

ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FLAVIO ROCHA DE AVILA

VALIDAÇÃO DE CONCEITO EM TECNOLOGIA EMBARCADA VESTÍVEL PARA AVALIAÇÃO
DE RESPOSTA DO MOVIMENTO OCULAR.

Porto Alegre
2020

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul

FLAVIO ROCHA DE AVILA

VALIDAÇÃO DE CONCEITO EM TECNOLOGIA EMBARCADA VESTÍVEL
PARA AVALIAÇÃO DE RESPOSTA DO MOVIMENTO OCULAR.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Fabian Luis Vargas

Porto Alegre
2020

Ficha Catalográfica

A958v Avila, Flavio Rocha de

Validação de conceito em tecnologia embarcada vestível para avaliação de resposta do movimento ocular / Flavio Rocha de Avila . – 2020.

106 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PUCRS.

Orientador: Prof. Dr. Fabian Luis Vargas.

1. Tecnologia Vestível. 2. Head Tracking. 3. Reflexo Vestíbulo Ocular (RVO). 4. Nistágmo. I. Vargas, Fabian Luis. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da PUCRS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bibliotecária responsável: Clarissa Jesinska Selbach CRB-10/2051



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA - PPGE

VALIDAÇÃO DE CONCEITO EM TECNOLOGIA EMBARCADA VESTÍVEL PARA AVALIAÇÃO DE RESPOSTA DO MOVIMENTO OCULAR.

CANDIDATO: FLAVIO ROCHA DE AVILA

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

DR. FABIAN LUIS VARGAS - ORIENTADOR

BANCA EXAMINADORA

DR. RÉGIS GEMERASCA MESTRINER - PPGGB - PUCRS

DR. RAFAEL REIMANN BAPTISTA - PPGE - PUCRS

PUCRS

Av. Ipiranga, 6681 - Predio 32 - Sala 507 | CEP 90619-900 | Porto Alegre, RS - Brasil
Fone: (51) 3320-3540 | E-mail: engenharia.pg.eletrica@pucrs.br | www.pucrs.br/politecnica

DEDICATÓRIA

%A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo+ (Albert Einstein)

então....

%Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim+ (Nikola Tesla)

VALIDAÇÃO DE CONCEITO EM TECNOLOGIA EMBARCADA VESTÍVEL PARA AVALIAÇÃO DE RESPOSTA DO MOVIMENTO OCULAR.

RESUMO

O reflexo vestibulo-ocular é um movimento involuntário do ajuste ocular que serve para estabilizar as imagens da retina durante os movimentos da cabeça. O reflexo consiste em movimentos compensatórios lentos dos olhos na direção oposta à rotação da cabeça e rápidos movimentos de reorientação, geralmente na mesma direção do movimento da cabeça. Este trabalho apresenta a proposta de um dispositivo de alta confiabilidade e baixo custo para o registro dos movimentos (aceleração e posição) da cabeça durante o exame de reflexo vestibulo-ocular. As medidas dos movimentos da cabeça são usadas para caracterização dos estímulos aplicados para quantificar o equilíbrio humano.

As coletas de dados foram realizadas simultaneamente, extraídos de um sujeito utilizando o dispositivo desenvolvido em conjunto com um dispositivo áureo em laboratório especializado para análises de movimentos. Posteriormente estes dados foram analisados para verificar-se a convergência entre o dispositivo proposto e o equipamento padrão. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade técnica para a utilização futura em aplicações clínicas.

CONCEPT VALIDATION OF EMBEDDED WEARABLE TECHNOLOGY FOR EVALUATION OF OCULAR MOVEMENT RESPONSE.

ABSTRACT

The vestibulo-ocular reflex is an involuntary movement of the eye adjustment that serves to stabilize retinal images during head movements. The vestibulo-ocular reflex consists of compensatory eye movements in the opposite direction to the head rotation and rapid reorientation movements, usually in the same direction as the head movement. This dissertation presents a proposal of a low cost and high-speed device for recording head movements (acceleration and positioning) during the vestibulo-ocular reflex examination. Measurement of the head movements were used for the characterization the stimuli applied by the instrument to quantify human balance.

Data collections were performed simultaneously, extracted from a subject using the device developed in conjunction with a golden device in a specialized laboratory for movement analysis. Subsequently, these data were analyzed to verify the convergence between the proposed device and the standard equipment. The results obtained demonstrate the technical feasibility for future use in clinical applications.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Labirinto membranoso com inervações (adaptado de [7]). | 17 |
| Figura 2 . Vectoeletronistagmografia (Passo 01) (adaptado de [60]). | 20 |
| Figura 3 . Vectoeletronistagmografia (Passo 02) (adaptado de [60]). | 21 |
| Figura 4 . Vectoeletronistagmografia (Passo 03) (adaptado de [60]). | 21 |
| Figura 5 . Teste de Impulso Cefálico (<i>HIT</i>) (adaptado de [24]). | 22 |
| Figura 6 - Teste <i>Head ShakingInducedNystagmus</i> (adaptado de [25]). | 24 |
| Figura 7. Videonistagmografia (adaptado de [44]). | 25 |
| Figura 8 - Posição dos marcadores da cabeça (adaptado de [61]). | 26 |
| Figura 9 - Cálculo do ângulo (elaborado pelo autor) | 28 |
| Figura 10. Triângulo (elaborado pelo autor). | 28 |
| Figura 11 - Orientação espacial (adaptado de [11]). | 29 |
| Figura 12- Cenário de aplicação (elaborado pelo autor). | 43 |
| Figura 13 - Diagrama de blocos do nRF51822 (adaptado de [46]). | 45 |
| Figura 14 - Diagrama de blocos da família MPU-6050 (adaptado de [31]). | 47 |
| Figura 15 - Plataforma <i>Tiny</i> BLE: vista superior (a) e vista inferior (b) [50]. | 49 |
| Figura 16 - Frame de dados (elaborado pelo autor). | 50 |
| Figura 17 - Câmera Vicon V5 (adaptado de [62]). | 52 |
| Figura 18 - <i>Eye Tracking</i> e o dispositivo proposto (elaborado pelo autor). | 53 |
| Figura 19 - Setup de teste preliminar (elaborado pelo autor). | 54 |
| Figura 20 - Gráfico do ensaio preliminar (elaborado pelo autor). | 55 |
| Figura 21 - <i>Setup</i> de teste de validação (elaborado pelo autor). | 56 |
| Figura 22 - Gráfico dos dados NEXUS x Dispositivo (elaborado pelo autor). | 58 |
| Figura 23 - Gráfico dos dados do dispositivo proposto (elaborado pelo autor). | 58 |
| Figura 24 - Gráfico do protocolo de Vectoeletronistagmografia (elaborado pelo autor). | 60 |
| Figura 25 - Gráfico do protocolo Impulso Cefálico (posição)(elaborado pelo autor). | 61 |
| Figura 26 - Gráfico do protocolo Impulso Cefálico (velocidade)(elaborado pelo autor). | 61 |
| Figura 27 - Gráfico do protocolo <i>Head ShakingInducedNystagmus</i> - movimento horizontal (elaborado pelo autor). | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 28 - Gráfico do protocolo <i>Head Shaking Induced Nystagmus</i> - movimento vertical (elaborado pelo autor)..... | 63 |
| Figura 29 - Gráfico da Videonistagmografia (elaborado pelo autor)..... | 64 |
| Figura 30 - Gráfico do ensaio 15° (elaborado pelo autor). | 66 |
| Figura 31 - Ensaio 15° (elaborado pelo autor)..... | 67 |
| Figura 32 - Gráfico do ensaio -15° (elaborado pelo autor). | 67 |
| Figura 33 - Ensaio -15° (elaborado pelo autor). | 68 |
| Figura 34 - Gráfico do ensaio 30° (elaborado pelo autor). | 69 |
| Figura 35 - Ensaio 30° (elaborado pelo autor)..... | 69 |
| Figura 36 - Gráfico do ensaio -30° (elaborado pelo autor). | 70 |
| Figura 37 - Ensaio -30° (elaborado pelo autor). | 71 |
| Figura 38 - Gráfico do ensaio 45° (elaborado pelo autor). | 71 |
| Figura 39 - Ensaio 45° (elaborado pelo autor)..... | 72 |
| Figura 40 - Gráfico do ensaio -45° (elaborado pelo autor). | 73 |
| Figura 41 - Ensaio -45° (elaborado pelo autor). | 73 |
| Figura 42 - Simulação da vectoeletronistagmografia (elaborado pelo autor). .. | 74 |
| Figura 43 - Gráfico da simulação do impulso cefálico (elaborado pelo autor).. | 75 |
| Figura 44 - Velocidade instantânea da simulação do impulso cefálico (elaborado pelo autor). | 76 |
| Figura 45 - Gráfico da simulação do <i>Head Shaking Induced Nystagmus</i> (elaborado pelo autor). | 77 |
| Figura 46 - Gráfico da flexão da cabeça (elaborado pelo autor). | 78 |
| Figura 47 - Simulação da videonistagmografia (elaborado pelo autor). | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Velocidade e amplitude da simulação da vectonistagmografia (elaborado pelo autor) | 75 |
| Tabela 2 - Velocidade do impulso - direita (elaborado pelo autor) | 76 |
| Tabela 3 - Velocidade e amplitude da simulação da vectonistagmografia (elaborado pelo autor) | 77 |
| Tabela 4 - Amplitude das movimentações à direita (elaborado pelo autor)..... | 79 |
| Tabela 5 - Amplitude das movimentações à esquerda (elaborado pelo autor). 79 | |
| Tabela 6 - Amplitude da movimentação vertical (elaborado pelo autor)..... | 79 |
| Tabela 7 - Velocidade e amplitude da videonistagmografia (elaborado pelo autor) | 81 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. OBJETIVOS..... | 15 |
| 2.1 Objetivo Geral | 15 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE | 16 |
| 3.1 Equilíbrio Humano | 16 |
| 3.2 Sistema Vestibular..... | 17 |
| 3.3 Reflexo vestibulo-ocular | 18 |
| 3.4 Protocolos de Uso | 19 |
| 3.4.1 Ensaio de Eletronistagmografia (ENG) | 19 |
| 3.4.2 Teste de Impulso Cefálico (<i>Head Impulse Test - HIT</i>) | 22 |
| 3.4.3 Teste de Head Shaking Induced Nystagmus..... | 23 |
| 3.4.4 Teste de Reflexão Infravermelha | 24 |
| 3.4.5 Videonistagmografia | 24 |
| 3.5 Dispositivos para Laboratórios de pesquisa | 26 |
| 3.5.1 Vicon Nexus | 26 |
| 3.5.2 Eye Tracking (Dikablis Glasses) | 27 |
| 3.6 Ângulos de Euler | 27 |
| 3.7 Medição de ângulos com giroscópio | 29 |
| 3.8 Trabalhos realizados no LABIMA..... | 30 |
| 3.8.1 Instrumento de Aquisição e Processamento de Imagens de Olhos..... | 30 |
| 3.8.2 Desenvolvimento de um estabilômetro para estudo do equilíbrio humano | 30 |
| 3.8.3 Instrumento portátil para aquisição, digitalização e processamento de imagens a ser aplicado na avaliação do sistema de equilíbrio humano | 31 |
| 3.8.4 Instrumento de quantificação de movimentos de cabeça durante a avaliação de equilíbrio..... | 31 |
| 3.8.5 Quantificação de Movimentos Oculares- Plataforma de Extração e Análise de Parâmetros do Equilíbrio..... | 32 |
| 3.8.6 Videonistagmoscopia digital com lente de contato para a identificação de movimentos oculares e apoio ao topodiagnóstico da vertigem posicional paroxística benigna | 32 |
| 3.9 Trabalhos Apresentados em Congressos..... | 33 |
| 3.9.1 3D head pose estimation without feature tracking | 33 |
| 3.9.2 Three-Dimensional Head Tracking and Facial Expression Recovery Using an Anthropometric Muscle-Based Active Appearance Model | 34 |
| 3.9.3 Real Time Head Tracking and Face and Eyes Detection | 34 |
| 3.9.4 Human tracking using wearable sensors in the pocket..... | 35 |
| 3.9.5 A New Approach to Accelerometer-based Head Tracking for Augmented Reality & Other Applications..... | 35 |
| 3.9.6 A Benchmark for Full Rotation Head Tracking | 35 |
| 3.9.7 Stereo-Based Head Pose Tracking with Motion Compensation Model | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.9.8 | Visible-light wearable eye gaze tracking by gradients-based eye center location and head movement compensation with IMU | 36 |
| 3.9.9 | Robust head pose estimation based on key frames for human-machine interaction | 37 |
| 3.9.10 | Evolving Head Tracking Routines With Brain Programming..... | 37 |
| 3.9.11 | Real-time head tracking by saccadic exploration and Gabor decomposition ... | 38 |
| 3.9.12 | Automated head motion system improves reliability and lessens operator dependence for head impulse testing of vestibular reflexes | 38 |
| 3.9.13 | Modelling and motion capture techniques for virtual environments..... | 39 |
| 3.9.14 | Binocular Vision System Design and its Active Object Tracking | 39 |
| 3.9.15 | Video based head detection and tracking surveillance system..... | 40 |
| 3.9.16 | Real-time head tracking system with an active camera | 40 |
| 3.9.17 | A robust human head detection method for human tracking..... | 41 |
| 3.9.18 | Sensing Movement: Microsensors for Body Motion Measurement..... | 41 |
| 3.9.19 | Head Movement Recognition Based on Lucas-Kanade Algorithm..... | 42 |
| 4. | METODOLOGIA PROPOSTA | 43 |
| 4.1 | Especificação | 43 |
| 4.2 | Implementação | 44 |
| 4.3 | Microcontrolador | 44 |
| 4.4 | Giroscópio | 46 |
| 4.5 | Módulo Eletrônico | 48 |
| 4.6 | Registro e Transmissão dos Movimentos Seletivos da Cabeça | 49 |
| 4.7 | Validação | 51 |
| 5. | VALIDAÇÃO | 54 |
| 5.1 | Validação Preliminar..... | 54 |
| 5.2 | Validação Técnica | 56 |
| 5.3 | Validação no Protocolo de Uso | 59 |
| 5.4 | Protocolo Vectoeletronistagmografia (VENG)..... | 59 |
| 5.5 | Protocolo Teste de Impulso Cefálico (Head Impulse Test)..... | 60 |
| 5.6 | Protocolo de Teste Head Shaking Induced Nystagmus | 62 |
| 5.7 | Protocolo Videonistagmografia | 63 |
| 6. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 65 |
| 6.1 | Resultado Preliminar | 65 |
| 6.2 | Resultado da Validação | 65 |
| 6.3 | Resultados do ensaio com ângulo de 15° | 66 |
| 6.4 | Resultados do ensaio com ângulo de -15° | 67 |
| 6.5 | Resultados do ensaio com ângulo de 30° | 68 |
| 6.6 | Resultados do ensaio com ângulo de -30° | 70 |
| 6.7 | Resultados do ensaio com ângulo de 45° | 71 |
| 6.8 | Resultados do ensaio com ângulo de -45° | 72 |
| 6.9 | Resultados do ensaio de Vectoeletronistagmografia (VENG) | 74 |
| 6.10 | Resultados do ensaio de Impulso Cefálico (Head Impulse Test) | 75 |

| | |
|---|-----------|
| 6.11 Resultados do ensaio de Head Shaking Induced Nystagmus | 77 |
| 6.12 Resultados do ensaio de Videonistagmografia | 79 |
| 6.13 Análise do Sistema Desenvolvido | 81 |
| 6.14 Limitações do Dispositivo..... | 82 |
| 7. CONCLUSÕES..... | 83 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 85 |
| APÊNDICE A - Dados Preliminares..... | 92 |
| APÊNDICE B - Dados da Validação..... | 94 |
| APÊNDICE C - Dados Vectonistagmografia | 99 |
| APÊNDICE D - Dados Impulso Cefálico | 100 |
| APÊNDICE E - Dados Head Shaking Induced Nystagmus | 101 |
| APÊNDICE F - Dados Videonistagmografia | 104 |

1. INTRODUÇÃO

O sistema de controle do equilíbrio é bastante complexo, envolvendo a recepção de informações sensoriais dos sistemas vestibular, visual e proprioceptivo por via aferente, sendo estas decodificadas no Sistema Nervoso Central (SNC), onde acontecem as alterações necessárias para manutenção do equilíbrio. A seguir são emitidas respostas, sendo estas conduzidas por via eferente, promovendo a ativação dos músculos extrínsecos do olho responsável pelo ajuste da posição do globo ocular, e dos músculos antigravitacionais, os responsáveis pela manutenção do equilíbrio e controle postural.

Como parte do processo de avaliação do equilíbrio, o instrumento de extração e quantificação dos movimentos dos olhos e suas respostas a estímulos provocativos simulados são fundamentais, pois possibilitam a obtenção de dados objetivos e quantitativos acerca do que se pretende avaliar, permitindo assim, comparações entre diferentes indivíduos. Para desenvolver e avaliar as propriedades de medida de um instrumento é preciso realizar estudos observacionais de caráter experimental em ambiente controlado.

Desta forma, criou-se um dispositivo para extração e quantificação dos movimentos da cabeça, que possa ser integrado a dispositivos imageadores do movimento dos olhos, utilizados para avaliação e diagnóstico de doenças relacionadas ao equilíbrio, como no exame do reflexo vestibulo-ocular (RVO).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de tecnologia embarcada vestível para o registro dos movimentos seletivos da cabeça durante a avaliação de resposta do movimento oculares, possível de ser integrado a dispositivos imageadores utilizados na avaliação e diagnóstico de doenças relacionadas ao equilíbrio, como no exame do reflexo vestibulo-ocular (RVO).

2.2 Objetivos Específicos

Abaixo estão descritos os objetivos específicos para a realização do trabalho proposto:

- Detectar e registrar a posição angular e a velocidade das movimentações da cabeça através de sensor eletrônico;
- Realizar ensaios de verificação dos dados extraídos pelo dispositivo, e compará-los com medidas padrão áureo, com uso de equipamentos calibrados no laboratório LTI (Laboratório de Tecnologia de Interação), do Instituto Senai de Inovação em Sistemas Integrados;
- Realizar testes integrados do dispositivo com um sistema de rastreamento do movimento ocular;
- Comparar os resultados obtidos com o dispositivo de captura dos movimentos da cabeça já estudado no LABIMA (Laboratório de Imagens da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE

Para descrever este projeto em detalhes, serão discutidos diversos conceitos e trabalhos desenvolvidos para criar a fundamentação teórica deste trabalho.

3.1 Equilíbrio Humano

Desde que os seres humanos adotaram a postura eretabípede, têm sido desafiados pela força da gravidade, a manter o equilíbrio dos corpos sobre uma pequena base, neste caso, os pés. Os corpos quando parados, não permanecem sem movimento, oscilam. A oscilação do eixo corporal normal do ser humano, é de 0,4 graus [19], ou seja, os corpos estão sempre em busca da estabilidade postural devido a ativação do sistema postural fino. Se ficar totalmente parado muitos receptores poderiam sofrer inativação/acomodação e teriam maior dificuldade de deflagrar os ajustes posturais de forma antecipatória. O ser humano é visto como um pêndulo invertido, com movimentos de antepulsão, retropulsão e lateropulsão [19]. Somente quando esta habilidade de controlar a postura ereta se deteriora, como é frequentemente observado nos idosos e em certas doenças, percebe-se o quão difícil e crucial é esta tarefa, exemplo disso são: distúrbios do sistema vestibular e sequelas de paralisia cerebral.

Controlar a postura é um grande desafio para o corpo humano. O sistema de controle postural deve ser capaz de regular o equilíbrio em situações instáveis e, por outro lado, deve ser, suficientemente, versátil para permitir a rápida iniciação do movimento. A manutenção da postura ereta bípede é uma das tarefas realizadas pelo sistema de controle postural, este sistema também atua durante o movimento do andar, por exemplo. A ação de equilibrar-se é de suma importância para o ser humano. Por exemplo, um bom equilíbrio evita quedas e, por consequência, fraturas, juntamente com a atuação das reações de proteção.

3.2 Sistema Vestibular

Localizado no osso temporal, o sistema vestibular compreende o vestíbulo da orelha interna, que contém os órgãos otolíticos. Dentro dessa cavidade, estão o labirinto membranoso e duas dilatações, denominadas de utrículo e sáculo (Figura 1). O labirinto membranoso consiste em três canais semicirculares, com eixos perpendiculares entre si, que são sensíveis à direção do movimento da cabeça nos três planos espaciais. O utrículo e o sáculo apresentam espessamentos, denominados mácula, contendo células ciliadas neuroepiteliais cobertas por uma cúpula gelatinosa rica em cristais de carbonato de cálcio. Preenchendo toda a cavidade, encontra-se a endolinfa, um líquido viscoso com grandes concentrações de potássio [40].

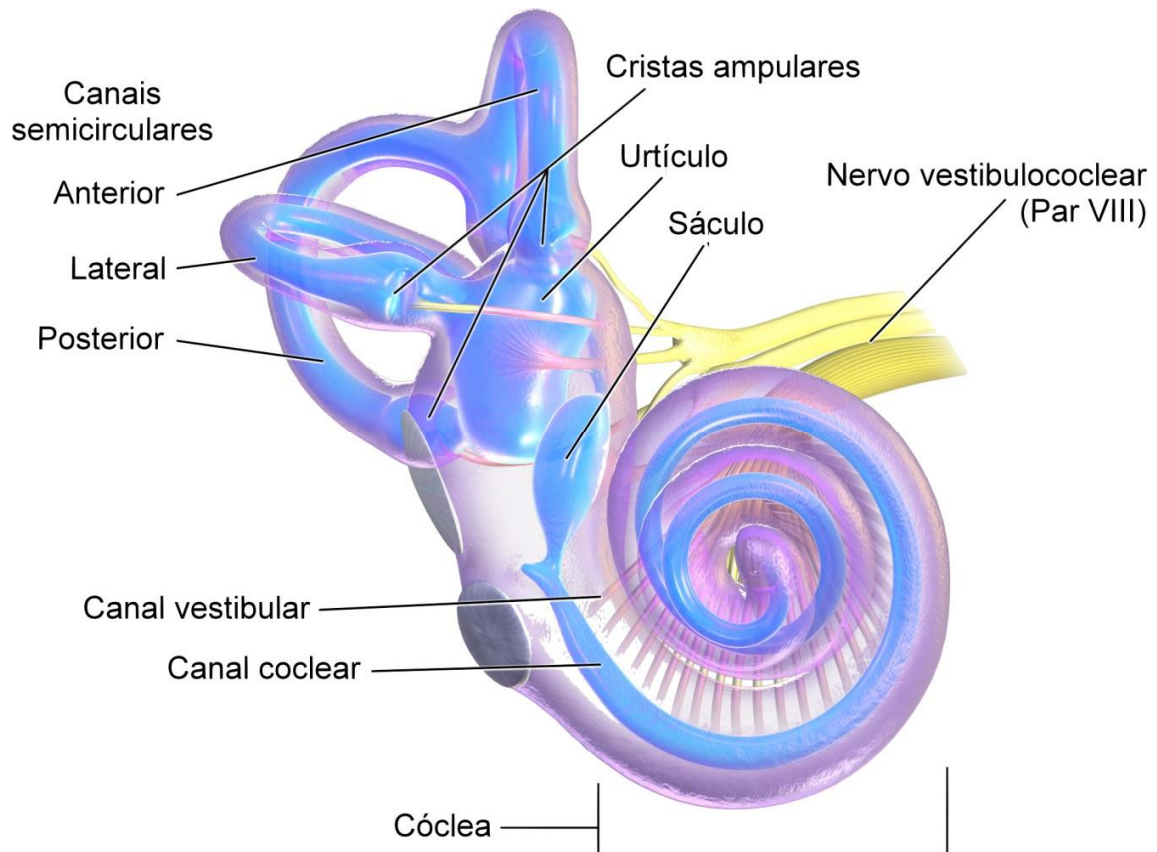


Figura 1 - Labirinto membranoso com inervações (adaptado de [7]).

O conjunto formado pelos canais semicirculares, endolinfa e células ciliadas funciona como um sensor altamente sensível às mudanças de aceleração e direção da cabeça, sendo o utrículo responsável pela orientação horizontal e o sáculo pela vertical [6] [40].

3.3 Reflexo vestibulo-ocular

O reflexo vestibulo-ocular (RVO) é um movimento involuntário dos olhos que serve para estabilizar as imagens na retina durante o movimento da cabeça. O reflexo consiste em movimentos lentos compensatórios na direção oposta ao movimento da cabeça para reorientar, rapidamente, os movimentos oculares geralmente na mesma direção da cabeça [20].

O RVO garante a melhor visão durante o movimento da cabeça movendo os olhos contra a cabeça para estabilizar a linha de visão no espaço. O RVO tem três componentes principais: o aparelho sensorial periférico (o conjunto de sensores de movimento: os canais semicirculares (SCC) e os órgãos otólitos), o mecanismo central de processamento e a saída do motor (músculos oculares). Os SCC sensoriam a aceleração angular para detectar a rotação da cabeça; os órgãos otólitos sensoriam a aceleração linear para detectar a translação e a posição da cabeça em relação à gravidade. Os SCC estão dispostos em dois canais coplanares em cada lado, trabalhando juntos. Durante os movimentos angulares da cabeça, se uma parte for excitada, a outra é inibida e vice-versa. Enquanto a cabeça está em repouso, os aferentes vestibulares primários têm uma descarga tônica, que é exatamente equilibrada, entre canais correspondentes. Durante a rotação, a velocidade da cabeça corresponde à diferença na taxa de disparo entre pares SCC. O conhecimento da disposição geométrica dos SCC dentro da cabeça e, das propriedades funcionais dos órgãos otólitos, permite localizar e interpretar certos padrões de nistagmo e desalinhamento ocular. Isto é baseado na observação experimental de que, a estimulação de um único SCC leva o RVO a movimentos oculares de fase lenta, que rodam o globo em um plano paralelo ao do canal estimulado.

Além disso, o conhecimento dos mecanismos subjacentes à compensação por distúrbios vestibulares, é essencial para diagnosticar, corretamente, e gerenciar, eficazmente, indivíduos com distúrbios vestibulares. A seguir, apresentamos algumas alternativas de equipamentos para avaliação de movimentos de olhos e de cabeça, usados como estímulo para tecnologias de medição do equilíbrio [53].

3.4 Protocolos de Uso

Segundo o ministério da saúde, os "Protocolos de Uso" são documentos normativos de escopo mais estrito, que estabelecem critérios, parâmetros e padrões para a utilização de uma tecnologia específica em determinada doença ou condição.

O registro e a análise dos diversos tipos de nistagmo, bem como outros movimentos oculares, tornaram-se uma prática rotineira na avaliação de indivíduos com vertigem e distúrbios do equilíbrio corporal. Não há consenso sobre quais procedimentos devem constituir a bateria de testes do diagnóstico otoneurológico, mas os mais utilizados são os que pesquisam nistagmo de posicionamento e posicional, nistagmo espontâneo, nistagmo emiespontâneo, sacadas, rastreo ocular, nistagmo optocinético, nistagmo pré-rotatório ou pós-rotatório e nistagmo pós-calórico [20].

A seguir estão descritos os exames mais utilizados na avaliação dos distúrbios do equilíbrio corporal. Conforme [57] as manobras descritas nos protocolos são operador-dependente, ou seja, se os exames em um indivíduo forem realizados por diferentes profissionais, os resultados dos diagnósticos poderão variar. Isso se dá em função da amplitude e velocidade aplicada ao indivíduo por cada um dos profissionais examinadores.

3.4.1 Ensaio de Eletronistagmografia (ENG)

A eletronistagmografia (ENG) é um procedimento de registro dos movimentos oculares horizontais. A variação de potencial elétrico córneo-retinal causada pela movimentação ocular é captada por eletrodos, em pontos específicos, da região peri-orbitária, amplificada e enviada ao equipamento de registro. A córnea é o polo positivo e a retina é o polo negativo. A ENG

contribuiu para a identificação da disfunção vestibular periférica em 45,1% dos casos ou central em 6,9% dos casos, diminuindo a porcentagem de diagnóstico incerto de 34,2 para 13,8% [60].

A vectoeletronistagmografia (VENG) corresponde a uma variação da ENG que utiliza três canais de registro para gravar os movimentos oculares. A VENG também tem como base a captação da variação do potencial elétrico córneo-retinal quando os olhos se movimentam. Um eletrodo ativo é colocado no canto externo de cada olho e o terceiro na linha média frontal, de modo que os três canais de registro apresentem a configuração de um triângulo isóscele. A partir dos eletrodos ativos, originam-se três derivações bipolares que permitem a identificação dos movimentos oculares horizontais, verticais e oblíquos.

A execução do exame de vectoeletronistagmografia [60] é realizado em três passos, descritos a seguir: Após a instalação dos três eletrodos na face do indivíduo inicia-se o protocolo, conforme ilustrado na Figura 2, posiciona-se o indivíduo sentado em uma cadeira, com a cabeça imóvel auxiliado por um suporte de apoio para o queixo (a). Em seguida o indivíduo é instruído a executar movimentos apenas com os olhos para buscar alcançar a visão em um ponto fixo central (b), posteriormente olhar o ponto posicionado 30° à direita (c) e posteriormente o outro posicionado 30° a esquerda do ponto de referência.



Figura 2 . Vectoeletronistagmografia (Passo 01) (adaptado de [60]).

Na Figura 3 o indivíduo é mantido sentado na cadeira e orientado a deixar a cabeça livre para o médico movimentá-la livremente sem forçá-la nem soltá-la. Em seguida o médico realiza a manobra manual de rotações da cabeça do indivíduo de aproximadamente 30° para a direita e 30° para a esquerda. Este processo é realizado pelo menos três vezes.



Figura 3 . Vectoeletronistagmografia (Passo 02) (adaptado de [60]).

Na Figura 4o indivíduo é posicionado em frente um dispositivo giratório com faixas brancas e pretas alternadas. O dispositivo é acionado para girar para a direita e posteriormente para a esquerda. O indivíduo deve se manter sentado sem movimentar a cabeça, apenas os olhos devem seguir as faixas em movimento.



Figura 4 . Vectoeletronistagmografia (Passo 03) (adaptado de [60]).

3.4.2 Teste de Impulso Cefálico (*Head Impulse Test - HIT*)

O teste de impulso cefálico, em inglês *Head Impulse Test (HIT)*, é largamente aceito como ferramenta clínica para avaliar a função dos canais semicirculares. Neste teste é realizado um movimento horizontal curto (5° a 15°) e rápido ($100^\circ/\text{s}$) executado pelo médico na cabeça do indivíduo. Na realização dos movimentos em um indivíduo assintomático, os olhos tendem a seguir no sentido oposto com a mesma amplitude do movimento [38] [40]. Este exame também pode ser realizado com o auxílio de óculos imageadores, onde o exame é chamado de *Vídeo Head Impulse Test (VHIT)*.

A Figura 5 apresenta o protocolo de exame. O médico examinador posiciona-se em frente ao indivíduo e solicita que o mesmo mantenha o olhar fixo no nariz do médico enquanto o ele segura firmemente a cabeça do indivíduo com suas mãos posicionadas na região temporal (a). Em seguida é solicitado ao indivíduo que deixe o médico realizar movimentos livres de rotação da sua cabeça para a direita (b) e para a esquerda (c) sem que ele exerça resistência [24].

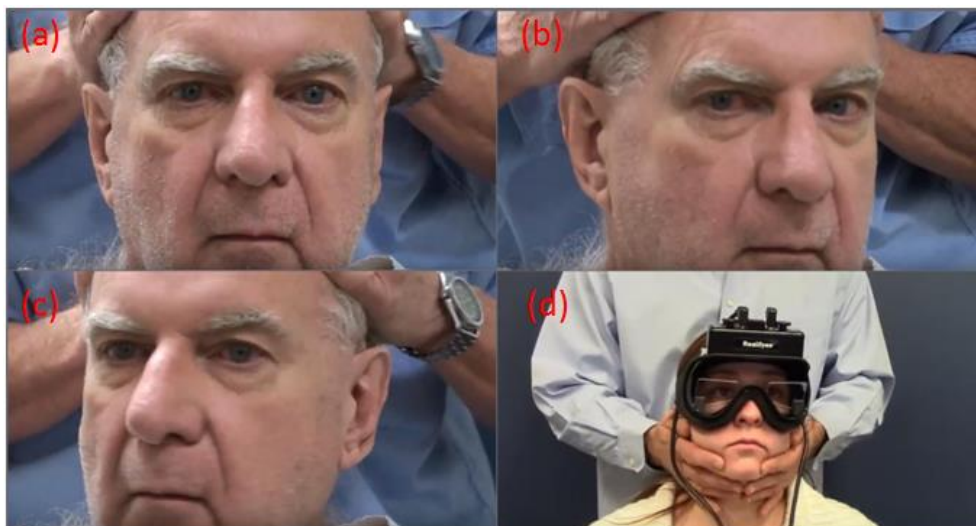


Figura 5 . Teste de Impulso Cefálico (*HIT*) (adaptado de [24]).

O examinador realiza três séries de manobras sucessivas em velocidade lenta para cada um dos lados e por último retorna a cabeça rapidamente para a posição central. Uma série é realizada iniciando a rotação para o lado direito e outra série iniciando pelo lado esquerdo.

Este procedimento também é realizado com o auxílio de óculos imageadores para registrar os movimentos das pupilas (d), neste caso chama-se *Video Head Impulse Test (VHIT)*.

3.4.3 Teste de Head Shaking Induced Nystagmus

É útil na detecção de assimetria vestibular. Tem como principal objetivo avaliar a presença de hipofunção vestibular de origem periférica e também central. Este exame consiste em quantificar o nistagmo dos olhos durante o movimento de negação, com a cabeça flexionada 30° para baixo, com oscilações rápidas e passivas ou ativas da cabeça seguidas de uma interrupção abrupta que, habitualmente, resulta em nistagmo [25].

Com o intuito de obter-se apenas os movimentos de olhos gerados pelo reflexo vestibulo-ocular, o teste é aplicado com os olhos do indivíduo isolados da luz visível (fechados), pois pontos de fixação visual podem extinguir o nistagmo.

A Figura 6 apresenta o exame. O indivíduo é posicionado a sentar-se em uma posição confortável com o tronco ereto (a). O examinador então flexiona a cabeça do indivíduo entre 20° e 30° para baixo (b) e solicita que o mesmo feche os olhos. Neste momento notifica que vai movimentar rapidamente a cabeça do indivíduo 20 vezes para a esquerda e para a direita (2 movimentações por segundo) e convida-o a fazer a contagem em todas oscilações junto com o examinador. Ao final da contagem reposiciona a cabeça do indivíduo na posição ereta, solicita que ele abra os olhos e olhe para o examinador (d).



Figura 6 - Teste *Head Shaking Induced Nystagmus* (adaptado de [25]).

3.4.4 Teste de Reflexão Infravermelha

A técnica de oculografia por reflexão infravermelha (IRR) mede a posição do reflexo de uma fonte de luz infravermelha aplicada sobre a córnea. Um dispositivo sensor montado em um óculos captura a posição do reflexo da luz infravermelha [22]. O posicionamento da fonte de luz infravermelha deve estar fora do eixo ótico da câmera para gerar um pequeno ponto brilhante refletido na superfície da córnea, chamado de *glint*. Em função da forma geométrica esférica do olho humano, a posição do *glint* não se altera diante do movimento dos olhos, tornando-se uma referência no cálculo da rotação da pupila em relação à posição do olho na face. Entretanto, com esta técnica a amplitude mensurável do movimento do olho é, consideravelmente, limitada.

3.4.5 Videonistagmografia

A vídeo-oculografia ou videonistagmografia tem como objetivo, capturar as imagens oculares por meio de câmeras de vídeo sensíveis ao infravermelho sendo, totalmente, não invasivo ao indivíduo. Esta técnica permite quantificar o movimento dos olhos em todo o seu limite orbital e quantificar o movimento rotacional [44]. Esta técnica requer dispositivos computacionais para o tratamento de dados com alto poder de processamento. Nesta técnica são utilizados algoritmos especializados para calcular e apresentar, graficamente, os movimentos dos olhos a partir das imagens capturadas pelas câmeras.

A Figura 7 apresenta a sequência do exame que é executado com o indivíduo sentado, de maneira confortável, (a) sem mexer a cabeça de um lado para o outro, pois a movimentação de cabeça pode alterar a leitura do nistagmo e interferir no diagnóstico. O dispositivo a ser colocado na cabeça do indivíduo contém duas câmeras, uma do lado direito e uma do lado esquerdo que vão gravar a movimentação ocular (b). Após a colocação do dispositivo na cabeça do indivíduo (c), o examinador verifica se a máscara não está puxando para baixo ou para cima e que não está interferindo na visão (d).



Figura 7. Videonistagmografia (adaptado de [44]).

Após esta verificação a tampa do dispositivo é recolocada para bloquear qualquer incidência luminosa, assim o indivíduo não focará nenhum ponto e nenhuma imagem específica (e), desta forma é iniciado o exame. Depois de decorridos 30s, sem a movimentação da cabeça, retira-se a cobertura do dispositivo imageador e o indivíduo é orientado a fixar e olhar um ponto fixo (f) para a verificação do nistagmo.

3.5 Dispositivos para Laboratórios de pesquisa

A seguir são apresentados dois dispositivos desenvolvidos especialmente para uso em ensaios de laboratório de pesquisa. Estes dispositivos foram utilizados como padrão áureo neste trabalho.

3.5.1 Vicon Nexus

A Vicon oferece dispositivos de captura de movimento com uma das soluções mais avançada, personalizável e sem depender de software de terceiros, além de oferecer integração com outras plataformas por meio de *plugins*. A Vicon é uma empresa especializada em captura de movimento e oferece uma plataforma de software dedicada, desenvolvida especificamente para a comunidade das ciências médicas [61].

O modelo biomecânico de marcha do *plug-in* Vicon Nexus 2.10 calcula a cinemática das articulações a partir das posições dos marcadores XYZ e das medidas antropométricas de sujeitos específicos. Como em toda captura e análise de movimento, as informações sobre o conjunto de marcadores e o relacionamento genérico entre os marcadores físicos anexados a um tópico, estão contidos em um arquivo de modelo de esqueleto padrão (.vst).

Cria-se um tópico no Nexus, com base em um arquivo de modelo específico e depois, calibra-se o modelo de conjunto de marcadores genérico definido no modelo para seu tópico específico. O processo de calibração cria um arquivo de esqueleto padrão (.vsk) que é estritamente específico ao seu tópico. O Nexus usa esse arquivo .vsk específico do tópico para rotular, automaticamente, as tentativas de captura dinâmica de movimento para esse indivíduo, tanto em tempo real quanto no pós-processamento.



Figura 8 - Posição dos marcadores da cabeça (adaptado de [61]).

A Figura 8 apresenta os marcadores para a captura de movimentos, onde a origem da cabeça é definida como o ponto médio entre os marcadores LFHD (*Left Front of Head*) e RFHD (*Right Front of Head*) também denominado 'Frente'. O ponto médio entre os marcadores LBHD (*Left Back of Head*) e RBHD (*Right Front of Head*) 'Costas' também é calculado, juntamente com os lados 'Esquerdo' e 'Direito' da cabeça a partir do ponto médio LFHD e LBHD e do ponto médio RFHD e RBHD, respectivamente. O eixo principal predominante, o eixo X, é definido como a direção voltada para a frente (frente - costas). O eixo Y secundário é o eixo lateral da direita para a esquerda. Para o processamento estático, são calculados os ângulos de Euler YXZ que representam a rotação do segmento da cabeça para os eixos do laboratório. A rotação Y é tomada como o ângulo de deslocamento da cabeça, e a média é obtida ao longo do teste. Para o processamento de teste dinâmico, o ângulo de deslocamento da cabeça é aplicado em torno do eixo Y do segmento definido.

3.5.2 Eye Tracking (Dikablis Glasses)

Os óculos de rastreamento ocular Dikablis permitem rastreamento ocular binocular com alta precisão de medição e cálculo padronizado dos valores das características, mesmo para pessoas com óculos. Eles fornecem a base ideal para a investigação do comportamento humano em áreas de aplicação altamente dinâmicas [14]. Este dispositivo pode ser conectado a diversas plataformas de medição e análise do movimento ocular para registrar e analisar dados de várias maneiras diferentes.

O design futurista, as opções versáteis de ajuste e a transferência de todos os dados disponíveis em formato bruto, tornam os óculos de rastreamento ocular Dikablis, um instrumento de medição altamente preciso para estudos de rastreamento ocular, nas práticas de pesquisa e desenvolvimento.

3.6 Ângulos de Euler

Podem-se medir ângulos em graus, radianos ou grados. Pode-se usar um transferidor para descobrir quantos graus mede um ângulo. Matematicamente pode-se definir a medida de um ângulo através da

trigonometria utilizando-se a fórmula da Lei dos Cossenos [55], representada na Figura 9 a seguir:

$$C = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right)$$

Figura 9 - Cálculo do ângulo (elaborado pelo autor)

Para o cálculo é necessário conhecer os comprimentos dos lados a, b e c que formam um triângulo qualquer, conforme a Figura 10 abaixo.

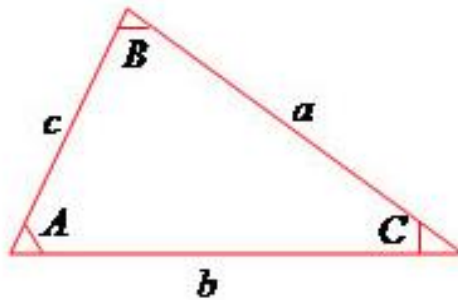


Figura 10. Triângulo (elaborado pelo autor).

Os ângulos de rotação (Φ), (Θ), (Ψ) associados aos eixos x, y e z, são chamados de ângulos de Euler [55]. Em um dispositivo, são os parâmetros que indicam a orientação no espaço e fazem parte dos parâmetros de orientação exterior, ao lado dos parâmetros de posição [52] e, representam rotações que ocorrem no sistema local de coordenadas de cada dispositivo, em relação ao referencial do terreno que são aplicadas, com os objetivos de tornar o dispositivo paralelo aos eixos definidores do sistema de coordenadas no espaço objeto.

As orientações feitas pelos ângulos de Euler representam as rotações em torno dos eixos cartesianos, sendo que Φ representa a rotação (*Roll*) em torno do eixo x, Θ é a rotação (*Pitch*) em torno do eixo y e Ψ representa a rotação (*Yaw*) em torno do eixo z.

3.7 Medição de ângulos com giroscópio

Para realizar-se a medição de ângulos com giroscópios eletrônicos deve-se utilizar um processador digital de movimentos, que processe em tempo real algoritmos para fusão simultânea dos 6 eixos. Deve ainda dispor de código binário para ser carregado no chip com a implementação das funções básicas de fusão dos sensores e uma API (*Application Programming Interface*) para acesso a estas informações [30].

A fusão destes sensores resulta em unidades de quatérnios WXYZ normalizadas de -1 a 1, estes fornecem uma notação matemática conveniente para representar orientações de objetos em três dimensões. Os quatérnios podem ser considerados números hipercomplexos de ordem quatro, que não possuem todas as características de um corpo, uma vez que não admitem comutatividade na multiplicação.

A forma de verificar o ângulo dos três eixos XYZ, é converter os quatérnios em ângulos de Euler, assim pode-se obter a orientação espacial 3D, onde a Figura 11 a seguir, representa os ângulos de rotação ϕ , θ , ψ , associados aos eixos x, y e z.

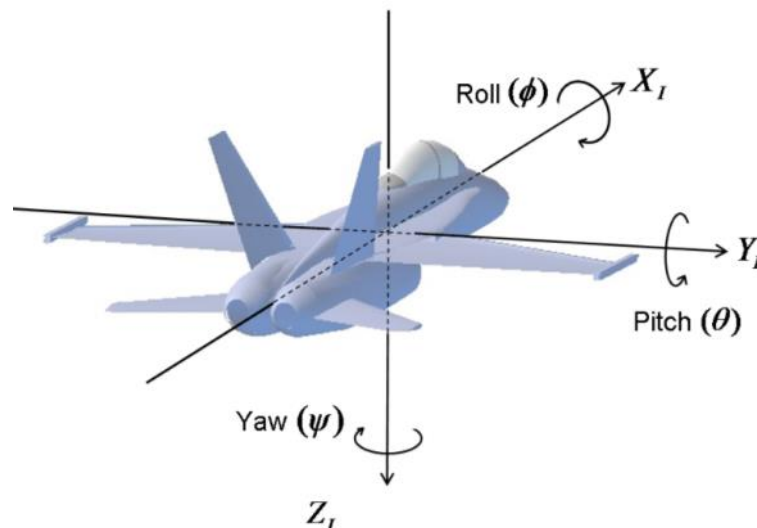


Figura 11 - Orientação espacial (adaptado de [11]).

3.8 Trabalhos realizados no LABIMA

Desde 2007 o Laboratório de Imagens da PUCRS (LABIMA), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, que tem como uma de suas linhas de pesquisa a Engenharia Biomédica, vem desenvolvendo e publicando trabalhos para apresentar soluções que venham a auxiliar profissionais da área de saúde no diagnóstico de doenças relacionadas ao equilíbrio humano. A seguir estão descritos os resumos das dissertações apresentadas sobre o tema até a presente data.

3.8.1 Instrumento de Aquisição e Processamento de Imagens de Olhos

No trabalho de Márcio Vieira Figueira [18] as imagens dos olhos são capturadas por câmeras, xadas em um equipamento, que isola os olhos da luz externa e os ilumina com luz infravermelha, onde um computador pessoal digitaliza as imagens com auxílio de uma placa de captura de vídeo. As imagens capturadas são processadas quadro a quadro por um algoritmo que calcula o centro da pupila.

Segundo o autor, este trabalho desenvolveu um aplicativo visual que apresenta o resultado da quanti, cação dos movimentos dos olhos em dois grá, cos: um para o movimento vertical e outro para o movimento horizontal. Os dados apresentados podem ser exportados para um arquivo para visualização posterior. A correta interpretação dos grá, cos pelo médico especialista, facilita o diagnóstico de hipofunções do sistema vestibular e sistema nervoso.

3.8.2 Desenvolvimento de um estabilômetro para estudo do equilíbrio humano

O trabalho de Marcos Braga Barros [5] desenvolveu um estabilômetro baseado em um acelerômetro tri axial analógico, de acordo com a plataforma de Nashner. Os resultados mostraram que o protótipo desenvolvido do estabilômetro tornou-se mais estável, mecânica e eletricamente, que protótipos construídos anteriormente.

Segundo o autor, o protótipo desenvolvido foi baseado em um estudo criterioso da fisiologia humana mostra-se bastante estável e que atendeu aos objetivos propostos. O estabilômetro construído é de fácil instalação e baixo

custo, quando comparado com os equipamentos comerciais. Com este estabilômetro é possível medir o equilíbrio de indivíduos, que necessitem deste auxílio no tratamento e na prevenção de doenças, que acometem os sistemas visual, vestibular e somatosensorial.

3.8.3 Instrumento portátil para aquisição, digitalização e processamento de imagens a ser aplicado na avaliação do sistema de equilíbrio humano

O trabalho de Lucas Plautz Prestes [48] desenvolveu um equipamento para medir o equilíbrio humano de modo não invasivo e com precisão adequada. As metas deste trabalho foram: (1) Aperfeiçoar as técnicas de processamento de imagens; (2) Reduzir os custos de produção do equipamento; (3) Facilitar sua mobilidade; (4) Desenvolver uma arquitetura de software robusta, escalável e de fácil manutenção.

Segundo o autor, as imagens dos movimentos oculares são adquiridas por câmeras de vídeo, sob iluminação infravermelha. As câmeras foram adaptadas em um óculos com isolamento de luz externa, desenvolvido para propiciar este trabalho. As imagens das câmeras são digitalizadas por uma placa de captura externa e processadas, em tempo real, por um algoritmo desenvolvido para localizar, quadro a quadro, o centro da pupila. A localização do centro da pupila em resposta ao estímulo vestibulo ocular é representada, graficamente, para interpretação pelo médico especialista.

3.8.4 Instrumento de quantificação de movimentos de cabeça durante a avaliação de equilíbrio

O trabalho de Alexandre Dal Pizzol Bregolin [8] apresenta o desenvolvimento de um instrumento de auxílio à análise e pesquisa do equilíbrio humano. O instrumento atua fornecendo dados da quantificação dos movimentos seletivos de cabeça, exercidos durante a medição do reflexo vestibulo-ocular (RVO).

Segundo o autor, o algoritmo desenvolvido para este trabalho utiliza o processamento digital de dados tridimensionais adquiridos através de um sensor Kinect for Windows da Microsoft, e a detecção de marcas coloridas afixadas no dispositivo de quantificação do RVO em locais pré-determinados e com distâncias específicas entre as marcas.

O aplicativo desenvolvido com a linguagem de programação C# permite a aquisição e exibição, de forma gráfica e sincronizada, dos dados adquiridos durante a quantificação dos estímulos correspondentes aos três possíveis sentidos de rotação de cabeça, aos quais, o RVO responde: horizontal (*yaw*), vertical (*pitch*) e de torção (*roll*).

Os testes para avaliar a robustez e precisão do instrumento foram realizados através de um dispositivo desenvolvido nesta tese, que desempenha de forma mecânica, através de movimentos controlados de um servomotor, o movimento das marcas. Estes movimentos foram programados de forma a simular os movimentos seletivos de cabeça em diferentes amplitudes e velocidades.

3.8.5 Quantificação de Movimentos Oculares- Plataforma de Extração e Análise de Parâmetros do Equilíbrio

O trabalho de Ezequiel Schneider Santana [49] apresenta um instrumento, similar a videonistagmografia, que inclui um conjunto de ferramentas para diagnóstico médico complementar em indivíduos que sofrem de distúrbios de equilíbrio.

Segundo o autor, através deste projeto, é possível realizar a extração de parâmetros com base na análise de registros de movimentos de olhos. O software implementa algoritmos de processamento de imagens, para calcular a posição da pupila e extrair parâmetros utilizados como apoio ao diagnóstico. Dentre os parâmetros, estão a velocidade e amplitude dos movimentos dos olhos. O algoritmo foi testado com um modelo 3D do olho, especialmente, desenvolvido para produzir movimentos como os de nistagmo, que ocorrem, por exemplo, em pessoas com nistagmo patológico.

3.8.6 Videonistagmoscopia digital com lente de contato para a identificação de movimentos oculares e apoio ao topodiagnóstico da vertigem posicional paroxística benigna

A proposta de trabalho de Rafaeli Sagrilo Grossi [23] foi desenvolver e testar um novo modelo de quantificação de movimentos oculares rotatórios, quando presentes. Este novo modelo utiliza um protótipo de videonistagmoscópio, lente de contato oftálmica comercial com figuras

geométricas e o desenvolvimento de um software, especificamente, para esta finalidade. De forma complementar, uma *WebApp* também foi criada para auxiliar no topodiagnóstico da VPPB (vertigem posicional paroxística benigna).

Segundo o autor, participaram do estudo 4 indivíduos com VPPB e 4 sem VPPB. Os sujeitos foram submetidos à manobra de Dix-Hallpike, utilizando a lente de contato com formas geométricas no olho esquerdo e o dispositivo de captura. Dessas manobras, foram gravados 40 vídeos (23 com fenômenos de movimento rotatório anti-horário, 10 no sentido horário e 7 vídeos com olho em repouso).

Os vídeos extraídos foram analisados com o software criado. Foi analisada a taxa de acertos na classificação da direção do fenômeno de movimento rotatório (anti-horário ou horário) quando presente ou vídeo repouso. Também foi avaliada a acurácia do software em encontrar, corretamente, as marcas geométricas da lente oftálmica.

3.9 Trabalhos Apresentados em Congressos

Desde o final da década de 90 vem-se estudando formas para estimar a posição da cabeça humana. A detecção da cabeça humana desempenha um papel importante em aplicações como vigilância por vídeo, interface de percepção pericial, reconhecimento facial e rastreamento de pessoas. A seguir estão descritos os resumos dos trabalhos apresentados nos mais importantes congressos internacionais sobre o assunto.

3.9.1 3D head pose estimation without feature tracking

Este artigo de Qian Chen (Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition) [9] apresenta uma forma de estimar tridimensionalmente a posição da cabeça através de uma imagem. Em relação a outras pesquisas, este método faz uso das informações da região da pele e do cabelo da cabeça. Inicialmente utiliza um algoritmo eficiente baseado na uniformidade da coloração, utilizando-se a teoria da lógica fuzzy para extrair a região da pele e do cabelo da cabeça, que são usados para detectar as faces nas imagens. Depois disso, são calculadas as áreas do centro e dos eixos que resultam a menor inércia da região da pele e do cabelo que são usadas para

estimar a posição espacial da cabeça. O método foi testado através de vídeossequenciais (ao vivo). Os três ângulos de rotação da cabeça em torno dos eixos X, Y e Z são extraídos de cada quadro da sequência que geram animações 3D sintetizadas da posição estimada.

3.9.2 Three-Dimensional Head Tracking and Facial Expression Recovery Using an Anthropometric Muscle-Based Active Appearance Model

Este artigo de Marius D. Cordea (IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement) [12] descreve um novo rastreamento 3D baseado em um modelo de algoritmo que permite a recuperação em tempo real da posição 3D e a orientação e expressões faciais de uma cabeça em movimento. O método usa um modelo de aparência ativa antropométrico 3D baseado nos músculos faciais (AMB AAM 3D), um algoritmo de correspondência baseado em recursos e um filtro de Kalman estendido (EKF) estima a posição e expressão facial. Este modelo é uma extensão do AAM 2-D clássico e usa um modelo genérico 3D de estrutura de descrição da face com base em dois conjuntos de controles: os atuadores musculares anatomicamente motivados para modelar expressões faciais e os controles antropométricos de base estatística para modelar diferentes tipos faciais.

3.9.3 Real Time Head Tracking and Face and Eyes Detection

Neste artigo de Weimin Huang (IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering) [26], apresenta-se um sistema de rastreamento óptico para o uso com ambientes virtuais capazes de rastrear a mão e a cabeça de um usuário simultaneamente e em tempo real. O sistema utiliza feixes infravermelhos em vez da luz visível, em função das condições de iluminação especial que devem ser atendidas para empregar o sistema juntamente com uma mesa de projeção. As características do sistema de rastreamento são descritos com relação à configuração de hardware necessário, o software desenvolvido e a interface para aplicativos de realidade virtual.

3.9.4 Human tracking using wearable sensors in the pocket

O trabalho de Wenchao Jiang (IEEE Global Conference on Signal and Information Processing) [33] afirma que o rastreamento humano com sensores vestíveis, utilizando uma Unidade de Medição Inercial (IMU) é de grande importância para aplicações de computação ubíqua. Este trabalho propõe um novo algoritmo de rastreamento baseado em IMUs posicionadas no bolso. A contribuição desta abordagem está em três etapas: (1) etapas precisas são detectadas de acordo com os padrões repetitivos de movimentos. (2) Em cada etapa, a direção é estimada pelo princípio da frequência da aceleração filtrada. (3) Em vez de inferir a de cada etapa independentemente, calcula-se um vetor nas coordenadas da IMU que pode ser transformado nas coordenadas do mundo para representar a direção do rumo, resolvendo um problema de otimização com todos os dados históricos de rastreamento considerados. O algoritmo foi testado em um conjunto de dados públicos e supera cinco estados da arte. O algoritmo de rastreamento IMU também foi aplicado a cenários reais para ajudar o rastreamento visual a superar os problemas desafiadores da oclusão visual.

3.9.5 A New Approach to Accelerometer-based Head Tracking for Augmented Reality & Other Applications

Este trabalho de M. Keir (IEEE International Conference on Automation Science and Engineering) [34] procura melhorar a precisão dinâmica de rastreamento de pontos para mapeamento de Realidade Aumentada. Usando um pêndulo invertido para modelar a cabeça, usa-se apenas um acelerômetro de dois eixos para a detecção dinâmica de orientação do plano vertical. Uma solução única é apresentada como abordagem convencional para resolver as equações falhas do modelo em produzir resultados estáveis devido ao mal condicionamento. A precisão é limitada pelo ruído e o modelo de erro. No entanto, rastreamento dinâmico com precisão superior a $\pm 1^\circ$ é alcançado analiticamente e experimentalmente.

3.9.6 A Benchmark for Full Rotation Head Tracking

Este artigo do Yulin Li (24th International Conference on Pattern Recognition) [35] apresenta uma nova referência para o rastreamento de 360°

de rotação da cabeça, denominado FRHT (*Full Rotation Head Tracking*). A referência consiste em 50 sequências de cores que contêm diversas atividades humanas com movimentos complexos da cabeça. Especialmente, o FRHT cobre os maiores desafios do rastreamento de cabeças e se concentra nas variações de aparência das cabeças durante a rotação de 360 °. Também identifica cabeças de pessoas próximas (aglomerações). Além disso, propõe-se um rastreador de linha de base. Ele orienta uma atualização seletiva da adaptação, verificando estratégias, aliviando o acúmulo de erros. Experimentos extensivos validam as vantagens do FRHT na rotação da cabeça e na confusão de objetos semelhantes.

3.9.7 Stereo-Based Head Pose Tracking with Motion Compensation Model

Este trabalho de Zhigang Liu (IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics) [36] apresenta um algoritmo de rastreamento de cabeça com modelo estéreo de compensação de erro de movimento. Primeiramente, reconstrói-se o modelo 3D de cabeça acoplando o rastreamento de recursos com a restrição epipolar do par de imagens estéreo. Com base na reconstrução do Modelo 3D, pode-se obter a posição 3D aproximada da cabeça neste ponto. Em seguida, analisam-se os parâmetros dos erros estimados do movimento introduzindo-se o modelo de compensação de movimento para melhorar a precisão que representa o rastreamento da cabeça. Em conjunto com equação de restrição de fluxo ótico, pode-se obter uma equação linear para definir os parâmetros desconhecidos no modelo de compensação de movimento, que podem ser resolvidos com baixa complexidade. O método é capaz de rastrear todos os seis graus de liberdade dos movimentos da cabeça, mesmo em presença de oclusões parciais e/ou alterações faciais.

3.9.8 Visible-light wearable eye gaze tracking by gradients-based eye center location and head movement compensation with IMU

Neste artigo Ting-Lun Liu (IEEE International Conference on Consumer Electronics) [37], apresenta uma técnica vestível baseado em luz visível para rastreamento dos olhos, desenvolvida para ambientes externos e internos. O rastreador proposto funciona de maneira eficaz usando a localização do centro

da íris baseada em gradientes e compensação do movimento da cabeça com a unidade de medição inercial (IMU). Nos testes realizados, os erros médios estimados dos centros de íris são menores que 6 pixels. No modo de teste *in door*, os erros médios de rastreamento horizontal e vertical do rastreamento do olhar foram 2,4 e 2,53 graus, respectivamente. No modo de teste *out door*, os erros médios do olhar de rastreamento são inferiores a 2,2 graus.

3.9.9 Robust head pose estimation based on key frames for human-machine interaction

Neste artigo Francisco Madrigal (EURASIP Journal on Image and Video Processing) [39], afirma que os seres humanos podem interagir com vários tipos de máquinas (veículos a motor, robôs, entre outros) de diferentes maneiras. Uma das formas é através da posição da sua cabeça. Neste trabalho, propõem-se uma estrutura de estimativa de pose de cabeça que combina 2D e 3D usando-se o conceito de *Key Frame* (KFs). KFs são um conjunto de quadros aprendidos automaticamente *off-line*, que consistem do seguinte: recursos 2D, codificados através dos descritores *Speeded Up Robust Feature* (SURF); Informação 3D, capturada por descritores de histograma de recurso de ponto rápido (FPFH); e orientação da cabeça do alvo (posição) em coordenadas do mundo real, que é representado através de um modelo facial 3D. Em seguida, as informações da KF são reforçadas por meio de um processo de otimização global que minimiza o erro de maneira semelhante ao ajuste do pacote.

3.9.10 Evolving Head Tracking Routines With Brain Programming

Este artigo de Gustavo Olague (IEEE Access) [47] apresenta uma metodologia que projeta automaticamente um fluxo dorsal artificial para o problema de rastreamento de cabeça. Vários operadores visuais são sintetizados para obter vários mapas visuais e de visibilidade que são fundidos em um mapa de saliência, que é convertido em uma imagem binária, definindo assim o proto-objeto. O projeto automático de programas de atenção visual para o problema de rastreamento de cabeças é alcançado através de um processo de otimização seguindo o paradigma darwiniano de evolução artificial. Cérebros artificiais são sintetizados usando-se vários operadores visuais

incorporados a um procedimento hierárquico complexo de vários processos-chave, como mecanismos centralizados, normalização e processos em escala de pirâmide. Experiências extensivas mostram que o método proposto supera vários métodos de ponta no problema desafiador do rastreamento de cabeças.

3.9.11 Real-time head tracking by saccadic exploration and Gabor decomposition

A decomposição de Gabor é uma ferramenta poderosa na visão computacional conforme cita Fabrizio Smeraldi (5th International Workshop on Advanced Motion Control) [54]. No entanto, é geralmente considerado computacionalmente exigente para aplicações ativas da visão. Sugere-se uma abordagem direcionada à atenção para detecção e rastreamento de cabeças inspirada no sistema sacádico humano. Uma grande aceleração é alcançada computando a decomposição de Gabor apenas nos pontos de uma grade retinotópica esparsa. O sistema de localização e rastreamento de cabeças em tempo real apresentado apresenta uma nova câmera montada no globo ocular projetada para simular o desempenho mecânico do olho humano. É, até onde sabemos, o primeiro exemplo do sistema de visão ativo baseado na decomposição de Gabor.

3.9.12 Automated head motion system improves reliability and lessens operator dependence for head impulse testing of vestibular reflexes

Conforme descrito por Grace X. Tan (IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications) [57], a deficiência da estabilização dos olhos no reflexo vestibulo-ocular (VOR) é uma característica definidora de múltiplas doenças relacionadas ao labirinto vestibular, que compreende os sensores do ouvido interno rotação da cabeça, translação e orientação. O diagnóstico destes distúrbios é facilitado pela observação e medição dos movimentos do olho durante e após o movimento da cabeça. O Teste de Impulso Cefálico (Head Impulse Test . HIT) ganhou recentemente interesse como diagnóstico clínico na avaliação da disfunção vestibular. Na prática, envolve o uso de óculos de vídeo-oculografia para medir os movimentos dos olhos enquanto um examinador clínico agarra a cabeça do sujeito e gira manualmente para a esquerda ou direita, com aceleração suficiente para cobrir 20° acima de 100 mS , atingindo uma velocidade de pico de $>120^\circ/\text{s}$ no meio do

movimento. As execuções manuais dos impulsos na cabeça incorrem em variabilidade significativa entre tentativas, entre sessões e entre operadores, o que diminui a confiabilidade, a eficiência, segurança e padronização nas instalações de teste. Neste trabalho descreve-se aplicação de uma nova cabeça automatizada, compacta e portátil de um dispositivo de teste de impulso (aHIT) que fornece estímulos de movimento da cabeça altamente repetível sobre eixos paralelos aos do vestibular nos seis canais semicirculares do labirinto, perfis de movimento sinusoidal em amplitudes com canais gaussianos programáveis, velocidades e acelerações suficientes para testar a função VOR sobre o alcance espectral para o qual o VOR domina outros estabilizadores dos reflexos da visão. Testamos o aHIT em seres humanos e demonstrou-se sua alta reprodutibilidade em comparação com impulsos de cabeça entregues. Este dispositivo tem o potencial de ser uma valiosa ferramenta clínica e de pesquisa para avaliação diagnóstica e investigação do sistema vestibular.

3.9.13 Modelling and motion capture techniques for virtual environments

O *workshop* CAPTECH ocorreu na Universidade de Genebra e foi patrocinado pelo Grupo de Trabalho 5.10 do FIP (Computação Gráfica e VirtualWorlds) e o seminário regional de doutorado em ciência da computação da Suisse Romande. O assunto da conferência foi a pesquisa em andamento sobre captura e interpretação de dados. Os objetivos de capturar dados do mundo real para perceber, entender e interpretar eles e, em seguida, reagir a eles de maneira adequada são atualmente importantes problemas de pesquisas. Esses dados podem ser muito diversos: sons, emoções, formas, movimentos, forças, músculos, ações, etc. Uma vez capturados, eles precisam ser tratados para que o invisível torne-se visível ou para entender um fenômeno em particular, a fim de formular reação apropriada ou integrar várias informações em um novo formato multimídia. A conferência incluiu seis sessões de trabalhos apresentados e três painéis de discussão.

3.9.14 Binocular Vision System Design and its Active Object Tracking

Neste trabalho Longfei Tian (Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design) [59] apresenta um sistema de visão

binocular com capacidade de rastreamento ativo de objetos em movimento é projetado e implementado. O software de gerenciamento também é desenvolvido para estudos adicionais. Em seguida, estudou-se as tecnologias cruciais relacionadas ao rastreamento ativo de um objeto em movimento por esse sistema binocular. A arquitetura geral é primeiramente analisada e, em seguida, roda-se o algoritmo de detecção e rastreamento de alvos. Finalmente para as duas câmeras, um mecanismo correspondente completo no processo de rastreamento, caso elas rastreiem diferentes objetivos são propostos e discutidos.

3.9.15 Video based head detection and tracking surveillance system

Neste artigo Di Xie (9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery) [64] apresenta um novo sistema que adquire o rosto ou a cabeça humana por vídeo de uma única câmera de vigilância e aplica várias tecnologias de ponta (algoritmos de visão computacional) para gerar em tempo real a detecção e rastreamento dos resultados da cabeça humana. Os resultados da detecção são obtidos usando o recurso histograma de gradientes (HoG), alimentado por GPU e os falsos positivos são filtrados por movimento e probabilidades de aparência. Os resultados de nossos experimentos mostram que o sistema proposto permite realizar detecção e rastreamento de desempenhos robusto sna maioria das cenas de vigilância.

3.9.16 Real-time head tracking system with an active camera

No sistema proposto por Tao Yang (Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation) [65], a detecção de objetos em movimento melhorada foi usada para iniciar o processo de detecção e rastreamento de cabeças, baseado no gradiente e nas informações de cores. Primeiramente, diminuimos o tamanho da imagem através de um método de amostragem, então detectamos as regiões da pele sobre a imagem inteira que gerou um espaço de pesquisa, depois que um modelo de elipse foi usado para detectar no espaço de busca e o resultado da detecção foi refletido na imagem original. Finalmente o resultado acima foi sendo usado para controlar a câmera ativa. A avaliação do desempenho do sistema é mostrado na última parte do artigo. O resultado da experiência mostra que este sistema é executado em tempo real em um PC

padrão, sendo robusto à mudança de fundos, parcial oclusão, desordem, variações na escala de face, rotações em profundidade e mudanças rápidas no assunto ou na posição da câmera.

3.9.17 A robust human head detection method for human tracking

Neste artigo Hosub Yoon (IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) [66] descreve um algoritmo para detecção da cabeça humana a uma distância superior a 2,5 m entre uma câmera e um objeto. Este algoritmo é usado para o controle de um robô, que possui limites adicionais de câmera em movimento, objetos em movimento, várias orientações de rosto, e iluminações não fixas. Com essas circunstâncias, é feita apenas a suposição de que os contornos da cabeça e do corpo humano têm uma forma ômega (ω). Para separar o fundo dessas formas ômega, os três recursos básicos de cinza, cor e borda são usados e combinados. A sugestão de cor da pele é muito útil quando o fluxo da imagem é frontal e possui grandes regiões faciais e, além disso, não possui objetos de plano de fundo semelhantes à cor da pele. A sugestão cinza também é importante quando os rostos capturados têm um cinza mais baixo nível que objetos de plano de fundo. A sugestão de borda é útil quando objetos de plano de fundo capturados possuem níveis de cinza semelhantes e cores às da cabeça, mas podem ser discriminadas por arestas. Como esses três métodos têm resultados de falhas aproximadamente ortogonais, eles se complementam. O próximo passo é um método de divisão entre a cabeça e a região do corpo usando o método proposto. O passo final é uma elipse e um algoritmo de verificação da região da cabeça. Os resultados desse algoritmo fornecem robustez para a rotação da cabeça, alteração da iluminação e tamanhos de cabeça variáveis. Além disso, é possível realizar processamento em tempo real.

3.9.18 Sensing Movement: Microsensors for Body Motion Measurement

Segundo Hansong Zeng (Laboratory for Biomedical Microsystems, Department of Biomedical Engineering, The Ohio State University) [67], o reconhecimento da postura e movimento do corpo é uma importante função fisiológica que pode manter o corpo em equilíbrio. Os sensores de movimento sintéticos também foram amplamente aplicados para uma ampla gama de

aplicações biomédicas, incluindo diagnóstico de distúrbios do equilíbrio e avaliação do gasto de energia. Este artigo analisa os componentes sensores de última geração utilizados para a medição do movimento do corpo. A anatomia e os princípios de funcionamento de um sensor de movimento natural do corpo são descritos pela primeira vez: o sistema vestibular humano. Vários sensores inerciais feitos pelo homem são então elaborados com base em seus distintos mecanismos de detecção. Em particular, os sensores de movimento de estado sólido convencionais e os sensores de movimento emergentes de estado não sólido são apresentados. Com seu menor custo e maior inteligência, espera-se que os sensores de movimento sintéticos desempenhem um papel cada vez mais importante nos sistemas biomédicos para pesquisas básicas e diagnósticos clínicos.

3.9.19 Head Movement Recognition Based on Lucas-Kanade Algorithm

Este artigo de Zheng Zhao (International Conference on Computer Science and Service System) [68] pesquisou alguns métodos para o reconhecimento de movimentos da cabeça. Em alusão a alguns defeitos desses métodos, levantou-se um novo método baseado no algoritmo Lucas-Kanade. Para identificar com precisão os movimentos da cabeça, neste artigo, detectamos primeiro a face, depois localizamos as narinas, finalmente rastreamos as narinas usando o algoritmo de fluxo óptico Lucas-Kanade. Os resultados experimentais mostram que esse método é robusto e em tempo real.

4. METODOLOGIA PROPOSTA

Este trabalho propõe a caracterização dos movimentos seletivos da cabeça, através da extração e quantificação do estímulo aplicado ao sujeito ou solicitado pelo examinador, acoplado ao instrumento imageador dos olhos utilizado na avaliação do equilíbrio humano. Desta forma, este trabalho apresenta um sistema inovador, com baixo custo de implementação, com dimensões e massa reduzida (visando o conforto do usuário) e dados de quantificação sincronizáveis com outros dispositivos de diagnóstico para auxiliar o examinador na avaliação do sujeito examinado. A Figura 12- Cenário de aplicação (elaborado pelo autor).abaixo, apresenta um cenário com a aplicação integrada do dispositivo imageador dos olhos e o sistema proposto.

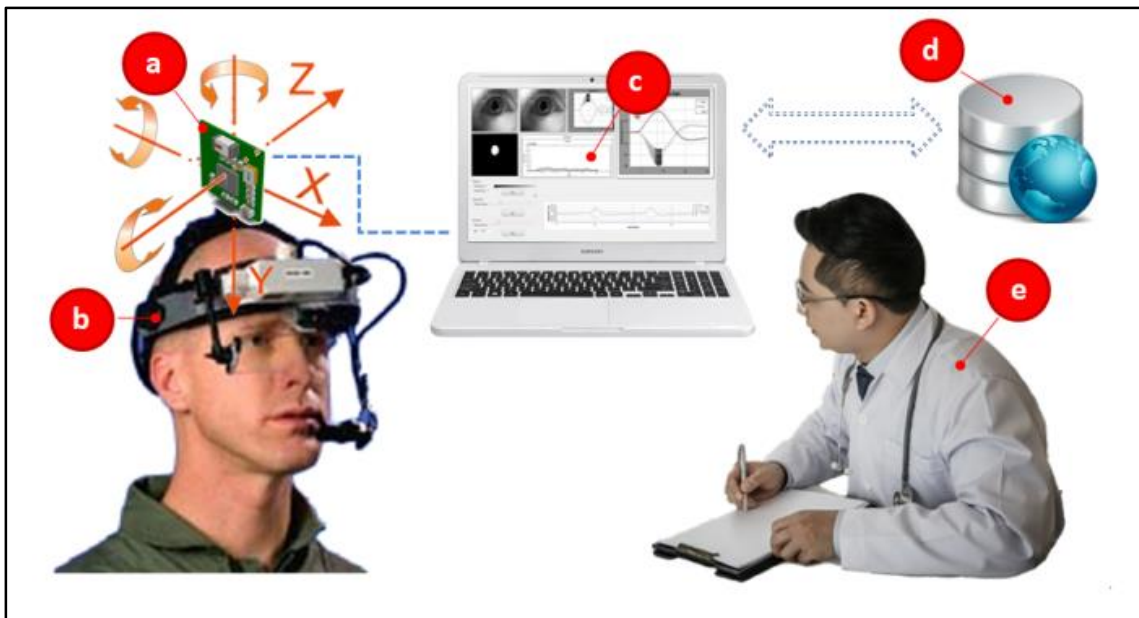


Figura 12- Cenário de aplicação (elaborado pelo autor).

4.1 Especificação

Este trabalho propõe uma pesquisa aplicada, quantitativa e de natureza experimental para a implementação de um dispositivo de extração e quantificação dos movimentos da cabeça, análise da sua precisão e exatidão, sua integração a dispositivos para o diagnóstico do equilíbrio, bem como uma revisão literária sobre os dispositivos desenvolvidos no LABIMA para comparação de desempenho.

O sistema proposto está ilustrado na Figura 12 é composto por um dispositivo vestível (a) para extração dos dados e processamento da quantificação do movimento, acoplado a um óculos imageador dos olhos (b) que, através de uma fita elástica, está acoplada a cabeça do indivíduo em avaliação. O dispositivo vestível (a) se comunica com um computador (c) através de uma porta de comunicação serial que recebe os dados processados, armazena-os em uma base de dados (d) e, apresenta as informações através de uma interface gráfica (e) para o avaliador do exame (e).

4.2 Implementação

Para a implementação do sistema proposto foram investigados em distribuidores de componentes eletrônicos os principais itens para compor o sistema, tais como microprocessadores, microcontroladores, acelerômetros analógicos e digitais, bem como módulos eletrônicos com estes dispositivos embarcados. A seleção de componentes levou em consideração, inicialmente, os requisitos técnicos e sua escalabilidade necessários para um dispositivo vestível. Posteriormente, verifica-se as suas dimensões mecânicas, prazo de entrega e custos de aquisição. As seções a seguir apresentam as principais características dos componentes selecionados e suas respectivas descrições.

4.3 Microcontrolador

Neste trabalho a função do microcontrolador é gerenciar o dispositivo sensor, tratar os dados recebidos e transmiti-los para um PC através de uma interface de comunicação. Optou-se pelo microcontrolador nRF51822 por ser um dispositivo ULP (*Ultra Low Power*) e uma solução multiprotocolo para aplicações sem fio, apropriada para projetos com dispositivos vestíveis.

Este microcontrolador incorpora uma CPU ARM® Cortex ï M0 de 32 bits, memória RAM de 32kB e com a ampla disponibilidade de flash, 256kB no total, sendo 40kB a 180kB disponíveis para o desenvolvimento de aplicativos. O nRF51822 suporta, ainda, o protocolo Bluetooth® de baixa energia (BLE) e as pilhas (*stacks*) de protocolos de 2,4 GHz [45] [46].

O nRF51822 oferece densidade de código e velocidade de execução, consideravelmente, maiores do que nas plataformas de 8/16 bits [46]. O

sistema de Interconexão Periférica Programável (PPI) fornece um barramento de 16 canais para comunicação periférica direta e autônoma do sistema sem intervenção da CPU. Isso proporciona tempos de latência previsíveis para a interação periférica e benefícios de economia de energia associados ao deixar a CPU ociosa. O dispositivo possui 2 modos de energia global, LIGADO/DESLIGADO, onde todos os blocos e periféricos do sistema possuem controle de gerenciamento de energia individual, o que permite uma alternância automática de *RUN/IDLE* para blocos do sistema com base apenas nos necessários e/ou não necessários para realizar tarefas específicas. A Figura 13 a seguir, apresenta um diagrama de blocos simplificado do microcontrolador nRF51822.

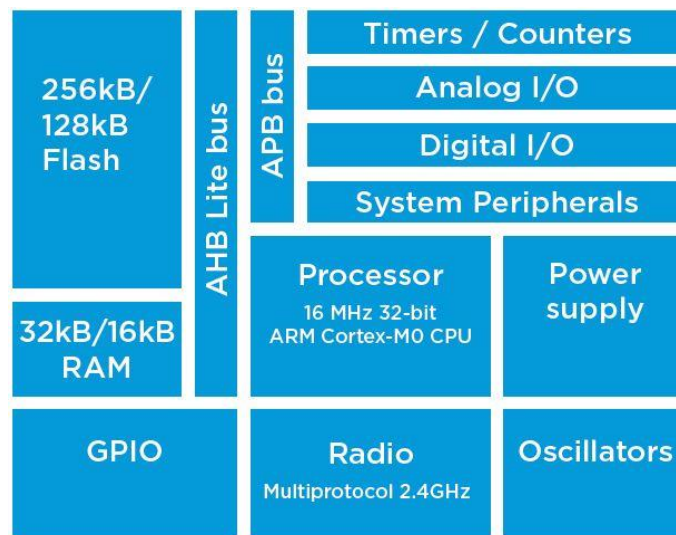


Figura 13 - Diagrama de blocos do nRF51822 (adaptado de [46]).

Em termos de firmware, o nRF51822 oferece aos desenvolvedores uma separação clara entre o desenvolvimento do código do aplicativo e as pilhas de protocolo incorporadas. Isso significa que, as dependências de compilação, vinculação e tempo de execução, com a pilha incorporada e os desafios de eliminação de erros associados são removidos. A pilha de *Bluetooth* baixa energia é um binário pré-compilado disponível na *Nordic Semiconductor*, deixando o código do aplicativo compilado de forma independente. A interface da pilha usa um modelo assíncrono e controlado por eventos, removendo a necessidade de estruturas RTOS (*Real Time Operating System*).

O preço deste componente no mercado distribuidor [3] [13] [42] [43] [56] gira em torno de U\$ 5.00 para aquisição unitária e menos de U\$ 2.00 para aquisições acima de 1000 peças, demonstrando, desta forma, que o microcontrolador nRF51822 é um componente de baixo custo para a aplicação proposta.

4.4 Giroscópio

Um giroscópio serve para medir rotações ou inclinações, então para a captura dos movimentos selecionou-se o sensor MPU-6050 da família MPU-60X0. Este chip é o primeiro dispositivo do mundo para o rastreamento de movimento (*MotionTracking*) de 6 eixos integrado que combina um giroscópio de 3 eixos, acelerômetro de 3 eixos e um processador digital de movimento (*Digital Motion Processor* (DMP)), em um encapsulamento de 4 mm x4 mm x0,9 mm [30] [31]. O sensor possui barramento I2C dedicado, que aceita, diretamente, entradas de uma bússola externa de 3 eixos para fornecer uma saída completa de fusão de movimentos (*Motion Fusion*) de 9 eixos.

A família MPU-60X0 possui três conversores analógico-digitais (ADCs) de 16 bits para digitalizar as saídas do giroscópio e, três ADCs de 16 bits para digitalizar as saídas do acelerômetro. Para a implementação do rastreamento preciso de movimentos rápidos e lentos, os chips contêm um giroscópio programável pelo usuário em escala completa de ± 250 , ± 500 , ± 1000 e ± 2000 °/s (graus por segundo) e um acelerômetro programável pelo usuário em escala completa faixa de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ e $\pm 16g$.

Um buffer FIFO (*First in First out*), de 1024 bytes integrado no chip ajuda a reduzir o consumo de energia do sistema, permitindo que o processador do sistema leia os dados do sensor em modo *burst*, e entre no modo de baixo consumo de energia, à medida que o microprocessador coleta mais dados. Com todo o processamento no chip e componentes de sensor necessários para suportar muitos casos de uso baseados em movimento, o MPU-60X0 habilita, exclusivamente, aplicativos de interface de movimentos (*Motion Interface*) de baixa potência (*low power*) em aplicativos portáteis com requisitos de processamento reduzidos para o processador do sistema. Ao fornecer uma saída de fusão de movimentos integrada, o processador digital de

movimentos do MPU-60X0 elimina os requisitos de processamento de movimentos intensivos do processador do sistema, minimizando a necessidade de pesquisas frequentes (*polling*) da saída do sensor de movimento [30], característica ideal e requisito necessário para dispositivos vestíveis.

A comunicação com todos os registros do dispositivo é realizada usando I2C a 400kHz ou SPI (*Serial Peripheral Interface*) a 1MHz. Para aplicativos que exigem comunicações mais rápidas, os registros de sensor e interrupção podem ser lidos usando SPI a 20 MHz. Recursos adicionais incluem um sensor de temperatura incorporado e um oscilador integrado no chip com variação de $\pm 1\%$ na faixa de temperatura operacional. A Figura 14 a seguir apresenta um diagrama de blocos simplificado do componente.

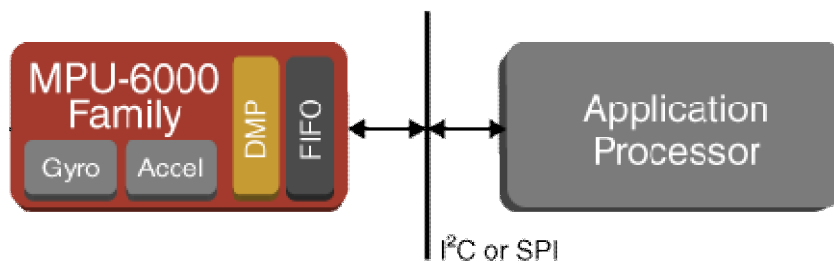


Figura 14 - Diagrama de blocos da família MPU-6050 (adaptado de [31]).

O componente possui uma tolerância robusta a choques de 10.000g e possui filtros passa-baixas programáveis para os giroscópios, acelerômetros e sensor de temperatura no chip. Para flexibilidade da fonte de alimentação, o MPU-60X0 opera na faixa de tensão da fonte de alimentação (VDD) de 2.375V-3.46V. Além disso, o MPU-6050 fornece um pino de referência (VLOGIC), além do pino de fornecimento analógico (VDD), que define os níveis lógicos de sua interface I2C. A tensão VLOGIC pode ser de $1,8V \pm 5\%$ ou VDD.

O preço deste componente no mercado distribuidor [13] [42] [43] [56] gira em torno de U\$ 7.50 para aquisição unitária e, menos de U\$ 3.50 para aquisições acima de 1000 peças, demonstrando, desta forma, que o giroscópio MPU-6050 é um componente com custo adequado para a aplicação proposta.

4.5 Módulo Eletrônico

Para a implementação do dispositivo vestível selecionou-se a plataforma *Tiny BLE (Bluetooth Low Energy)*, pois possuem embarcados, em uma única placa, os principais componentes necessários para o desenvolvimento do sistema proposto: um microcontrolador poderoso e um giroscópio robusto.

A *Tiny BLE* é uma placa de desenvolvimento projetada para aplicações onde o baixo consumo de energia, a massa reduzida e dimensões mecânicas reduzidas, são requisitos essenciais do projeto [50] [51]. Esta plataforma integra diversos recursos de medição, por exemplo, dados de consumo de energia em tempo real, que são essenciais para os desenvolvedores otimizarem o software e projetar dispositivos com bateria de longa duração. A plataforma suporta o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (em inglês *IDE-Integrated Development Environment*) baseado em nuvem do ARM mbed (*Advanced RISC Machine*) com um prático C / C ++ SDK (*Software Development Kit*) e um grande número de bibliotecas de código aberto, o que torna, extremamente, fácil a criação de protótipos e o desenvolvimento [1] [2].

A Figura 15 abaixo ilustra a plataforma utilizada no desenvolvimento do sistema. Pode-se observar na vista superior (a) o microcontrolador nRF51822 e o giroscópio MPU6050, além de um botão tipo *pushbutton* para uso geral, um conector para bateria e um chip antena para o rádio. A plataforma oferece ainda um barramento com 6 pinos, sendo 4 pinos (P3, P4, P5 e P6) para acesso às suas portas de entradas e saídas (digitais e analógicas) e 2 pinos (OUT_3V3 e GND) para alimentação externa. As dimensões desta plataforma são: 30 mm (comprimento) x 15 mm (largura) x 5 mm (altura).

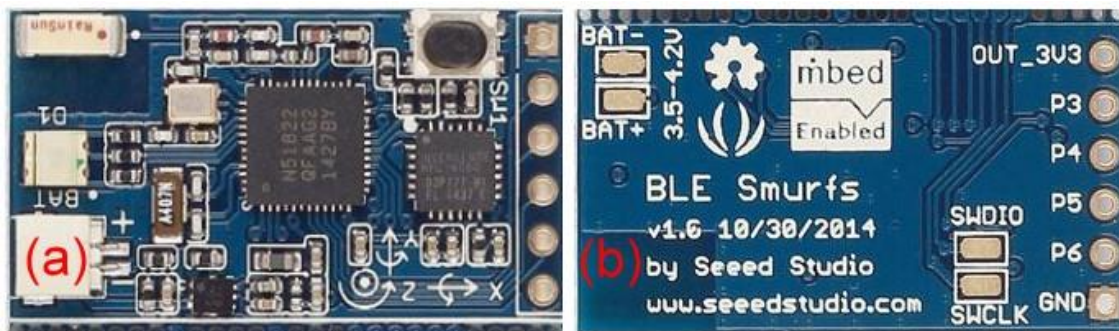


Figura 15 - Plataforma *Tiny BLE*: vista superior (a) e vista inferior (b) [50].

O preço desta plataforma no mercado distribuidor [42] custa menos de U\$ 30.00 para aquisição unitária e valor de U\$ 25.00 para aquisições acima de 20 peças. Demonstra-se assim um custo bastante adequado para a aplicação proposta, haja vista que a plataforma inclui o microcontrolador nRF81522, o giroscópio MPU-6050 e demais componentes discretos necessários para o desenvolvimento do sistema.

4.6 Registro e Transmissão dos Movimentos Seletivos da Cabeça

Para realizar-se a medição de ângulos com giroscópios eletrônicos utiliza-se as técnicas de processamento digital de sinais, através da implementação de algoritmos para fusão dos eixos do sensor embarcados no giroscópio MPU6050 da empresa InvenSense (TDK). O acoplamento do dispositivo de aquisição dos movimentos é realizado através de fixação mecânica deste dispositivo ao equipamento imageador dos olhos. Considerando-se que os dispositivos eletrônicos estão acoplados entre si e, devidamente, encaixados (vestidos) em um objeto móvel (cabeça), desenvolveu-se um algoritmo para o referenciamento (posição zero) e calibração dos sensores que garante a acurácia necessária para a realização dos ensaios.

Com a implementação de um código adequado e uma API (*Application Programming Interface*) em conjunto com as funções de fusão dos sensores é possível extrair e quantificar os movimentos de amplitude, velocidade e aceleração aplicados ao dispositivo. Quando executa o algoritmo interno, o processador digital de movimentos MPU6050 representado na Figura 14 envia os valores de quatérnios no formato *long* (inteiro de 16 bits). Como o microcontrolador utilizado não tem ponto flutuante, todos os cálculos são

realizados em ponto fixo para depois realizar-se a conversão para ângulos de Euler através da função abaixo:

```
void inv_get_sensor_type_euler(long *data, long *quat);
```

Esta função gera valores dentro dos seguintes limites:

Pitch: -180 a 180;

Roll: -90 a 90;

Yaw: -180 a 180.

Por fim convertem-se os valores dos três eixos para o formato *float* para serem apresentados em ponto flutuante, utilizando-se a função abaixo:

```
float inv_q16_to_float(long q16);
```

Para a transmissão dos dados desenvolveu-se um algoritmo para o envio dos dados capturados e processados pelo sistema de sensor de movimento. A cada 100 ms o sistema disponibiliza um conjunto atualizado de informações para transmissão. O envio realiza-se através de um canal serial (USB) do sensor para o computador do avaliador. Os dados são formatados e enviados em formato ASCII para que possam ser facilmente integrados e sincronizados com outros aplicativos de diagnóstico. Para a correta interpretação dos dados pelo receptor criou-se um quadro (*frame*) de dados com um formato pré- definido com carga útil (*payload*) representada na Figura 16 a seguir:

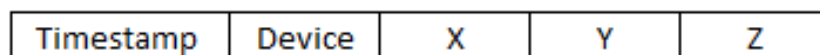


Figura 16 - Frame de dados (elaborado pelo autor).

O quadro *Timestamp* representa o instante da aquisição do dado em relação a hora do sistema e tem resolução de 1 milissegundo. Este dado está representado de acordo com o formato numérico proposto na norma ISO 8601[30] [31]. O quadro *Device* indica o sensor de medição que foi lido (GYRO ou ANG) referente aos valores dos eixos X, Y e Z. Quando o quadro *Device* contém a *tag* GYRO, indica que ocorreu a aquisição da velocidade angular em

graus por segundo ($^{\circ}/s$), tem fundo de escala de $4000^{\circ}/s$ e resolução de 1° . Neste caso, os quadros X, Y, Z contém o valor medido da velocidade angular de cada um dos eixos. Quando o quadro *Device* contém a *tag* ANG, indica que ocorreu a aquisição do valor do ângulo em relação a posição 0° ajustado durante a calibração, tem fundo de escala de 360° e resolução de $1/100$ de grau. Neste caso, os quadros X, Y, Z contém o valor medido dos ângulos relativos de cada um dos eixos.

4.7 Validação

A validação realizou-se em duas etapas: a validação preliminar e a validação técnica, ambas realizadas em laboratório.

A etapa preliminar compõe-se por testes experimentais para uma avaliação prévia dos parâmetros extraídos dos sensores e posterior ajuste no firmware para que os dados capturados registrem aos movimentos realizados com a maior fidelidade possível. Realizou-se mais de 30 coletas, pois isto é um aspecto importante para a estabilidade dos resultados obtidos, especialmente para avaliações biomecânicas. Para esta validação fixou-se o dispositivo proposto em uma morsa mecânica graduada com resolução de 1° que realizando-se 3 passos com um intervalo de 15° para cada lado em relação a referência. Partiu-se do ponto 0° , movimentou-se à direita e à esquerda, em movimentos alternados, de 0° a 15° , de 0° a 30° e de 0° a 45° . Com estes testes prévios pôde-se ajustar e refinar a acuracidade atuando-se no firmware de controle, através da comparação das medidas extraídas em comparação com a posição marcações prévias no *setup* de testes.

Os ensaios de validação técnica de captura de movimento (*Mocap-motion capture*) realizaram-se no Instituto Senai de Inovação em Soluções Integradas em Metalmecânica (ISI SIM), localizado na cidade de São Leopoldo no estado do Rio Grande do Sul, o qual é uma unidade credenciada Embrapii (EMBRAPII - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) em sensoriamento, onde destacam-se a análise de fatores humanos na interação de equipamentos (industriais, esportivos e médicos) [27].

Para a realização dos ensaios utilizou-se como padrão áureo dispositivo calibrado das instalações do LTI (Laboratório de Tecnologias de Interações) que está instalado em uma sala com dimensões de 8m x 6m, e está equipado com a ferramenta de software Vicon NEXUS 2.10 para o tratamento das imagens e cálculo dos ângulos. A captura de movimentos utilizando-se *Mocap*, é uma técnica utilizada para gravar digitalmente movimentos com o auxílio de marcadores ativos (alvos) de alta resolução, fornecendo posições sub milimétricas em tempo real. Em produções cinematográficas, o termo captura de movimentos refere-se a gravar ações de atores humanos e usar tais informações para animar modelos de personagens virtuais em animação 3D.

Para a aquisição e integração das imagens com o software o laboratório conta com 10 câmeras Vicon, modelo V5 estrategicamente posicionadas ao longo das paredes laterais do laboratório, ilustradas na Figura 17 abaixo. Estas câmeras possuem um sensor CMOS (por extenso) com resolução de 2432 H x 2048 V (5M) e *frame rate* ajustável entre 30 e 2000 fps (frames por segundo) [62] [63].



Figura 17 - Câmera Vicon V5 (adaptado de [62]).

A validação técnica das medidas e velocidades angulares realizou-se através da captura simultânea dos dados de movimentação, ou seja, capturou-se os dados do dispositivo proposto neste trabalho ao mesmo tempo em que o sistema de captura de movimentos da Vicon. Estes dados foram, posteriormente, tabulados e pôde-se avaliar a correlação dos dados extraídos do dispositivo proposto em comparação com os dados extraídos pelos equipamentos calibrados do laboratório.

Para os ensaios de validação técnica, em conjunto com a captura de movimentos, utilizou-se o dispositivo imageador de olhos *EyeTracking Dikablis Professional*, modelo DK3148 do fabricante Ergoneers GmbH[15] [16] [17] ilustrado na Figura 18 abaixo, onde o dispositivo implementado neste trabalho foi acoplado (integrado) utilizando-se uma pequena adaptação mecânica para a fixação do mesmo, conforme indicado pela seta vermelha.



Figura 18 - *Eye Tracking* e o dispositivo proposto (elaborado pelo autor).

5. VALIDAÇÃO

Para validar a solução implementada realizou-se dois ensaios complementares: validação preliminar e validação técnica. Para a validação técnica utilizou-se dispositivos padrão áureo para a comparação dos resultados obtidos. Após a validação da aplicação, o dispositivo foi submetido pelo autor a ensaios simulando os testes realizados em ensaios clínicos, seguindo os protocolos de uso recomendados.

5.1 Validação Preliminar

A validação preliminar realizou-se em laboratório utilizando-se um sistema fixo de marcadores no chão e uma morsa mecânica graduada para a movimentação do dispositivo em teste. A Figura 19 apresenta o setup com o dispositivo posicionado para os testes e o sistema de marcação de ângulos impressos no chão.

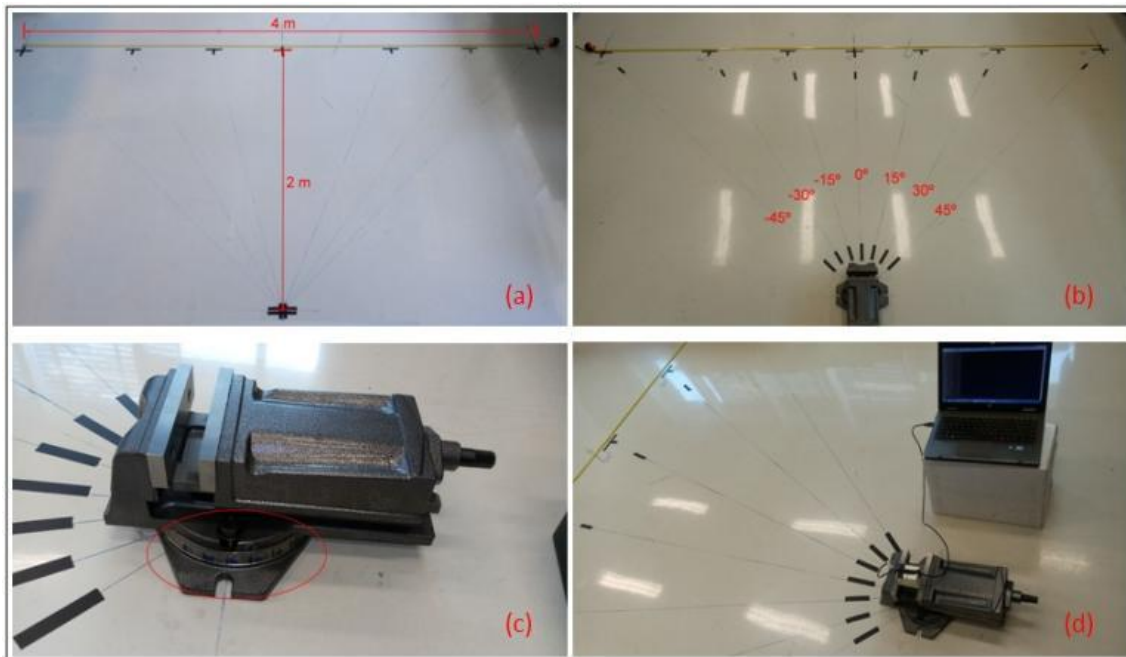


Figura 19 - Setup de teste preliminar (elaborado pelo autor).

Em (a) pode-se visualizar a área demarcada com as dimensões de 4 m x 2 m onde há as divisões dos ângulos a cada 15° (b). Em (c) observa-se a graduação do dispositivo mecânico que auxilia a verificação do deslocamento em relação às linhas demarcadas a cada 15°. Em (d) observa-se o dispositivo instalado e enviando os dados para um notebook que registra os ângulos e as acelerações capturadas durante as movimentações.

Para a verificação destes ângulos e acelerações gerou-se um gráfico, a partir dos dados coletados, para análise da resposta do dispositivo e utilizou-se os resultados para o refinamento do *firmware* desenvolvido. A coleta de dados foi realizada diversas vezes, até que obteve-se a convergência do sistema proposto, conforme ilustrado na Figura 20 abaixo.

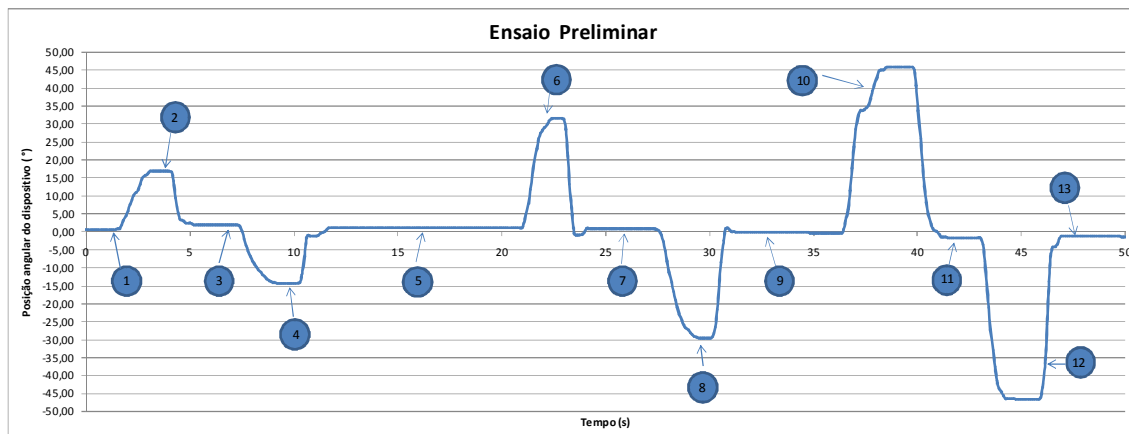


Figura 20 - Gráfico do ensaio preliminar (elaborado pelo autor).

Para o ensaio de teste preliminar realizou-se 13 passos. Estes passos estão numerados sequencialmente e foram realizados da seguinte forma:

- 1° passo: calibrar ponto zero do sistema;
- 2° passo: Girar o dispositivo 15° para a direita;
- 3° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 4° passo: Girar o dispositivo 15° para a esquerda;
- 5° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 6° passo: Girar o dispositivo 30° para a direita;
- 7° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 8° passo: Girar o dispositivo 30° para a esquerda;
- 9° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;

- 10° passo: Girar o dispositivo 45° para a direita;
- 11° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 12° passo: Girar o dispositivo 45° para a esquerda;
- 13° passo: Retornar dispositivo para a posição zero.

5.2 Validação Técnica

A avaliação técnica realizou-se nas dependências do LTI, utilizando-se as câmeras Vicon V5 para a captura dos movimentos e o software Vicon NEXUS 2.10 para o tratamento das imagens e cálculo dos ângulos. Para a captura do movimento dos olhos utilizou-se o *eye tracking* modelo DK3148 da empresa Ergoneers, ambos são padrão áureo. Estes equipamentos são comerciais e não tem certificação da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) para uso clínico, pois são designados para uso exclusivo em pesquisa e desenvolvimento em laboratórios de estudos de movimentos biomecânicos. Para a comparação dos resultados, o dispositivo proposto neste trabalho foi fixado ao *eye tracking* para extração e captura dos movimentos da cabeça do sujeito submetido ao ensaio.

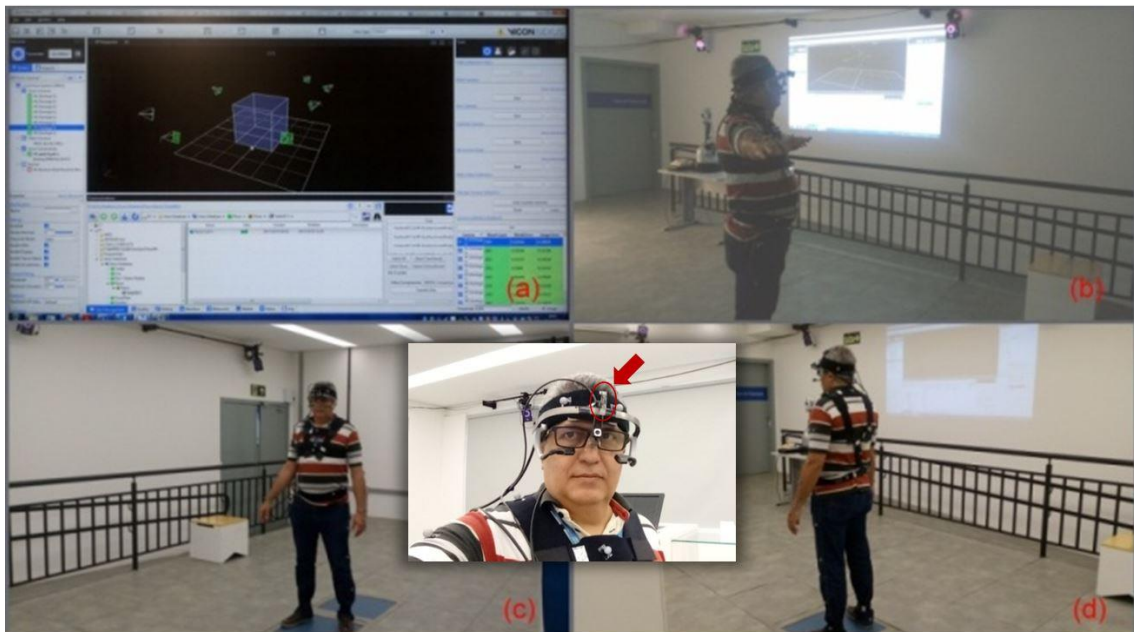


Figura 21 - Setup de teste de validação (elaborado pelo autor).

A Figura 21 acima apresenta a sala do LTI com os dispositivos posicionados para a calibração do ambiente de testes realizados no autor. Em (a) pode-se ver a tela do software Vicon NEXUS 2.10 apresentando os valores

da calibração em relação ao ambiente de estudo. Em (b) observa-se a projeção da visão da tela na sala do operador, verificando a calibração com o indivíduo e plotando uma nuvem de pontos correspondente aos alvos óticos fixados ao longo do corpo do sujeito, sendo (c) a vista frontal e (d) a vista traseira. No detalhe, observa-se a fixação e o posicionamento do dispositivo de hardware implementado para a extração dos movimentos da cabeça.

A aquisição dos dados para o teste de validação realizou-se em 17 passos distintos. Estes passos estão numerados, sequencialmente, e plotados no gráfico da Figura 22 e Figura 23 e foram realizados da seguinte forma:

- 1° passo: calibrar ponto zero do sistema;
- 2° passo: Girar o dispositivo 15° para a direita;
- 3° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 4° passo: Girar o dispositivo 15° para a esquerda;
- 5° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 6° passo: Girar o dispositivo 15° para a direita;
- 7° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 8° passo: Girar o dispositivo 15° para a esquerda;
- 9° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 10° passo: Girar o dispositivo 30° para a direita;
- 11° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 12° passo: Girar o dispositivo 30° para a esquerda;
- 13° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 14° passo: Girar o dispositivo 45° para a direita;
- 15° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;
- 16° passo: Girar o dispositivo 45° para a esquerda;
- 17° passo: Retornar dispositivo para a posição zero;

A Figura 22 abaixo apresenta os resultados em formato gráfico dos dados obtidos durante o ensaio utilizando-se simultaneamente o sistema de referência Vicon NEXUS e o sistema proposto. A validação da precisão e exatidão realizou-se através da comparação entre os dados gerados pelo dispositivo desenvolvido e, os dados extraídos do equipamento de referência.

Está disponível em [4] um vídeo mostrando um trecho da realização dos ensaios conduzidos pelo autor.

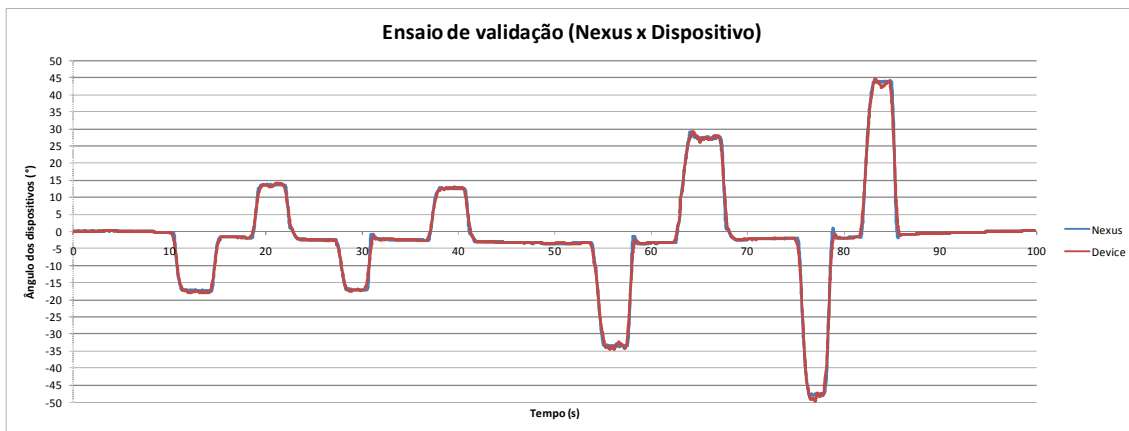


Figura 22 - Gráfico dos dados NEXUS x Dispositivo (elaborado pelo autor).

A Figura 23 apresenta o gráfico dos resultados obtidos com o sistema de medição realizando-se, o passo a passo, descrito no ensaio de validação. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a amplitude em graus do movimento realizado pelo sujeito e os *bullets* em azul enumeram os intervalos de tempo em que os passos foram executados.

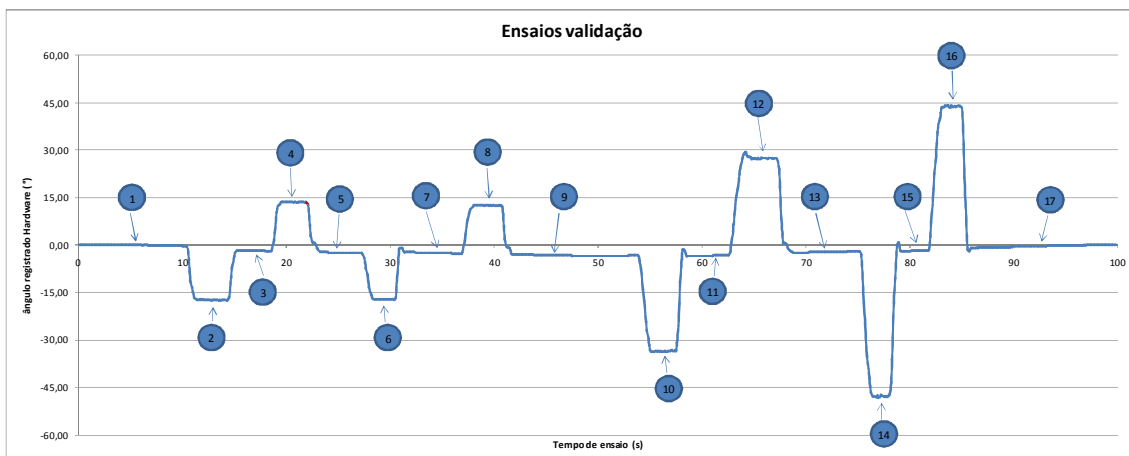


Figura 23 - Gráfico dos dados do dispositivo proposto (elaborado pelo autor).

Para garantir uma quantidade significativa de dados para avaliação, o posicionamento da cabeça foi mantido por um tempo superior a 3 segundos em cada ângulo ensaiado. Desta forma, cada ângulo registrou possui pelo menos 30 amostras de medição, haja vista que o sistema proposto envia um dado a cada 100 ms.

5.3 Validação no Protocolo de Uso

A validação do dispositivo utilizando-se do Protocolo de Uso, presta-se para verificar a precisão e a exatidão da medição em uso clínico e, a relevância da utilização do dispositivo no auxílio ao diagnóstico médico. Os ensaios realizaram-se no laboratório LTI, onde foram executados os protocolos de manobra utilizados durante os exames para investigação de doenças relacionadas ao equilíbrio humano.

5.4 Protocolo Vectoeletronistagmografia (VENG)

A aquisição dos dados para o teste de validação do exame de Vectoeletronistagmografia realizou-se em 07 passos. Estes passos estão numerados, sequencialmente, e plotados no gráfico da Figura 24 e foram realizados da seguinte forma:

- 1° passo: calibrar ponto zero do sistema;
- 2° passo: Girar a cabeça 30° para a direita;
- 3° passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 4° passo: Girar a cabeça 30° para a esquerda;
- 5° passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 6° passo: Encerrar passo: Repetir os passos 2 a 5 mais duas vezes;
- 7° o ensaio;

A Figura 24 abaixo ilustra os resultados obtidos com o sistema de medição aplicando-se o Protocolo de Uso. Este gráfico representa as amplitudes dos movimentos horizontais (esquerda/direita) da cabeça do sujeito durante os ensaios. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a amplitude em graus (°) dos movimentos executados.

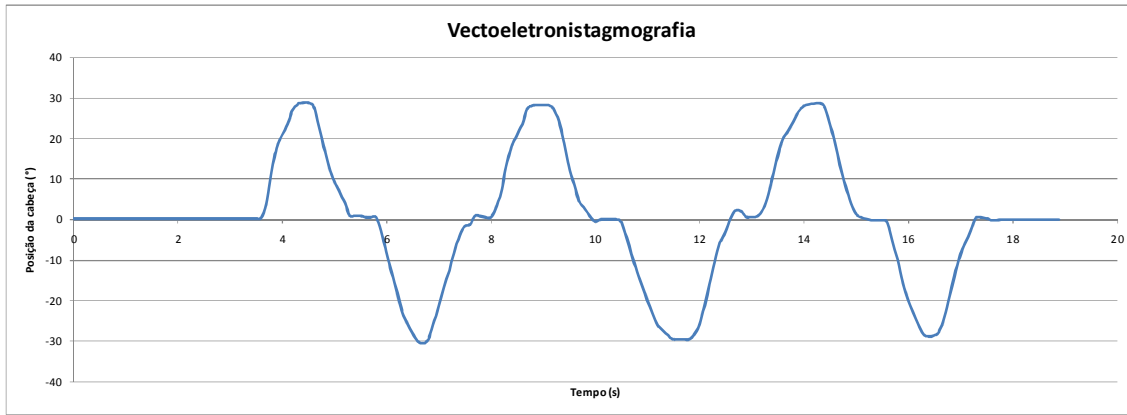


Figura 24 - Gráfico do protocolo de Vectoeletronistagmografia (elaborado pelo autor).

5.5 Protocolo Teste de Impulso Cefálico (Head Impulse Test)

A aquisição dos dados para o teste de validação do exame do Teste de Impulso Cefálico (*Head Impulse Test*) realizou-se em 18 passos. Estes passos estão numerados, sequencialmente, e plotados no gráfico da Figura 25 e Figura 26 foram realizados da seguinte forma:

- 1º passo: calibrar ponto zero do sistema;
- 2º passo: Girar a cabeça 30° para a direita;
- 3º passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 4º passo: Girar a cabeça 30° para a esquerda;
- 5º passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 6º passo: Repetir os passos 2 a 5;
- 7º passo: Girar a cabeça 30° para a direita;
- 8º passo: Retornar rapidamente a cabeça para a posição zero;
- 9º passo: aguardar alguns segundos;
- 10º passo: Girar a cabeça 30° para a esquerda;
- 11º passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 12º passo: Girar a cabeça 30° para a direita;
- 13º passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 14º passo: Repetir os passos 10 a 13;
- 15º passo: Girar a cabeça 30° para a esquerda;
- 16º passo: Retornar rapidamente a cabeça para a posição zero;
- 17º passo: aguardar alguns segundos;

- 18º passo: Encerrar o ensaio;

A Figura 25 abaixo ilustra os resultados obtidos com o sistema de medição aplicando-se o Protocolo de Uso. Este gráfico representa as amplitudes dos movimentos horizontais (esquerda/direita) da cabeça do sujeito durante os ensaios. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a amplitude em graus ($^{\circ}$) dos movimentos executados.

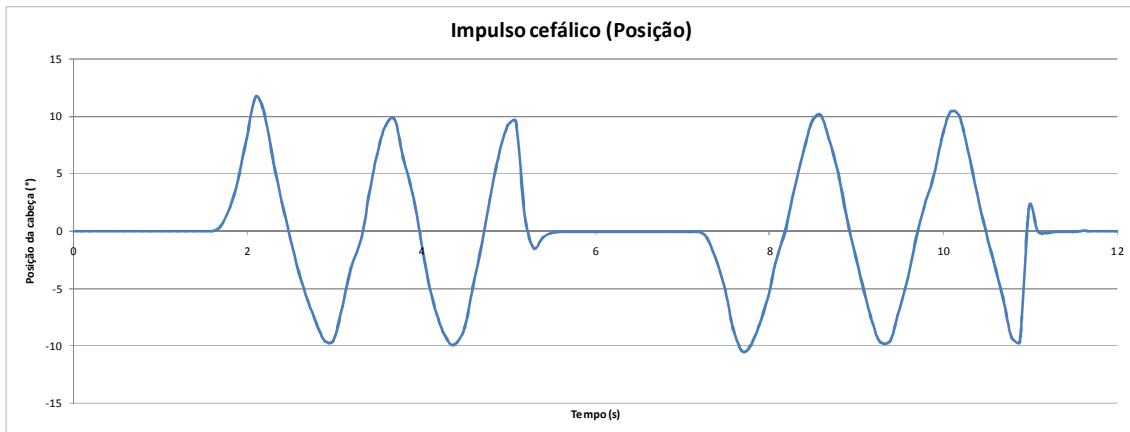


Figura 25 - Gráfico do protocolo Impulso Cefálico (posição)(elaborado pelo autor).

A Figura 26 abaixo ilustra os resultados obtidos com o sistema de medição aplicando-se o Protocolo de Uso. Este gráfico representa as velocidades dos movimentos horizontais (esquerda/direita) da cabeça do sujeito durante os ensaios. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a velocidade em graus por segundo ($^{\circ}/s$) dos movimentos executados.

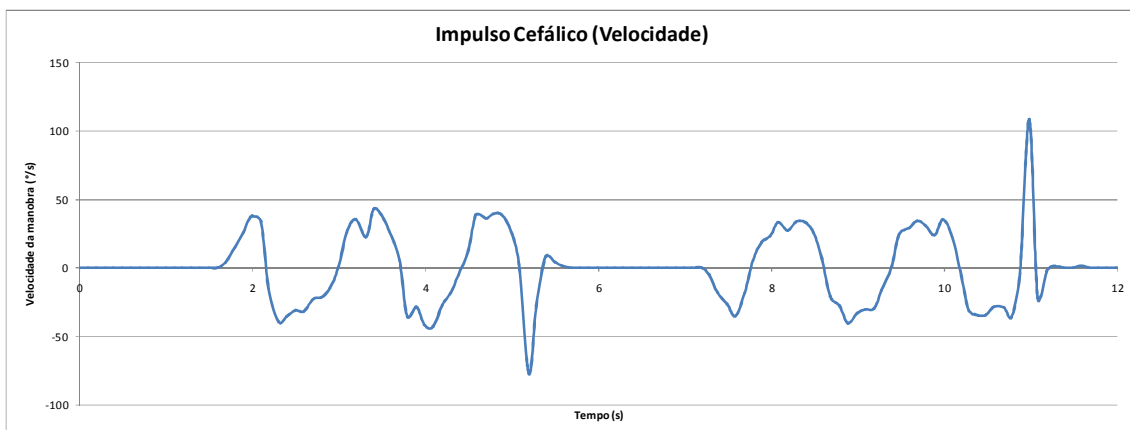


Figura 26 - Gráfico do protocolo Impulso Cefálico (velocidade)(elaborado pelo autor).

5.6 Protocolo de Teste Head Shaking Induced Nystagmus

A aquisição dos dados para o teste de validação do Teste *Head Shaking Induced Nystagmus* realizou-se em 10 passos. Estes passos estão numerados, sequencialmente, e plotados nos gráficos da Figura 27 e Figura 28 e foram realizados da seguinte forma:

- 1º passo: calibrar ponto zero do sistema;
- 2º passo: Girar a cabeça 30° para baixo;
- 3º passo: aguardar alguns segundos;
- 4º passo: Girar a cabeça 30° para a direita;
- 5º passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 6º passo: Girar a cabeça 30° para a esquerda;
- 7º passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 8º passo: Repetir os passos 4 a 7 mais dezenove vezes mantendo a cabeça flexionada 30° para baixo;
- 9º passo: Levantar a cabeça para a posição zero;
- 10º passo: Encerrar o ensaio;

A Figura 27 abaixo ilustra os resultados obtidos com o sistema de medição aplicando-se o Protocolo de Uso. Este gráfico representa as amplitudes dos movimentos horizontais (esquerda/direita) da cabeça do sujeito durante os ensaios. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a amplitude em graus (°) dos movimentos executados.

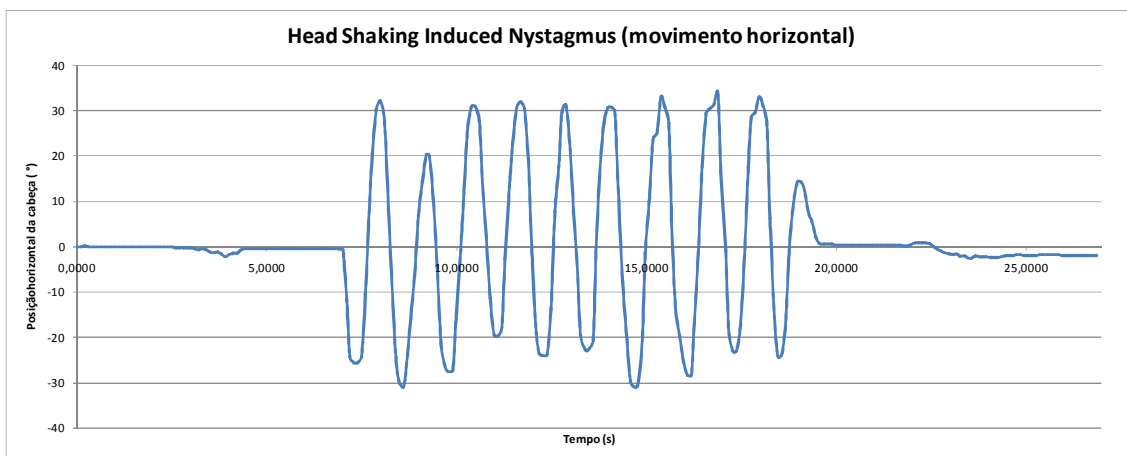


Figura 27 - Gráfico do protocolo *Head Shaking Induced Nystagmus* - movimento horizontal (elaborado pelo autor).

A Figura 28 abaixo ilustra os resultados obtidos com o sistema de medição aplicando-se o Protocolo de Uso. Este gráfico representa as amplitudes dos movimentos verticais (acima/abaixo) da cabeça do sujeito durante os ensaios. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a amplitude em graus ($^{\circ}$) dos movimentos executados.

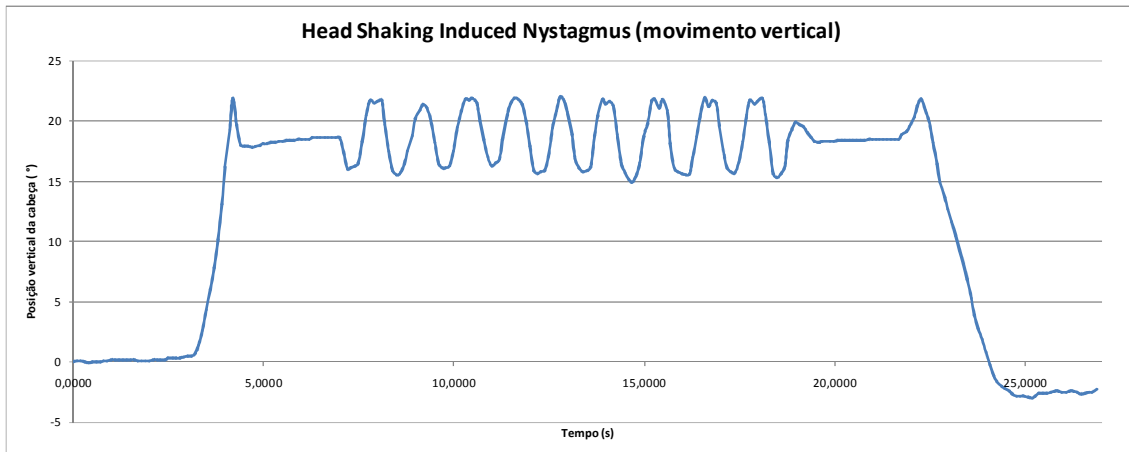


Figura 28 - Gráfico do protocolo *Head Shaking Induced Nystagmus* - movimento vertical (elaborado pelo autor).

5.7 Protocolo Videonistagmografia

A aquisição dos dados para o teste de validação da Videonistagmografia realizou-se em 07 passos. Estes passos estão numerados, sequencialmente, e plotados no gráfico da Figura 29 e foram realizados da seguinte forma:

- 1° passo: calibrar ponto zero do sistema;
- 2° passo: Girar a cabeça 30° para a direita;
- 3° passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 4° passo: Girar a cabeça 30° para a esquerda;
- 5° passo: Retornar a cabeça para a posição zero;
- 6° passo: Repetir os passos 2 a 5 mais duas vezes;
- 7° passo: Encerrar o ensaio.

A Figura 29 abaixo ilustra os resultados obtidos com o sistema de medição aplicando-se o Protocolo de Uso. Este gráfico representa as amplitudes dos movimentos horizontais (esquerda/direita) da cabeça do sujeito durante os ensaios. O eixo X representa o tempo decorrido de ensaio, o eixo Y representa a amplitude em graus ($^{\circ}$) dos movimentos executados.

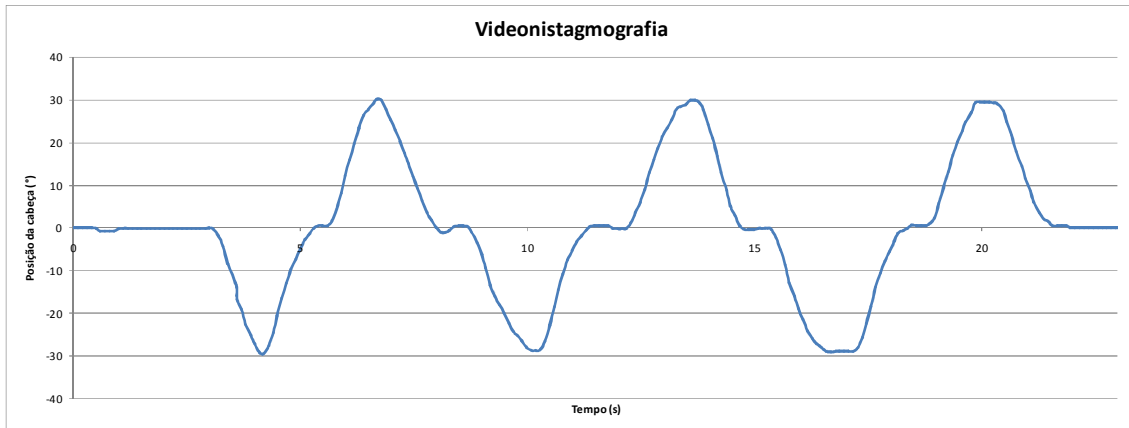


Figura 29 - Gráfico da Videonistagmografia (elaborado pelo autor).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os capítulos a seguir apresentam os resultados e a discussão acerca dos valores obtidos nos ensaios técnicos de validação. Apresenta-se também a avaliação do desempenho do sistema proposto, através da simulação de ensaios clínicos, aplicando-se os mesmos protocolos de uso utilizados em indivíduos submetidos a avaliação do equilíbrio.

6.1 Resultado Preliminar

Pôde-se verificar que o sistema é estável e reflete com precisão as movimentações realizadas em ambiente controlado (laboratório). Esta validação preliminar serviu para a depuração e caracterização do ambiente de desenvolvimento do dispositivo.

Os dados contidos no APÊNDICE A - Dados Preliminares, apresentam os valores numéricos obtidos durante os ensaios. A tabela contém os valores coletados entre os intervalos de tempo 0 s e 50 s, com os quais foi possível realizar os cálculos para os ajustes de precisão da resposta do sistema e a depuração do firmware de controle durante o desenvolvimento.

6.2 Resultado da Validação

A validação da precisão e exatidão do dispositivo foi verificada através de cálculos baseados nos dados colhidos para cada uma das movimentações realizadas, para os ângulos de 15°, -15°, 30°, -30°, 45° e -45°. Os resultados foram comparados entre o equipamento padrão áureo Vicon NEXUS e o dispositivo desenvolvido.

Os dados contidos no APÊNDICE B - Dados da Validação, apresentam os valores numéricos obtidos durante os ensaios. A tabela contém os valores coletados entre os intervalos de tempo 0 s e 100 s, com os quais foi possível realizar os cálculos estatísticos do erro da resposta do sistema proposto. A seguir apresentam-se os resultados obtidos.

6.3 Resultados do ensaio com ângulo de 15°

A Figura 30 apresenta o trecho ensaiado para o ângulo de 15°. O intervalo de tempo considerado foi entre 17,066 s e 23,962 s.

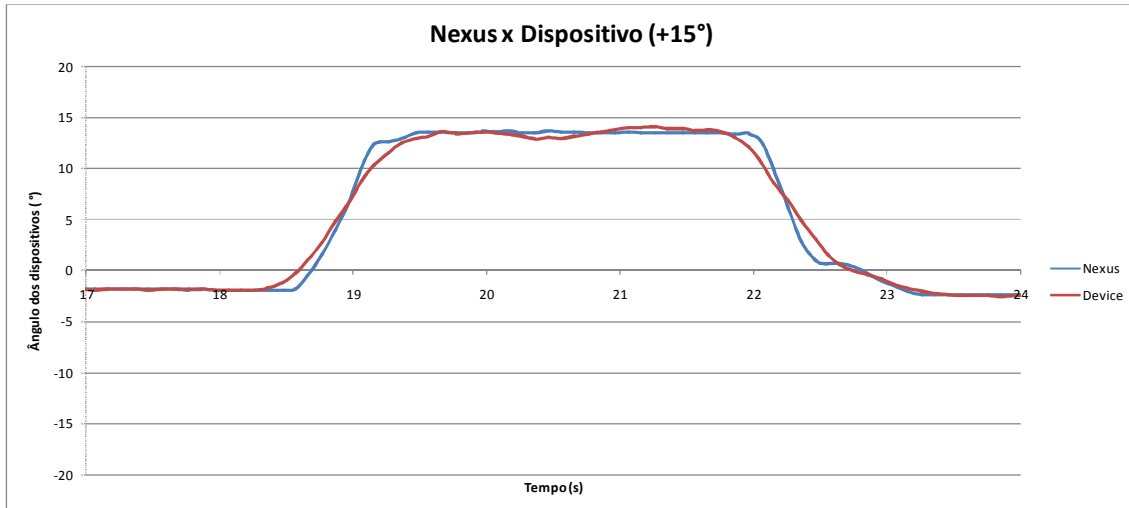


Figura 30 - Gráfico do ensaio 15° (elaborado pelo autor).

O intervalo de interesse para a validação do ângulo foi entre o instante 19,66 s e 21,47 s e está apresentado em destaque na Figura 31. O equipamento de referência registrou um ângulo médio de 13,52°, um valor máximo de 13,65° e mínimo de 13,42°, resultando numa diferença de 0,23°, uma variância de 0,0046 e o desvio padrão de 0,0679. O dispositivo ensaiado registrou um ângulo médio de 13,5°, um valor máximo de 14,05° e mínimo de 12,88°, resultando numa diferença de 1,17°, uma variância de 0,1337 e desvio padrão de 0,36564. Desta forma pode-se concluir que o erro médio neste intervalo foi de 0,1267%.

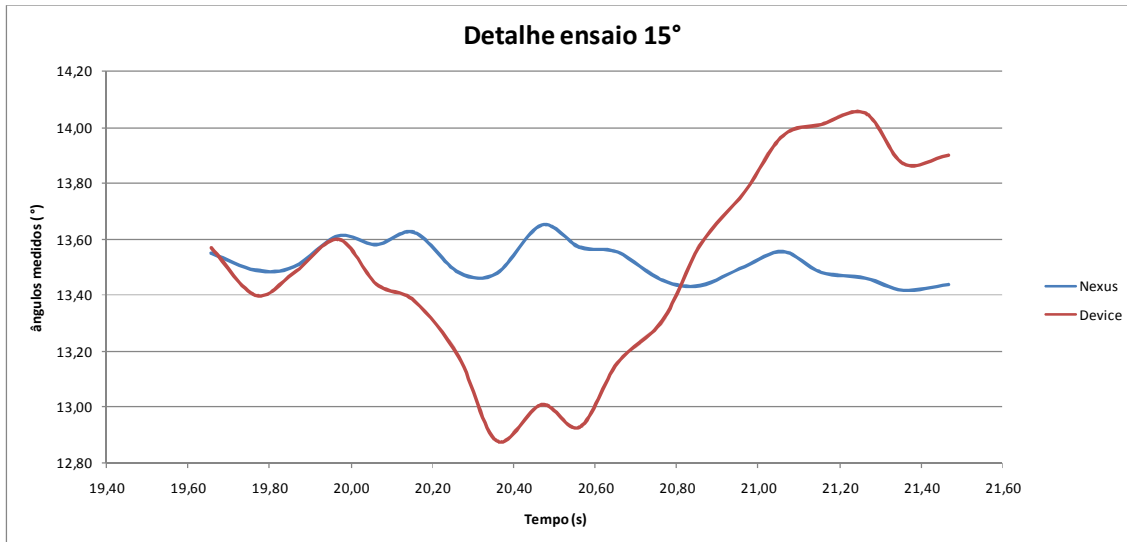


Figura 31 - Ensaio 15° (elaborado pelo autor).

A média dos pontos da diferença entre o equipamento de referência eo dispositivo registrou um valor médio de 0,02°, um valor máximo de 0,64° e mínimo de -0,59°, resultando numa diferença de 1,23°, uma variância de 0,1573 e desvio padrão de 0,396. No pior caso para mais o dispositivo registrou um erro de 4,19% (0,59°) no instante 21,26 s e no pior caso para menos o dispositivo registrou um erro de -4,95% (0,64°) no instante 20,56 s.

6.4 Resultados do ensaio com ângulo de -15°

A Figura 32 apresenta o trecho ensaiado para o ângulo de -15°. O intervalo de tempo considerado foi entre 9,079 s e 15,974 s.

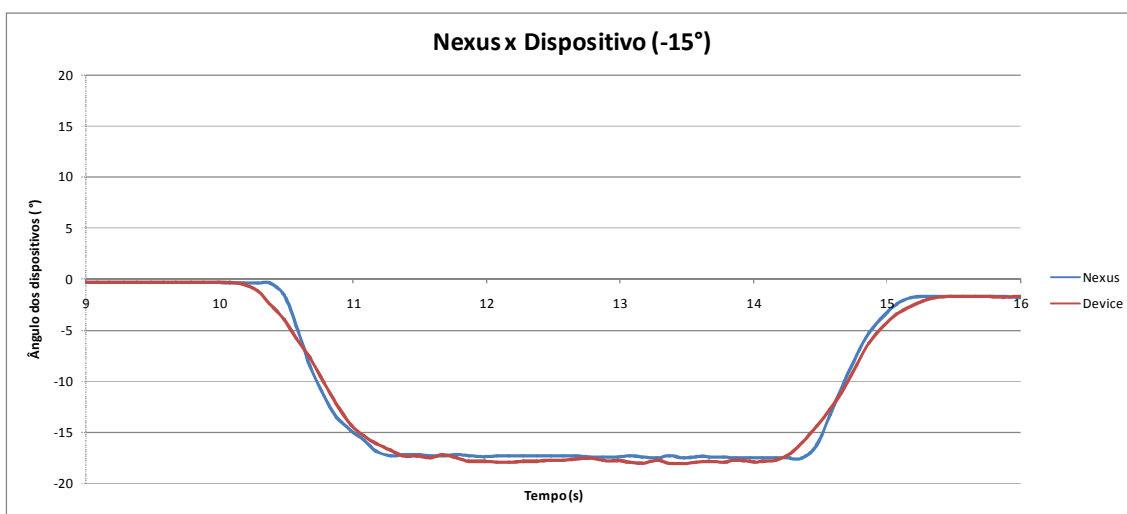


Figura 32 - Gráfico do ensaio -15° (elaborado pelo autor).

O intervalo de interesse para a validação do ângulo foi entre o instante 11,37 s e 14,16 s e está apresentado em destaque na Figura 33. O equipamento de referência registrou um ângulo médio de $-17,41^\circ$, um valor máximo de $-17,21^\circ$ e mínimo de $-17,57^\circ$, resultando numa diferença de $0,36^\circ$, uma variância de 0,00867 e desvio padrão de 0,093. O dispositivo ensaiado registrou um ângulo médio de $-17,79^\circ$, um valor máximo de $-17,24^\circ$ e mínimo de $-18,10^\circ$, resultando numa diferença de $0,86^\circ$, uma variância de 0,0515 e desvio padrão de 0,2269. Desta forma pode-se concluir que o erro médio neste intervalo foi de 2,17%.

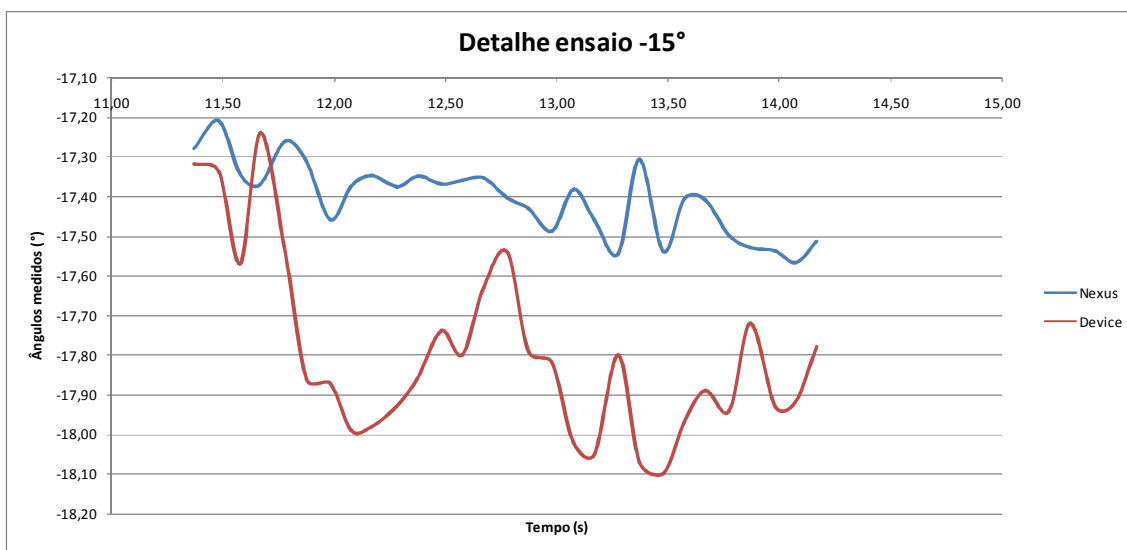


Figura 33 - Ensaio -15° (elaborado pelo autor).

A média dos pontos da diferença entre o equipamento de referência e o dispositivo registrou um valor médio de $0,39^\circ$, um valor máximo de $0,76^\circ$ e mínimo de $-0,13^\circ$, resultando numa diferença de $0,89^\circ$, uma variância de 0,0409 e desvio padrão de 0,2022. No pior caso para mais o dispositivo registrou um erro de 0,75% ($0,13^\circ$) no instante 11,67 s e no pior caso para menos o dispositivo registrou um erro de -4,22% ($0,76^\circ$) no instante 13,37 s.

6.5 Resultados do ensaio com ângulo de 30°

A Figura 34 apresenta o trecho ensaiado para o ângulo de 30° . O intervalo de tempo considerado foi entre 61,495 s e 68,89 s.

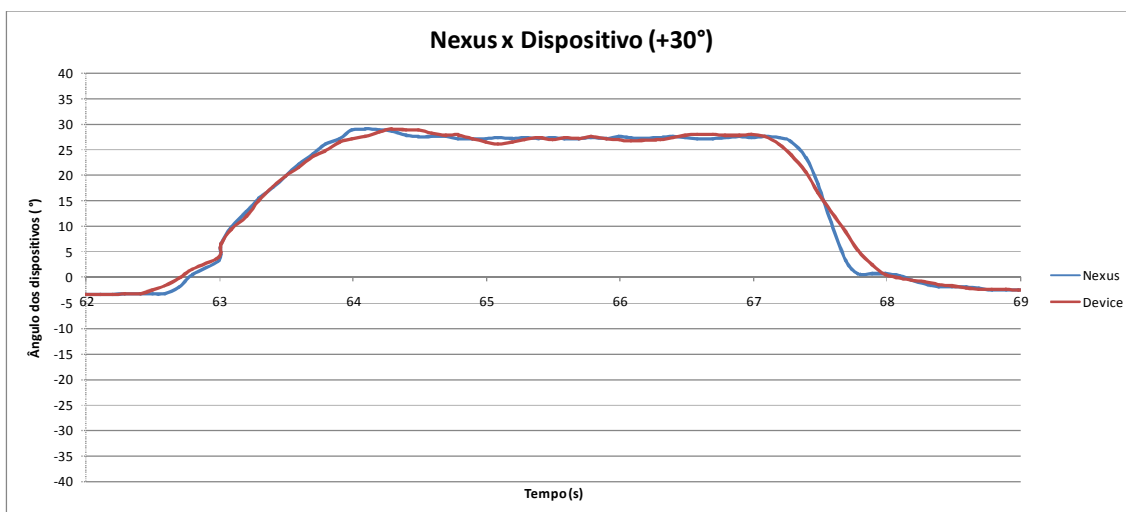


Figura 34 - Gráfico do ensaio 30° (elaborado pelo autor).

O intervalo de interesse para a validação do ângulo foi entre o instante 64,19 s e 66,78 s e está apresentado em destaque na Figura 35. O equipamento de referência registrou um ângulo médio de 27,41°, um valor máximo de -28,82° e mínimo de 27,08°, resultando numa diferença de 1,74°, uma variância de 0,1674 e desvio padrão de 0,4091. O dispositivo ensaiado registrou um ângulo médio de 27,47°, um valor máximo de 29,04° e mínimo de 26,07°, resultando numa diferença de 2,97°, uma variância de 0,5612 e desvio padrão de 0,74916. Desta forma pode-se concluir que o erro médio neste intervalo foi de 0,2368%.

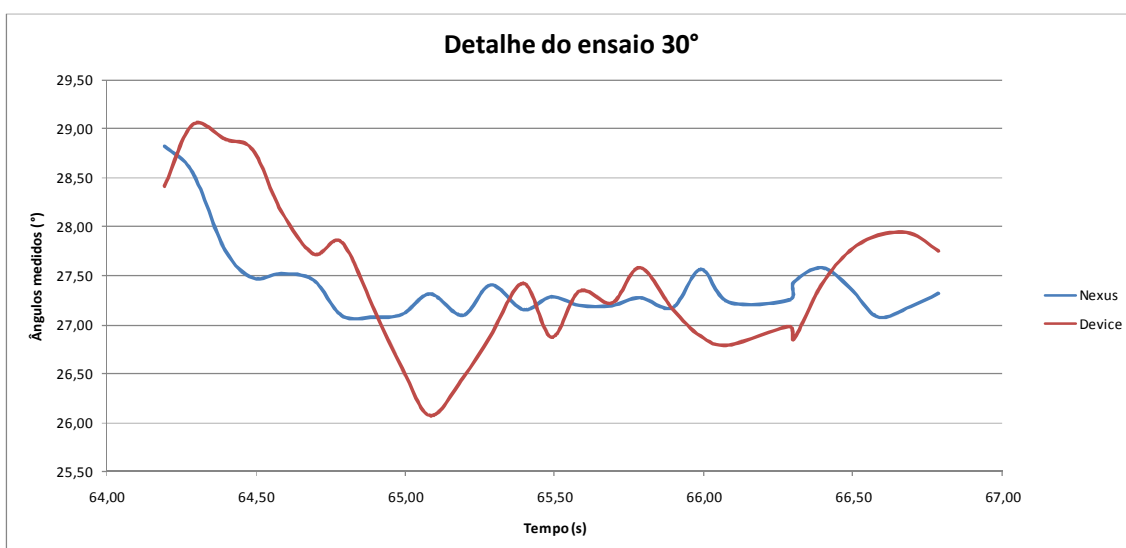


Figura 35 - Ensaio 30° (elaborado pelo autor).

A média dos pontos da diferença entre o equipamento de referência o dispositivo registrou um valor médio de -0,07°, um valor máximo de 1,25° e

mínimo de $-1,3^\circ$, resultando numa diferença de $2,55^\circ$, uma variância de 0,38 e desvio padrão de 0,6165. No pior caso para mais o dispositivo registrou um erro de 4,52% ($1,30^\circ$) no instante 64,49 s e no pior caso para menos o dispositivo registrou um erro de -4,78% ($-1,25^\circ$) no instante 65,08 s.

6.6 Resultados do ensaio com ângulo de -30°

A Figura 36 apresenta o trecho ensaiado para o ângulo de -30° . O intervalo de tempo considerado foi entre 53,009 s e 58,999 s.

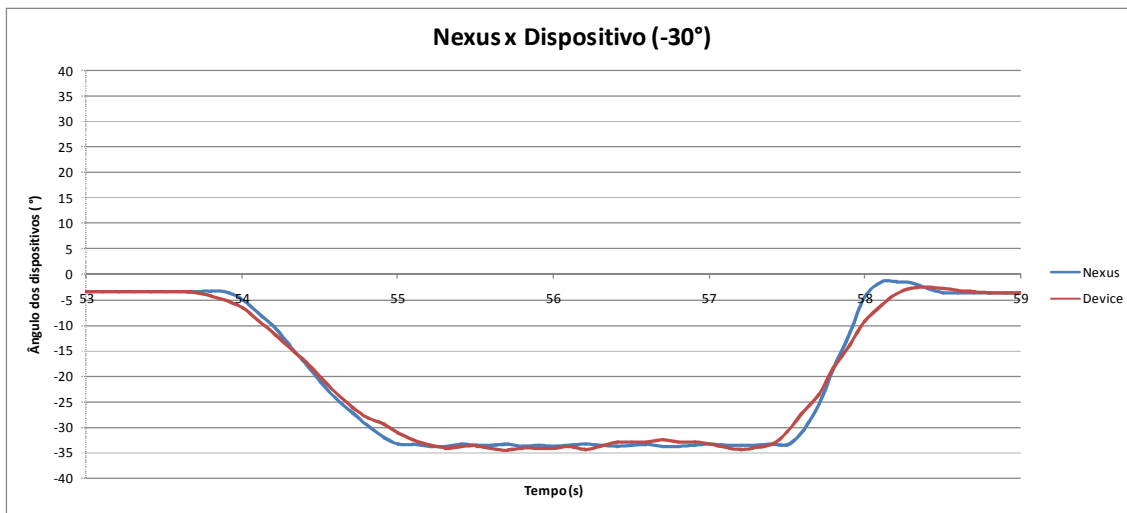


Figura 36 - Gráfico do ensaio -30° (elaborado pelo autor).

O intervalo de interesse para a validação do ângulo foi entre o instante 55,21 s e 57,21 s e está apresentado em destaque na Figura 37. O equipamento de referência registrou um ângulo médio de $-33,61^\circ$, um valor máximo de $-33,35^\circ$ e mínimo de $-33,77^\circ$, resultando numa diferença de $0,42^\circ$, uma variância de 0,01562 e desvio padrão de 0,125. O dispositivo ensaiado registrou um ângulo médio de $-33,73^\circ$, um valor máximo de $-32,49^\circ$ e mínimo de $-34,56^\circ$, resultando numa diferença de $2,07^\circ$, uma variância de 0,383 e desvio padrão de 0,6189. Desta forma pode-se concluir que o erro médio neste intervalo foi de 0,3637%.

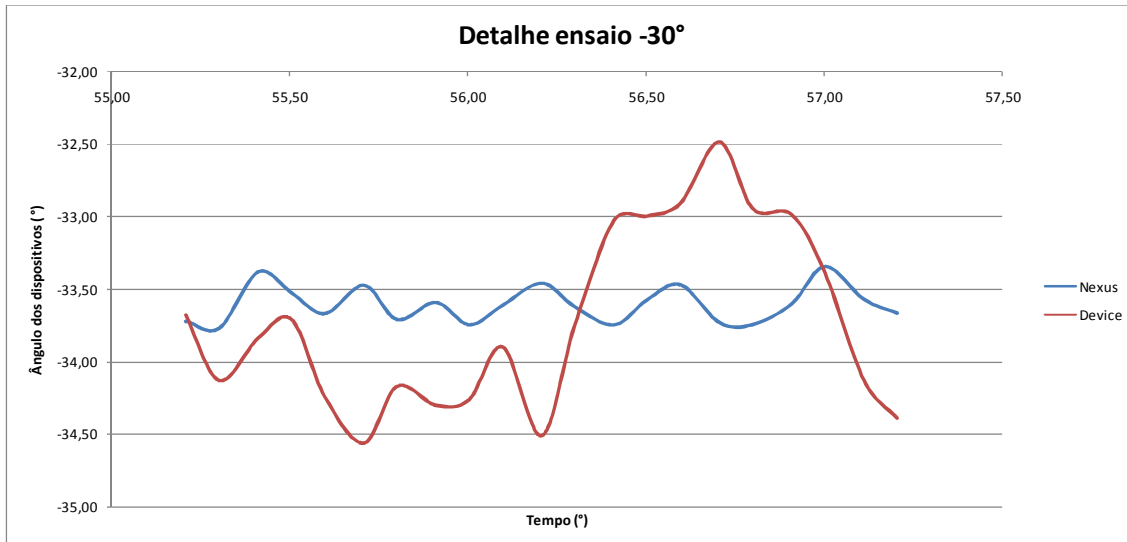


Figura 37 - Ensaio -30° (elaborado pelo autor).

A média dos pontos da diferença entre o equipamento de referência o dispositivo registrou um valor médio de 0,12°, um valor máximo de 1,08° e mínimo de -1,24°, resultando numa diferença de 2,32°, uma variância de 0,41365 e desvio padrão de 0,643156. No pior caso para mais o dispositivo registrou um erro de 3,81% (1,24°) no instante 56,71 s e no pior caso para menos o dispositivo registrou um erro de -3,14% (-1,08°) no instante 55,71 s.

6.7 Resultados do ensaio com ângulo de 45°

A Figura 38 apresenta o trecho ensaiado para o ângulo de 45°. O intervalo de tempo considerado foi entre 81,058 s e 86,455 s.

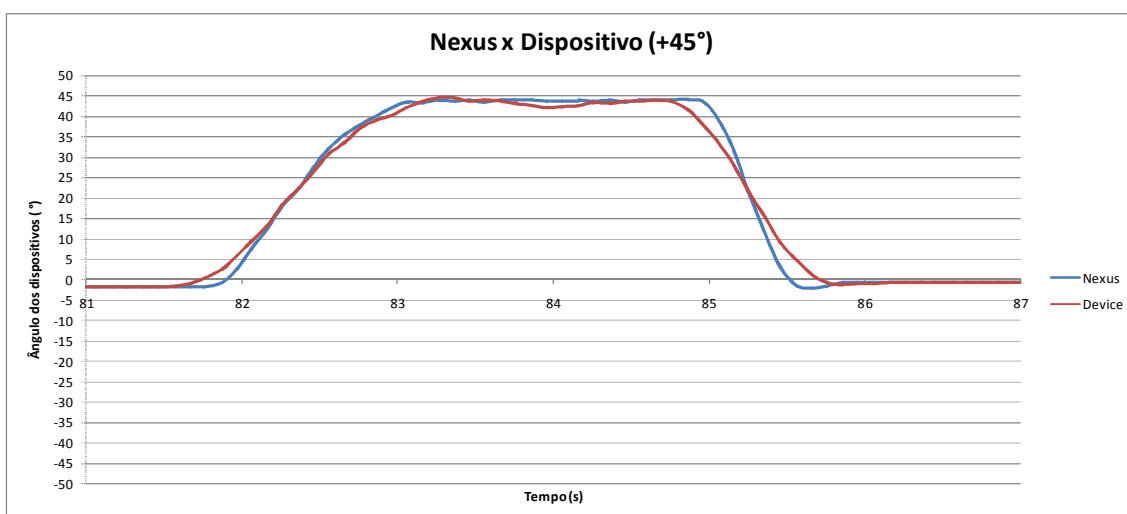


Figura 38 - Gráfico do ensaio 45° (elaborado pelo autor).

O intervalo de interesse para a validação do ângulo foi entre o instante 83,16 s e 84,75 s e está apresentado em destaque na Figura 39. O equipamento de referência registrou um ângulo médio de $43,76^\circ$, um valor máximo de $44,03^\circ$ e mínimo de $43,33^\circ$, resultando numa diferença de $0,7^\circ$, uma variância de 0,0378 e desvio padrão de 0,1943. O dispositivo ensaiado registrou um ângulo médio de $43,38^\circ$, um valor máximo de $44,51^\circ$ e mínimo de $42,06^\circ$, resultando numa diferença de $2,45^\circ$, uma variância de 0,4962 e desvio padrão de 0,704. Desta forma pode-se concluir que o erro médio neste intervalo foi de -0,88%.

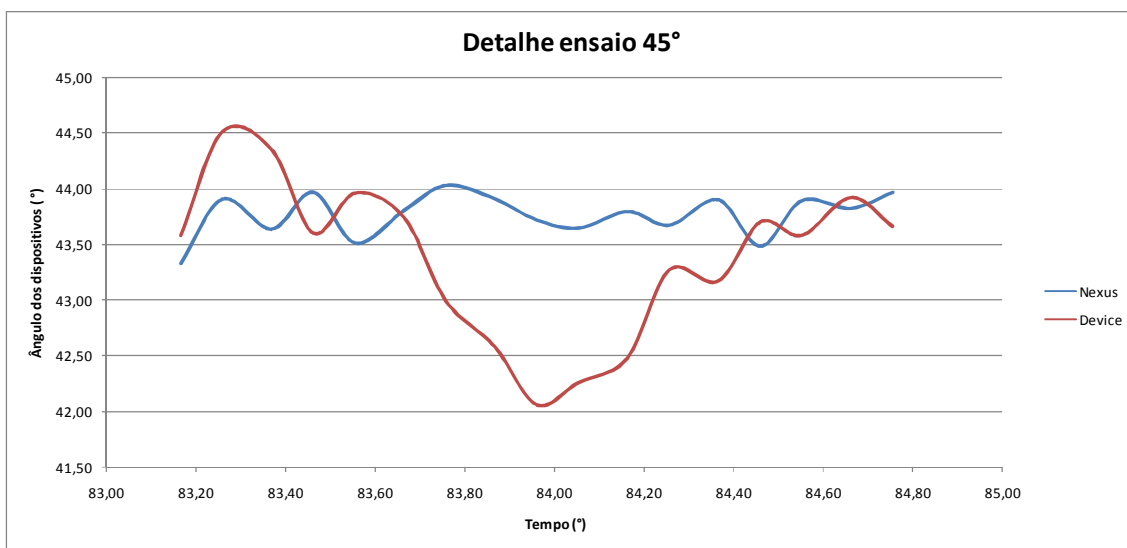


Figura 39 - Ensaio 45° (elaborado pelo autor).

A média dos pontos da diferença entre o equipamento de referência o dispositivo registrou um valor médio de $0,38^\circ$, um valor máximo de $1,66^\circ$ e mínimo de $-0,72^\circ$, resultando numa diferença de $2,37^\circ$, uma variância de 0,557 e desvio padrão de 0,74669. No pior caso para mais o dispositivo registrou um erro de 1,62% ($0,72^\circ$) no instante 83,37 s e no pior caso para menos o dispositivo registrou um erro de -3,93% ($-1,65^\circ$) no instante 83,96 s.

6.8 Resultados do ensaio com ângulo de -45°

A Figura 40 apresenta o trecho ensaiado para o ângulo de -45° . O intervalo de tempo considerado foi entre 74,475 s e 79,467 s.

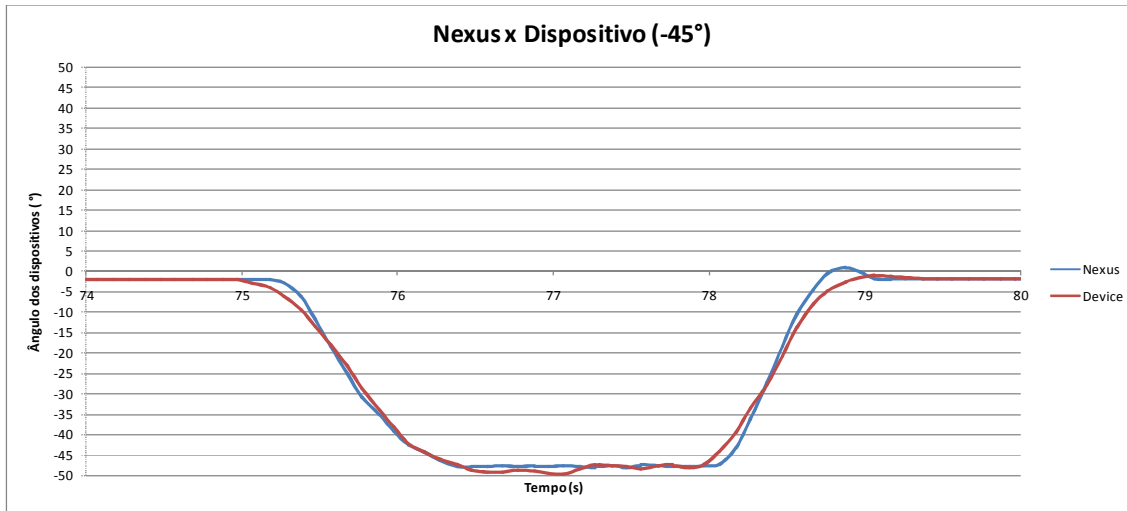


Figura 40 - Gráfico do ensaio -45° (elaborado pelo autor).

O intervalo de interesse para a validação do ângulo foi entre o instante 76,47 s e 77,77 s e está apresentado em destaque na Figura 41. O equipamento de referência registrou um ângulo médio de $-47,86^\circ$, um valor máximo de $-47,58^\circ$ e mínimo de $-48,14^\circ$, resultando numa diferença de $0,56^\circ$, uma variância de $0,0342$ e desvio padrão de $0,185$. O dispositivo ensaiado registrou um ângulo médio de $-48,58^\circ$, um valor máximo de $-47,44^\circ$ e mínimo de $-49,78^\circ$, resultando numa diferença de $2,34^\circ$, uma variância de $0,631$ e desvio padrão de $0,7947$. Desta forma pode-se concluir que o erro médio neste intervalo foi de $1,48\%$.

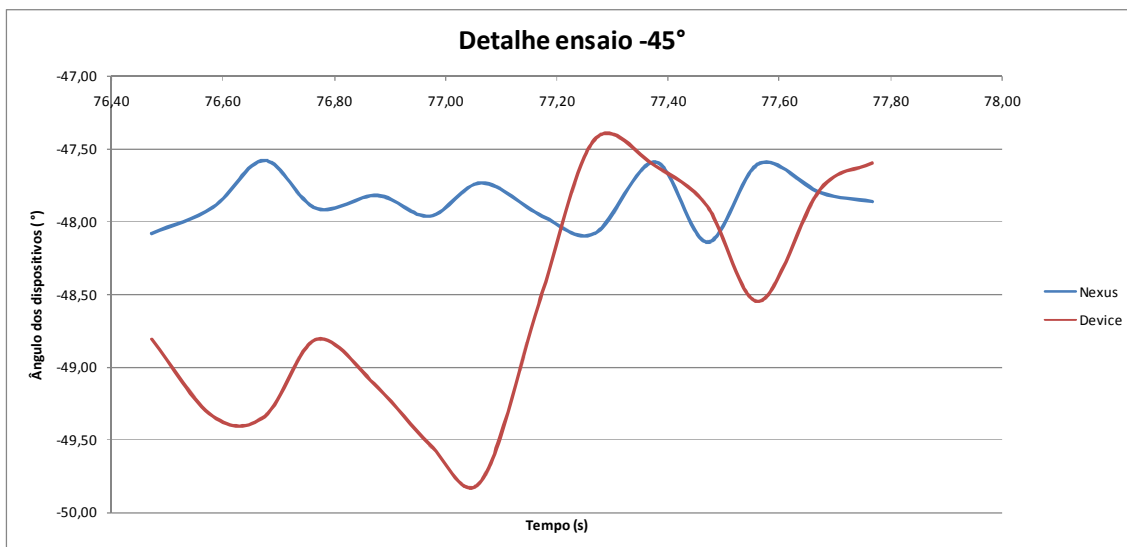


Figura 41 - Ensaio -45° (elaborado pelo autor).

A média dos pontos da diferença entre o equipamento de referência o dispositivo registrou um valor médio de $0,72^\circ$, um valor máximo de $2,05^\circ$ e

mínimo de $-0,64^\circ$, resultando numa diferença de $2,69^\circ$, uma variância de $0,7178$ e desvio padrão de $0,8472$. No pior caso para mais o dispositivo registrou um erro de $1,35\%$ ($0,64^\circ$) no instante $77,27$ s e no pior caso para menos o dispositivo registrou um erro de $-4,11\%$ ($-2,05^\circ$) no instante $77,06$ s.

6.9 Resultados do ensaio de Vectoeletronistagmografia (VENG)

Na simulação do ensaio do protocolo de Vectoeletronistagmografia (VENG) pôde-se extrair os dados da movimentação rotacional da cabeça do indivíduo demonstrando as manobras realizadas durante a execução do exame. Através do gráfico da Figura 42 pode-se verificar a eficiência e a efetiva realização do protocolo.

Os dados contidos no APÊNDICE C - Dados Vectonistagmografia, apresentam os valores numéricos obtidos durante os ensaios. A tabela contém os valores coletados entre os intervalos de tempo 0 s e 19 s, com os quais foi possível realizar os cálculos estatísticos do erro da resposta do sistema proposto. A seguir apresentam-se os resultados obtidos.

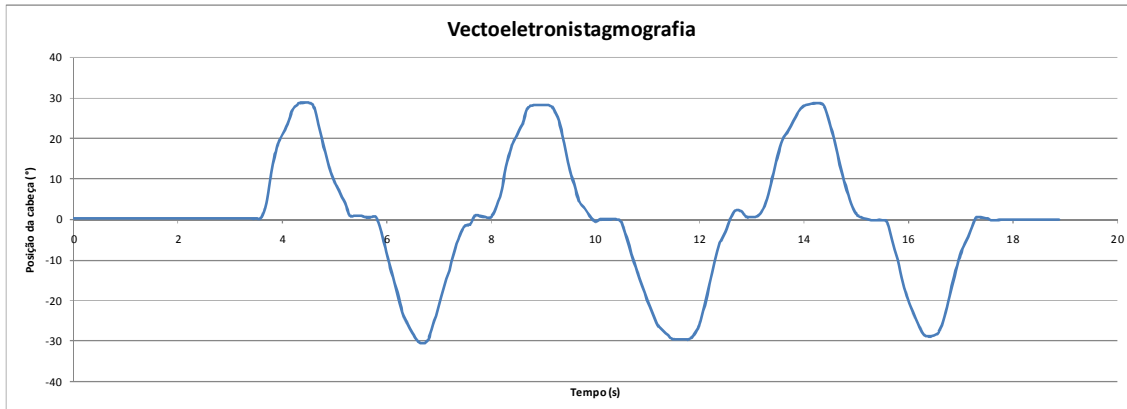


Figura 42 - Simulação da vectoeletronistagmografia (elaborado pelo autor).

Verifica-se através dos dados que efetivamente foram realizadas três movimentações da cabeça para o lado direito e três movimentações para o lado esquerdo. As movimentações à direita registraram valores de $28,75^\circ$ no instante $4,504$ s, $28,15^\circ$ no instante $8,988$ s e $29,65^\circ$ no instante $11,684$ s. As movimentações à esquerda registraram valores de $30,65^\circ$ no instante $6,701$ s, $29,65^\circ$ no instante $11,684$ s e $28,95^\circ$ no instante $16,378$ s. Com os dados podem-se extrair as velocidades instantâneas das manobras durante os deslocamentos. As velocidades e amplitudes de cada uma das manobras são

apresentadas na Tabela 1, onde pode-se verificar que o tempo médio entre as movimentações da cabeça da direita para a esquerda foi de 2,33 s, a velocidade média das manobras foi de 25,35°/s, com uma amplitude média de 58,27°.

Tabela 1 - Velocidade e amplitude da simulação da vectonistagmografia (elaborado pelo autor)

| | t ₁ (direita) | t ₂ (esquerda) | 1 (direita) | 2 (esquerda) | t ₂ - t ₁ (s) | ₁ + ₂ (°) | vel (°/s) |
|------------------|--------------------------|---------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| 1ª movimentação: | 4,504 | 6,701 | 28,75 | -30,65 | 2,20 | 59,40 | 27,04 |
| 2ª movimentação: | 8,988 | 11,684 | 28,15 | -29,65 | 2,70 | 57,80 | 21,44 |
| 3ª movimentação: | 14,288 | 16,378 | 28,65 | -28,95 | 2,09 | 57,60 | 27,56 |
| Média: | | | | | 2,33 | 58,27 | 25,35 |

6.10 Resultados do ensaio de Impulso Cefálico (Head Impulse Test)

Na simulação do ensaio do protocolo de Impulso Cefálico (*Head Impulse Test*) pôde-se extrair os dados da movimentação rotacional da cabeça do indivíduo demonstrando as manobras realizadas durante a execução do exame. Através do gráfico da Figura 43 pode-se verificar a eficiência e a efetiva realização do protocolo em relação à movimentação angular da cabeça e através da Figura 44 as velocidades instantâneas destas movimentações.

Os dados contidos no APÊNDICE D - Dados Impulso Cefálico, apresentam os valores numéricos obtidos durante os ensaios. A tabela contém os valores coletados entre os intervalos de tempo 0 s e 12 s, com os quais foi possível realizar os cálculos estatísticos do erro da resposta do sistema proposto. A seguir apresentam-se os resultados obtidos.

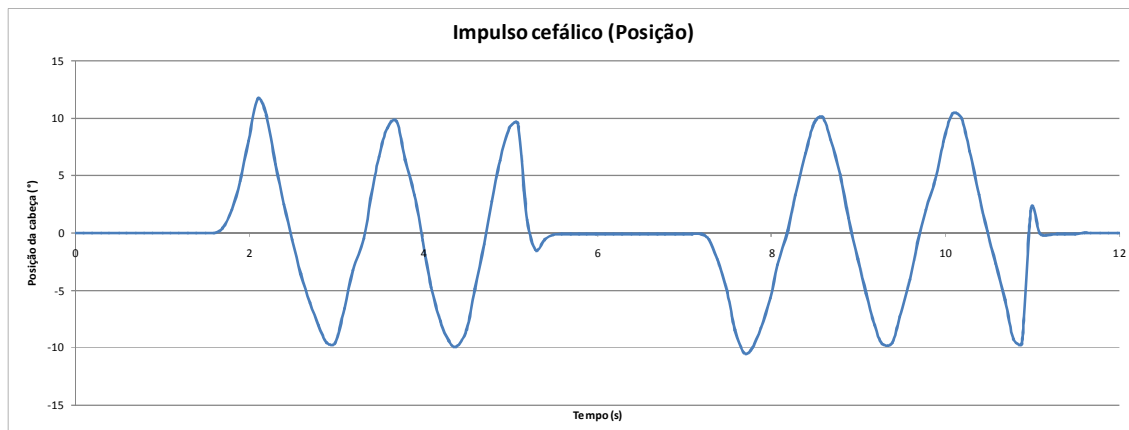


Figura 43 - Gráfico da simulação do impulso cefálico (elaborado pelo autor).

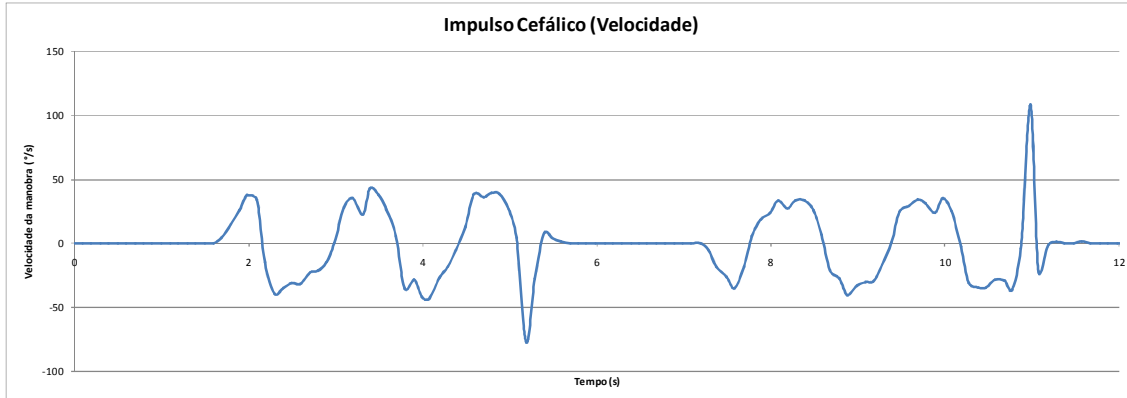


Figura 44 - Velocidade instantânea da simulação do impulso cefálico (elaborado pelo autor).

Verifica-se através dos dados que, efetivamente, foram realizadas três movimentações da cabeça para o lado direito e um impulso ao centro e três movimentações para o lado esquerdo e um impulso ao centro. As movimentações à direita registraram valores de amplitude de $11,7^\circ$ no instante 2,093 s, $9,7^\circ$ no instante 3,693 s, $9,5^\circ$ no instante 5,079 s (início do impulso da direita) e o final aos 5,188 s (posição central). As movimentações à esquerda registraram valores de amplitude de $-10,5^\circ$ no instante 7,689 s, $-9,7^\circ$ no instante 9,273 s e $-9,7^\circ$ no instante 10,87 s (início do impulso da esquerda) e final aos 10,979 s (posição central). Com os dados pôde-se extrair as velocidades instantâneas das manobras durante os deslocamentos. As velocidades de cada uma das manobras são apresentadas a seguir, Na Tabela 2 pode-se verificar que o impulso para a direita foi de $77,06^\circ/\text{s}$ e na Tabela 3 o impulso para a esquerda de $108,26^\circ/\text{s}$.

Tabela 2 - Velocidade do impulso - direita (elaborado pelo autor)

| | t_1 (direita) | t_2 (esquerda) | 1 (direita) | 2 (esquerda) | $t_2 - t_1$ (s) | $ 1 + 2 $ ($^\circ$) | Vel. ($^\circ/\text{s}$) |
|---|-----------------|------------------|-------------|--------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|
| 1ª movimentação: (direita -> esquerda) | 2,093 | 2,985 | 11,7 | -9,6 | 0,89 | 21,30 | 23,88 |
| 2ª movimentação: (direita -> esquerda) | 3,693 | 4,38 | 9,7 | -9,9 | 0,69 | 19,60 | 28,53 |
| 3ª movimentação: (impulso) | 5,079 | 5,188 | 9,5 | 1,1 | 0,11 | 8,40 | 77,06 |

Tabela 3 - Velocidade e amplitude da simulação da vectonistagmografia (elaborado pelo autor)

| | t_1 (esquerda) | t_2 (direita) | 1 (esquerda) | 2 (direita) | $t_2 - t_1$ (s) | $ \theta_1 + \theta_2 (^\circ)$ | Vel. ($^\circ/s$) |
|---|------------------|-----------------|--------------|-------------|-----------------|--|---------------------|
| 1ª movimentação: (esquerda -> direita) | 7,689 | 8,581 | -10,5 | 10,1 | 0,89 | 20,60 | 23,09 |
| 2ª movimentação: (esquerda -> direita) | 9,273 | 10,071 | -9,7 | 10,3 | 0,80 | 20,00 | 25,06 |
| 3ª movimentação: (impulso) | 10,87 | 10,979 | -9,7 | 2,1 | 0,11 | 11,80 | 108,26 |

6.11 Resultados do ensaio de Head Shaking Induced Nystagmus

Na simulação do ensaio do protocolo de *Head Shaking Induced Nystagmus* pôde-se extrair os dados da movimentação rotacional da cabeça do indivíduo demonstrando as manobras realizadas durante a execução do exame. Através do gráfico da Figura 45 pode-se verificar a eficiência e a efetiva realização do protocolo em relação à movimentação angular da cabeça (movimentação horizontal) e através da Figura 46 o ângulo de flexão da cabeça (movimento vertical) durante a execução da simulação do exame.

Os dados contidos no APÊNDICE E - Dados *Head Shaking Induced Nystagmus*, apresentam os valores numéricos obtidos durante os ensaios. A tabela contém os valores coletados entre os intervalos de tempo 0s e 26 s, com os quais foi possível realizar os cálculos estatísticos do erro da resposta do sistema proposto. A seguir apresentam-se os resultados obtidos.

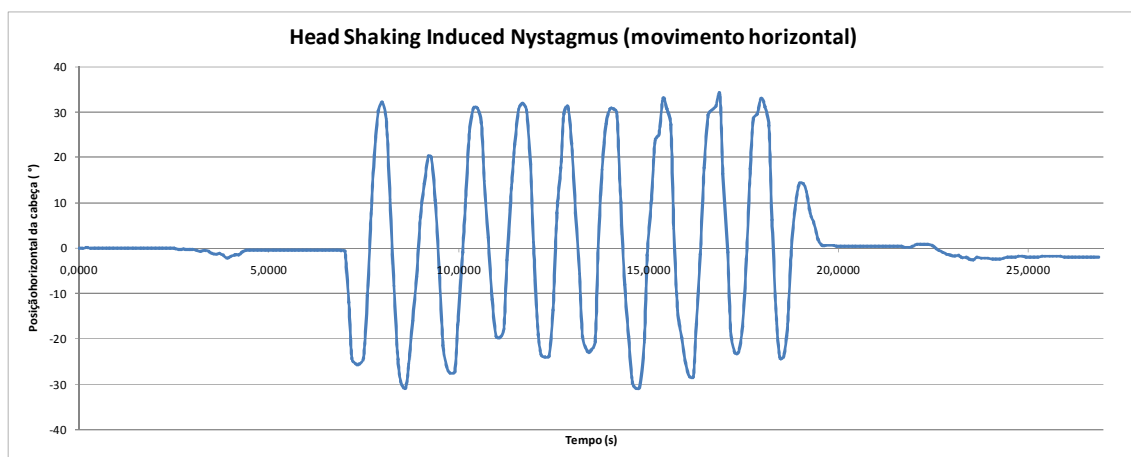


Figura 45 - Gráfico da simulação do *Head Shaking Induced Nystagmus* (elaborado pelo autor).

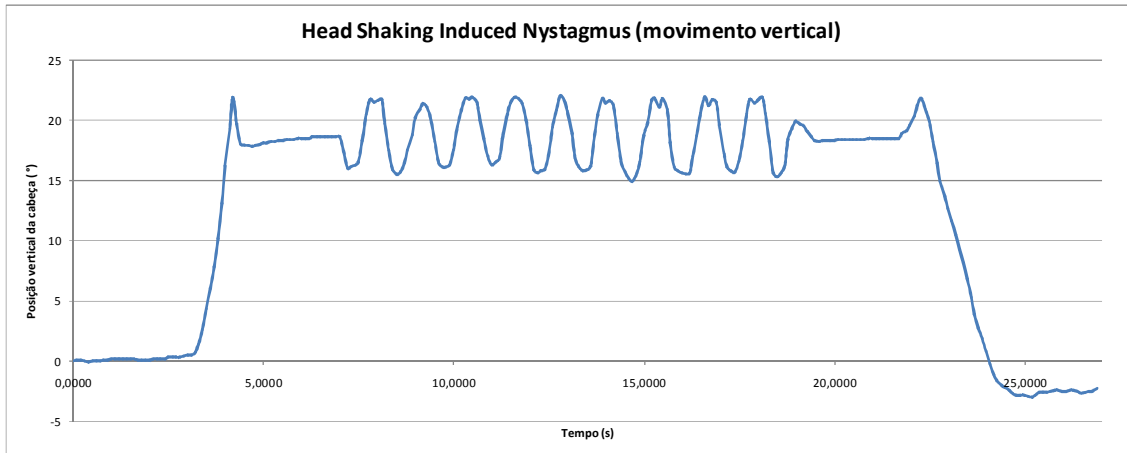


Figura 46 - Gráfico da flexão da cabeça (elaborado pelo autor).

Verifica-se, através dos dados, que efetivamente foram realizadas dez movimentações completas da cabeça no sentido horizontal (dez para o lado direito e dez para o lado esquerdo). As movimentações à direita registraram valores de amplitude média de $32,21^\circ$. As movimentações à esquerda registraram valores de amplitude média de $-25,75^\circ$. Com os dados pôde-se verificar e extrair as amplitudes máximas e mínimas das manobras durante os deslocamentos. As amplitudes das manobras são apresentadas a seguir, onde na Tabela 4 pode-se verificar que a movimentação à direita registrou uma amplitude máxima de $32,85^\circ$ e $29,85^\circ$ de amplitude mínima. Na Tabela 5 pode-se verificar que a movimentação à esquerda registrou uma amplitude máxima de $-31,0^\circ$ e $-19,8^\circ$ de amplitude mínima. Na Tabela 6 pode-se verificar que a flexão da cabeça (movimentação para baixo) registrou uma amplitude máxima de $22,0^\circ$ e $14,9^\circ$ de amplitude mínima.

Tabela 4 - Amplitude das movimentações à direita (elaborado pelo autor)

| Movimentos à direita | | | |
|----------------------|-------|----|-------|
| t ₁ | 7,99 | 1 | 32,4 |
| t ₂ | 9,19 | 2 | 32,1 |
| t ₃ | 10,48 | 3 | 32,85 |
| t ₄ | 11,68 | 4 | 32,7 |
| t ₅ | 12,89 | 5 | 32,4 |
| t ₆ | 14,09 | 6 | 32,4 |
| t ₇ | 15,48 | 7 | 32,7 |
| t ₈ | 16,88 | 8 | 32,25 |
| t ₉ | 17,97 | 9 | 32,4 |
| t ₁₀ | 18,97 | 10 | 29,85 |
| Média: | | | 32,21 |
| Máximo: | | | 32,85 |
| Mínimo: | | | 29,85 |

Tabela 5 - Amplitude das movimentações à esquerda (elaborado pelo autor)

| Movimentos à esquerda | | | |
|-----------------------|-------|----|--------|
| t ₁ | 7,39 | 1 | -25,6 |
| t ₂ | 8,60 | 2 | -30,9 |
| t ₃ | 9,78 | 3 | -27,6 |
| t ₄ | 11,09 | 4 | -19,8 |
| t ₅ | 12,28 | 5 | -24,1 |
| t ₆ | 13,48 | 6 | -22,8 |
| t ₇ | 14,68 | 7 | -31 |
| t ₈ | 16,18 | 8 | -28,4 |
| t ₉ | 17,27 | 9 | -23,1 |
| t ₁₀ | 18,47 | 10 | -24,2 |
| Média: | | | -25,75 |
| Máximo: | | | -31,00 |
| Mínimo: | | | -19,80 |

Tabela 6 - Amplitude da movimentação vertical (elaborado pelo autor)

| | t ₁ | t ₂ | Média (°) |
|---------|----------------|----------------|-----------|
| Flexão | 4,20 | 22,2620 | 18,6558 |
| Máximo: | | 22,0 | |
| Mínimo: | | 14,9 | |

6.12 Resultados do ensaio de Videonistagmografia

Na simulação do ensaio do protocolo de Videonistagmografia pôde-se extrair os dados da movimentação rotacional da cabeça do indivíduo demonstrando as manobras realizadas durante a execução do exame. Através do gráfico da Figura 47 pode-se verificar a eficiência e a efetiva realização do protocolo.

Os dados contidos no APÊNDICE F - Dados Videonistagmografia, apresentam os valores numéricos obtidos durante os ensaios. A tabela contém os valores coletados entre os intervalos de tempo 0 s e 24 s, com os quais foi possível realizar os cálculos estatísticos do erro da resposta do sistema proposto. A seguir apresentam-se os resultados obtidos.

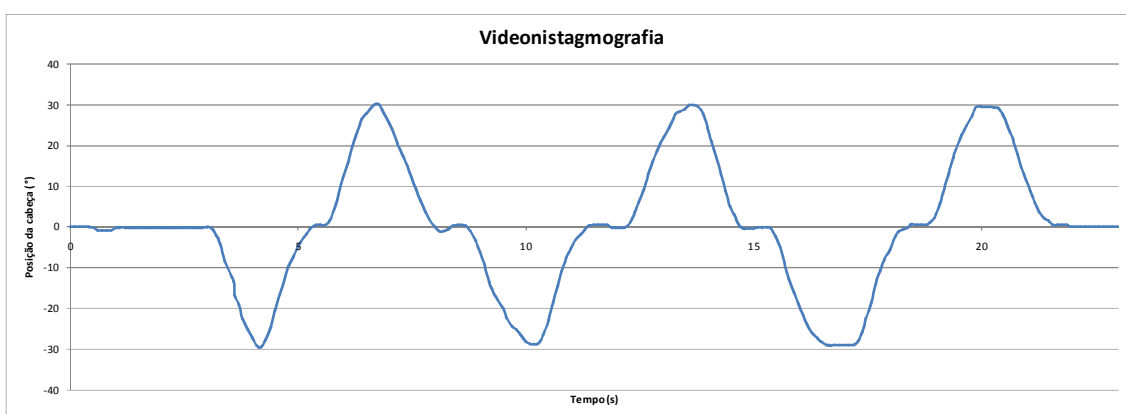


Figura 47 - Simulação da videonistagmografia (elaborado pelo autor).

Verifica-se através dos dados que, efetivamente, foram realizadas três movimentações da cabeça para o lado direito e três movimentações para o lado esquerdo. As movimentações à direita registraram valores de 30,1° no instante 6,68 s, 29,8° no instante 13,679s e 29,5° no instante 20,067s. As movimentações a esquerda registraram valores de -29,5° no instante 4,194 s, -28,8° no instante 10,176 s e -29,1° no instante 16,678 s. Com os dados pôde-se extrair as velocidades instantâneas das manobras durante os deslocamentos. As velocidades e amplitudes de cada uma das manobras são apresentadas na Tabela 7, onde pode-se verificar que o tempo médio entre as movimentações da cabeça da direita para a esquerda foi de 3,13s, a velocidade média das manobras foi de 19,33°/s, com uma amplitude média de 58,93°.

Tabela 7 - Velocidade e amplitude da videonistagmografia (elaborado pelo autor)

| | t ₁ (esquerda) | t ₂ (direita) | 1 (esquerda) | 2 (direita) | t ₂ - t ₁ (s) | ₁ + ₂ (°) | vel (°/s) |
|------------------|---------------------------|--------------------------|--------------|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| 1ª movimentação: | 4,194 | 6,68 | -29,5 | 30,1 | 2,49 | 59,60 | 23,97 |
| 2ª movimentação: | 10,176 | 13,679 | -28,8 | 29,8 | 3,50 | 58,60 | 16,73 |
| 3ª movimentação: | 16,678 | 20,067 | -29,1 | 29,5 | 3,39 | 58,60 | 17,29 |
| | | | | Média: | 3,13 | 58,93 | 19,33 |

6.13 Análise do Sistema Desenvolvido

Em relação aos trabalhos realizados no LABIMA, pode-se perceber, ao analisar as propostas apresentadas, que todos os trabalhos propõem o auxílio ao diagnóstico clínico do equilíbrio, através da captura dos movimentos oculares, sem se preocupar com a amplitude e a velocidade dos movimentos angulares aplicados pelo examinador no indivíduo. A exceção se faz ao trabalho %nstrumento de quantificação de movimentos de cabeça durante a avaliação de equilíbrio+de Alexandre Dal Pizzol Bregolin [8], onde é proposta a extração e quantificação dos movimentos da cabeça através de um sensor. Este sensor é composto por uma imagem digital com marcas coloridas impressas em uma placa, com dimensões mecânicas externas de 100 mm x 100mm e um sistema imageador tipo Kinect. As desvantagens deste sistema são: necessidade de três placas sensoras para poder cobrir a extração dos movimentos da cabeça nos eixos x, y e z, formando assim um cubo de 100 mm x 100 mm x 100 mm; necessidade de dispositivo mecânico especial para a fixação do cubo com os sensores à cabeça; para a realização de ensaios reais em indivíduos, seria necessária a instalação de três dispositivos Kinect para a cobertura dos movimentos nos três eixos espaciais; o sistema requer cuidados especiais com iluminação direta e indireta para funcionar.

O sistema proposto neste trabalho, tem diversas vantagens em relação ao de Bregolin [8], tais como: é composto por um pequeno dispositivo eletrônico com dimensões externas medindo 30 mm x 15 mm x 5 mm, que em termos de volume representa algo 400 vezes menor; um único dispositivo pode extrair, registrar e transmitir os movimentos dos três eixos espaciais; pode ser

facilmente fixado a qualquer dispositivo de diagnósticos existente; por ser um dispositivo inteiramente eletrônico, não sofre influência com os níveis de iluminação ambiente (direto ou indireto); pode ser alimentado por uma bateria de 3,6 V, por exemplo LIR2032.

6.14 Limitações do Dispositivo

O delineamento e execução experimental foram realizados uma única vez com o próprio autor, desta forma sabe-se que há a necessidade de aumentar a quantidade de dados, utilizando-se o dispositivo com diversos indivíduos, para uma futura validação final do sistema.

Além disso, fez-se uma análise de convergência do dispositivo com outros equipamentos afins e não propriamente uma determinação de acurácia. Os dados apresentados descrevem a exatidão e a precisão do dispositivo através de cálculos estatísticos (variância e desvio padrão) em relação ao equipamento padrão áureo.

Em trabalhos futuros, para populações maiores, algumas outras melhorias podem ser realizadas, como exemplo, o uso de testes estatísticos mais específicos para a realização da análise de convergência dos dados utilizando-se, por exemplo, correlações, ICC e Kappa.

7. CONCLUSÕES

Através deste trabalho pôde-se colocar em prática os conceitos sobre clínica médica e fisiologia humana aplicada à engenharia.

Utilizando-se os conceitos matemáticos do processamento digital de sinais é possível a extração e quantificação dos movimentos dinâmicos da cabeça em tempo real e de forma precisa.

Os testes em laboratório especializado, utilizando-se equipamentos calibrados como referência, são imprescindíveis para a caracterização de sinais dinâmicos quando se requer precisão na medição, em especial para a integração de dispositivos vestíveis (*wearables*) desenvolvidos para exames clínicos.

Este trabalho demonstra a viabilidade da implementação de dispositivos vestíveis de baixo custo, além de agregar melhorias sugeridas em dissertações na linha de pesquisa de movimentos humanos do PPGEE PUCRS.

Verifica-se que as manobras descritas nos protocolos são operador-dependente e, com a utilização de um sistema de medição para registrar as manobras realizadas, pode-se obter resultados mais precisos e homogêneos para a elaboração de diagnósticos clínicos. Em trabalhos futuros pode-se fazer um estudo para quantificar e avaliar a influência do dispositivo de medição na busca por limiares de parâmetros para o diagnóstico de doenças.

De posse das informações oferecidas pelo sistema desenvolvido, o profissional da saúde pode recorrer a dados históricos, previamente, armazenados e elaborar, rapidamente, um diagnóstico mais assertivo e fundamentado, além de poder submeter o exame a uma segunda opinião.

O sistema proposto neste trabalho terá sua aplicabilidade ampliada se utilizado em conjunto com outros dispositivos já desenvolvidos, tais como o instrumento portátil para aquisição, digitalização e processamento de imagens de Lucas Plautz Prestes [48] e o software de quantificação de movimentos oculares de Ezequiel Schneider Santana [49]. Esta integração viabilizaria novas possibilidades de estudos, ensaios e exames em diferentes áreas, tais como:

- Medicina: Oferecendo suporte à análise de disfunções do sistema vestibular, auxiliando a busca de causas diagnósticas em queixas como: vertigens ou perda de equilíbrio. Além disso, pode auxiliar na diferenciação entre causas centrais e periféricas de sintomas relacionados ao sistema vestibular;
- Pesquisas: O instrumento possibilitará desenvolver novas pesquisas relacionadas ao sistema vestibular. Como exemplo, auxiliando na busca de curvas de normalidade;
- Farmacêutica: Subsidiando a análise dos efeitos de medicamentos que atuam no sistema vestibular, em problemas como perda de equilíbrio e desorientação;
- Utilidade Pública: Análise do sistema vestibular na renovação de carteiras de habilitação para motorista;
- Segurança: Realizar testes periódicos em motoristas e pilotos após longas jornadas de trabalho;
- Fisioterapia: No suporte à análise da evolução do indivíduo, de modo a avaliar sua efetiva melhora no uso da fisioterapia em sua recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARM MBED. Mbed Rapid IoT device development, Seeed Tiny BLE. Disponível em: <https://os.mbed.com/platforms/Seeed-Tiny-BLE>. Acesso em abril/2020.
- [2] ARM MBED. Mbed Studio - The desktop IDE for Mbed OS. Disponível em: <https://ide.mbed.com/compiler>. Acesso em abril/2020.
- [3] ARROW Electronics, Inc. ElectronicComponentsSeller. Disponível em: <https://www.arrow.com/en/products/search?cat=&q=nRF51822>. San Diego, CA 92131, EUA. Acesso em abril/2020.
- [4] Avila, Flavio Rocha. Ensaio de Validação do HEADLOGGER. Disponível em: <https://youtu.be/UWAC0DadyLU>. Acesso em abril/2020.
- [5] Barros, M. B. Desenvolvimento de um estabilômetro para estudo do equilíbrio humano Porto Alegre: PUCRS, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2008.
- [6] Bertulanil, C., O ouvido humano. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Física. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/ondas2/ouvido/ouvido.html>. Acesso em out/2019.
- [7] Blausen.com staff (2014). "Medical gallery of Blausen Medical 2014". WikiJournal of Medicine 1 (2). DOI:10.15347/wjm/2014.010. ISSN 2002-4436. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Canais_semicirculares#/media/Ficheiro:Blausen_0329_EarAnatomy_InternalEar.png. Acesso em abril/2020.
- [8] Bregolin, A.D.P., INSTRUMENTO DE QUANTIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS DE CABEÇA DURANTE A AVALIAÇÃO DE EQUILÍBRIO. Porto Alegre: PUCRS, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013.
- [9] Chen, Q., Wu, H., Fukumoto, T., Yachida, M. 3D head pose estimation without feature tracking. Proceedings Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Nara, 1998, pp. 88-93, doi: 10.1109/AFGR.1998.670930.
- [10] Chollet, F., LIU, H. A (not so) short Introduction to Micro Electromechanical Systems. Version 5.3, 2016. Disponível em <http://memscyclopedia.org/introMEMS.html>. Acesso em mar/2020.
- [11] Civita, A. et al. A Mobile Acquisition System and a Method for Hips Sway Fluency Assessment, Information 2018, 9(12), 321. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/info9120321>. Acesso em dez/2019.

- [12] Cordea, M. D., Petriu E. M., Petriu, D. C. Three-Dimensional Head Tracking and Facial Expression Recovery Using an Anthropometric Muscle-Based Active Appearance Model. in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 57, no. 8, pp. 1578-1588, Aug. 2008, doi: 10.1109/TIM.2008.923784.
- [13] Digi-Key Electronics. Electronic Components Seller. Disponível em: <https://www.digikey.com/products/en/rf-if-and-rfid/rf-transceiver-ics/879?k=nRF51822>. Thief River Falls, MN 56701 USA. Acesso em abril/2020.
- [14] Ergoneers GmbH. DIKABLIS GLASSES 3 - MOBILE EYE TRACKER. Disponível em <https://www.ergoneers.com/wp-content/uploads/2018/11/Dikablis-Glasses-3-Okt-2018.pdf>. Acesso em dez/2019.
- [15] Ergoneers GmbH. D-Lab 3.0 Manual. Disponível em: <https://ergoneers.hostedftp.com/CiF4FyycXS3bv8A7dAzzsJmiW>. Geretsried, Germany. Acesso em dez/2019.
- [16] Ergoneers GmbH. QSG_D-Lab 3.50 with Eye Tracking. Disponível em: <https://ergoneers.hostedftp.com/CxsW9pWyRIRUdiShJ8ddVSYYZ>. Geretsried, Germany. Acesso em dez/2019.
- [17] Ergoneers GmbH. HARDWARE DEVELOPMENT KIT. Disponível em: <https://www.ergoneers.com/wp-content/uploads/2018/11/Dikablis-Eye-Tracking-HDK-EN-Mai-2016.pdf>. Geretsried, Germany. Acesso em dez/2019.
- [18] Figueira, M. V. Instrumento de Aquisição e Processamento de Imagens de Olhos. Porto Alegre: PUCRS, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2007.
- [19] Gagey, P.M., Weber, B. POSTUROLOGIA: REGULAÇÃO E DISTÚRBIOS DA POSIÇÃO ORTOSTÁTICA. Editora Manoele, 2000, 161p.
- [20] Galiana, H.L., RANJBARAN, M., IDENTIFICATION OF THE VESTIBULO-OCULAR REFLEX DYNAMICS. Department of Biomedical Engineering, Mc Gill University, Montreal, Canada IEEE, 2014.
- [21] Ganança, M. M, Caovilla A H. H. , Ganança, F. F. Electronystagmography versus videonystagmography. Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, June 2010. Disponível em http://www.scielo.br/pdf/bjorl/v76n3/en_v76n3a21.pdf. Acesso em dez/2019.
- [22] Giannotto, E.C. Uso de rastreamento do olhar na avaliação da experiência do tele-usuário de aplicações de TV interativa. São Paulo: USP, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2019.

[23] Grossil, R. S. VIDEONISTAGMOSCOPIA DIGITAL COM LENTE DE CONTATO PARA IDENTIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS OCULARES E APOIO AO TOPODIAGNÓSTICO DA VERTIGEM POSICIONAL PAROXÍSTICA BENIGNA. Porto Alegre: PUCRS, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016.

[24] Head impulse gain and saccade analysis in pontine-cerebellar stroke and vestibular neuritis. NeurologyJournal. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8cNQGpGQGk>. Acesso em dez/2019.

[25] Head Shaking Induced Nystagmus Test. Patricia Abigail Liwaliw (Physical therapist/physiotherapist. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=SXEY78_ZUVY. Acesso em dez/2019.

[26] Huang, W., Luo, R., Zhang, H., Lee, B.H., Rajapakse, M. Real Time Head Tracking and Face and Eyes Detection. 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering.TENCOM '02.

[27] Instituto Senai de Inovação em Soluções Integradas em Metalmeccânica. UNIDADE EMBRAPII DE SISTEMAS DE SENSORIAMENTO. Disponível em: <https://embrapii.org.br/unidades/unidade-embrapii-de-sistemas-de-sensoriamento-isi-sensoriamento-instituto-senai-de-inovacao-em-solucoes-integradas-em-metalmeccanica>. Acesso em mar/2020.

[28] International Organization for Standardization. ISO 8601-1:2019. Date and time · Representations for information interchange · Part 1: Basic rules. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70907.html>. Acesso em mar/2020.

[29] International Organization for Standardization. ISO 8601-2:2019 Date and time · Representations for information interchange · Part 2: Extensions. Geneva, Switzerland. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70908.html>. Acesso em mar/2020.

[30] InvenSense Inc. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. Document Number: PS-MPU-6000A-00, Revision: 3.4, Release Date: 08/19/2013. Sunnyvale, CA. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050>. Acesso em mar/2020.

[31] InvenSense, TDK GroupCompany. ElectronicComponentsManufacturer. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050>. San Jose, California, EUA. Acesso em mar/2020.

[32] InvenSense.InvenSense ARM ReferenceBoardApplicationNote.Disponível em: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/ARM-Reference-Board.pdf>. Acesso em mar/2020.

[33] Jiang , W., Yin, Z. Human tracking using wearable sensors in the pocket. 2015 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Orlando, FL, 2015, pp. 958-962, doi: 10.1109/GlobalSIP.2015.7418339.

[34] Keir, M.S., et all. A New Approach to Accelerometer-based Head Tracking for Augmented Reality & Other Applications. 2007 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. Scottsdale, AZ, USA. DOI:10.1109/COASE.2007.4341843.

[35] Li, Y., Ma, B., Chen, H. Chong and X. A Benchmark for Full Rotation Head Tracking. 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Beijing, 2018, pp. 2106-2111, doi: 10.1109/ICPR.2018.8546089.

[36] Liu Z. G., Li, Y. F., Bao, P. Stereo-Based Head Pose Tracking with Motion Compensation Model. 2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Shenyang, 2004, pp. 700-704, doi: 10.1109/ROBIO.2004.1521866.

[37] Liu, T., Fan, C. Visible-light wearable eye gaze tracking by gradients-based eye center location and head movement compensation with IMU. 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, 2018, pp. 1-2, doi: 10.1109/ICCE.2018.8326076.

[38] MacDougall, H., Mcgarvie, L., Halmagyi, G., Curthoys, I., Weber, K. The Video Head Impulse Test (vHIT) Detects Vertical Semicircular Canal Dysfunction. PloS one. 8. e61488. Doi: 10.1371/journal.pone.0061488. 2013.

[39] Madrigal, F., Lerasle, F. Robust head pose estimation based on key frames for human-machine interaction. J Image Video Proc. 2020, 13 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13640-020-0492-x>

[40] Maranhão, E. T. VESTÍBULO-OCULAR REFLEX AND THE HEAD IMPULSE TEST. Brazilian National Cancer Institute (INCA), Rio de Janeiro RJ, Brasil. 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/anp/v70n12/08.pdf>. Acesso em dez/2019.

[41] Martins, M.R., EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE PARÂMETROS DAS CURVAS DE MOVIMENTOS OCULARES EM IDOSOS HÍGIDOS. Porto Alegre: PUCRS, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016.

[42] MOUSER Electronics. Electronic Components Seller. Disponível em: <https://br.mouser.com/Search/Refine?Keyword=nRF51822>. Mansfield, Texas, EUA. Acesso em mar/2020.

[43] NEWARK, Avnet Company. Electronic Components Seller. Disponível em: <https://www.newark.com/search?st=nRF51822>. Leeds, LS12 2NE, England. Acesso em mar/2020.

[44] Nistagmo e Videonistagmografia - Parte III. Luis Alexandre Rassi Gabriel (Oftalmologista Especialista - Genética Ocular). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Qd8bWOmLRal>. Acesso em dez/2019.

[45] NORDIC Semiconductor. nRF51822 Product Brief. Trondheim, Norway. 2014. Disponível em: <https://www.nordicsemi.com/Products/Low-power-short-range-wireless/nRF51822>. Acesso em fev/2020.

[46] NORDIC Semiconductor. nRF51822 Product Specification v3.3. Trondheim, Norway. 2014. Disponível em: https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF51822_PS_v3.3.pdf. Acesso em fev/2020.

[47] Olague, G, Hernández, D. E., Clemente E., Chan-Ley, M. Evolving Head Tracking Routines With Brain Programming. in IEEE Access, vol. 6, pp. 26254-26270, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2831633.

[48] Prestes, L.P., INSTRUMENTO PORTÁTIL PARA AQUISIÇÃO, DIGITALIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS A SER APLICADO NA AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE EQUILÍBRIO HUMANO. Porto Alegre: PUCRS, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013.

[49] Santana, E.S., QUANTIFICAÇÃO DE MOVIMENTOS OCULARES: PLATAFORMA DE EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE PARÂMETROS DO EQUILÍBRIO. Porto Alegre: PUCRS, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2015.

[50] Seeed Technology Co., Ltd. Seeed Tiny nRF51822 - nRF51822 + 6DOF Mbed Platform. Disponível em: <https://www.seeedstudio.com/Seeed-Tiny-BLE-BLE-6DOF-Mbed-Platform-p-2268.html>. Nanshan, Shenzhen, PRC. Acesso em mar/2020.

[51] Seeed Technology Co., Ltd. Tiny BLE - Seeed Wiki. Disponível em: http://wiki.seeedstudio.com/Tiny_BLE. Nanshan, Shenzhen, PRC. Acesso em mar/2020.

[52] Silva, Amanda M. Silva. A REPRESENTAÇÃO DAS MATRIZES DE ROTAÇÕES COM O USO DOS QUATÉRNIOS. Repositório Digital da UFPE. Disponível em <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10717>. Acesso em dez/2019.

[53] Silva, Paulo J. G. A VISÃO NO CONTROLE POSTURAL ORTOSTÁTICO. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Biomédica), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em http://www.peb.ufrj.br/teses/Tese0021_2005_07_14.pdf. Acesso em dez/2019.

[54] Smeraldi, F. , Carmona, O., Bigun, J. Real-time head tracking by saccadic exploration and Gabor decomposition. AMC'98 - Coimbra. 1998 5th International Workshop on Advanced Motion Control. Proceedings (Cat. No.98TH8354), Coimbra, Portugal, 1998, pp. 684-687, doi: 10.1109/AMC.1998.743637.

[55] Spiegel, M.R., Lipschutz, S., Liu, J. Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas. Editora Grupo A, 2011, 3ª edição, 298p. ISBN: 9788540700567.

[56] SYMMETRY Electronics, TTI Semiconductor Group. Electronic Components Seller. Disponível em: <https://www.semiconductorstore.com/cart/pc/viewPrd.asp?idproduct=50445>. El Segundo, CA 90245, EUA. Acesso em mar/2020.

[57] Tan, G. X. et al. Automated head motion system improves reliability and lessens operator dependence for head impulse testing of vestibular reflexes. 2017 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA), Rochester, MN, 2017, pp. 94-99, doi: 10.1109/MeMeA.2017.7985856.

[58] Thalmann, N. M., Thalmann, D. Modelling and motion capture techniques for virtual environments : international workshop . Proceedings / CAPTECH 98, Geneva, Switzerland, November 26 - 27, 1998. Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hong Kong ; London ; Milan ; Paris ; Singapore ; Tokyo : Springer, 1998.

[59] Tian, L., Wu, L., Wang, Y., Yang, G. Binocular Vision System Design and its Active Object Tracking. 2011 Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design, Hangzhou, 2011, pp. 278-281, doi: 10.1109/ISCID.2011.77.

[60] TPA Electronistagmografia. Facultad de Medicina Universidad de Chile. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bXM3PKvmKGE>. Acesso em dez/2019.

[61] Vicon Motion Systems Ltd. Plug-in Gait Reference Guide. Oxford Metrics plc company. 2017. Disponível em <https://docs.vicon.com/display/Nexus26>. Acesso em dez/2019.

[62] Vicon Motion Systems Ltd. ViconVantageQuickStart. Disponível em: <https://docs.vicon.com/download/attachments/90547459/ViconVantageQuickStart.pdf>. Oxford, UK. Acesso em dez/2020.

[63] Vicon Motion Systems Ltd. Vicon Vantage Reference Guide. Disponível em: <https://docs.vicon.com/download/attachments/90547459/ViconVantageReferenceGuide.pdf>. Oxford, UK. Acesso em dez/2020.

[64] Xie, D., Dang, L, Tong, R. Video based head detection and tracking surveillance system. 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Sichuan, 2012, pp. 2832-2836, doi: 10.1109/FSKD.2012.6234136.

[65] Yang ,T., Pan, Q., Li, J., Cheng Y., Zhao, C. Real-time head tracking system with an active camera. Fifth World Congress on Intelligent Control and Automation (IEEE Cat. No.04EX788), Hangzhou, China, 2004, pp. 1910-1914 Vol.3, doi: 10.1109/WCICA.2004.1341911.

[66] Yoon, H., Kim, D., Chi, S., Cho, Y. A robust human head detection method for human tracking. 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing, 2006, pp. 4558-4563, doi: 10.1109/IROS.2006.282159.

[67] Zeng, H., Zhao, Y., Sensing Movement: Microsensors for Body Motion Measurement. Laboratory for Biomedical Microsystems, Department of Biomedical Engineering, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, USA. 2011.Sensors 2011, 11, 638-660; DOI:10.3390/s110100638.

[68] Zhao, Z. , Wang, Y., Fu, S. Head Movement Recognition Based on Lucas-Kanade Algorithm. 2012 International Conference on Computer Science and Service System, Nanjing, 2012, pp. 2303-2306, doi: 10.1109/CSSS.2012.571.

APÊNDICE A - DADOS PRELIMINARES

| t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) |
|-------|--------------|-------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| 0,022 | 0,8 | 4,218 | 14,1 | 8,414 | -11,3 | 12,595 | 1,1 | 16,792 | 1,1 | 20,988 | 1,1 |
| 0,115 | 0,8 | 4,312 | 9,4 | 8,508 | -11,9 | 12,704 | 1,1 | 16,901 | 1,1 | 21,082 | 2,3 |
| 0,224 | 0,8 | 4,421 | 5,3 | 8,602 | -12,5 | 12,798 | 1,1 | 16,994 | 1,1 | 21,191 | 4,7 |
| 0,318 | 0,8 | 4,514 | 3,6 | 8,711 | -13,0 | 12,907 | 1,1 | 17,088 | 1,1 | 21,284 | 7,9 |
| 0,427 | 0,8 | 4,608 | 3,3 | 8,804 | -13,5 | 13,001 | 1,1 | 17,197 | 1,1 | 21,394 | 11,7 |
| 0,521 | 0,8 | 4,717 | 3,0 | 8,914 | -13,9 | 13,094 | 1,1 | 17,291 | 1,1 | 21,487 | 15,7 |
| 0,614 | 0,8 | 4,811 | 2,6 | 9,007 | -14,1 | 13,204 | 1,2 | 17,400 | 1,1 | 21,581 | 19,6 |
| 0,724 | 0,8 | 4,920 | 2,6 | 9,101 | -14,2 | 13,297 | 1,2 | 17,494 | 1,1 | 21,690 | 23,2 |
| 0,817 | 0,8 | 5,014 | 2,6 | 9,210 | -14,2 | 13,406 | 1,1 | 17,587 | 1,1 | 21,784 | 25,9 |
| 0,926 | 0,8 | 5,107 | 2,1 | 9,304 | -14,3 | 13,500 | 1,2 | 17,696 | 1,1 | 21,893 | 27,4 |
| 1,020 | 0,8 | 5,216 | 1,8 | 9,413 | -14,3 | 13,594 | 1,2 | 17,790 | 1,1 | 21,986 | 28,4 |
| 1,114 | 0,8 | 5,310 | 1,8 | 9,506 | -14,3 | 13,703 | 1,2 | 17,899 | 1,1 | 22,080 | 29,0 |
| 1,223 | 0,8 | 5,419 | 1,8 | 9,600 | -14,3 | 13,796 | 1,2 | 17,993 | 1,1 | 22,189 | 29,8 |
| 1,316 | 0,8 | 5,513 | 1,8 | 9,709 | -14,3 | 13,906 | 1,2 | 18,086 | 1,1 | 22,283 | 30,9 |
| 1,426 | 0,8 | 5,606 | 1,8 | 9,803 | -14,3 | 13,999 | 1,2 | 18,196 | 1,1 | 22,392 | 31,5 |
| 1,519 | 0,8 | 5,716 | 1,8 | 9,912 | -14,3 | 14,093 | 1,2 | 18,289 | 1,1 | 22,486 | 31,5 |
| 1,613 | 1,0 | 5,809 | 1,8 | 10,006 | -14,3 | 14,202 | 1,2 | 18,398 | 1,1 | 22,579 | 31,5 |
| 1,722 | 1,9 | 5,918 | 1,8 | 10,099 | -14,3 | 14,296 | 1,2 | 18,492 | 1,1 | 22,688 | 31,5 |
| 1,816 | 3,3 | 6,012 | 1,8 | 10,208 | -14,3 | 14,405 | 1,2 | 18,586 | 1,1 | 22,782 | 31,5 |
| 1,925 | 4,6 | 6,106 | 1,8 | 10,302 | -14,2 | 14,498 | 1,2 | 18,695 | 1,1 | 22,891 | 31,5 |
| 2,018 | 5,9 | 6,215 | 1,8 | 10,411 | -12,0 | 14,592 | 1,2 | 18,788 | 1,1 | 22,985 | 31,4 |
| 2,112 | 7,5 | 6,308 | 1,8 | 10,505 | -7,0 | 14,701 | 1,2 | 18,898 | 1,1 | 23,078 | 28,6 |
| 2,221 | 8,9 | 6,418 | 1,8 | 10,598 | -1,7 | 14,795 | 1,2 | 18,991 | 1,1 | 23,188 | 22,0 |
| 2,315 | 10,2 | 6,511 | 1,8 | 10,708 | -0,9 | 14,904 | 1,2 | 19,085 | 1,1 | 23,281 | 13,2 |
| 2,424 | 11,0 | 6,605 | 1,8 | 10,801 | -1,2 | 14,998 | 1,2 | 19,194 | 1,1 | 23,390 | 4,7 |
| 2,518 | 11,7 | 6,714 | 1,8 | 10,910 | -1,2 | 15,091 | 1,2 | 19,288 | 1,1 | 23,484 | -0,3 |
| 2,611 | 13,3 | 6,808 | 1,8 | 11,004 | -1,2 | 15,200 | 1,1 | 19,397 | 1,1 | 23,578 | -0,8 |
| 2,720 | 14,9 | 6,917 | 1,8 | 11,098 | -1,2 | 15,294 | 1,2 | 19,490 | 1,1 | 23,687 | -0,8 |
| 2,814 | 15,7 | 7,010 | 1,8 | 11,207 | -1,0 | 15,403 | 1,2 | 19,584 | 1,1 | 23,780 | -0,8 |
| 2,923 | 15,8 | 7,104 | 1,8 | 11,300 | -0,5 | 15,497 | 1,2 | 19,693 | 1,1 | 23,890 | -0,7 |
| 3,017 | 16,5 | 7,213 | 1,8 | 11,410 | -0,1 | 15,590 | 1,2 | 19,787 | 1,1 | 23,983 | 0,0 |
| 3,110 | 16,9 | 7,307 | 1,8 | 11,503 | 0,2 | 15,700 | 1,1 | 19,896 | 1,1 | 24,077 | 0,9 |
| 3,220 | 16,9 | 7,416 | 1,7 | 11,597 | 0,6 | 15,793 | 1,2 | 19,990 | 1,1 | 24,186 | 1,0 |
| 3,313 | 16,9 | 7,510 | 0,1 | 11,706 | 1,1 | 15,902 | 1,2 | 20,083 | 1,1 | 24,280 | 1,0 |
| 3,422 | 16,9 | 7,603 | -2,0 | 11,800 | 1,1 | 15,996 | 1,2 | 20,192 | 1,1 | 24,389 | 1,0 |
| 3,516 | 16,9 | 7,712 | -3,8 | 11,909 | 1,1 | 16,090 | 1,2 | 20,286 | 1,1 | 24,482 | 1,0 |
| 3,610 | 16,9 | 7,806 | -5,4 | 12,002 | 1,1 | 16,199 | 1,2 | 20,489 | 1,1 | 24,576 | 1,0 |
| 3,719 | 16,9 | 7,915 | -6,9 | 12,096 | 1,1 | 16,292 | 1,2 | 20,489 | 1,1 | 24,685 | 1,0 |
| 3,812 | 16,9 | 8,009 | -8,1 | 12,205 | 1,1 | 16,402 | 1,2 | 20,582 | 1,1 | 24,779 | 1,0 |
| 3,922 | 16,9 | 8,102 | -9,0 | 12,299 | 1,1 | 16,495 | 1,1 | 20,692 | 1,1 | 24,888 | 1,0 |
| 4,015 | 16,9 | 8,212 | -9,7 | 12,408 | 1,1 | 16,589 | 1,1 | 20,785 | 1,1 | 24,982 | 1,0 |
| 4,109 | 16,7 | 8,305 | -10,5 | 12,502 | 1,1 | 16,698 | 1,1 | 20,894 | 1,1 | 25,075 | 1,0 |

Continuação

| t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) | t (s) | α (°) |
|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|
| 25,184 | 1,0 | 29,381 | -29,4 | 33,562 | -0,2 | 37,758 | 37,0 | 41,954 | -1,6 | 46,151 | -36,5 |
| 25,278 | 0,9 | 29,474 | -29,5 | 33,671 | -0,2 | 37,867 | 39,2 | 42,048 | -1,6 | 46,244 | -25,6 |
| 25,387 | 0,9 | 29,568 | -29,5 | 33,764 | -0,2 | 37,961 | 40,9 | 42,157 | -1,6 | 46,354 | -13,8 |
| 25,481 | 0,9 | 29,677 | -29,5 | 33,874 | -0,2 | 38,054 | 43,0 | 42,251 | -1,6 | 46,447 | -6,1 |
| 25,574 | 0,9 | 29,771 | -29,5 | 33,967 | -0,2 | 38,164 | 44,8 | 42,360 | -1,6 | 46,541 | -4,2 |
| 25,684 | 0,9 | 29,880 | -29,5 | 34,061 | -0,2 | 38,257 | 45,0 | 42,454 | -1,6 | 46,650 | -4,1 |
| 25,777 | 0,9 | 29,974 | -29,5 | 34,170 | -0,2 | 38,366 | 45,1 | 42,547 | -1,6 | 46,744 | -3,4 |
| 25,886 | 0,9 | 30,067 | -29,5 | 34,264 | -0,2 | 38,460 | 45,7 | 42,656 | -1,6 | 46,853 | -2,0 |
| 25,980 | 0,9 | 30,176 | -29,0 | 34,373 | -0,2 | 38,554 | 45,8 | 42,750 | -1,6 | 46,946 | -1,2 |
| 26,074 | 0,9 | 30,270 | -26,4 | 34,466 | -0,2 | 38,663 | 45,8 | 42,859 | -1,7 | 47,040 | -1,1 |
| 26,183 | 0,9 | 30,379 | -21,5 | 34,560 | -0,3 | 38,756 | 45,8 | 42,953 | -1,7 | 47,149 | -1,1 |
| 26,276 | 0,9 | 30,473 | -15,2 | 34,669 | -0,3 | 38,866 | 45,8 | 43,046 | -1,7 | 47,243 | -1,1 |
| 26,386 | 0,9 | 30,566 | -8,3 | 34,763 | -0,3 | 38,959 | 45,8 | 43,156 | -3,5 | 47,352 | -1,1 |
| 26,479 | 0,9 | 30,676 | -2,4 | 34,872 | -0,3 | 39,053 | 45,8 | 43,249 | -8,1 | 47,446 | -1,1 |
| 26,573 | 0,9 | 30,769 | 0,9 | 34,966 | -0,3 | 39,162 | 45,8 | 43,358 | -14,5 | 47,539 | -1,1 |
| 26,682 | 0,8 | 30,878 | 1,1 | 35,059 | -0,3 | 39,256 | 45,8 | 43,452 | -21,1 | 47,648 | -1,1 |
| 26,776 | 0,8 | 30,972 | 0,7 | 35,168 | -0,3 | 39,365 | 45,8 | 43,546 | -27,4 | 47,742 | -1,1 |
| 26,885 | 0,8 | 31,066 | 0,0 | 35,262 | -0,3 | 39,458 | 45,7 | 43,655 | -32,8 | 47,851 | -1,2 |
| 26,978 | 0,8 | 31,175 | 0,0 | 35,371 | -0,3 | 39,552 | 45,7 | 43,748 | -37,6 | 47,945 | -1,2 |
| 27,072 | 0,8 | 31,268 | 0,0 | 35,465 | -0,3 | 39,661 | 45,7 | 43,858 | -41,4 | 48,038 | -1,2 |
| 27,181 | 0,8 | 31,378 | 0,0 | 35,558 | -0,3 | 39,755 | 45,7 | 43,951 | -43,5 | 48,148 | -1,2 |
| 27,275 | 0,8 | 31,471 | 0,0 | 35,668 | -0,3 | 39,864 | 45,2 | 44,045 | -44,6 | 48,241 | -1,2 |
| 27,384 | 0,8 | 31,565 | 0,0 | 35,761 | -0,3 | 39,958 | 40,7 | 44,154 | -45,7 | 48,350 | -1,2 |
| 27,478 | 0,8 | 31,674 | 0,0 | 35,870 | -0,3 | 40,051 | 33,6 | 44,248 | -46,5 | 48,444 | -1,2 |
| 27,571 | 0,4 | 31,768 | 0,0 | 35,964 | -0,4 | 40,160 | 26,0 | 44,357 | -46,5 | 48,538 | -1,2 |
| 27,680 | -0,9 | 31,877 | 0,0 | 36,058 | -0,4 | 40,254 | 18,5 | 44,450 | -46,5 | 48,647 | -1,2 |
| 27,774 | -2,8 | 31,970 | -0,1 | 36,167 | -0,4 | 40,363 | 12,5 | 44,544 | -46,5 | 48,740 | -1,2 |
| 27,883 | -5,2 | 32,064 | -0,1 | 36,260 | -0,4 | 40,457 | 8,1 | 44,653 | -46,5 | 48,850 | -1,2 |
| 27,977 | -8,1 | 32,173 | -0,1 | 36,370 | -0,4 | 40,550 | 4,8 | 44,747 | -46,5 | 48,943 | -1,2 |
| 28,070 | -11,2 | 32,267 | -0,1 | 36,463 | 0,6 | 40,660 | 2,3 | 44,856 | -46,5 | 49,037 | -1,2 |
| 28,180 | -14,1 | 32,376 | -0,1 | 36,557 | 2,9 | 40,753 | 0,9 | 44,950 | -46,5 | 49,146 | -1,3 |
| 28,273 | -16,6 | 32,470 | -0,1 | 36,666 | 6,4 | 40,862 | 0,3 | 45,043 | -46,5 | 49,240 | -1,3 |
| 28,382 | -18,9 | 32,563 | -0,1 | 36,760 | 11,4 | 40,956 | 0,2 | 45,152 | -46,5 | 49,349 | -1,3 |
| 28,476 | -20,9 | 32,672 | -0,1 | 36,869 | 17,6 | 41,050 | -0,8 | 45,246 | -46,5 | 49,442 | -1,3 |
| 28,570 | -22,8 | 32,766 | -0,1 | 36,962 | 23,6 | 41,159 | -1,5 | 45,355 | -46,5 | 49,536 | -1,3 |
| 28,679 | -24,6 | 32,875 | -0,1 | 37,056 | 28,5 | 41,252 | -1,6 | 45,449 | -46,6 | 49,645 | -1,3 |
| 28,772 | -26,0 | 32,969 | -0,1 | 37,165 | 32,3 | 41,362 | -1,6 | 45,542 | -46,6 | 49,739 | -1,3 |
| 28,882 | -26,8 | 33,062 | -0,1 | 37,259 | 33,8 | 41,455 | -1,6 | 45,652 | -46,6 | 49,848 | -1,3 |
| 28,975 | -27,3 | 33,172 | -0,1 | 37,368 | 33,8 | 41,549 | -1,6 | 45,745 | -46,6 | 49,942 | -1,3 |
| 29,069 | -27,9 | 33,265 | -0,1 | 37,462 | 33,9 | 41,658 | -1,6 | 45,854 | -46,6 | 50,035 | -1,3 |
| 29,178 | -28,5 | 33,374 | -0,2 | 37,555 | 34,4 | 41,752 | -1,6 | 45,948 | -46,1 | 50,144 | -1,3 |
| 29,272 | -29,0 | 33,468 | -0,2 | 37,664 | 35,4 | 41,861 | -1,6 | 46,042 | -43,3 | 50,238 | -1,3 |

APÊNCICE B - DADOS DA VALIDAÇÃO

| Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device |
|-------|----------|--------|-------|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|----------|--------|
| 0,000 | -0,01323 | 0,0 | 4,992 | 0,00362 | 0,0 | 9,984 | -0,36318 | -0,4 | 14,976 | -3,61010 | -4,6 |
| 0,094 | -0,00386 | 0,0 | 5,086 | -0,02837 | 0,0 | 10,078 | -0,38799 | -0,4 | 15,070 | -2,43728 | -3,5 |
| 0,187 | -0,00458 | 0,0 | 5,195 | 0,00968 | 0,0 | 10,171 | -0,38584 | -0,6 | 15,179 | -1,82527 | -2,7 |
| 0,296 | 0,00954 | 0,0 | 5,288 | -0,00981 | 0,0 | 10,280 | -0,38794 | -1,2 | 15,272 | -1,72529 | -2,2 |
| 0,390 | 0,01484 | 0,0 | 5,382 | -0,04392 | 0,0 | 10,374 | -0,38978 | -2,5 | 15,366 | -1,74497 | -1,9 |
| 0,499 | 0,02319 | 0,0 | 5,491 | -0,02875 | 0,0 | 10,483 | -1,59570 | -4,0 | 15,475 | -1,74144 | -1,8 |
| 0,593 | -0,00876 | 0,0 | 5,585 | -0,04020 | 0,0 | 10,577 | -4,62014 | -5,8 | 15,569 | -1,75192 | -1,8 |
| 0,686 | 0,01136 | 0,0 | 5,678 | -0,06368 | -0,1 | 10,670 | -8,48824 | -7,7 | 15,662 | -1,74571 | -1,8 |
| 0,796 | 0,02118 | 0,0 | 5,788 | -0,06778 | -0,1 | 10,780 | -11,46301 | -10,1 | 15,772 | -1,76625 | -1,8 |
| 0,998 | 0,01046 | 0,0 | 5,881 | -0,06326 | -0,1 | 10,873 | -13,55770 | -12,3 | 15,865 | -1,75727 | -1,8 |
| 0,998 | 0,01345 | 0,0 | 5,990 | -0,07627 | -0,1 | 10,982 | -14,85516 | -14,3 | 15,974 | -1,78302 | -1,7 |
| 1,092 | 0,02281 | 0,0 | 6,084 | -0,08235 | -0,1 | 11,076 | -15,77764 | -15,4 | 16,068 | -1,78207 | -1,8 |
| 1,186 | 0,02346 | 0,0 | 6,178 | -0,10550 | -0,1 | 11,170 | -16,86183 | -16,1 | 16,162 | -1,78629 | -1,8 |
| 1,295 | 0,01160 | 0,0 | 6,287 | -0,09576 | -0,1 | 11,279 | -17,32603 | -16,8 | 16,271 | -1,78569 | -1,8 |
| 1,388 | 0,01172 | 0,0 | 6,380 | -0,09175 | -0,1 | 11,372 | -17,27981 | -17,3 | 16,364 | -1,79938 | -1,8 |
| 1,498 | -0,00860 | 0,0 | 6,490 | -0,10750 | -0,1 | 11,482 | -17,21052 | -17,3 | 16,474 | -1,81896 | -1,8 |
| 1,591 | 0,00123 | 0,0 | 6,583 | -0,10074 | -0,1 | 11,575 | -17,34451 | -17,6 | 16,567 | -1,81090 | -1,8 |
| 1,685 | 0,01926 | 0,0 | 6,677 | -0,13131 | -0,1 | 11,669 | -17,36951 | -17,2 | 16,661 | -1,82639 | -1,9 |
| 1,794 | -0,00043 | 0,0 | 6,786 | -0,13549 | -0,1 | 11,778 | -17,26187 | -17,5 | 16,770 | -1,81972 | -1,8 |
| 1,888 | 0,02984 | 0,0 | 6,880 | -0,14944 | -0,1 | 11,872 | -17,31367 | -17,9 | 16,864 | -1,83012 | -1,8 |
| 1,997 | 0,02333 | 0,0 | 6,989 | -0,15003 | -0,2 | 11,981 | -17,45946 | -17,9 | 16,973 | -1,84088 | -1,9 |
| 2,090 | 0,02230 | 0,0 | 7,082 | -0,13848 | -0,2 | 12,074 | -17,37519 | -18,0 | 17,066 | -1,84623 | -1,9 |
| 2,184 | 0,01394 | 0,0 | 7,176 | -0,16903 | -0,2 | 12,168 | -17,34703 | -18,0 | 17,160 | -1,85336 | -1,9 |
| 2,293 | 0,01286 | 0,0 | 7,285 | -0,16954 | -0,2 | 12,277 | -17,37598 | -17,9 | 17,269 | -1,86628 | -1,9 |
| 2,387 | 0,01381 | 0,0 | 7,379 | -0,18546 | -0,2 | 12,371 | -17,34989 | -17,9 | 17,363 | -1,85849 | -1,9 |
| 2,496 | 0,01727 | 0,0 | 7,488 | -0,21214 | -0,2 | 12,480 | -17,36986 | -17,7 | 17,472 | -1,86129 | -1,9 |
| 2,590 | 0,01484 | 0,0 | 7,582 | -0,18273 | -0,2 | 12,574 | -17,36067 | -17,8 | 17,566 | -1,86784 | -1,9 |
| 2,699 | 0,03005 | 0,0 | 7,691 | -0,17811 | -0,2 | 12,667 | -17,35375 | -17,6 | 17,659 | -1,87937 | -1,8 |
| 2,792 | 0,00980 | 0,0 | 7,784 | -0,20251 | -0,2 | 12,776 | -17,40388 | -17,5 | 17,768 | -1,88893 | -1,8 |
| 2,886 | 0,00593 | 0,0 | 7,878 | -0,22475 | -0,2 | 12,870 | -17,43199 | -17,8 | 17,862 | -1,88593 | -1,9 |
| 2,995 | 0,04101 | 0,0 | 7,987 | -0,21579 | -0,2 | 12,979 | -17,48746 | -17,8 | 17,971 | -1,90046 | -1,9 |
| 3,089 | 0,00675 | 0,0 | 8,081 | -0,23441 | -0,2 | 13,073 | -17,38286 | -18,0 | 18,065 | -1,91333 | -1,9 |
| 3,182 | 0,03306 | 0,0 | 8,174 | -0,23827 | -0,2 | 13,166 | -17,45995 | -18,1 | 18,158 | -1,92650 | -1,9 |
| 3,292 | 0,02066 | 0,0 | 8,284 | -0,22725 | -0,2 | 13,276 | -17,54490 | -17,8 | 18,268 | -1,92500 | -1,9 |
| 3,385 | 0,04481 | 0,0 | 8,377 | -0,23925 | -0,3 | 13,369 | -17,30696 | -18,1 | 18,361 | -1,93070 | -1,7 |
| 3,494 | 0,03646 | 0,0 | 8,486 | -0,25725 | -0,3 | 13,478 | -17,53900 | -18,1 | 18,470 | -1,93903 | -1,2 |
| 3,588 | 0,02358 | 0,0 | 8,580 | -0,26587 | -0,3 | 13,572 | -17,40776 | -18,0 | 18,564 | -1,80107 | -0,4 |
| 3,682 | 0,01772 | 0,0 | 8,674 | -0,25820 | -0,3 | 13,666 | -17,41158 | -17,9 | 18,658 | -0,51596 | 1,0 |
| 3,791 | 0,03089 | 0,0 | 8,783 | -0,27630 | -0,3 | 13,775 | -17,49918 | -17,9 | 18,767 | 1,51554 | 2,7 |
| 3,884 | 0,03329 | 0,0 | 8,876 | -0,28824 | -0,3 | 13,868 | -17,53021 | -17,7 | 18,860 | 3,94181 | 4,8 |
| 3,994 | 0,02742 | 0,0 | 8,986 | -0,28829 | -0,3 | 13,978 | -17,53719 | -17,9 | 18,970 | 6,86556 | 6,7 |
| 4,087 | 0,04584 | 0,0 | 9,079 | -0,31244 | -0,3 | 14,071 | -17,56841 | -17,9 | 19,063 | 10,12397 | 8,8 |
| 4,181 | 0,01503 | 0,0 | 9,173 | -0,27843 | -0,3 | 14,165 | -17,51398 | -17,8 | 19,157 | 12,31759 | 10,4 |
| 4,290 | 0,03512 | 0,0 | 9,282 | -0,29905 | -0,3 | 14,274 | -17,59925 | -17,1 | 19,266 | 12,62917 | 11,5 |
| 4,384 | 0,03890 | 0,0 | 9,376 | -0,29781 | -0,3 | 14,368 | -17,54660 | -16,0 | 19,360 | 12,90116 | 12,5 |
| 4,493 | 0,02269 | 0,0 | 9,485 | -0,30483 | -0,3 | 14,477 | -16,29773 | -14,5 | 19,469 | 13,45749 | 12,9 |
| 4,586 | 0,02635 | 0,0 | 9,578 | -0,31958 | -0,3 | 14,570 | -13,31984 | -12,8 | 19,562 | 13,57026 | 13,1 |
| 4,680 | 0,00678 | 0,0 | 9,672 | -0,32579 | -0,3 | 14,680 | -10,09793 | -10,7 | 19,656 | 13,54833 | 13,6 |
| 4,789 | 0,01566 | 0,0 | 9,781 | -0,33530 | -0,3 | 14,773 | -7,46250 | -8,4 | 19,765 | 13,48835 | 13,4 |
| 4,883 | 0,00159 | 0,0 | 9,875 | -0,34474 | -0,4 | 14,867 | -5,35549 | -6,3 | 19,859 | 13,50006 | 13,5 |

Continuação

| Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device |
|--------|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|----------|--------|
| 19,968 | 13,60975 | 13,6 | 24,960 | -2,47982 | -2,5 | 29,952 | -17,15759 | -17,2 | 34,944 | -2,58933 | -2,7 |
| 20,062 | 13,57870 | 13,4 | 25,054 | -2,48963 | -2,6 | 30,046 | -17,26243 | -17,2 | 35,038 | -2,60061 | -2,7 |
| 20,155 | 13,62206 | 13,4 | 25,147 | -2,48906 | -2,6 | 30,139 | -17,16566 | -17,2 | 35,131 | -2,59944 | -2,7 |
| 20,264 | 13,47999 | 13,2 | 25,256 | -2,50024 | -2,5 | 30,248 | -17,13942 | -17,1 | 35,240 | -2,60987 | -2,6 |
| 20,358 | 13,47869 | 12,9 | 25,350 | -2,50906 | -2,5 | 30,342 | -17,18806 | -16,5 | 35,334 | -2,61978 | -2,7 |
| 20,467 | 13,64818 | 13,0 | 25,459 | -2,52078 | -2,5 | 30,451 | -17,16360 | -15,0 | 35,443 | -2,62952 | -2,7 |
| 20,561 | 13,56974 | 12,9 | 25,553 | -2,51947 | -2,5 | 30,545 | -16,50649 | -12,7 | 35,537 | -2,63896 | -2,7 |
| 20,654 | 13,55218 | 13,2 | 25,646 | -2,53016 | -2,6 | 30,638 | -12,01670 | -10,6 | 35,630 | -2,63986 | -2,6 |
| 20,764 | 13,45247 | 13,3 | 25,756 | -2,52922 | -2,6 | 30,748 | -5,43167 | -8,2 | 35,740 | -2,65044 | -2,7 |
| 20,857 | 13,43434 | 13,6 | 25,849 | -2,53983 | -2,6 | 30,841 | -1,31658 | -5,7 | 35,833 | -2,66096 | -2,7 |
| 20,966 | 13,50175 | 13,8 | 25,958 | -2,54895 | -2,7 | 30,950 | -0,99832 | -3,5 | 35,942 | -2,67063 | -2,7 |
| 21,060 | 13,55437 | 14,0 | 26,052 | -2,55885 | -2,7 | 31,044 | -1,05596 | -2,0 | 36,036 | -2,67929 | -2,7 |
| 21,154 | 13,48078 | 14,0 | 26,146 | -2,56158 | -2,8 | 31,138 | -1,05880 | -1,5 | 36,130 | -2,68030 | -2,8 |
| 21,263 | 13,46034 | 14,1 | 26,255 | -2,56984 | -2,7 | 31,247 | -1,68306 | -1,7 | 36,239 | -2,68971 | -2,8 |
| 21,356 | 13,41722 | 13,9 | 26,348 | -2,58146 | -2,7 | 31,340 | -2,32000 | -1,9 | 36,332 | -2,70021 | -2,8 |
| 21,466 | 13,43765 | 13,9 | 26,458 | -2,58033 | -2,7 | 31,450 | -2,33319 | -2,1 | 36,442 | -2,71053 | -2,8 |
| 21,559 | 13,49614 | 13,7 | 26,551 | -2,59041 | -2,7 | 31,543 | -2,34215 | -2,3 | 36,535 | -2,71973 | -2,7 |
| 21,653 | 13,48348 | 13,8 | 26,645 | -2,60089 | -2,7 | 31,637 | -2,35311 | -2,4 | 36,629 | -2,72028 | -2,7 |
| 21,762 | 13,41342 | 13,6 | 26,754 | -2,60924 | -2,7 | 31,746 | -2,36195 | -2,5 | 36,738 | -2,73009 | -2,4 |
| 21,856 | 13,33005 | 13,0 | 26,848 | -2,61014 | -2,7 | 31,840 | -2,36203 | -2,5 | 36,832 | -2,73022 | -1,8 |
| 21,965 | 13,39043 | 12,0 | 26,957 | -2,62029 | -2,7 | 31,949 | -2,36895 | -2,5 | 36,941 | -2,21719 | -1,0 |
| 22,058 | 12,57738 | 10,5 | 27,050 | -2,63002 | -2,7 | 32,042 | -2,37885 | -2,5 | 37,034 | -0,76902 | 0,3 |
| 22,152 | 9,83166 | 8,6 | 27,160 | -2,62964 | -2,9 | 32,152 | -2,38828 | -2,4 | 37,144 | 1,16606 | 1,7 |
| 22,261 | 6,19450 | 6,8 | 27,253 | -2,64935 | -3,2 | 32,245 | -2,38879 | -2,4 | 37,237 | 3,31221 | 3,4 |
| 22,355 | 2,80202 | 4,9 | 27,347 | -3,04135 | -3,9 | 32,339 | -2,39987 | -2,4 | 37,331 | 5,59636 | 5,3 |
| 22,464 | 0,95680 | 3,0 | 27,456 | -4,16852 | -4,8 | 32,448 | -2,40982 | -2,4 | 37,440 | 7,67751 | 6,9 |
| 22,558 | 0,66331 | 1,6 | 27,550 | -5,61964 | -6,2 | 32,542 | -2,41985 | -2,4 | 37,534 | 9,48669 | 8,3 |
| 22,651 | 0,65941 | 0,6 | 27,643 | -7,44511 | -7,7 | 32,635 | -2,42041 | -2,4 | 37,627 | 10,77386 | 9,6 |
| 22,760 | 0,35764 | -0,1 | 27,752 | -9,50738 | -9,2 | 32,744 | -2,43044 | -2,4 | 37,736 | 11,29079 | 10,6 |
| 22,854 | -0,31895 | -0,5 | 27,846 | -11,57005 | -11,2 | 32,838 | -2,43903 | -2,4 | 37,830 | 11,61792 | 11,5 |
| 22,963 | -1,08128 | -0,9 | 27,955 | -13,22325 | -12,8 | 32,947 | -2,44177 | -2,4 | 37,939 | 11,99688 | 11,9 |
| 23,057 | -1,52504 | -1,4 | 28,049 | -14,64983 | -14,4 | 33,041 | -2,44860 | -2,4 | 38,033 | 12,60620 | 12,0 |
| 23,150 | -2,04958 | -1,8 | 28,142 | -15,82463 | -15,3 | 33,134 | -2,46080 | -2,4 | 38,126 | 12,63071 | 12,2 |
| 23,260 | -2,34945 | -2,1 | 28,252 | -16,90427 | -16,1 | 33,244 | -2,45971 | -2,4 | 38,236 | 12,55926 | 12,5 |
| 23,353 | -2,37068 | -2,3 | 28,345 | -17,12174 | -16,8 | 33,337 | -2,47157 | -2,4 | 38,329 | 12,41170 | 12,6 |
| 23,462 | -2,37843 | -2,4 | 28,454 | -17,00291 | -17,2 | 33,446 | -2,47967 | -2,5 | 38,438 | 12,50427 | 12,4 |
| 23,556 | -2,38065 | -2,5 | 28,548 | -17,07055 | -17,3 | 33,540 | -2,47691 | -2,5 | 38,532 | 12,44160 | 12,2 |
| 23,650 | -2,39007 | -2,5 | 28,642 | -17,05878 | -17,4 | 33,634 | -2,48948 | -2,5 | 38,626 | 12,45502 | 12,4 |
| 23,759 | -2,39816 | -2,5 | 28,751 | -17,18327 | -17,5 | 33,743 | -2,50194 | -2,5 | 38,735 | 12,54226 | 12,7 |
| 23,852 | -2,39993 | -2,6 | 28,844 | -17,03852 | -17,6 | 33,836 | -2,50009 | -2,4 | 38,828 | 12,46602 | 12,6 |
| 23,962 | -2,40853 | -2,5 | 28,954 | -17,20146 | -17,5 | 33,946 | -2,51042 | -2,5 | 38,938 | 12,37882 | 12,4 |
| 24,055 | -2,42242 | -2,5 | 29,047 | -17,16513 | -17,3 | 34,039 | -2,52130 | -2,5 | 39,031 | 12,43320 | 12,6 |
| 24,149 | -2,41940 | -2,5 | 29,141 | -17,14584 | -17,1 | 34,133 | -2,52232 | -2,5 | 39,125 | 12,34325 | 12,7 |
| 24,258 | -2,43158 | -2,5 | 29,250 | -17,14135 | -17,2 | 34,242 | -2,53031 | -2,6 | 39,234 | 12,50134 | 12,7 |
| 24,352 | -2,43963 | -2,5 | 29,344 | -17,17189 | -17,2 | 34,336 | -2,53996 | -2,6 | 39,328 | 12,46257 | 12,7 |
| 24,461 | -2,44139 | -2,5 | 29,453 | -17,17976 | -17,1 | 34,445 | -2,54910 | -2,6 | 39,437 | 12,39784 | 12,6 |
| 24,554 | -2,44841 | -2,5 | 29,546 | -17,06496 | -17,3 | 34,538 | -2,56011 | -2,7 | 39,530 | 12,40018 | 12,8 |
| 24,664 | -2,45823 | -2,5 | 29,656 | -17,14590 | -17,3 | 34,632 | -2,56933 | -2,7 | 39,624 | 12,46567 | 12,7 |
| 24,757 | -2,46090 | -2,5 | 29,749 | -17,25952 | -17,3 | 34,741 | -2,57015 | -2,6 | 39,733 | 12,50704 | 12,7 |
| 24,851 | -2,46948 | -2,6 | 29,843 | -17,15480 | -17,5 | 34,835 | -2,58073 | -2,7 | 39,827 | 12,44598 | 12,6 |

Continuação

| Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device |
|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| 39,936 | 12,33696 | 12,7 | 44,928 | -3,25721 | -3,3 | 49,920 | -3,60064 | -3,6 | 54,912 | -32,00172 | -29,5 |
| 40,030 | 12,41922 | 12,5 | 45,022 | -3,26971 | -3,4 | 50,014 | -3,61078 | -3,6 | 55,006 | -33,31419 | -31,2 |
| 40,123 | 12,44174 | 12,7 | 45,115 | -3,26755 | -3,4 | 50,107 | -3,62534 | -3,5 | 55,099 | -33,40780 | -32,6 |
| 40,232 | 12,34896 | 12,6 | 45,224 | -3,28337 | -3,4 | 50,216 | -3,61234 | -3,5 | 55,208 | -33,72223 | -33,7 |
| 40,326 | 12,28427 | 12,7 | 45,318 | -3,28701 | -3,4 | 50,310 | -3,61590 | -3,5 | 55,302 | -33,76941 | -34,1 |
| 40,435 | 12,46525 | 12,6 | 45,427 | -3,28919 | -3,4 | 50,419 | -3,59757 | -3,5 | 55,411 | -33,38511 | -33,8 |
| 40,529 | 12,31708 | 12,4 | 45,521 | -3,30199 | -3,4 | 50,513 | -3,60596 | -3,4 | 55,505 | -33,52756 | -33,7 |
| 40,622 | 12,35064 | 11,4 | 45,614 | -3,30976 | -3,4 | 50,606 | -3,58711 | -3,5 | 55,598 | -33,66949 | -34,2 |
| 40,732 | 11,97726 | 10,0 | 45,724 | -3,30647 | -3,4 | 50,716 | -3,58557 | -3,5 | 55,708 | -33,47567 | -34,6 |
| 40,825 | 9,98631 | 8,0 | 45,817 | -3,32191 | -3,5 | 50,809 | -3,57654 | -3,5 | 55,801 | -33,70971 | -34,2 |
| 40,934 | 5,95462 | 6,0 | 45,926 | -3,32610 | -3,5 | 50,918 | -3,57041 | -3,5 | 55,910 | -33,59331 | -34,3 |
| 41,028 | 1,85399 | 4,2 | 46,020 | -3,34016 | -3,5 | 51,012 | -3,57018 | -3,5 | 56,004 | -33,74618 | -34,3 |
| 41,122 | -0,50641 | 2,1 | 46,114 | -3,34210 | -3,4 | 51,106 | -3,55614 | -3,5 | 56,098 | -33,61127 | -33,9 |
| 41,231 | -0,83916 | 0,5 | 46,223 | -3,34892 | -3,4 | 51,215 | -3,54988 | -3,5 | 56,207 | -33,46189 | -34,5 |
| 41,324 | -0,87458 | -0,9 | 46,316 | -3,36058 | -3,5 | 51,308 | -3,54290 | -3,5 | 56,300 | -33,62305 | -33,8 |
| 41,434 | -1,10372 | -1,6 | 46,426 | -3,35982 | -3,5 | 51,418 | -3,54254 | -3,6 | 56,410 | -33,74671 | -33,0 |
| 41,527 | -1,76813 | -2,0 | 46,519 | -3,37081 | -3,5 | 51,511 | -3,52858 | -3,6 | 56,503 | -33,57522 | -33,0 |
| 41,636 | -2,74973 | -2,3 | 46,628 | -3,37632 | -3,5 | 51,605 | -3,51620 | -3,7 | 56,597 | -33,47286 | -32,9 |
| 41,730 | -3,01986 | -2,6 | 46,722 | -3,38095 | -3,5 | 51,714 | -3,51733 | -3,7 | 56,706 | -33,73059 | -32,5 |
| 41,824 | -3,02885 | -2,9 | 46,816 | -3,38721 | -3,5 | 51,808 | -3,50861 | -3,7 | 56,800 | -33,74436 | -33,0 |
| 41,933 | -3,03915 | -3,1 | 46,925 | -3,40269 | -3,5 | 51,917 | -3,49888 | -3,8 | 56,909 | -33,60247 | -33,0 |
| 42,026 | -3,04875 | -3,1 | 47,018 | -3,39887 | -3,4 | 52,010 | -3,49310 | -3,7 | 57,002 | -33,34759 | -33,4 |
| 42,120 | -3,04973 | -3,1 | 47,112 | -3,40536 | -3,3 | 52,104 | -3,48853 | -3,8 | 57,112 | -33,57293 | -34,1 |
| 42,229 | -3,05941 | -3,1 | 47,221 | -3,42226 | -3,4 | 52,213 | -3,48368 | -3,8 | 57,205 | -33,66630 | -34,4 |
| 42,323 | -3,06777 | -3,1 | 47,315 | -3,42111 | -3,4 | 52,307 | -3,48186 | -3,7 | 57,299 | -33,65999 | -34,0 |
| 42,432 | -3,06832 | -3,1 | 47,424 | -3,43065 | -3,5 | 52,416 | -3,46803 | -3,6 | 57,408 | -33,43424 | -33,3 |
| 42,526 | -3,08200 | -3,1 | 47,518 | -3,43931 | -3,5 | 52,510 | -3,46119 | -3,6 | 57,502 | -33,50313 | -31,0 |
| 42,619 | -3,07910 | -3,0 | 47,611 | -3,43768 | -3,6 | 52,603 | -3,45065 | -3,6 | 57,595 | -31,10238 | -27,5 |
| 42,728 | -3,09210 | -3,1 | 47,720 | -3,44498 | -3,6 | 52,712 | -3,43740 | -3,6 | 57,704 | -25,62165 | -23,5 |
| 42,822 | -3,10002 | -3,1 | 47,814 | -3,46099 | -3,6 | 52,806 | -3,44039 | -3,5 | 57,798 | -18,65021 | -18,5 |
| 42,931 | -3,10030 | -3,1 | 47,923 | -3,47266 | -3,5 | 52,915 | -3,42999 | -3,4 | 57,907 | -11,56896 | -13,9 |
| 43,025 | -3,10919 | -3,1 | 48,017 | -3,47486 | -3,5 | 53,009 | -3,42669 | -3,4 | 58,001 | -4,55405 | -9,4 |
| 43,118 | -3,12228 | -3,1 | 48,110 | -3,47546 | -3,4 | 53,102 | -3,41979 | -3,5 | 58,110 | -1,49598 | -6,0 |
| 43,228 | -3,12820 | -3,1 | 48,220 | -3,48960 | -3,4 | 53,212 | -3,40690 | -3,5 | 58,204 | -1,49557 | -4,0 |
| 43,321 | -3,14091 | -3,1 | 48,313 | -3,48754 | -3,4 | 53,305 | -3,40032 | -3,4 | 58,297 | -1,60854 | -2,8 |
| 43,430 | -3,14990 | -3,2 | 48,422 | -3,50278 | -3,5 | 53,414 | -3,38810 | -3,4 | 58,406 | -2,71963 | -2,6 |
| 43,524 | -3,14856 | -3,2 | 48,516 | -3,51100 | -3,5 | 53,508 | -3,39015 | -3,4 | 58,500 | -3,62114 | -2,9 |
| 43,618 | -3,16293 | -3,2 | 48,610 | -3,50772 | -3,5 | 53,602 | -3,37977 | -3,4 | 58,594 | -3,61269 | -3,2 |
| 43,727 | -3,17172 | -3,2 | 48,719 | -3,52082 | -3,6 | 53,711 | -3,37054 | -3,6 | 58,703 | -3,60126 | -3,5 |
| 43,820 | -3,18104 | -3,3 | 48,812 | -3,52860 | -3,6 | 53,804 | -3,36692 | -4,2 | 58,796 | -3,59944 | -3,6 |
| 43,930 | -3,18710 | -3,4 | 48,922 | -3,52925 | -3,6 | 53,914 | -3,60934 | -5,4 | 58,906 | -3,58768 | -3,6 |
| 44,023 | -3,19916 | -3,3 | 49,015 | -3,54470 | -3,6 | 54,007 | -5,09197 | -6,8 | 58,999 | -3,57660 | -3,7 |
| 44,117 | -3,20258 | -3,3 | 49,109 | -3,55321 | -3,6 | 54,101 | -7,65186 | -9,0 | 59,093 | -3,57375 | -3,7 |
| 44,226 | -3,20982 | -3,3 | 49,218 | -3,56270 | -3,6 | 54,210 | -10,71503 | -11,8 | 59,202 | -3,56831 | -3,7 |
| 44,320 | -3,21901 | -3,3 | 49,312 | -3,55408 | -3,7 | 54,304 | -14,12200 | -14,6 | 59,296 | -3,55432 | -3,6 |
| 44,429 | -3,21963 | -3,3 | 49,421 | -3,57144 | -3,7 | 54,413 | -17,67239 | -17,4 | 59,405 | -3,55000 | -3,6 |
| 44,522 | -3,22954 | -3,2 | 49,514 | -3,58374 | -3,7 | 54,506 | -21,14872 | -20,3 | 59,498 | -3,54368 | -3,6 |
| 44,616 | -3,23801 | -3,2 | 49,608 | -3,58319 | -3,7 | 54,600 | -24,37504 | -23,1 | 59,592 | -3,53800 | -3,5 |
| 44,725 | -3,23958 | -3,3 | 49,717 | -3,59018 | -3,7 | 54,709 | -27,30499 | -26,3 | 59,701 | -3,53058 | -3,4 |
| 44,819 | -3,25099 | -3,3 | 49,811 | -3,58827 | -3,6 | 54,803 | -29,73204 | -28,2 | 59,795 | -3,51956 | -3,4 |

Continuação

| Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device |
|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|-----------|--------|
| 59,904 | -3,50793 | -3,4 | 64,896 | 27,08072 | 27,2 | 69,888 | -2,43939 | -2,4 | 74,880 | -2,08867 | -2,1 |
| 59,998 | -3,51283 | -3,4 | 64,990 | 27,10928 | 26,6 | 69,982 | -2,42836 | -2,4 | 74,974 | -2,08105 | -2,2 |
| 60,091 | -3,50202 | -3,4 | 65,083 | 27,31650 | 26,1 | 70,075 | -2,42136 | -2,4 | 75,067 | -2,06866 | -2,9 |
| 60,200 | -3,50038 | -3,5 | 65,192 | 27,09790 | 26,5 | 70,185 | -2,42137 | -2,4 | 75,177 | -2,05279 | -4,1 |
| 60,294 | -3,48654 | -3,5 | 65,286 | 27,40744 | 26,9 | 70,278 | -2,40835 | -2,4 | 75,270 | -2,96054 | -6,3 |
| 60,403 | -3,48201 | -3,5 | 65,395 | 27,15656 | 27,4 | 70,387 | -2,40199 | -2,4 | 75,379 | -6,28089 | -9,3 |
| 60,497 | -3,47328 | -3,5 | 65,489 | 27,28726 | 26,9 | 70,481 | -2,39052 | -2,5 | 75,473 | -11,89146 | -13,4 |
| 60,590 | -3,46447 | -3,5 | 65,582 | 27,19990 | 27,3 | 70,575 | -2,38940 | -2,4 | 75,567 | -18,39834 | -18,1 |
| 60,700 | -3,45380 | -3,5 | 65,692 | 27,19760 | 27,2 | 70,684 | -2,38044 | -2,4 | 75,676 | -25,20999 | -23,4 |
| 60,793 | -3,45476 | -3,5 | 65,785 | 27,27747 | 27,6 | 70,777 | -2,36626 | -2,4 | 75,769 | -30,77997 | -28,6 |
| 60,902 | -3,43864 | -3,5 | 65,894 | 27,17623 | 27,2 | 70,887 | -2,36843 | -2,4 | 75,879 | -35,13977 | -34,0 |
| 60,996 | -3,43942 | -3,5 | 65,988 | 27,56641 | 26,9 | 70,980 | -2,36208 | -2,4 | 75,972 | -39,19591 | -38,2 |
| 61,090 | -3,42855 | -3,5 | 66,082 | 27,23201 | 26,8 | 71,074 | -2,36392 | -2,4 | 76,066 | -42,49703 | -42,3 |
| 61,199 | -3,41591 | -3,4 | 66,284 | 27,25404 | 27,0 | 71,183 | -2,34963 | -2,4 | 76,175 | -44,52376 | -44,4 |
| 61,292 | -3,41062 | -3,4 | 66,300 | 27,43741 | 26,9 | 71,277 | -2,33873 | -2,4 | 76,269 | -46,39920 | -46,0 |
| 61,402 | -3,39952 | -3,4 | 66,394 | 27,58277 | 27,4 | 71,386 | -2,32991 | -2,4 | 76,378 | -47,97732 | -47,4 |
| 61,495 | -3,40173 | -3,5 | 66,487 | 27,38139 | 27,8 | 71,479 | -2,31985 | -2,4 | 76,471 | -48,08296 | -48,8 |
| 61,589 | -3,38852 | -3,4 | 66,581 | 27,08208 | 27,9 | 71,573 | -2,31946 | -2,3 | 76,581 | -47,90360 | -49,3 |
| 61,698 | -3,38227 | -3,4 | 66,690 | 27,18754 | 27,9 | 71,682 | -2,31037 | -2,3 | 76,674 | -47,57982 | -49,3 |
| 61,792 | -3,37980 | -3,4 | 66,784 | 27,32037 | 27,8 | 71,776 | -2,29965 | -2,3 | 76,768 | -47,91268 | -48,8 |
| 61,901 | -3,37314 | -3,4 | 66,893 | 27,54416 | 27,8 | 71,885 | -2,28599 | -2,3 | 76,877 | -47,82110 | -49,1 |
| 61,994 | -3,36111 | -3,5 | 66,986 | 27,26230 | 27,9 | 71,979 | -2,28881 | -2,3 | 76,971 | -47,96389 | -49,5 |
| 62,104 | -3,35780 | -3,4 | 67,080 | 27,48904 | 27,5 | 72,072 | -2,27954 | -2,2 | 77,064 | -47,73428 | -49,8 |
| 62,197 | -3,34979 | -3,4 | 67,189 | 27,27255 | 26,0 | 72,181 | -2,26792 | -2,2 | 77,173 | -47,96229 | -48,5 |
| 62,291 | -3,33760 | -3,3 | 67,283 | 26,55224 | 23,8 | 72,275 | -2,26863 | -2,2 | 77,267 | -48,08384 | -47,4 |
| 62,400 | -3,33141 | -3,1 | 67,392 | 23,52738 | 20,5 | 72,384 | -2,25816 | -2,2 | 77,376 | -47,59080 | -47,6 |
| 62,494 | -3,31976 | -2,6 | 67,486 | 18,22844 | 16,6 | 72,478 | -2,24929 | -2,2 | 77,470 | -48,14391 | -47,9 |
| 62,587 | -3,25369 | -1,7 | 67,579 | 10,55564 | 12,8 | 72,571 | -2,24539 | -2,2 | 77,563 | -47,60083 | -48,6 |
| 62,696 | -2,00387 | -0,3 | 67,688 | 3,29922 | 8,8 | 72,681 | -2,24029 | -2,2 | 77,673 | -47,80196 | -47,8 |
| 62,790 | 0,40692 | 1,5 | 67,782 | 0,60587 | 5,2 | 72,774 | -2,22912 | -2,2 | 77,766 | -47,86348 | -47,6 |
| 62,993 | 3,31666 | 4,0 | 67,891 | 0,61983 | 2,4 | 72,883 | -2,22887 | -2,1 | 77,875 | -47,86545 | -48,2 |
| 63,008 | 6,43881 | 6,5 | 67,985 | 0,64433 | 0,5 | 72,977 | -2,22277 | -2,1 | 77,969 | -47,67465 | -47,4 |
| 63,086 | 9,74471 | 9,4 | 68,094 | 0,32300 | -0,2 | 73,071 | -2,20971 | -2,1 | 78,063 | -47,32228 | -44,2 |
| 63,196 | 12,72521 | 11,9 | 68,188 | -0,53836 | -0,6 | 73,180 | -2,21006 | -2,1 | 78,172 | -43,41100 | -39,6 |
| 63,289 | 15,31946 | 15,0 | 68,281 | -1,37189 | -1,0 | 73,273 | -2,20366 | -2,1 | 78,265 | -36,29839 | -33,5 |
| 63,398 | 17,67803 | 17,8 | 68,390 | -1,84246 | -1,4 | 73,383 | -2,18618 | -2,1 | 78,375 | -27,23223 | -28,0 |
| 63,492 | 19,85440 | 19,8 | 68,484 | -1,94253 | -1,8 | 73,476 | -2,18748 | -2,1 | 78,468 | -18,44576 | -20,9 |
| 63,586 | 22,18900 | 21,4 | 68,593 | -2,02452 | -2,1 | 73,570 | -2,17943 | -2,1 | 78,562 | -10,60099 | -13,9 |
| 63,695 | 24,15641 | 23,6 | 68,687 | -2,25699 | -2,3 | 73,679 | -2,18065 | -2,1 | 78,671 | -4,71332 | -8,2 |
| 63,788 | 25,94630 | 24,8 | 68,781 | -2,47973 | -2,3 | 73,773 | -2,16930 | -2,1 | 78,765 | -0,47062 | -4,9 |
| 63,898 | 27,20995 | 26,4 | 68,890 | -2,50823 | -2,5 | 73,882 | -2,16264 | -2,1 | 78,874 | 0,81194 | -2,6 |
| 63,991 | 28,88582 | 27,2 | 68,983 | -2,50145 | -2,6 | 73,975 | -2,14755 | -2,1 | 78,967 | -0,17661 | -1,5 |
| 64,085 | 28,97124 | 27,6 | 69,093 | -2,49935 | -2,5 | 74,069 | -2,14413 | -2,1 | 79,061 | -1,78104 | -1,1 |
| 64,194 | 28,81883 | 28,4 | 69,186 | -2,49085 | -2,5 | 74,178 | -2,13920 | -2,1 | 79,170 | -1,94847 | -1,2 |
| 64,288 | 28,55222 | 29,0 | 69,280 | -2,47756 | -2,5 | 74,272 | -2,12653 | -2,2 | 79,264 | -1,95110 | -1,7 |
| 64,397 | 27,75960 | 28,9 | 69,389 | -2,46805 | -2,4 | 74,381 | -2,11932 | -2,1 | 79,373 | -1,93890 | -1,9 |
| 64,490 | 27,47813 | 28,8 | 69,483 | -2,46995 | -2,5 | 74,475 | -2,11963 | -2,1 | 79,467 | -1,94062 | -1,9 |
| 64,584 | 27,52201 | 28,2 | 69,592 | -2,45728 | -2,4 | 74,568 | -2,10996 | -2,1 | 79,560 | -1,92936 | -1,9 |
| 64,693 | 27,45630 | 27,7 | 69,685 | -2,45082 | -2,4 | 74,677 | -2,10255 | -2,1 | 79,669 | -1,92945 | -1,9 |
| 64,787 | 27,09538 | 27,8 | 69,779 | -2,44888 | -2,4 | 74,771 | -2,08800 | -2,1 | 79,763 | -1,92155 | -1,9 |

Continuação

| Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device | Tempo | Nexus | Device |
|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|
| 79,872 | -1,90621 | -1,9 | 84,864 | 44,03223 | 41,6 | 89,841 | -0,63245 | -0,6 | 94,833 | -0,23393 | -0,2 |
| 79,966 | -1,91217 | -1,9 | 84,958 | 43,57533 | 38,0 | 89,950 | -0,60412 | -0,6 | 94,942 | -0,21883 | -0,2 |
| 80,059 | -1,89437 | -1,9 | 85,051 | 39,57665 | 34,0 | 90,043 | -0,61650 | -0,6 | 95,035 | -0,22117 | -0,2 |
| 80,169 | -1,89119 | -1,9 | 85,161 | 31,60944 | 28,1 | 90,153 | -0,60366 | -0,6 | 95,145 | -0,22148 | -0,2 |
| 80,262 | -1,89231 | -1,9 | 85,254 | 21,33621 | 21,8 | 90,246 | -0,59370 | -0,6 | 95,238 | -0,20292 | -0,2 |
| 80,371 | -1,88731 | -1,9 | 85,363 | 10,86505 | 14,9 | 90,355 | -0,57482 | -0,6 | 95,347 | -0,20722 | -0,2 |
| 80,465 | -1,88596 | -1,9 | 85,457 | 2,90449 | 9,0 | 90,449 | -0,58284 | -0,6 | 95,441 | -0,18600 | -0,2 |
| 80,559 | -1,86816 | -1,9 | 85,566 | -1,52178 | 4,6 | 90,543 | -0,56677 | -0,6 | 95,535 | -0,20819 | -0,2 |
| 80,668 | -1,85387 | -1,9 | 85,660 | -2,01427 | 1,1 | 90,652 | -0,58321 | -0,6 | 95,644 | -0,20362 | -0,2 |
| 80,761 | -1,84493 | -1,9 | 85,753 | -1,58800 | -0,7 | 90,745 | -0,54051 | -0,6 | 95,737 | -0,17031 | -0,2 |
| 80,871 | -1,84118 | -1,9 | 85,863 | -0,92266 | -1,2 | 90,855 | -0,54558 | -0,5 | 95,847 | -0,16859 | -0,2 |
| 80,964 | -1,84574 | -1,9 | 85,956 | -0,91722 | -1,1 | 90,948 | -0,52942 | -0,5 | 95,940 | -0,15086 | -0,2 |
| 81,058 | -1,83508 | -1,9 | 86,050 | -0,92367 | -1,0 | 91,042 | -0,52650 | -0,5 | 96,034 | -0,14678 | -0,2 |
| 81,167 | -1,83036 | -1,9 | 86,159 | -0,90682 | -0,9 | 91,151 | -0,50703 | -0,5 | 96,143 | -0,15361 | -0,1 |
| 81,261 | -1,82117 | -1,9 | 86,253 | -0,90879 | -0,9 | 91,245 | -0,50905 | -0,5 | 96,237 | -0,12322 | -0,1 |
| 81,370 | -1,81078 | -1,8 | 86,362 | -0,88733 | -0,9 | 91,354 | -0,50714 | -0,5 | 96,346 | -0,12638 | -0,1 |
| 81,463 | -1,80740 | -1,8 | 86,455 | -0,87217 | -0,9 | 91,447 | -0,50555 | -0,5 | 96,439 | -0,14056 | -0,1 |
| 81,573 | -1,79256 | -1,6 | 86,565 | -0,87669 | -0,9 | 91,541 | -0,51623 | -0,5 | 96,533 | -0,12013 | -0,1 |
| 81,666 | -1,79655 | -1,0 | 86,658 | -0,86058 | -0,9 | 91,650 | -0,49690 | -0,5 | 96,642 | -0,10535 | -0,1 |
| 81,760 | -1,77365 | 0,4 | 86,752 | -0,86236 | -0,9 | 91,744 | -0,47541 | -0,5 | 96,736 | -0,09347 | -0,1 |
| 81,869 | -0,73293 | 2,6 | 86,861 | -0,84964 | -0,9 | 91,837 | -0,45727 | -0,5 | 96,845 | -0,08880 | -0,1 |
| 81,963 | 2,53432 | 5,7 | 86,955 | -0,83467 | -0,9 | 91,947 | -0,46830 | -0,5 | 96,939 | -0,08170 | -0,1 |
| 82,056 | 7,36627 | 9,3 | 87,048 | -0,84588 | -0,8 | 92,040 | -0,45463 | -0,5 | 97,032 | -0,09487 | -0,1 |
| 82,165 | 12,62040 | 13,3 | 87,157 | -0,82625 | -0,8 | 92,149 | -0,45600 | -0,4 | 97,141 | -0,07963 | -0,1 |
| 82,259 | 17,80184 | 18,3 | 87,251 | -0,81829 | -0,8 | 92,243 | -0,44414 | -0,4 | 97,235 | -0,07309 | -0,1 |
| 82,368 | 22,54937 | 22,6 | 87,345 | -0,80503 | -0,8 | 92,337 | -0,40740 | -0,4 | 97,344 | -0,07922 | -0,1 |
| 82,462 | 27,62733 | 26,6 | 87,454 | -0,80662 | -0,8 | 92,446 | -0,43641 | -0,4 | 97,438 | -0,05467 | -0,1 |
| 82,555 | 32,11697 | 30,6 | 87,547 | -0,79792 | -0,8 | 92,539 | -0,41239 | -0,4 | 97,531 | -0,04062 | -0,1 |
| 82,665 | 35,49217 | 33,7 | 87,657 | -0,77489 | -0,8 | 92,649 | -0,42777 | -0,4 | 97,641 | -0,03630 | 0,0 |
| 82,758 | 37,97856 | 37,1 | 87,750 | -0,79826 | -0,8 | 92,742 | -0,40043 | -0,4 | 97,734 | -0,04737 | 0,0 |
| 82,867 | 40,26549 | 39,1 | 87,859 | -0,77675 | -0,8 | 92,851 | -0,38779 | -0,4 | 97,843 | -0,02608 | 0,0 |
| 82,961 | 42,09627 | 40,3 | 87,953 | -0,75863 | -0,8 | 92,945 | -0,38003 | -0,4 | 97,937 | -0,01011 | 0,0 |
| 83,055 | 43,39119 | 42,1 | 88,047 | -0,74088 | -0,7 | 93,039 | -0,36426 | -0,4 | 98,031 | -0,00611 | 0,0 |
| 83,164 | 43,32632 | 43,6 | 88,156 | -0,74110 | -0,7 | 93,148 | -0,38308 | -0,4 | 98,140 | 0,00864 | 0,0 |
| 83,257 | 43,90151 | 44,5 | 88,249 | -0,72048 | -0,7 | 93,241 | -0,36116 | -0,4 | 98,233 | -0,00544 | 0,0 |
| 83,367 | 43,63294 | 44,4 | 88,359 | -0,72746 | -0,7 | 93,351 | -0,33863 | -0,4 | 98,343 | 0,01121 | 0,0 |
| 83,460 | 43,96366 | 43,6 | 88,452 | -0,72077 | -0,7 | 93,444 | -0,35068 | -0,4 | 98,436 | 0,01671 | 0,0 |
| 83,554 | 43,50850 | 44,0 | 88,546 | -0,72770 | -0,7 | 93,538 | -0,33309 | -0,3 | 98,530 | 0,01995 | 0,0 |
| 83,663 | 43,80019 | 43,7 | 88,655 | -0,71411 | -0,7 | 93,647 | -0,32332 | -0,3 | 98,639 | 0,03198 | 0,0 |
| 83,757 | 44,02520 | 43,0 | 88,749 | -0,69775 | -0,7 | 93,741 | -0,31536 | -0,3 | 98,733 | 0,06297 | 0,1 |
| 83,866 | 43,90383 | 42,6 | 88,858 | -0,71138 | -0,7 | 93,850 | -0,32263 | -0,3 | 98,842 | 0,04764 | 0,1 |
| 83,959 | 43,71637 | 42,1 | 88,951 | -0,68198 | -0,7 | 93,943 | -0,31300 | -0,3 | 98,935 | 0,07069 | 0,1 |
| 84,053 | 43,64311 | 42,3 | 89,045 | -0,68419 | -0,7 | 94,037 | -0,31799 | -0,3 | 99,029 | 0,08255 | 0,1 |
| 84,162 | 43,79041 | 42,5 | 89,154 | -0,67165 | -0,7 | 94,146 | -0,29355 | -0,3 | 99,138 | 0,07794 | 0,1 |
| 84,256 | 43,66747 | 43,3 | 89,248 | -0,65683 | -0,7 | 94,240 | -0,29236 | -0,3 | 99,232 | 0,09434 | 0,1 |
| 84,365 | 43,89619 | 43,2 | 89,357 | -0,65902 | -0,7 | 94,349 | -0,29142 | -0,3 | 99,341 | 0,11705 | 0,1 |
| 84,459 | 43,47940 | 43,7 | 89,451 | -0,64196 | -0,7 | 94,443 | -0,28077 | -0,3 | 99,435 | 0,09170 | 0,1 |
| 84,552 | 43,88859 | 43,6 | 89,544 | -0,65016 | -0,7 | 94,536 | -0,26064 | -0,3 | 99,528 | 0,11068 | 0,1 |
| 84,661 | 43,81861 | 43,9 | 89,653 | -0,62665 | -0,6 | 94,645 | -0,25696 | -0,3 | 99,731 | 0,13671 | 0,1 |
| 84,755 | 43,96163 | 43,7 | 89,747 | -0,61009 | -0,6 | 94,739 | -0,25652 | -0,2 | 99,747 | 0,13632 | 0,1 |

APÊNDICE C - DADOS VECTONISTAGMOGRAFIA

| Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|
| 0,000 | 0,15 | 0,00 | 6,301 | -22,95 | -49,48 | 12,586 | 0,25 | 36,56 |
| 0,101 | 0,15 | 0,00 | 6,395 | -25,75 | -29,79 | 12,680 | 2,15 | 20,21 |
| 0,210 | 0,15 | 0,00 | 6,488 | -28,05 | -24,73 | 12,789 | 1,95 | -1,83 |
| 0,304 | 0,15 | 0,00 | 6,598 | -30,15 | -19,09 | 12,884 | 0,55 | -14,74 |
| 0,397 | 0,15 | 0,00 | 6,701 | -30,65 | -4,85 | 12,978 | 0,55 | 0,00 |
| 0,507 | 0,15 | 0,00 | 6,794 | -29,75 | 9,68 | 13,087 | 0,65 | 0,92 |
| 0,610 | 0,15 | 0,00 | 6,888 | -26,15 | 38,30 | 13,180 | 1,85 | 12,90 |
| 0,700 | 0,15 | 0,00 | 6,997 | -21,55 | 42,20 | 13,290 | 5,05 | 29,09 |
| 0,809 | 0,15 | 0,00 | 7,091 | -16,95 | 48,94 | 13,379 | 9,95 | 55,06 |
| 0,902 | 0,15 | 0,00 | 7,200 | -12,65 | 39,45 | 13,488 | 15,55 | 51,38 |
| 1,012 | 0,15 | 0,00 | 7,289 | -8,35 | 48,31 | 13,582 | 19,55 | 42,55 |
| 1,110 | 0,15 | 0,00 | 7,398 | -4,05 | 39,45 | 13,691 | 21,85 | 21,10 |
| 1,202 | 0,15 | 0,00 | 7,492 | -1,75 | 24,47 | 13,785 | 24,15 | 24,47 |
| 1,296 | 0,15 | 0,00 | 7,601 | -1,25 | 4,59 | 13,882 | 26,45 | 23,71 |
| 1,405 | 0,15 | 0,00 | 7,695 | 0,85 | 22,34 | 13,976 | 27,85 | 14,89 |
| 1,498 | 0,15 | 0,00 | 7,790 | 0,75 | -1,05 | 14,085 | 28,35 | 4,59 |
| 1,610 | 0,15 | 0,00 | 7,899 | 0,45 | -2,75 | 14,178 | 28,55 | 2,15 |
| 1,702 | 0,15 | 0,00 | 7,992 | 0,45 | 0,00 | 14,288 | 28,65 | 0,91 |
| 1,795 | 0,15 | 0,00 | 8,086 | 2,55 | 22,34 | 14,382 | 27,85 | -8,51 |
| 1,905 | 0,15 | 0,00 | 8,195 | 6,75 | 38,53 | 14,476 | 24,05 | -40,43 |
| 1,998 | 0,15 | 0,00 | 8,285 | 12,85 | 67,78 | 14,585 | 18,85 | -47,71 |
| 2,107 | 0,15 | 0,00 | 8,394 | 17,95 | 46,79 | 14,679 | 13,45 | -57,45 |
| 2,205 | 0,15 | 0,00 | 8,487 | 20,65 | 29,03 | 14,788 | 8,25 | -47,71 |
| 2,298 | 0,15 | 0,00 | 8,597 | 23,45 | 25,45 | 14,889 | 3,95 | -42,57 |
| 2,408 | 0,15 | 0,00 | 8,690 | 27,15 | 39,78 | 14,987 | 1,35 | -26,53 |
| 2,501 | 0,15 | 0,00 | 8,785 | 28,05 | 9,47 | 15,080 | 0,45 | -9,68 |
| 2,595 | 0,15 | 0,00 | 8,894 | 28,15 | 0,92 | 15,189 | 0,05 | -3,67 |
| 2,705 | 0,15 | 0,00 | 8,988 | 28,15 | 0,00 | 15,283 | -0,25 | -3,19 |
| 2,799 | 0,15 | 0,00 | 9,097 | 28,15 | 0,00 | 15,387 | -0,25 | 0,00 |
| 2,908 | 0,15 | 0,00 | 9,191 | 27,35 | -8,51 | 15,487 | -0,25 | 0,00 |
| 3,002 | 0,15 | 0,00 | 9,296 | 24,25 | -29,52 | 15,581 | -0,65 | -4,26 |
| 3,095 | 0,15 | 0,00 | 9,389 | 19,45 | -51,61 | 15,674 | -5,05 | -47,31 |
| 3,206 | 0,15 | 0,00 | 9,483 | 13,35 | -64,89 | 15,783 | -10,05 | -45,87 |
| 3,299 | 0,15 | 0,00 | 9,592 | 8,55 | -44,04 | 15,887 | -15,75 | -54,81 |
| 3,393 | 0,15 | 0,00 | 9,686 | 4,45 | -43,62 | 15,988 | -19,85 | -40,59 |
| 3,502 | 0,15 | 0,00 | 9,796 | 2,55 | -17,27 | 16,081 | -23,05 | -34,41 |
| 3,596 | 0,35 | 2,13 | 9,892 | 0,75 | -18,75 | 16,175 | -25,95 | -30,85 |
| 3,701 | 3,95 | 34,29 | 9,986 | -0,55 | -13,83 | 16,284 | -28,45 | -22,94 |
| 3,794 | 11,75 | 83,87 | 10,095 | -0,05 | 4,59 | 16,378 | -28,95 | -5,32 |
| 3,904 | 18,05 | 57,27 | 10,189 | -0,05 | 0,00 | 16,482 | -28,75 | 1,92 |
| 3,997 | 20,75 | 29,03 | 10,297 | -0,05 | 0,00 | 16,576 | -27,85 | 9,57 |
| 4,106 | 23,45 | 24,77 | 10,393 | -0,05 | 0,00 | 16,685 | -24,05 | 34,86 |
| 4,192 | 26,75 | 38,37 | 10,486 | -0,65 | -6,45 | 16,779 | -19,05 | 53,19 |
| 4,301 | 28,45 | 15,60 | 10,595 | -4,45 | -34,86 | 16,872 | -14,05 | 53,76 |
| 4,395 | 28,75 | 3,19 | 10,689 | -8,65 | -44,68 | 16,983 | -8,95 | 45,95 |
| 4,504 | 28,75 | 0,00 | 10,795 | -12,95 | -40,57 | 17,077 | -5,95 | 31,91 |
| 4,597 | 27,95 | -8,60 | 10,893 | -16,55 | -36,73 | 17,186 | -2,75 | 29,36 |
| 4,705 | 22,85 | -47,22 | 10,987 | -19,95 | -36,17 | 17,279 | 0,25 | 32,26 |
| 4,795 | 17,85 | -55,56 | 11,096 | -23,25 | -30,28 | 17,373 | 0,45 | 2,13 |
| 4,904 | 12,85 | -45,87 | 11,190 | -26,15 | -30,85 | 17,478 | 0,25 | -1,90 |
| 4,998 | 9,35 | -37,23 | 11,296 | -27,55 | -13,21 | 17,571 | -0,25 | -5,38 |
| 5,091 | 6,85 | -26,88 | 11,388 | -28,65 | -11,96 | 17,681 | -0,25 | 0,00 |
| 5,204 | 3,95 | -25,66 | 11,482 | -29,65 | -10,64 | 17,774 | -0,15 | 1,08 |
| 5,290 | 0,95 | -34,88 | 11,591 | -29,65 | 0,00 | 17,883 | -0,15 | 0,00 |
| 5,399 | 0,85 | -0,92 | 11,684 | -29,65 | 0,00 | 17,981 | -0,15 | 0,00 |
| 5,492 | 0,85 | 0,00 | 11,794 | -29,65 | 0,00 | 18,074 | -0,15 | 0,00 |
| 5,602 | 0,45 | -3,64 | 11,889 | -28,45 | 12,63 | 18,184 | -0,15 | 0,00 |
| 5,690 | 0,45 | 0,00 | 11,982 | -26,15 | 24,73 | 18,277 | -0,15 | 0,00 |
| 5,799 | 0,45 | 0,00 | 12,091 | -21,35 | 44,04 | 18,371 | -0,15 | 0,00 |
| 5,892 | -2,85 | -35,48 | 12,185 | -16,05 | 56,38 | 18,481 | -0,15 | 0,00 |
| 6,002 | -8,55 | -51,82 | 12,279 | -10,55 | 58,51 | 18,575 | -0,15 | 0,00 |
| 6,095 | -13,15 | -49,46 | 12,384 | -5,75 | 45,71 | 18,669 | -0,15 | 0,00 |
| 6,204 | -18,15 | -45,87 | 12,493 | -3,15 | 23,85 | 18,778 | -0,15 | 0,00 |

APÊNDICE D - DADOS IMPULSO CEFÁLICO

| Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|
| 0,000 | 0,00 | 0,00 | 6,092 | -0,10 | 0,00 |
| 0,093 | 0,00 | 0,00 | 6,185 | -0,10 | 0,00 |
| 0,187 | 0,00 | 0,00 | 6,279 | -0,10 | 0,00 |
| 0,296 | 0,00 | 0,00 | 6,388 | -0,10 | 0,00 |
| 0,385 | 0,00 | 0,00 | 6,482 | -0,10 | 0,00 |
| 0,494 | 0,00 | 0,00 | 6,576 | -0,10 | 0,00 |
| 0,588 | 0,00 | 0,00 | 6,685 | -0,10 | 0,00 |
| 0,697 | 0,00 | 0,00 | 6,779 | -0,10 | 0,00 |
| 0,791 | 0,00 | 0,00 | 6,888 | -0,10 | 0,00 |
| 0,888 | 0,00 | 0,00 | 6,985 | -0,10 | 0,00 |
| 0,997 | 0,00 | 0,00 | 7,079 | -0,10 | 0,00 |
| 1,091 | 0,00 | 0,00 | 7,188 | -0,10 | 0,00 |
| 1,185 | 0,00 | 0,00 | 7,282 | -0,60 | -5,32 |
| 1,294 | 0,00 | 0,00 | 7,375 | -2,30 | -18,28 |
| 1,389 | 0,00 | 0,00 | 7,486 | -5,20 | -26,13 |
| 1,498 | 0,00 | 0,00 | 7,580 | -8,50 | -35,11 |
| 1,592 | 0,00 | 0,00 | 7,689 | -10,50 | -18,35 |
| 1,685 | 0,40 | 4,30 | 7,782 | -10,00 | 5,38 |
| 1,794 | 2,00 | 14,68 | 7,876 | -8,30 | 18,09 |
| 1,890 | 4,50 | 26,04 | 7,987 | -5,70 | 23,42 |
| 1,983 | 8,00 | 37,63 | 8,074 | -2,80 | 33,33 |
| 2,093 | 11,70 | 33,64 | 8,184 | 0,20 | 27,27 |
| 2,186 | 10,30 | -15,05 | 8,277 | 3,30 | 33,33 |
| 2,295 | 6,00 | -39,45 | 8,386 | 6,90 | 33,03 |
| 2,395 | 2,50 | -35,00 | 8,488 | 9,50 | 25,49 |
| 2,494 | -0,60 | -31,31 | 8,581 | 10,10 | 6,45 |
| 2,588 | -3,60 | -31,91 | 8,675 | 8,10 | -21,28 |
| 2,697 | -6,10 | -22,94 | 8,784 | 5,10 | -27,52 |
| 2,790 | -8,10 | -21,51 | 8,878 | 1,30 | -40,43 |
| 2,891 | -9,60 | -14,85 | 8,987 | -2,30 | -33,03 |
| 2,985 | -9,60 | 0,00 | 9,086 | -5,30 | -30,30 |
| 3,094 | -6,60 | 27,52 | 9,180 | -8,10 | -29,79 |
| 3,188 | -3,30 | 35,11 | 9,273 | -9,70 | -17,20 |
| 3,313 | -0,50 | 22,40 | 9,382 | -9,60 | 0,92 |
| 3,395 | 3,00 | 42,68 | 9,476 | -7,30 | 24,47 |
| 3,490 | 6,60 | 37,89 | 9,586 | -4,10 | 29,09 |
| 3,584 | 9,10 | 26,60 | 9,680 | -0,90 | 34,04 |
| 3,693 | 9,70 | 5,50 | 9,773 | 2,00 | 31,18 |
| 3,786 | 6,40 | -35,48 | 9,882 | 4,60 | 23,85 |
| 3,895 | 3,30 | -28,44 | 9,976 | 7,90 | 35,11 |
| 3,990 | -0,70 | -42,11 | 10,071 | 10,30 | 25,26 |
| 4,083 | -4,70 | -43,01 | 10,180 | 10,00 | -2,75 |
| 4,193 | -7,70 | -27,27 | 10,274 | 7,10 | -30,85 |
| 4,286 | -9,40 | -18,28 | 10,383 | 3,30 | -34,86 |
| 4,380 | -9,90 | -5,32 | 10,476 | 0,10 | -34,41 |
| 4,490 | -8,50 | 12,73 | 10,574 | -2,70 | -28,57 |
| 4,584 | -4,90 | 38,30 | 10,683 | -5,90 | -29,36 |
| 4,693 | -1,00 | 35,78 | 10,777 | -9,30 | -36,17 |
| 4,787 | 2,70 | 39,36 | 10,870 | -9,70 | -4,30 |
| 4,880 | 6,30 | 38,71 | 10,979 | 2,10 | 108,26 |
| 4,985 | 9,10 | 26,67 | 11,074 | 0,00 | -22,11 |
| 5,079 | 9,50 | 4,26 | 11,184 | -0,20 | -1,82 |
| 5,188 | 1,10 | -77,06 | 11,277 | -0,10 | 1,08 |
| 5,282 | -1,50 | -27,66 | 11,371 | -0,10 | 0,00 |
| 5,391 | -0,60 | 8,26 | 11,480 | -0,10 | 0,00 |
| 5,488 | -0,20 | 4,12 | 11,575 | 0,00 | 1,05 |
| 5,582 | -0,10 | 1,06 | 11,668 | 0,00 | 0,00 |
| 5,691 | -0,10 | 0,00 | 11,778 | 0,00 | 0,00 |
| 5,785 | -0,10 | 0,00 | 11,871 | 0,00 | 0,00 |
| 5,878 | -0,10 | 0,00 | 11,980 | 0,00 | 0,00 |
| 5,983 | -0,10 | 0,00 | 12,070 | 0,00 | 0,00 |

APÊNDICE E - DADOS HEAD SHAKING INDUCED NYSTAGMUS

| Tempo (s) | Posição X (°) | Posição Y (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição X (°) | Posição Y (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|---------------|---------------|------------------|-----------|---------------|---------------|------------------|
| 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,492 | -0,60 | 18,30 | 0,00 |
| 0,094 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 5,601 | -0,60 | 18,40 | 0,00 |
| 0,203 | 0,10 | 0,10 | 0,92 | 5,694 | -0,60 | 18,40 | 0,00 |
| 0,297 | 0,00 | 0,00 | -1,06 | 5,788 | -0,60 | 18,40 | 0,00 |
| 0,406 | 0,00 | -0,10 | 0,00 | 5,897 | -0,60 | 18,50 | 0,00 |
| 0,500 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,991 | -0,60 | 18,50 | 0,00 |
| 0,609 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,100 | -0,60 | 18,50 | 0,00 |
| 0,702 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,194 | -0,60 | 18,50 | 0,00 |
| 0,796 | 0,00 | 0,10 | 0,00 | 6,287 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 0,905 | -0,10 | 0,10 | -0,92 | 6,396 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 0,999 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 6,490 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 1,108 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 6,599 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 1,202 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 6,693 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 1,295 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 6,786 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 1,404 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 6,896 | -0,60 | 18,60 | 0,00 |
| 1,498 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 6,989 | -0,70 | 18,60 | -1,08 |
| 1,607 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 7,098 | -11,90 | 17,40 | -102,75 |
| 1,701 | -0,10 | 0,10 | 0,00 | 7,192 | -24,40 | 16,00 | -132,98 |
| 1,794 | -0,10 | 0,10 | 0,00 | 7,286 | -25,60 | 16,10 | -12,77 |
| 1,904 | -0,10 | 0,10 | 0,00 | 7,395 | -25,60 | 16,30 | 0,00 |
| 1,997 | -0,10 | 0,10 | 0,00 | 7,488 | -24,40 | 16,50 | 12,90 |
| 2,106 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 7,598 | -10,40 | 18,30 | 127,27 |
| 2,200 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 7,691 | 8,60 | 20,50 | 204,30 |
| 2,294 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 7,785 | 20,50 | 21,70 | 126,60 |
| 2,403 | -0,10 | 0,20 | 0,00 | 7,894 | 30,10 | 21,50 | 88,07 |
| 2,496 | -0,10 | 0,30 | 0,00 | 7,988 | 32,10 | 21,60 | 21,28 |
| 2,606 | -0,20 | 0,30 | -0,91 | 8,097 | 28,40 | 21,70 | -33,94 |
| 2,699 | -0,20 | 0,30 | 0,00 | 8,190 | 10,80 | 19,70 | -189,25 |
| 2,793 | -0,20 | 0,30 | 0,00 | 8,284 | -8,20 | 17,50 | -202,13 |
| 2,902 | -0,30 | 0,40 | -0,92 | 8,393 | -24,60 | 15,90 | -150,46 |
| 2,996 | -0,30 | 0,50 | 0,00 | 8,487 | -29,80 | 15,50 | -55,32 |
| 3,105 | -0,60 | 0,50 | -2,75 | 8,596 | -30,90 | 15,70 | -10,09 |
| 3,198 | -0,80 | 0,70 | -2,15 | 8,690 | -25,60 | 16,40 | 56,38 |
| 3,292 | -0,60 | 1,40 | 2,13 | 8,783 | -16,00 | 17,50 | 103,23 |
| 3,401 | -0,80 | 2,60 | -1,83 | 8,892 | -6,30 | 18,80 | 88,99 |
| 3,495 | -1,20 | 4,30 | -4,26 | 8,986 | 6,90 | 20,20 | 140,43 |
| 3,604 | -1,30 | 6,00 | -0,92 | 9,095 | 14,20 | 20,90 | 66,97 |
| 3,698 | -1,20 | 7,80 | 1,06 | 9,189 | 20,20 | 21,40 | 63,83 |
| 3,791 | -1,70 | 10,20 | -5,38 | 9,282 | 20,00 | 21,10 | -2,15 |
| 3,900 | -2,20 | 13,10 | -4,59 | 9,392 | 10,50 | 20,00 | -86,36 |
| 3,994 | -1,80 | 16,20 | 4,26 | 9,485 | -4,40 | 18,20 | -160,22 |
| 4,103 | -1,50 | 19,30 | 2,75 | 9,594 | -21,60 | 16,40 | -157,80 |
| 4,197 | -1,50 | 21,90 | 0,00 | 9,688 | -26,40 | 16,10 | -51,06 |
| 4,290 | -1,00 | 19,70 | 5,38 | 9,782 | -27,60 | 16,10 | -12,77 |
| 4,400 | -0,60 | 18,00 | 3,64 | 9,891 | -27,30 | 16,30 | 2,75 |
| 4,493 | -0,50 | 17,90 | 1,08 | 9,984 | -16,90 | 17,50 | 111,83 |
| 4,602 | -0,50 | 17,90 | 0,00 | 10,094 | -1,00 | 19,40 | 144,55 |
| 4,696 | -0,50 | 17,80 | 0,00 | 10,187 | 10,70 | 20,80 | 125,81 |
| 4,790 | -0,50 | 17,90 | 0,00 | 10,281 | 25,70 | 21,80 | 159,57 |
| 4,899 | -0,50 | 18,00 | 0,00 | 10,390 | 30,80 | 21,70 | 46,79 |
| 4,992 | -0,50 | 18,10 | 0,00 | 10,484 | 30,80 | 21,90 | 0,00 |
| 5,102 | -0,50 | 18,10 | 0,00 | 10,593 | 27,60 | 21,50 | -29,36 |
| 5,195 | -0,50 | 18,20 | 0,00 | 10,686 | 14,80 | 20,00 | -137,63 |
| 5,289 | -0,60 | 18,20 | -1,06 | 10,780 | 2,30 | 18,50 | -132,98 |
| 5,398 | -0,60 | 18,30 | 0,00 | 10,889 | -11,40 | 17,00 | -125,69 |

Continuação

| Tempo (s) | Posição X (°) | Posição Y (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição X (°) | Posição Y (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|---------------|---------------|------------------|-----------|---------------|---------------|------------------|
| 10,983 | -19,60 | 16,30 | -87,23 | 16,474 | 17,70 | 20,60 | 203,19 |
| 11,092 | -19,80 | 16,50 | -1,83 | 16,583 | 29,40 | 21,90 | 107,34 |
| 11,186 | -17,80 | 16,80 | 21,28 | 16,677 | 30,30 | 21,20 | 9,57 |
| 11,279 | -2,70 | 18,50 | 162,37 | 16,770 | 31,30 | 21,70 | 10,75 |
| 11,388 | 14,00 | 20,50 | 153,21 | 16,880 | 33,90 | 21,50 | 23,64 |
| 11,482 | 22,80 | 21,40 | 93,62 | 16,973 | 16,40 | 19,60 | -188,17 |
| 11,591 | 30,60 | 21,90 | 71,56 | 17,082 | -0,90 | 17,20 | -158,72 |
| 11,685 | 31,90 | 21,80 | 13,83 | 17,176 | -18,40 | 16,10 | -186,17 |
| 11,778 | 30,30 | 21,40 | -17,20 | 17,270 | -23,10 | 15,80 | -50,00 |
| 11,888 | 18,40 | 20,00 | -108,18 | 17,379 | -23,00 | 15,70 | 0,92 |
| 11,981 | 1,10 | 17,90 | -186,02 | 17,472 | -17,30 | 16,60 | 61,29 |
| 12,090 | -19,20 | 15,90 | -186,24 | 17,582 | -2,50 | 18,30 | 134,55 |
| 12,184 | -23,60 | 15,60 | -46,81 | 17,675 | 17,40 | 20,50 | 213,98 |
| 12,278 | -24,10 | 15,80 | -5,32 | 17,769 | 28,40 | 21,70 | 117,02 |
| 12,387 | -23,90 | 15,90 | 1,83 | 17,878 | 29,60 | 21,40 | 11,01 |
| 12,480 | -13,80 | 17,10 | 108,60 | 17,972 | 33,00 | 21,60 | 36,17 |
| 12,590 | 7,70 | 19,40 | 195,45 | 18,081 | 31,10 | 21,90 | -17,43 |
| 12,683 | 17,70 | 20,80 | 107,53 | 18,174 | 27,00 | 20,60 | -44,09 |
| 12,777 | 29,50 | 22,00 | 125,53 | 18,268 | 6,20 | 18,20 | -221,28 |
| 12,886 | 31,20 | 21,60 | 15,60 | 18,377 | -16,70 | 15,60 | -210,09 |
| 12,980 | 23,10 | 20,70 | -86,17 | 18,471 | -24,20 | 15,30 | -79,79 |
| 13,089 | 7,70 | 18,90 | -141,28 | 18,580 | -23,80 | 15,60 | 3,67 |
| 13,182 | -5,70 | 16,80 | -144,09 | 18,674 | -16,80 | 16,30 | 74,47 |
| 13,276 | -19,60 | 16,10 | -147,87 | 18,767 | 0,20 | 18,40 | 182,80 |
| 13,385 | -22,80 | 15,80 | -29,36 | 18,876 | 9,40 | 19,30 | 84,40 |
| 13,479 | -22,80 | 15,90 | 0,00 | 18,970 | 14,20 | 19,90 | 51,06 |
| 13,588 | -20,60 | 16,20 | 20,18 | 19,079 | 14,10 | 19,70 | -0,92 |
| 13,682 | 0,10 | 18,80 | 220,21 | 19,173 | 12,50 | 19,50 | -17,02 |
| 13,775 | 17,20 | 20,40 | 183,87 | 19,266 | 7,80 | 19,00 | -50,54 |
| 13,884 | 27,40 | 21,80 | 93,58 | 19,376 | 5,30 | 18,60 | -22,73 |
| 13,978 | 30,60 | 21,40 | 34,04 | 19,469 | 1,90 | 18,30 | -36,56 |
| 14,087 | 30,60 | 21,60 | 0,00 | 19,578 | 0,60 | 18,20 | -11,93 |
| 14,181 | 29,70 | 21,20 | -9,57 | 19,672 | 0,60 | 18,30 | 0,00 |
| 14,274 | 10,00 | 18,90 | -211,83 | 19,875 | 0,60 | 18,30 | 0,00 |
| 14,384 | -8,00 | 16,50 | -163,64 | 19,968 | 0,30 | 18,30 | -3,23 |
| 14,477 | -19,60 | 15,70 | -124,73 | 20,078 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 14,586 | -29,90 | 15,10 | -94,50 | 20,171 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 14,680 | -31,00 | 14,90 | -11,70 | 20,265 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 14,774 | -30,80 | 15,40 | 2,13 | 20,374 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 14,883 | -20,90 | 16,50 | 90,83 | 20,468 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 14,976 | -1,50 | 18,70 | 208,60 | 20,577 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 15,086 | 9,90 | 19,80 | 103,64 | 20,670 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 15,179 | 23,70 | 21,60 | 148,39 | 20,764 | 0,30 | 18,40 | 0,00 |
| 15,273 | 25,10 | 21,80 | 14,89 | 20,873 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,382 | 33,00 | 21,10 | 72,48 | 20,967 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,476 | 30,70 | 21,80 | -24,47 | 21,076 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,585 | 27,10 | 20,90 | -33,03 | 21,170 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,678 | 4,30 | 18,10 | -245,16 | 21,263 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,772 | -13,70 | 16,10 | -191,49 | 21,372 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,881 | -19,70 | 15,80 | -55,05 | 21,466 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 15,975 | -25,30 | 15,60 | -59,57 | 21,575 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 16,084 | -28,40 | 15,50 | -28,44 | 21,669 | 0,30 | 18,50 | 0,00 |
| 16,178 | -28,40 | 15,60 | 0,00 | 21,762 | 0,20 | 18,90 | -1,08 |
| 16,271 | -16,80 | 17,00 | 124,73 | 21,872 | 0,20 | 19,10 | 0,00 |
| 16,380 | -1,40 | 18,70 | 141,28 | 21,965 | 0,30 | 19,50 | 1,08 |

Continuação...

| Tempo (s) | Posição X (°) | Posição Y (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|---------------|---------------|------------------|
| 22,074 | 0,80 | 20,30 | 4,59 |
| 22,168 | 0,80 | 21,20 | 0,00 |
| 22,262 | 0,70 | 21,80 | -1,06 |
| 22,371 | 0,70 | 20,90 | 0,00 |
| 22,464 | 0,50 | 19,90 | -2,15 |
| 22,574 | 0,00 | 18,20 | -4,55 |
| 22,667 | -0,50 | 16,40 | -5,38 |
| 22,761 | -1,00 | 14,90 | -5,32 |
| 22,870 | -1,30 | 13,70 | -2,75 |
| 22,964 | -1,60 | 12,70 | -3,19 |
| 23,073 | -1,80 | 11,60 | -1,83 |
| 23,166 | -1,70 | 10,50 | 1,08 |
| 23,260 | -2,10 | 9,30 | -4,26 |
| 23,369 | -2,10 | 8,10 | 0,00 |
| 23,463 | -2,50 | 6,80 | -4,26 |
| 23,572 | -2,60 | 5,30 | -0,92 |
| 23,666 | -2,10 | 3,90 | 5,32 |
| 23,759 | -2,20 | 2,80 | -1,08 |
| 23,868 | -2,30 | 1,90 | -0,92 |
| 23,962 | -2,30 | 0,80 | 0,00 |
| 24,071 | -2,50 | -0,20 | -1,83 |
| 24,165 | -2,50 | -1,10 | 0,00 |
| 24,258 | -2,40 | -1,60 | 1,08 |
| 24,368 | -2,20 | -2,00 | 1,82 |
| 24,461 | -2,00 | -2,20 | 2,15 |
| 24,570 | -2,00 | -2,40 | 0,00 |
| 24,664 | -2,10 | -2,70 | -1,06 |
| 24,758 | -1,90 | -2,80 | 2,13 |
| 24,867 | -1,90 | -2,80 | 0,00 |
| 24,960 | -2,00 | -2,80 | -1,08 |
| 25,070 | -2,00 | -2,90 | 0,00 |
| 25,163 | -2,00 | -3,00 | 0,00 |
| 25,257 | -2,10 | -2,80 | -1,06 |
| 25,366 | -1,90 | -2,60 | 1,83 |
| 25,460 | -1,80 | -2,60 | 1,06 |
| 25,569 | -1,80 | -2,60 | 0,00 |
| 25,662 | -1,80 | -2,50 | 0,00 |
| 25,756 | -1,80 | -2,40 | 0,00 |
| 25,865 | -1,90 | -2,40 | -0,92 |
| 25,959 | -2,00 | -2,50 | -1,06 |
| 26,068 | -2,00 | -2,50 | 0,00 |
| 26,162 | -2,00 | -2,40 | 0,00 |
| 26,255 | -2,00 | -2,40 | 0,00 |
| 26,364 | -2,00 | -2,50 | 0,00 |
| 26,458 | -2,10 | -2,70 | -1,06 |
| 26,567 | -2,10 | -2,60 | 0,00 |
| 26,661 | -2,10 | -2,50 | 0,00 |
| 26,754 | -2,10 | -2,50 | 0,00 |
| 26,864 | -2,00 | -2,30 | 0,91 |

APÊNDICE F - DADOS VIDEONISTAGMOGRAFIA

| Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|
| 0,000 | 0,10 | 0,00 | 5,481 | 0,50 | 0,00 | 10,973 | -5,40 | 23,66 |
| 0,094 | 0,10 | 0,00 | 5,591 | 0,50 | 0,00 | 11,078 | -3,30 | 20,00 |
| 0,203 | 0,10 | 0,00 | 5,684 | 1,50 | 10,75 | 11,187 | -2,00 | 11,93 |
| 0,304 | 0,10 | 0,00 | 5,793 | 4,30 | 25,69 | 11,281 | -0,70 | 13,83 |
| 0,401 | 0,00 | -1,03 | 5,887 | 8,10 | 40,43 | 11,374 | 0,20 | 9,68 |
| 0,495 | -0,10 | -1,06 | 5,982 | 12,20 | 43,16 | 11,484 | 0,40 | 1,82 |
| 0,589 | -0,80 | -7,45 | 6,091 | 16,00 | 34,86 | 11,579 | 0,40 | 0,00 |
| 0,698 | -0,80 | 0,00 | 6,185 | 19,70 | 39,36 | 11,672 | 0,40 | 0,00 |
| 0,791 | -0,80 | 0,00 | 6,294 | 23,40 | 33,94 | 11,781 | 0,40 | 0,00 |
| 0,889 | -0,80 | 0,00 | 6,388 | 26,30 | 30,85 | 11,875 | -0,10 | -5,32 |
| 0,998 | -0,30 | 4,59 | 6,492 | 27,80 | 14,42 | 11,984 | -0,30 | -1,83 |
| 1,092 | -0,10 | 2,13 | 6,586 | 29,00 | 12,77 | 12,080 | -0,30 | 0,00 |
| 1,201 | -0,10 | 0,00 | 6,680 | 30,10 | 11,70 | 12,173 | -0,30 | 0,00 |
| 1,294 | -0,10 | 0,00 | 6,789 | 29,90 | -1,83 | 12,282 | 1,00 | 11,93 |
| 1,399 | -0,10 | 0,00 | 6,882 | 27,60 | -24,73 | 12,376 | 3,60 | 27,66 |
| 1,492 | -0,10 | 0,00 | 6,993 | 25,40 | -19,82 | 12,470 | 5,80 | 23,40 |
| 1,602 | -0,10 | 0,00 | 7,087 | 22,80 | -27,66 | 12,583 | 9,00 | 28,32 |
| 1,695 | -0,10 | 0,00 | 7,180 | 20,20 | -27,96 | 12,684 | 12,80 | 37,62 |
| 1,789 | -0,10 | 0,00 | 7,289 | 17,40 | -25,69 | 12,777 | 15,90 | 33,33 |
| 1,899 | -0,10 | 0,00 | 7,383 | 15,00 | -25,53 | 12,871 | 18,60 | 28,72 |
| 1,992 | -0,10 | 0,00 | 7,478 | 12,10 | -30,53 | 12,980 | 21,30 | 24,77 |
| 2,101 | -0,10 | 0,00 | 7,588 | 9,10 | -27,27 | 13,083 | 23,40 | 20,39 |
| 2,195 | -0,10 | 0,00 | 7,681 | 6,30 | -30,11 | 13,184 | 25,40 | 19,80 |
| 2,289 | -0,10 | 0,00 | 7,790 | 3,60 | -24,77 | 13,278 | 27,70 | 24,47 |
| 2,399 | -0,10 | 0,00 | 7,884 | 1,70 | -20,21 | 13,371 | 28,30 | 6,45 |
| 2,493 | -0,10 | 0,00 | 7,992 | 0,10 | -14,81 | 13,481 | 28,90 | 5,45 |
| 2,586 | -0,10 | 0,00 | 8,083 | -1,00 | -12,09 | 13,582 | 29,80 | 8,91 |
| 2,696 | -0,10 | 0,00 | 8,192 | -1,00 | 0,00 | 13,679 | 29,80 | 0,00 |
| 2,789 | -0,10 | 0,00 | 8,285 | -0,60 | 4,30 | 13,773 | 29,40 | -4,26 |
| 2,894 | -0,10 | 0,00 | 8,379 | 0,30 | 9,57 | 13,882 | 27,70 | -15,60 |
| 2,988 | -0,10 | 0,00 | 8,480 | 0,40 | 0,99 | 13,976 | 24,30 | -36,17 |
| 3,097 | -0,40 | -2,75 | 8,589 | 0,40 | 0,00 | 14,069 | 20,90 | -36,56 |
| 3,190 | -2,00 | -17,20 | 8,683 | 0,30 | -1,06 | 14,180 | 16,70 | -37,84 |
| 3,284 | -4,30 | -24,47 | 8,776 | -1,10 | -15,05 | 14,273 | 12,80 | -41,94 |
| 3,397 | -8,50 | -37,17 | 8,886 | -3,40 | -20,91 | 14,382 | 8,70 | -37,61 |
| 3,584 | -13,50 | -26,74 | 8,989 | -6,30 | -28,16 | 14,476 | 5,00 | -39,36 |
| 3,600 | -16,70 | -200,00 | 9,085 | -9,40 | -32,29 | 14,570 | 2,90 | -22,34 |
| 3,693 | -19,20 | -26,88 | 9,178 | -13,40 | -43,01 | 14,675 | 0,50 | -22,86 |
| 3,787 | -22,60 | -36,17 | 9,288 | -16,20 | -25,45 | 14,768 | -0,40 | -9,68 |
| 3,898 | -25,30 | -24,32 | 9,381 | -18,10 | -20,43 | 14,877 | -0,40 | 0,00 |
| 3,991 | -27,20 | -20,43 | 9,490 | -20,10 | -18,35 | 14,971 | -0,40 | 0,00 |
| 4,085 | -29,20 | -21,28 | 9,580 | -22,40 | -25,56 | 15,080 | -0,10 | 2,75 |
| 4,194 | -29,50 | -2,75 | 9,689 | -24,50 | -19,27 | 15,171 | -0,10 | 0,00 |
| 4,288 | -27,70 | 19,15 | 9,782 | -25,30 | -8,60 | 15,281 | -0,10 | 0,00 |
| 4,396 | -24,60 | 28,70 | 9,876 | -26,60 | -13,83 | 15,374 | -0,40 | -3,23 |
| 4,486 | -20,80 | 42,22 | 9,985 | -28,00 | -12,84 | 15,468 | -2,30 | -20,21 |
| 4,595 | -16,50 | 39,45 | 10,083 | -28,80 | -8,16 | 15,577 | -5,20 | -26,61 |
| 4,689 | -13,10 | 36,17 | 10,176 | -28,80 | 0,00 | 15,671 | -8,80 | -38,30 |
| 4,782 | -9,90 | 34,41 | 10,285 | -28,50 | 2,75 | 15,765 | -12,80 | -42,55 |
| 4,897 | -7,30 | 22,61 | 10,379 | -26,50 | 21,28 | 15,874 | -16,20 | -31,19 |
| 4,987 | -4,90 | 26,67 | 10,488 | -22,90 | 33,03 | 15,968 | -19,00 | -29,79 |
| 5,096 | -2,80 | 19,27 | 10,583 | -18,60 | 45,26 | 16,077 | -21,60 | -23,85 |
| 5,189 | -1,70 | 11,83 | 10,677 | -14,50 | 43,62 | 16,172 | -24,10 | -26,32 |
| 5,283 | -0,20 | 15,96 | 10,786 | -10,90 | 33,03 | 16,265 | -26,00 | -20,43 |
| 5,392 | 0,50 | 6,42 | 10,880 | -7,60 | 35,11 | 16,375 | -27,20 | -10,91 |

Continuação

| Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) | Tempo (s) | Posição (°) | Velocidade (°/s) |
|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|
| 16,375 | -27,20 | -10,91 | 21,861 | 0,40 | 0,00 |
| 16,468 | -28,00 | -8,60 | 21,954 | 0,10 | -3,23 |
| 16,577 | -29,00 | -9,17 | 22,064 | 0,10 | 0,00 |
| 16,678 | -29,10 | -0,99 | 22,157 | 0,10 | 0,00 |
| 16,776 | -29,00 | 1,02 | 22,269 | 0,10 | 0,00 |
| 16,869 | -29,00 | 0,00 | 22,356 | 0,10 | 0,00 |
| 16,963 | -29,00 | 0,00 | 22,465 | 0,00 | -0,92 |
| 17,072 | -29,00 | 0,00 | 22,558 | 0,00 | 0,00 |
| 17,176 | -29,00 | 0,00 | 22,668 | 0,00 | 0,00 |
| 17,276 | -28,10 | 9,00 | 22,761 | 0,00 | 0,00 |
| 17,370 | -25,70 | 25,53 | 22,856 | 0,10 | 1,05 |
| 17,464 | -22,50 | 34,04 | 22,965 | 0,00 | -0,92 |
| 17,573 | -18,50 | 36,70 | 23,059 | 0,00 | 0,00 |
| 17,666 | -13,90 | 49,46 | 23,168 | 0,10 | 0,92 |
| 17,771 | -10,70 | 30,48 | 23,262 | 0,00 | -1,06 |
| 17,865 | -7,90 | 29,79 | 23,367 | 0,10 | 0,95 |
| 17,974 | -5,70 | 20,18 | 23,460 | 0,10 | 0,00 |
| 18,068 | -3,30 | 25,53 | | | |
| 18,161 | -1,30 | 21,51 | | | |
| 18,274 | -0,70 | 5,31 | | | |
| 18,368 | -0,10 | 6,38 | | | |
| 18,461 | 0,60 | 7,53 | | | |
| 18,571 | 0,50 | -0,91 | | | |
| 18,664 | 0,50 | 0,00 | | | |
| 18,775 | 0,50 | 0,00 | | | |
| 18,868 | 1,10 | 6,45 | | | |
| 18,962 | 2,30 | 12,77 | | | |
| 19,071 | 5,70 | 31,19 | | | |
| 19,165 | 9,50 | 40,43 | | | |
| 19,270 | 13,00 | 33,33 | | | |
| 19,363 | 17,00 | 43,01 | | | |
| 19,472 | 20,00 | 27,52 | | | |
| 19,566 | 22,60 | 27,66 | | | |
| 19,660 | 24,90 | 24,47 | | | |
| 19,770 | 27,00 | 19,09 | | | |
| 19,864 | 29,20 | 23,40 | | | |
| 19,973 | 29,50 | 2,75 | | | |
| 20,067 | 29,50 | 0,00 | | | |
| 20,160 | 29,40 | -1,08 | | | |
| 20,271 | 29,30 | -0,90 | | | |
| 20,359 | 29,10 | -2,27 | | | |
| 20,468 | 27,50 | -14,68 | | | |
| 20,561 | 24,80 | -29,03 | | | |
| 20,671 | 21,70 | -28,18 | | | |
| 20,769 | 17,90 | -38,78 | | | |
| 20,878 | 14,50 | -31,19 | | | |
| 20,972 | 11,50 | -31,91 | | | |
| 21,066 | 8,70 | -29,79 | | | |
| 21,159 | 5,80 | -31,18 | | | |
| 21,270 | 3,60 | -19,82 | | | |
| 21,370 | 2,00 | -16,00 | | | |
| 21,464 | 1,50 | -5,32 | | | |
| 21,560 | 0,40 | -11,46 | | | |
| 21,669 | 0,40 | 0,00 | | | |
| 21,770 | 0,40 | 0,00 | | | |



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Pró-Reitoria de Graduação
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 1 - 3º. andar
Porto Alegre - RS - Brasil
Fone: (51) 3320-3500 - Fax: (51) 3339-1564
E-mail: prograd@pucrs.br
Site: www.pucrs.br