An Overview.” *IEEE Trans. Big Data*, v. 1, n. 1, pp. 16–34, 2015.
- [76] JOSHI, N., BAUMANN, M., EHAMMER, A., et al. “A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring”, *Remote Sensing*, v. 8, n. 1, pp. 70, 2016.
- [77] JI, W., ADAMCHUK, V., CHEN, S., et al. “The use of proximal soil sensor data fusion and digital soil mapping for precision agriculture”. In: *Pedometrics 2017*, pp. 298–p, 2017.
- [78] CALHOUN, V. D., SUI, J. “Multimodal fusion of brain imaging data: a key to finding the missing link (s) in complex mental illness”, *Biological psychiatry: cognitive neuroscience and neuroimaging*, v. 1, n. 3, pp. 230–244, 2016.
- [79] WANG, M., PERERA, C., JAYARAMAN, P. P., et al. “City data fusion: Sensor data fusion in the internet of things”, *International Journal of Distributed Systems and Technologies (IJDST)*, v. 7, n. 1, pp. 15–36, 2016.
- [80] KUMAR, P., GAUBA, H., ROY, P. P., et al. “Coupled HMM-based multi-sensor data fusion for sign language recognition”, *Pattern Recognition Letters*, v. 86, pp. 1–8, 2017.
- [81] WILLIAMSON, J., LIU, Q., LU, F., et al. “Data sensing and analysis: Challenges for wearables”. In: *Design Automation Conference (ASP-DAC), 2015 20th Asia and South Pacific*, pp. 136–141. IEEE, 2015.
- [82] GRAVINA, R., ALINIA, P., GHASEMZADEH, H., et al. “Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges”, *Information Fusion*, v. 35, pp. 68–80, 2017.
- [83] HAYERI, A. “Predicting Future Glucose Fluctuations Using Machine Learning and Wearable Sensor Data”. 2018.
- [84] LI, H., SHRESTHA, A., FIORANELLI, F., et al. “Multisensor data fusion for human activities classification and fall detection”. In: *SENSORS, 2017 IEEE*, pp. 1–3. IEEE, 2017.

- [85] KOSHMAK, G., LOUTFI, A., LINDEN, M. “Challenges and issues in multisensor fusion approach for fall detection”, *Journal of Sensors*, v. 2016, 2016.
- [86] MOHEBBI, P., STROULIA, E., NIKOLAIDIS, I. “Sensor-Data Fusion for Multi-Person Indoor Location Estimation”, *Sensors*, v. 17, n. 10, pp. 2377, 2017.
- [87] SZELISKI, R. *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [88] TAVERRITI, G., LOMBINI, S., SEIDENARI, L., et al. “Real-time Wearable Computer Vision System for Improved Museum Experience”. In: *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference*, pp. 703–704. ACM, 2016.
- [89] STEARNS, L., THIEME, A. “Automated Person Detection in Dynamic Scenes to Assist People with Vision Impairments: An Initial Investigation”. In: *Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 391–394. ACM, 2018.
- [90] WANG, H.-C., KATZSCHMANN, R. K., TENG, S., et al. “Enabling independent navigation for visually impaired people through a wearable vision-based feedback system”. In: *2017 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA)*, pp. 6533–6540. IEEE, 2017.
- [91] HASSANNEJAD, H., MATRELLA, G., CIAMPOLINI, P., et al. “Automatic diet monitoring: a review of computer vision and wearable sensor-based methods”, *International journal of food sciences and nutrition*, v. 68, n. 6, pp. 656–670, 2017.
- [92] SCHÜTZ, A. “The Concept of Electronic Design Automation”. In: *The Electronic Design Automation Handbook*, Springer, pp. 33–49, 2003.
- [93] BOUKERCHE, A., SAMARAH, S. “A novel algorithm for mining association rules in wireless ad hoc sensor networks”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, v. 19, n. 7, pp. 865–877, 2008.
- [94] AHMED, S., BAIG, M. R., AHSAN, M., et al. “Cooperation vs. Non-Cooperation Based routing Protocols in WBAN”, *International Research Journal of Electronics and Computer Engineering*, v. 2, n. 4, pp. 1–6, 2016.

- [95] FREEDMAN, D. A. *Statistical models: theory and practice*. cambridge university press, 2009.