



Pós-Graduação em Ciência da Computação

PAULO ANDRÉ DA ROCHA PERRIS

**SISTEMA ASSISTIVO AUXILIAR MODULAR – SAAM:
Tecnologia Assistiva de Baixo Custo para Acessibilidade
Computacional**

Recife
2020

PAULO ANDRÉ DA ROCHA PERRIS

SISTEMA ASSISTIVO AUXILIAR MODULAR – SAAM:
TECNOLOGIA ASSISTIVA DE BAIXO CUSTO PARA ACESSIBILIDADE
COMPUTACIONAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Computação.

Área de concentração: Mídia e Interação.

Orientador: Prof. Dr. Fernando da Fonseca de Souza.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Mariana de Souza Alves CRB4-2105

P458s Perris, Paulo André da Rocha
Sistema Assistivo Auxiliar Modular – SAAM: tecnologia assistiva de baixo custo para acessibilidade computacional / Paulo André da Rocha Perris – 2020.
125f., il., fig., tab.

Orientador: Fernando da Fonseca de Souza.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CIn, Ciência da Computação, Recife, 2020.
Inclui referências, apêndices e anexo.

1. Mídia e Interação. 2. Tecnologia Assistiva. 3. Acessibilidade Computacional.
4. Ferramentas Assistivas. I. Souza, Fernando da Fonseca de. (orientador) II. Título.

006.7

CDD (22. ed.)

UFPE-CCEN 2021-72

Paulo André da Rocha Perris

“SISTEMA ASSISTIVO AUXILIAR MODULAR – SAAM: Tecnologia Assistiva de Baixo Custo para Acessibilidade Computacional”

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação.

Aprovado em: 30/11/2020.

Orientador: Prof. Dr. Fernando da Fonseca de Souza

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Simone Cristiane dos Santos Lima
Centro de Informática / UFPE

Prof. Dr. Guilherme Nunes Melo
Departamento de Eletrônica e Sistemas / UFPE

Profa. Dra. Marizete Silva Santos
Unidade Acadêmica de Educação a Distância e Tecnologia / UFRPE

Prof. Dr. Francisco Petrônio Alencar de Medeiros
Programa de Pós Graduação em Tecnologia da Informação / IFPB

Prof. Dr. João Marcelo Xavier Natario Teixeira
Departamento de Eletrônica e Sistemas / UFPE

Dedico essa Tese a minha Esposa Rosimery, que me faz feliz todos os dias.
A meus Filhos, Clara e Pedro para quem me empenho em ser um bom Pai e Amigo.
E em especial a minha Falecida Mãe, a qual sempre perguntava: “*Como está a sua
tese meu filho?*” E eu respondia sempre: “*Caminhando minha Mãe...*”
Hoje, minha Mãe, “*A caminhada acabou*”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me tornado esse ser tão perseverante e ver os verdadeiros valores que devo dar a minha vida.

Agradeço à minha mãe Cecília Rocha Mota (in memoriam), por todos os valores a mim ensinados aos longos anos de vida.

Agradeço especialmente à minha esposa Rosimery, por todos os incentivos e palavras de força em meus momentos de aflição e fraqueza. *“Amor da minha vida, tudo o que faço é por ti”*.

Aos meus filhos Clara e Pedro, agradeço por me darem inspiração por suas simples existências. *“Filhos, espero ser espelho de boas imagens e um melhor futuro para vocês, que nasceram em uma era digital”*.

Aos meus sogros, Marina e Leonel, e às minhas cunhadas Rosiely e Renata, muito agradecido por todo apoio a mim e à minha família quando mais precisávamos.

Ao meu concunhado, amigo e irmão Eric Borba por me ajudar em todas as fases deste trabalho.

Ao meu orientador e amigo Fernando, e seu olhar crítico e impecável nesta tese, fazendo com que ela se tornasse possível de ser defendida. *“Sua história em minha vida, será repassada para todas as minhas gerações, presentes e futuras”*. Muito Grato a Deus pela pessoa que Você é, meu Amigo para a Vida, Fernando da Fonseca de Souza.

Aos dois amigos especiais, Alex Sandro e Rodrigo Lins, por compartilhar de suas visões e experiências sobre este trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia – IFBA, Campus Irecê, pelo apoio dado a esta tese em seus momentos finais.

Aos alunos da disciplina de Interação Humano-Computador, um agradecimento especial pelo empenho agregado no desenvolvimento das aplicações utilizadas nesta pesquisa.

Agradeço ao CIn e a sua secretaria, por ter me concedido o melhor dos atendimentos e infraestrutura que a computação poderia me oferecer para minhas pesquisas.

Agradeço à Universidade Federal de Pernambuco por tornar tudo isso possível e por me deixar realizar um velho sonho de estudar nesta tão valorosa instituição.

Agradeço à CAPES, por ter incentivado a minha pesquisa em forma de bolsa.

Agir, eis a inteligência verdadeira. Serei o que quiser. Mas tenho que querer o que for. O êxito está em ter êxito, e não em ter condições de êxito. Condições de palácio tem qualquer terra larga, mas onde estará o palácio se não o fizerem ali?

(PESSOA, 1982, p. 85)

RESUMO

No mundo, todos os anos, milhares de pessoas sofrem lesões severas e permanentes causadas por vários tipos de acidentes sofridos. A quadriplegia é uma delas, deixando a pessoa com deficiência sem os movimentos dos membros superiores e inferiores. Sabe-se que acabam sofrendo exclusão na tentativa de realizar suas atividades diárias. Uma dessas atividades é o uso de recursos computacionais, o qual normalmente é considerado como uma atividade básica, tanto para comunicação quanto para educação. Existe uma necessidade permanente de desenvolver e fornecer dispositivos, interfaces utilizáveis e modelos de interação para auxiliar as pessoas com deficiência. A busca de novas tecnologias para uma população afetada por uma deficiência motora significa permitir/ampliar o acesso ao uso do computador. Integrar e qualificar essa população na sociedade, torna-se uma necessidade, especialmente em instituições educacionais, quando se considera a evolução da interação humano-computador por meio de mais de um dispositivo assistivo simples e acessível financeiramente. Diante deste contexto, delimitou-se o objetivo de pesquisa desta tese no desenvolvimento de aparatos computacionais assistivos (*hardware* e *software*), denominados *Software* Assistivo Auxiliar - SAA e *Hardware* Assistivo Auxiliar - HAA, de baixo custo de desenvolvimento e de característica livre, para promover acessibilidade computacional a pessoas com lesão medular de Grau 1 (tetraplégicos com capacidade de realizar movimentos da cabeça). Na metodologia adotada, realizou-se um mapeamento sistemático da literatura que apontou uma série de dificuldades, analisadas e classificadas como "necessidades do cliente". Em seguida, o modelo RUP (do inglês *Rational Unified Process*) foi adaptado para a especificação de requisitos visando o desenvolvimento de ambos, HAA e SAA. Após a realização dos experimentos com o HAA utilizando o FittsStudy, os resultados positivos comprovaram sua eficácia. Nos experimentos envolvendo o SAA em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), utilizou-se uma variável manipulada, com base na metodologia utilizada em Interação Humano-Computador, trazendo resultados que confirmaram a hipótese e responderam às questões de pesquisa desta tese.

Palavras-chave: Tecnologia Assistiva. Acessibilidade Computacional. Ferramentas Assistivas. Acessibilidade Web. Educação a Distância.

ABSTRACT

Every year, thousands of people worldwide suffer severe and permanent injuries caused by various types of accidents suffered. Quadriplegia is one of them, leaving the disabled person without the movements of the upper and lower limbs. It is known that they end up suffering exclusion in an attempt to carry out their daily activities. One of these activities is the use of computational resources, which is normally considered as a basic activity, both for communication and for education. There is an ongoing need to develop and provide devices, usable interfaces and interaction models to assist people with disabilities. The search for new technologies for a population affected by a motor disability means allowing / expanding access to computer use. It is necessary to integrate and to qualify this population in society, especially in educational institutions, when considering the evolution of human-computer interaction through more than a simple and affordable financial assistance device. In this context, the research objective of this thesis was demarcated in the development of assistive computational devices (hardware and software), called Auxiliary Assistive Software - AAS and Auxiliary Assistive Hardware - AAH, with low development costs and free features, to computational accessibility to people with Grade 1 spinal cord injury (quadriplegics with the ability to perform head movements). The methodology adopted carried out a systematic mapping of the literature that pointed out a series of difficulties, which were analyzed and classified as "customer needs". Then, the RUP model (from English Rational Unified Process) was adapted to the requirements specification aiming at the development of both, AAH and AAS. After carrying out the experiments with AAH using FittsStudy, the positive results proved its effectiveness. In experiments involving AAS in a Virtual Learning Environment (VLE), a manipulated variable was used, based on the methodology used in Human-Computer Interaction, bringing results that confirmed the hypothesis and answered the research questions in this thesis.

Keywords: Assistive Technology. Computational Accessibility. Assistive Tools. Web Accessibility. Distance Education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Descrição das Etapas da Metodologia de Pesquisa Adotada.....	25
Figura 2 -	Artigos Publicados Anualmente Relacionados às Tecnologias de Acessibilidade Web.....	29
Figura 3 -	Tipos de Necessidades Específicas e suas Publicações Relacionadas por Ano	31
Figura 4 -	Artigos Publicados por Soluções Tecnológicas para Acessibilidade Web.....	32
Figura 5 -	Distribuição de Tecnologias entre Software Proprietário e Livre ..	33
Figura 6 -	Tipos de Metodologias Aplicadas a Experimentos de Avaliação ..	34
Figura 7 -	Levantamento dos Requisitos a partir das Limitações Encontradas	38
Figura 8 -	Adaptação do Modelo RUP para a Criação do Hardware Assistivo Auxiliar	39
Figura 9 -	Modelo RUP para elicitação e Gerenciamento de Requisitos do SAA.....	42
Figura 10 -	Aparato de Teste Lateral	45
Figura 11 -	Em destaque no Canal Medular, as Cérvicas da C1 à C7	49
Figura 12 -	Prancha 153 - Coluna Vertebral	50
Figura 13 -	Sete Grandes Desafios Para Interagir em Ambientes com Tecnologia Aumentada.....	53
Figura 14 -	Opções Oferecidas ao Usuário pelo <i>Click Control</i>	58
Figura 15 -	HMAGIC Registrando um Ponto do Usuário e Calculando o Movimento do <i>Mouse</i>	59
Figura 16 -	<i>UserTracking</i> Instalado e em Calibração	61
Figura 17 -	<i>UserTracking</i> em Atividade pelo Usuário para Navegação	62
Figura 18 -	Tela inicial Pós-Login do AVA <i>AccessLearning</i>	64
Figura 19 -	Menu de Opção de Acessibilidade por Tipo de Deficiência no <i>AccessLearning</i>	65
Figura 20 -	Menu de Atalhos de Acessibilidade	65
Figura 21 -	Exemplos de Objetos que Podem Ser Controlados Pelo TDS	67
Figura 22 -	Descrição da Composição do Dispositivo IOM	69
Figura 23 -	Teste do IOM Utilizando Software Fitts II	69

Figura 24 - Posicionamento do HAA no Encosto da Cabeça do Usuário	75
Figura 25 - Esquema Eletrônico do HAA.....	76
Figura 26 - Em Destaque as Trilhas, Componentes Eletrônicos e Solda na Placa do HAA.....	77
Figura 27 - Primeiro Protótipo Funcional do HAA.....	78
Figura 28 - Telas do software FittsStudy para Testes (28 A) e (28 B).....	79
Figura 29 - Tela de Configuração do Tempo do Botão do Mouse Pressionado no HAA	83
Figura 30 - Menu do SAA	84
Figura 31 - Tela de Configuração do SAA na qual se Opta por Iniciar ou não com o S.O	84
Figura 32 - Menu de Configurações do SAA.....	85
Figura 33 - Esquema de Funcionamento do SAA.....	86
Figura 34 - Gráfico criado no Minitab Line Plot sobre Avaliação de Usabilidade	87
Figura 35 - Ambiente de Testes para a Realização das Atividades do Experimento	88
Figura 36 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades I	90
Figura 37 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades II	91
Figura 38 - Comparação entre Número de Erros nos Dois Dias de Experimentos	91
Figura 39 - Análise dos Tempos Finais com Erros das Atividades nos Dias 1 e 2	92
Figura 40 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades I	95
Figura 41 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades II	95
Figura 42 - Comparativo Entre os Tempos de Experimentos no Segundo dia de cada Semestre.....	96
Figura 43 - Comparação de Erros entre o Primeiro e o Segundo Dia de Experimentos	96
Figura 44 - Analise Comparativa de Tempo dos Erros nos 2 Dias de	

Experimentos	97
Figura 45 - Diferença nos Tempos de Realização das Atividades no Primeiro Semestre	97
Figura 46 - Diferença nos Tempos de Realização das Atividades no Segundo Semestre	98
Figura 47 - Comparativo de Tempos em Todos os Dias nos 2 Semestres de Experimentos	100
Figura 48 - Tempos Empregados com Login no AVA no Primeiro Dia e no Segundo Dia	100
Figura 49 - Resultados do Primeiro Dia de Teste Unidirecional	102
Figura 50 - Resultados do Primeiro Dia de Teste Bidirecional	103
Figura 51 - Resultados do Segundo Teste Unidirecional Realizado no Segundo Dia	104
Figura 52 - Resultados do Segundo Teste Unidirecional Realizado no Segundo Dia	104
Figura 53 - Resultados do Primeiro Teste Bidirecional Realizado no Segundo Dia.....	105
Figura 54 - Segundo Teste Bidirecional, Realizado no Segundo Dia	105
Figura 55 - Relatório Resumido do Minitab Obtendo Valor p de 0,282.....	106
Figura 56 - Telas do SA Mobile (SAMob).....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - <i>String</i> de Busca utilizada no Mapeamento Sistemático de Literatura.....	27
Quadro 2 - Resultado da Pesquisa com <i>String</i> de Busca após Realização dos Descartes	30
Quadro 3 - <i>String</i> de Busca dos Trabalhos Relacionados com o Tema de Pesquisa da Tese.	35
Quadro 4 - Avaliação da Força Muscular	49
Quadro 5 - Tecnologias Assistivas para Controle e Teste de Dispositivos Assistivos	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Dados do Primeiro Dia de Atividades - Primeiro Semestre 2019 ...	88
Tabela 2 -	Segundo Dia de Atividades - Primeiro Semestre 2019	89
Tabela 3 -	Dados do Primeiro dia de Atividades no Segundo Semestre	92
Tabela 4 -	Dados do Segundo Dia de Atividades no Segundo Semestre	93
Tabela 5 -	Soma de Todos os Tempos de Todos os Participantes nos 2 Semestres	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASIA	<i>American Spinal Injury Association</i>
AVA	Ambientes Virtuais de Aprendizagem
EaD	Educação a Distância
HAA	Hardware Assistivo Auxiliar
IFBA	Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia da Bahia
IHC	Interação Humano-Computador
IOM	Interface Óculos-Mouse
LIBRAS	Língua Brasileira de Sinais
MS	Mapeamento Sistemático
PC	<i>Personal Computer</i>
PD	Pessoas com Necessidades Específicas
SAA	Software Assistivo Auxiliar
SAAM	Sistema Assistivo Auxiliar Modular
USB	Universal Serial Bus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	MOTIVAÇÃO	20
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	21
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	OBJETIVOS	22
1.4.1	Geral	22
1.4.2	Específicos	22
1.5	HIPÓTESES	22
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	METODOLOGIA ADOTADA	25
2.1	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA FASE I	25
2.1.1	Questões de Pesquisa do Mapeamento Sistemático de Literatura Fase I	26
2.1.2	Estratégia de Busca	27
2.1.3	Fontes de Busca	27
2.1.4	Seleção dos Estudos Primários	27
2.1.5	Discussões e Resultados da Fase I do Mapeamento Sistemático de Literatura	28
2.2	MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA FASE II	34
2.2.1	Questões de Pesquisa do Mapeamento Sistemático de Literatura Fase II	35
2.2.2	Estratégia de Busca	35
2.2.3	Seleção dos Estudos Primários	35
2.2.4	Discussões e Resultados da Fase II do Mapeamento Sistemático de Literatura	36
2.3	PROCESSOS PARA GERAR ELICITAÇÃO DE REQUISITOS	37
2.3.1	Elicitação de Requisitos para Hardware Assistivo Auxiliar	37
2.3.2	Elicitação de Requisitos para o Software Assistivo Auxiliar	41
2.4	DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS DE AVALIAÇÃO	44
2.4.1	Métricas	45

2.4.2	Taxa de Transferência	45
2.4.3	Controle das Ameaças à Validade do Experimento	46
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	46
3	FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL.....	48
3.1	MOBILIDADE REDUZIDA SEVERA – TETRAPLEGIA.....	48
3.1.1	Tipos de Lesões	49
3.2	TECNOLOGIA ASSISTIVA	51
3.3	AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM E ACESSIBILIDADE...	53
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	55
4	TRABALHOS RELACIONADOS.....	56
4.1	SOFTWARE PARA INTERFACES	56
4.2	DISPOSITIVOS APONTADORES (HARDWARE).....	66
4.3	ANÁLISE COMPARATIVA DOS TRABALHOS RELACIONADOS E ESTA TESE.....	71
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	73
5	DESENVOLVIMENTO DO HAA E DO SAA E AVALIAÇÃO DE USABILIDADE.....	75
5.1	O DISPOSITIVO APONTADOR HAA	75
5.1.1	Avaliação do HAA	78
5.1.2	Experimentos	79
5.1.3	Sujeitos Experimentais.....	80
5.1.4	Desenvolvimento Experimental	80
5.1.5	Escopo do Experimento	81
5.1.6	Variáveis Independentes.....	81
5.1.7	Variáveis Dependentes	82
5.1.8	Definição dos Experimentos.....	82
5.1.9	Execução dos Experimentos.....	82
5.2	O SOFTWARE ASSISTIVO AUXILIAR.....	83
5.3	ATIVIDADES E RESULTADOS.....	86
5.3.1	Avaliação da Usabilidade	86
5.3.2	Atividade Prática em um Ambiente Real – Semestre 1.....	87
5.3.3	Atividade Prática em um Ambiente Real – Semestre 2.....	92

5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	101
6	DISCUSSÕES E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS.....	102
6.1	RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS DO HAA.....	102
6.1.1	Primeira Análise Comparativa do Primeiro Dia de Experimentos.	102
6.1.2	Segunda Análise Comparativa - Segundo Dia de Experimentos	103
6.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DO HAA.....	105
6.3	DISCUSSÕES.....	106
6.3.1	Hardware Assistivo Auxiliar	106
6.3.2	Software Assistivo Auxiliar	107
6.3.3	O Sistema Assistivo Auxiliar Modular – SAAM.....	107
6.4	RESPOSTA ÀS QUESTÕES DE PESQUISA.....	108
6.5	COMPROVAÇÃO/REFUTAÇÃO DE HIPÓTESES.....	108
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	108
7	CONCLUSÕES.....	110
7.1	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	110
7.1.1	Publicações	111
7.2	LIMITAÇÕES	112
7.3	TRABALHOS FUTUROS	113
	REFERÊNCIAS	115
	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO.....	120
	APÊNDICE B - LICENÇA DE USO DE IMAGEM DREAMSTIME LCC	122
	APÊNDICE C – ARTIGOS ENCONTRADOS NO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO I.....	123
	ANEXO A - TABELA AMERICAN SPINAL INJURY ASSOCIATION (ASIA)	125

1 INTRODUÇÃO

Nas pesquisas que tentaram desenvolver mecanismos compensatórios para diferentes tipos de deficiências, a tecnologia em geral tem um *status* muito importante, não só no uso da inteligência artificial em ambientes educacionais, nas mídias sociais, como também no uso da realidade virtual e tecnologia assistiva voltada à educação.

Pessoas com mobilidade reduzida (paraplegia) geralmente não têm qualquer dificuldade em acessar a Internet. Já as pessoas com severa mobilidade reduzida (tetraplegia) podem ter dificuldades significativas para tanto.

Algumas das pessoas com tetraplegia podem fazer algum uso de seus braços, mas não o suficiente para, por exemplo, manipular um *mouse* ou algum tipo de teclado. Mesmo com essas limitações, essas pessoas são capazes de fazer uso de tecnologias assistivas que lhes permitam o acesso às funcionalidades de seus computadores (BANDEIRA; ZUCATELLI, 2016).

Na maioria das instituições de ensino superior, seja na modalidade presencial ou a distância, os ambientes de aprendizagem são geralmente adaptados para esse tipo de aluno. Normalmente, eles recebem o conteúdo formatado de uma maneira que possa ser acessado com as respectivas tecnologias assistivas que empregam.

A Educação a Distância (EaD) e a inclusão social da pessoa com deficiência (PD) são dois temas muito discutidos pela sociedade nos últimos anos. Percebe-se, atualmente, que tanto o ensino a distância utilizando Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), como a inserção de deficientes em escolas do ensino fundamental e médio e conseqüentemente em universidades e empresas, são processos irreversíveis.

Além da necessidade latente de criação de mecanismos que possibilitem a educação para todos de forma igual, esses processos estão amparados por leis e resoluções que asseguram tanto a disseminação dos cursos a distância quanto a integração e a inserção social de PD físicas, mentais, sensoriais ou múltiplas no ambiente educacional (ALSOBHI; KHAN; RAHANU, 2015).

A universalidade é a premissa fundamental da Internet e deve ser garantido o acesso à informação a todos os cidadãos, independentemente da sua deficiência ou perfil de usuário (DOSTÁL, 2015). E, baseando-se nessa premissa, pode-se encontrar várias abordagens de acessibilidade em Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), dependentes do modelo pedagógico, da tecnologia dos ambientes utilizados (e.g.

Moodle¹, Openredu², Google Classroom³, Amadeus⁴) e das políticas de acessibilidade e inclusão seguidas por cada um deles.

Algumas dessas abordagens defendem um modelo centrado no usuário, no qual a interface da plataforma e os conteúdos são apresentados de acordo com as definições aplicadas no perfil do usuário. Outras, entretanto, são baseadas no paradigma pluralista (centrado no aluno, mas com foco na diversidade).

1.1 MOTIVAÇÃO

Independente da abordagem adotada para tornar um AVA acessível, é essencial um bom planejamento sobre a tecnologia e, como tal, a adoção de padrões para assegurar a acessibilidade da interface, das plataformas e do conteúdo da *web* utilizados em AVA (BUICĂ-BELCIU, 2015; MARTINS *et al.*, 2015b).

Aplicativos, dispositivos ou interfaces usuais precisam de alguns ajustes para melhorar sua natureza e adaptabilidade em termos de *hardware* e *software*. Assim, eles serão capazes de atender às várias necessidades que os alunos têm e melhorar em conjunto o processo de aprendizagem.

Isto é, projetar o conteúdo acessível a partir da sua origem o torna mais adaptável ao ambiente de aprendizagem, reduzindo o nível de frustração dos alunos com deficiência, pois faz com que o material seja eficaz em seu objetivo cognitivo para todos os estudantes (HABBASH; ALQAHTANI, 2017).

A participação igualitária tanto para pessoas com deficiências específicas quanto para as demais pessoas é um objetivo importante nas políticas educacionais. Os governos têm, geralmente, uma forte ênfase na educação assistiva, de modo a permiti-la para todos os cidadãos.

A tendência de usar AVA para o acesso a conteúdo por estudantes nas instituições de ensino de forma geral tem o potencial de permitir novas oportunidades para pessoas que enfrentam desafios na educação. Há que se observar que, por muitas vezes, a tecnologia não é apenas a sua aliada, mas a única chance de

¹ É o acrônimo de "*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*", um *software* livre, de apoio à aprendizagem, executado num ambiente virtual.

² É um ambiente de aprendizagem que foi concebido para proporcionar formas intensas de colaboração em torno de mídias dispostas em suas páginas. Uma plataforma de aprendizagem nas nuvens – tendência na área de tecnologia educacional.

³ É um sistema de gerenciamento de conteúdo para escolas que procuram simplificar a criação, a distribuição e a avaliação de trabalhos.

⁴ Plataforma *Blended Learning* oficial brasileira, adaptado para você que é professor, tutor ou aluno ter um melhor desempenho e interação com o material de aprendizado utilizando diversos recursos em uma única plataforma.

compensar suas deficiências e introduzir essas pessoas de forma mais natural aos AVA (BUICĂ-BELCIU, 2015; GOODWIN *et al.*, 2011).

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

As evoluções da Tecnologia Assistiva (TA) para as pessoas com deficiência (PD) apresentando surdez ou cegueira têm sido mais significativas (SMITH *et al.*, 2018), conforme comprovado pelo Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) abordado no Capítulo 2 desta tese. Tais inovações tecnológicas consistem em atualizações virtuais, implementadas diretamente nos ambientes *web*.

A tecnologia permite maior acesso à informação e a novas maneiras para que as pessoas aprendam, podendo se tornar um apoio na resolução de problemas usando a criatividade e apoiando o desenvolvimento cognitivo. Entretanto, é necessário considerar também, neste contexto, as limitações de pessoas com severa mobilidade reduzida, mais especificamente a tetraplegia, um dos objetivos desta tese.

Estas afirmações levaram à formulação das seguintes questões de pesquisa:

QP1: Como as tecnologias assistivas estão apoiando as pessoas com severa mobilidade reduzida?

QP2: Como desenvolver uma solução que seja ao mesmo tempo eficaz em sua execução e livre para uso da comunidade acadêmica?

1.3 JUSTIFICATIVA

O advento da TA e os padrões estabelecidos pelo W3C (2015) estimularam a criação de plataformas colaborativas de aprendizado. As primeiras implementações foram criadas para as PD definidas com surdez, baixa acuidade visual ou mesmo cegueira total. Para o primeiro caso, ocorreu a introdução dos intérpretes de linguagem universal de sinais *online* (LIBRAS⁵ no Brasil) em tempo real; para os segundo e terceiro casos surgiram, respectivamente, soluções como a mudança de contraste, cores e áudio descrição das atividades *online* (ABDELLAOUI *et al.*, 2013; MAĆKOWSKI; BRZOZA; SPINCZYK, 2017).

A tecnologia assistiva para PD tetraplégicas foca primeiro no acesso aos recursos computacionais físicos (*hardware*), para depois poder dar acesso aos recursos computacionais lógicos (*software*) (AZMI; ALSABHAN; ALDOSARI, 2009; MARTINS *et al.*, 2015a).

⁵ <https://www.libras.com.br/>

Dentre as tecnologias educacionais disponibilizadas, fica clara uma carência na área da tecnologia assistiva relativa a PD com severa mobilidade reduzida, especificamente tetraplegia, relacionada a *software* auxiliar para trabalhar em conjunto com dispositivos de *hardware* na execução de atividades em ambientes virtuais de aprendizagem (SMITH *et al.*, 2018).

1.4 OBJETIVOS

A partir das questões de pesquisa formuladas, é possível definir os objetivos geral e específicos desta tese.

1.4.1 Geral

Resolver o problema de acessibilidade computacional de PD tetraplégicas, por meio do desenvolvimento de um conjunto tecnológico assistivo inovador (*Hardware* e *Software*) de baixo custo e fácil acessibilidade, com base em tecnologia assistiva, eficaz em suas atividades computacionais, tornando-o livre para uso pela comunidade acadêmica.

1.4.2 Específicos

- Compreender os requisitos para o desenvolvimento dos aparatos tecnológicos (*hardware* e *software*);
- Analisar e desenvolver protótipos, *software* inicialmente de baixa fidelidade e de *hardware*, com base nas necessidades do usuário, capazes de medir seus desempenhos nas realizações de atividades propostas;
- Criar uma solução conjunta (*hardware* e *software*) que promova a acessibilidade computacional e consequente acessibilidade *web*; e
- Desenvolver experimentos para avaliação da usabilidade e da eficácia do conjunto na acessibilidade na realização de atividades *web* em ambientes reais de execução.

1.5 HIPÓTESES

Considerando o problema relacionado à acessibilidade de PD com mobilidade reduzida severa, bem como os objetivos definidos para esta tese, as seguintes hipóteses foram formuladas, de acordo com as orientações contidas em Lakatos e Marconi (2003), as quais devem ser confirmadas ou refutadas ao final desta tese:

- H1 – O desenvolvimento conjunto de aparatos tecnológicos assistivos (*hardware* e *software*) permite a geração de produtos eficazes e livres.
- H2 – É possível o desenvolvimento de aparatos tecnológicos assistivos (*hardware* e *software*) não eficazes, entretanto livres.
- H3 – É possível o desenvolvimento conjunto de aparatos tecnológicos assistivos (*hardware* e *software*) eficazes, porém não livres.
- H4 – Não é possível o desenvolvimento conjunto de aparatos tecnológicos assistivos (*hardware* e *software*) eficazes e livres.

Para tentar confirmar a Hipótese 1 e, naturalmente, rechaçar as demais hipóteses, o estudo irá realizar uma adaptação da observação do fenômeno da usabilidade descrito por Lazar, Feng e Hochheiser (2017), observando quais páginas *web* foram acessadas no experimento proposto, as usabilidades dos aparatos tecnológicos nos experimentos e o emprego do tempo utilizado para realizar atividades dentro do ambiente.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além da Introdução apresentada neste capítulo, esta tese está organizada como segue.

O **Capítulo 2** traz a **Metodologia** adotada para o desenvolvimento do trabalho, desde o Mapeamento Sistemático realizado e seus resultados acadêmicos, até a avaliação dos artefatos construídos.

O **Capítulo 3** apresenta a **Fundamentação Conceitual** do trabalho, a qual abrange a Mobilidade Reduzida Severa (Tetraplegia), Tecnologia Assistiva e Ambientes Virtuais de Aprendizagem assistivos, os principais objetos de estudo desta tese.

O **Capítulo 4** apresenta uma análise dos **Trabalhos Relacionados** a esta tese, direcionados às questões de pesquisa. Ele aborda *software* e *hardware* que conduzem, por meio de suas qualidades e limitações, a busca neste trabalho por soluções dos problemas apresentados e gera os requisitos que serão utilizados para o desenvolvimento dos aparatos tecnológicos produzidos nesta tese.

No **Capítulo 5** desta tese são tratados o **Desenvolvimento do Dispositivo Apontador e do Software Assistivo Auxiliar e Avaliação de Usabilidade**, as duas principais contribuições do trabalho.

O **Capítulo 6, Discussões e Avaliação dos Resultados dos Experimentos**,

traz, juntamente com os resultados gerais obtidos nos experimentos, as respostas às questões de pesquisa, bem como a comprovação/refutação de hipóteses elaboradas para este trabalho.

As **Conclusões**, no **Capítulo 7**, trazem as principais contribuições desta tese, as publicações geradas ao longo dos anos de pesquisa, limitações do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

Em seguida, são listadas as referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, são dispostos o anexo A (Tabela *American Spinal Injury Association* - ASIA) e apêndices.

2 METODOLOGIA ADOTADA

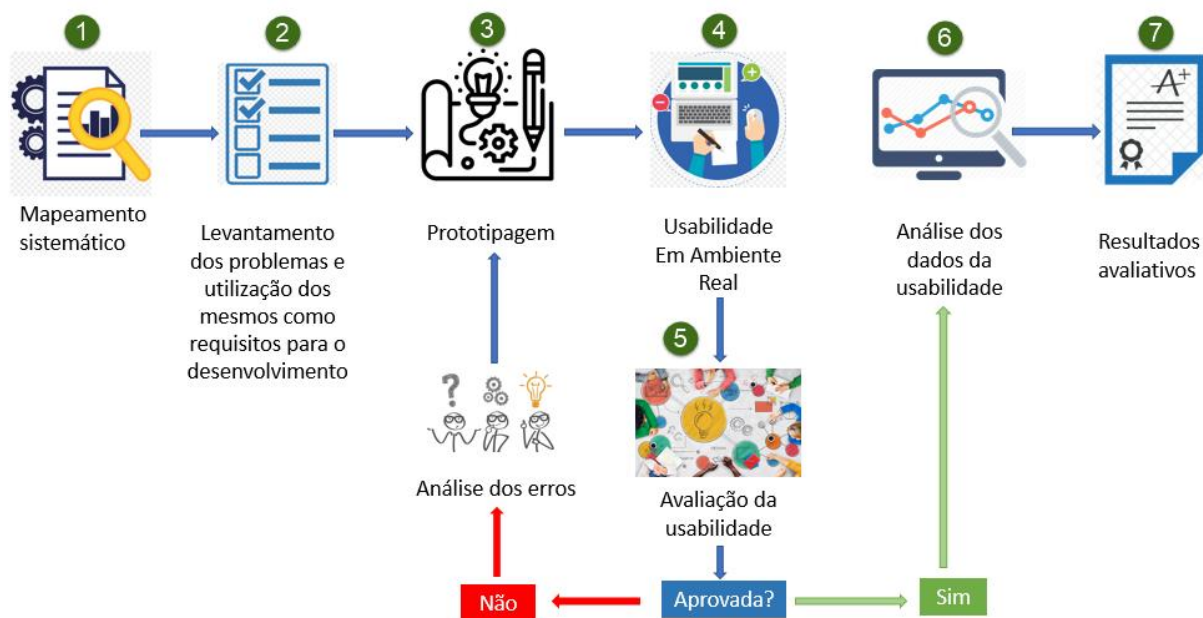
Neste capítulo, serão descritas todas as etapas do método de pesquisa utilizado no desenvolvimento desta tese. Ele inicia pelo Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL), dividido em duas fases. A primeira fase do MSL proveu o conhecimento necessário à definição dos requisitos para o desenvolvimento das soluções apresentadas nesta tese, bem como para estabelecer seus objetivos. Já na segunda fase, buscou-se o embasamento necessário para atingir os objetivos propostos para esta tese.

Na sequência, foram definidos os processos para que as soluções propostas dessem origem aos primeiros protótipos desenvolvidos.

Por fim, na última etapa do método de pesquisa utilizado, os protótipos foram avaliados em suas usabilidades e eficácia, de modo a gerar os dados necessários para as respostas às questões de pesquisa e comprovação/refutação de hipóteses.

O processo metodológico adotado (Figura 1) e o ciclo que envolve a prototipagem, usabilidade em ambiente real, avaliação da usabilidade até chegar à aprovação, foi repetido por quatorze vezes ao longo de um ano (Dois semestres).

Figura 1 - Descrição das Etapas da Metodologia de Pesquisa Adotada



Fonte: O autor (2020)

Cada etapa desse processo metodológico será detalhada a seguir.

2.1 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA FASE I

A Fase I do MSL foi projetada para fornecer uma visão mais ampla de uma

determinada área de pesquisa. Ele permite **identificar**, **quantificar** e **analisar** os **resultados** encontrados, estabelecendo **evidências** sobre um **determinado tema** (KITCHENHAM, 2007).

Portanto, para esta tese, foi realizado um MSL identificando as principais características de acessibilidade computacional *web* em Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) e a proveniente inclusão social da Pessoa com Deficiência (PD) na educação, mercado de trabalho e sociedade por meio da Educação a Distância (EaD).

Assim, foi possível determinar o cenário de pesquisa, possibilitando a compreensão da tecnologia envolvida, além de permitir abordar novas estratégias, para o desenvolvimento de soluções nesta área de pesquisa.

Durante esse procedimento foi realizada a concepção de um protocolo, no qual foram descritos o processo e os métodos aplicados na pesquisa. As informações que fazem parte do protocolo serão apresentadas nas subseções seguintes.

2.1.1 Questões de Pesquisa do Mapeamento Sistemático de Literatura Fase I

É essencial no MSL definir as questões de pesquisa, pois este processo conduz a busca de documentos relevantes para a pesquisa e permite, posteriormente, a triagem de artigos por palavras-chave, resumos, introduções e resultados (PETERSEN *et al.*, 2008).

Neste ponto, partiu-se com o objetivo de responder à questão central do MSL: *“Como se caracteriza a acessibilidade computacional web em Ambientes Virtuais de Aprendizagem para Pessoas com Deficiências (visão, auditiva e motora) e sua inclusão na Educação a Distância?”*.

Foram elaboradas quatro questões secundárias que tiveram como intuito auxiliar na resposta à questão principal:

- **QS1** - Quais os tipos predominantes de deficiências encontradas na literatura com foco no processo de aprendizagem?
- **QS2** - Quais os tipos de soluções tecnológicas para acessibilidade de PD em AVA?
- **QS3** - Quais as formas de disponibilização das soluções tecnológicas de acessibilidade em AVA?
- **QS4** - Quais as principais metodologias de avaliação para o desenvolvimento de tecnologias de acessibilidade?

2.1.2 Estratégia de Busca

Para a construção dos termos-chave da pesquisa foram utilizadas as palavras-chave de sua questão central. A elaboração da *string* de busca foi realizada por meio de um *brainstorming* com pesquisadores da área, sendo um da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, com PhD em análise de Bigdata pelo Centro de Informática da UFPE, um da Universidade Federal de Pernambuco, com PhD em Ciências da Educação pela Université de Paris v (René Descartes) e um do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia da Bahia - IFBA, com MSc em mídias e interação pelo Centro de Informática da UFPE. Na formulação da referida *string* foram levantadas as principais palavras que representam a área de pesquisa em questão. No Quadro 1 é apresentada a *string* de busca.

Quadro 1 - String de Busca utilizada no Mapeamento Sistemático de Literatura

String de Busca
("Distance learning" OR "E-learning" OR "Distance education" OR "Online learning" AND "Virtual learning environments" OR VLE OR LMS AND accessibility OR "Accessible e-learning" OR "universal design" OR "inclusive design" OR "Assistive Technologies" AND "disabled students" OR "Students with disabilities" OR "Deaf students" OR "Blind students" OR "impaired students")

Fonte: O autor (2020)

2.1.3 Fontes de Busca

A partir da pesquisa com a *string* de busca foram encontrados 566 artigos publicados no período de doze anos a contar de 2009 (2009 – 2020). A quantidade de estudos encontrados por cada engenho de busca empregado foi respectivamente: 40 artigos na Springer⁶, 98 artigos no IEEEExplorer⁷, 11 artigos na Scopus⁸, 236 artigos na ScienceDirect⁹ e 181 artigos na ACM¹⁰.

2.1.4 Seleção dos Estudos Primários

Com o objetivo de melhorar os resultados obtidos pelos engenhos de busca, foi

⁶ <https://link.springer.com/search>

⁷ <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁸ <https://www.scopus.com/home.uri>

⁹ https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/25974/supporthub/sciencedirect/~/_how-do-i-use-the-advanced-search%3F/

¹⁰ <https://dl.acm.org/search/advanced>

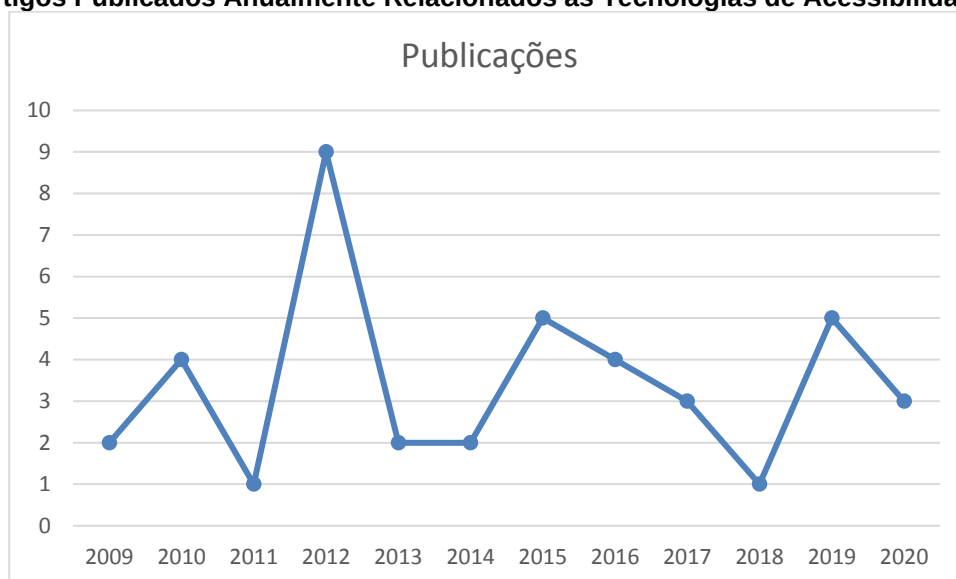
importante criar alguns critérios de inclusão e exclusão, tendo como base a pergunta de pesquisa do MSL definida e alinhada à área temática (KITCHENHAM, 2007):

- **CrITÉrios de Exclusão** - Não foram considerados estudos teóricos; *software* educacional; artigos que não mostrassem integrações com tecnologias AVA; estudos publicados em editoriais, prefácios, apenas resumos, entrevistas, notícias, livros e revisões; artigos inconsistentes ou com conteúdo incompleto; estudos similares em engenhos diferentes (quando dois ou mais artigos apresentavam conteúdos semelhantes, foi considerado o estudo mais recente); e
- **CrITÉrios de Inclusão** - Foram considerados todos os estudos encontrados a partir da *string* de busca nos engenhos citados, desde que o estudo estivesse disponível na Internet e satisfizesse alguns dos seguintes critérios: relevância que o estudo possuísse em relação à pergunta de pesquisa do MS; e artigos completos publicados em periódicos, anais de conferências ou simpósios; estudos que descrevessem pesquisas e experiências relacionadas ao tema e estudos que relacionassem o tema à Ciência da Computação.

2.1.5 Discussões e Resultados da Fase I do Mapeamento Sistemático de Literatura

Para a realização do MSL, como citado anteriormente, foi considerada a limitação de doze anos. Sendo assim, os estudos primários foram publicados entre os anos de 2009 a 2020. A Figura 2 ilustra a quantidade de trabalhos publicados no período considerado, identificados pelo processo de seleção do MSL.

Figura 2 - Artigos Publicados Anualmente Relacionados às Tecnologias de Acessibilidade Web



Fonte: O autor (2020)

Graças ao modelo de *design* universal, muitas PD voltaram a estudar em cursos *online*, por meio de AVA. O *design* universal projeta recursos do ambiente físico para ser funcionalmente acessível a uma variedade de usuários, com ou sem deficiências (MAUCH; MAUCH, 2012).

Tais inovações realizadas em meados de 2010 e 2011 culminaram no pico de artigos encontrados em 2012 (Figura 2), os quais abordavam essas inovações em experimentos realizados em plataformas que passaram por modificações tecnológicas implementando as funções de acessibilidade e usabilidade (LAABIDI *et al.*, 2014; ULBRICHT *et al.*, 2012).

Este ponto atrelado às atualizações dos padrões internacionais de acessibilidade a ambientes *web* (W3C, 2015) garantiram não só a acessibilidade aos AVA, mas também usabilidade (MAUCH; MAUCH, 2012).

Modelos educacionais como o *design* instrucional universal (*Universal Instructional Design* - UID), *design* universal para aprendizagem (*Universal Design for Learning* - UDL) e *design* universal de instrução (*Universal Design of Instruction* - UDI) ampliaram o conceito de *design* universal, focaram nos processos de ensino e aprendizagem e forneceram estruturas para incorporar elementos pedagógicos que deram suporte a uma variedade de necessidades dos alunos com as mais diferenciadas deficiências (RAO, 2012).

No Quadro 2 são apresentadas as frequências de artigos de acordo com as suas características. Um total de 41 artigos foram classificados em diversas categorias, de acordo com a deficiência específica e tecnologia abordadas nos estudos.

Para classificar os artigos, foi feita a leitura de todos os estudos primários para analisar qual o tipo de deficiência específica, qual a tecnologia adotada e se o assunto abordado seria relevante para o estudo. São mostrados 3 tipos de necessidades específicas identificadas (surdez, cegueira, mobilidade) e a respectiva quantidade de artigos relacionados.

Quadro 2 - Resultado da Pesquisa com *String* de Busca após Realização dos Descartes

Deficiência identificada	Artigos
Surdez	19
Cegueira	17
Mobilidade	5

Fonte: O autor (2020)

Nas buscas realizadas foram encontrados 19 artigos com o tema surdez, envolvendo apenas o desenvolvimento de *software*. Eles comprovam a evolução da introdução da linguagem universal de sinais nos AVA, além de implementações de tecnologias mais recentes como o *ClosedCaption* (momentos únicos de desenvolvimento de *software encontrados*). Com o tema cegueira foram encontrados 17 artigos contendo os aperfeiçoamentos da audiodescrição, não somente para textos, mas também para filmes (momento único de desenvolvimento e aplicação de *software encontrado*). Apenas 5 artigos relacionados a tecnologias auxiliares para PD com mobilidade reduzida severa foram encontrados. A pesquisa teve que ser realizada para duas situações distintas: criação de *hardware* e posterior desenvolvimento de *software*, demandando o dobro do tempo em relação às pesquisas anteriormente citadas (Apêndice C).

Os tópicos a seguir apresentam os resultados referentes às questões secundárias de pesquisa relacionadas no MSL.

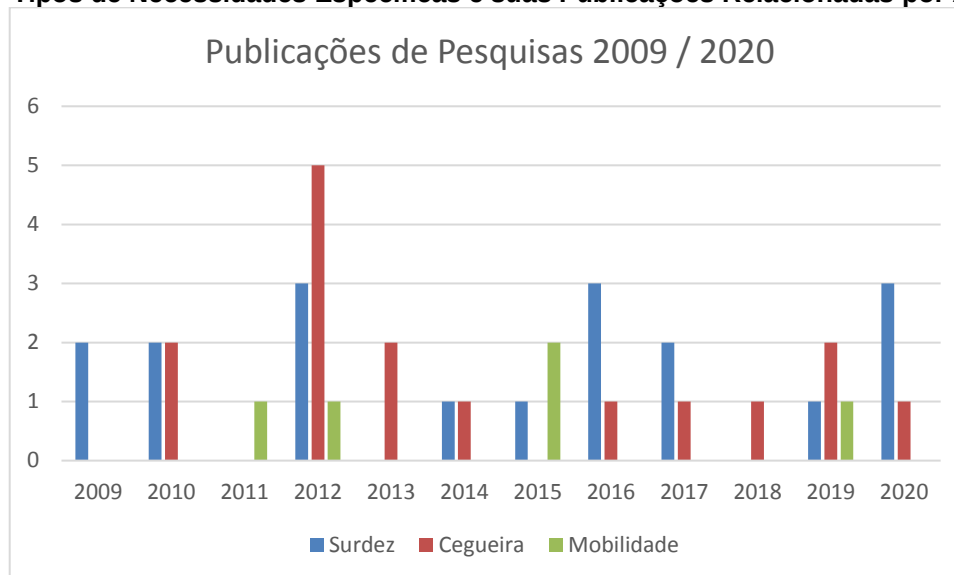
- **QS1-** *Quais os tipos predominantes de deficiências encontradas na literatura com foco no processo de aprendizagem?*

A Figura 3 apresenta os três tipos de necessidades específicas encontradas no MSL (Surdez, Cegueira, Mobilidade Reduzida). Nota-se que as pesquisas relacionadas à visão no ano de 2012 foram o foco principal. Já as pesquisas relacionadas à surdez obtiveram o mesmo índice em 2012, 2016 e 2020, repetindo-se o mesmo número de publicações.

Em 2012 os artigos relacionados à visão tratam da implementação e

aperfeiçoamento da aplicação “áudio descrição” nos AVA. Já os artigos relacionados à surdez mostram a evolução da implementação da linguagem universal de sinais nos AVA, saindo da tradução realizada por humanos em tempo real, para avatares tradutores virtuais.

Figura 3 - Tipos de Necessidades Específicas e suas Publicações Relacionadas por Ano



Fonte: O autor (2020)

É possível notar que a mobilidade é pouco citada nas pesquisas (Figura 3), pois a *string* limita a soluções aplicadas a AVA para deficiências motoras. A grande maioria dos artigos relacionados à mobilidade é voltada à tecnologia assistiva de dispositivos apontadores (*hardware*), provendo primeiro acessibilidade aos recursos computacionais (MARTINS; RODRIGUES; MARTINS, 2015).

- **QS2** - *Quais os tipos de soluções tecnológicas para acessibilidade de Pessoas com Deficiência em Ambientes Virtuais de Aprendizagem?*

Na Figura 4 são exibidos os tipos de soluções tecnológicas aplicadas aos ambientes AVA e relacionadas às deficiências específicas.

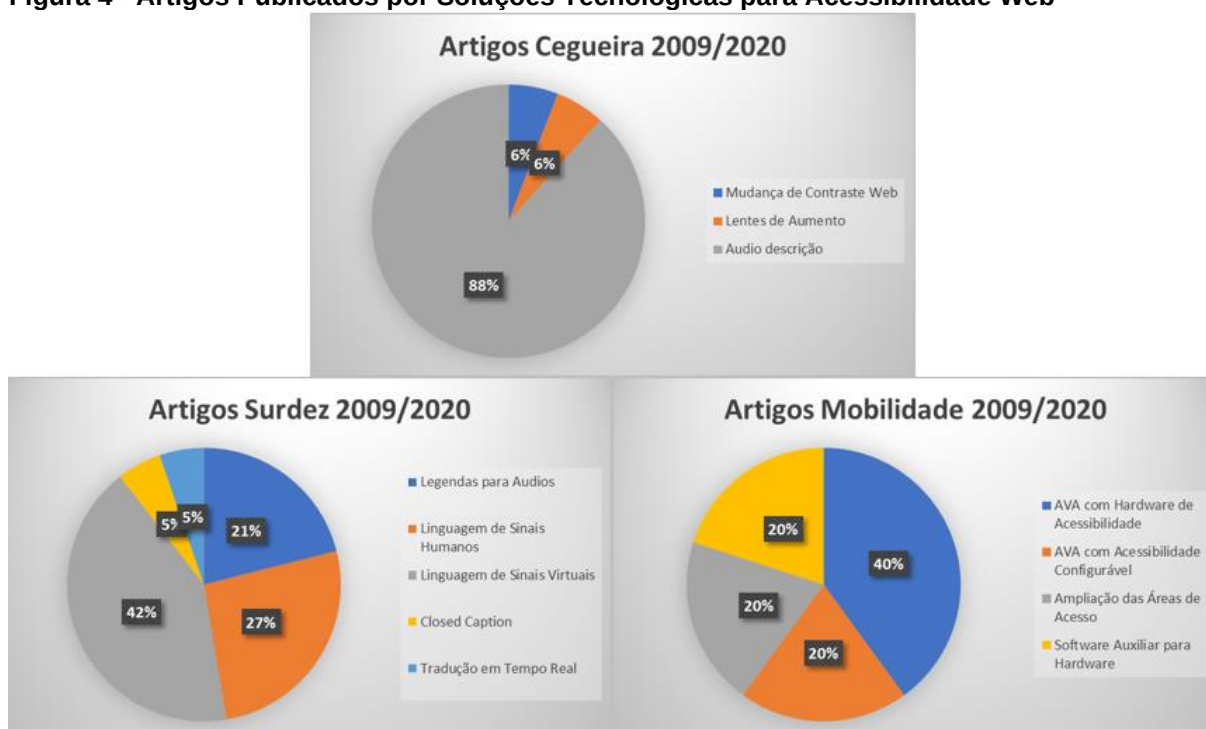
Pode-se observar que a audiodescrição, relacionada à cegueira, é a tecnologia mais empregada em AVA, sendo quase uma unanimidade, ficando apenas 12% delas com foco em pessoas com baixa acuidade visual.

Para a surdez, tecnologias como linguagem universal de sinais recebem o maior destaque, inclusive em avanço tecnológico, saindo de tradutores humanos de modo assíncrono, disponibilizados no AVA, para modo síncrono, disponibilizados em forma de Avatares integrados ao próprio AVA. Tecnologias mais modernas, como a *Closed*

Caption, estão sendo implementadas em artigos mais recentes e neles é apontada como uma tecnologia promissora.

Já AVA integrados com dispositivos apontadores (*hardware*) são destaque nos trabalhos abordando a tetraplegia. Eles focam o ajuste de acesso ao tetraplégico e o *software* para auxiliar as atividades no AVA. Foram encontradas pesquisas também pertinentes ao tema, porém com foco apenas no dispositivo de acessibilidade aos recursos computacionais. Relacionados ao mesmo objeto de estudos desta tese (acessibilidade e EaD), foram encontrados nos principais *sites* de busca acadêmicos, poucos artigos publicados ao longo dos últimos 12 anos (5 artigos).

Figura 4 - Artigos Publicados por Soluções Tecnológicas para Acessibilidade Web



Fonte: O autor (2020)

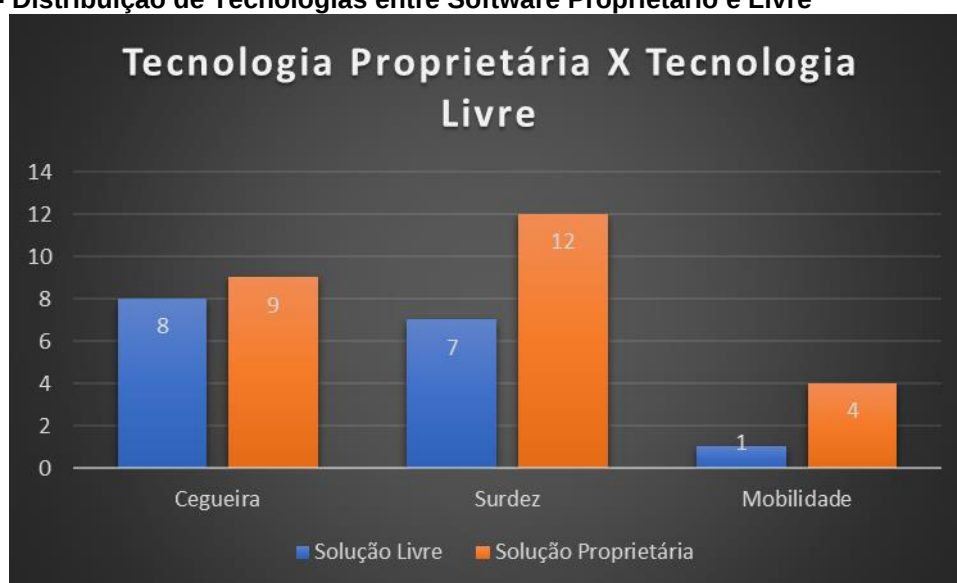
Diversas tecnologias assistivas voltadas à mobilidade estão sendo desenvolvidas, porém para dispositivos apontadores (*mouse*) de diversas maneiras (*headtrack*, *eyetrack*, *lipcontrol*). Com o advento dessas tecnologias, surge a necessidade da pesquisa em *software* que ajude na resolução de atividades propostas em AVA (KWAN *et al.*, 2011).

- **QS3** - Quais as formas de disponibilização das soluções tecnológicas de acessibilidade em Ambientes Virtuais de Aprendizagem?

A Figura 5 mostra a distribuição das soluções tecnológicas, relacionando-as a

tecnologias livres ou proprietárias. Com relação às tecnologias disponibilizadas em AVA relacionadas à cegueira, abordadas nos trabalhos encontrados, 52,94% das tecnologias corresponde às proprietárias e de código não disponível para os demais desenvolvedores. Já as tecnologias disponibilizadas relacionadas à surdez apresentam mais equilíbrio, ficando 63,16% para *software* proprietário e 36,84% para *software* livre. Quando o assunto se refere às tecnologias disponibilizadas para auxiliar à mobilidade severa, tem-se 80% de tecnologias proprietárias.

Figura 5 - Distribuição de Tecnologias entre Software Proprietário e Livre



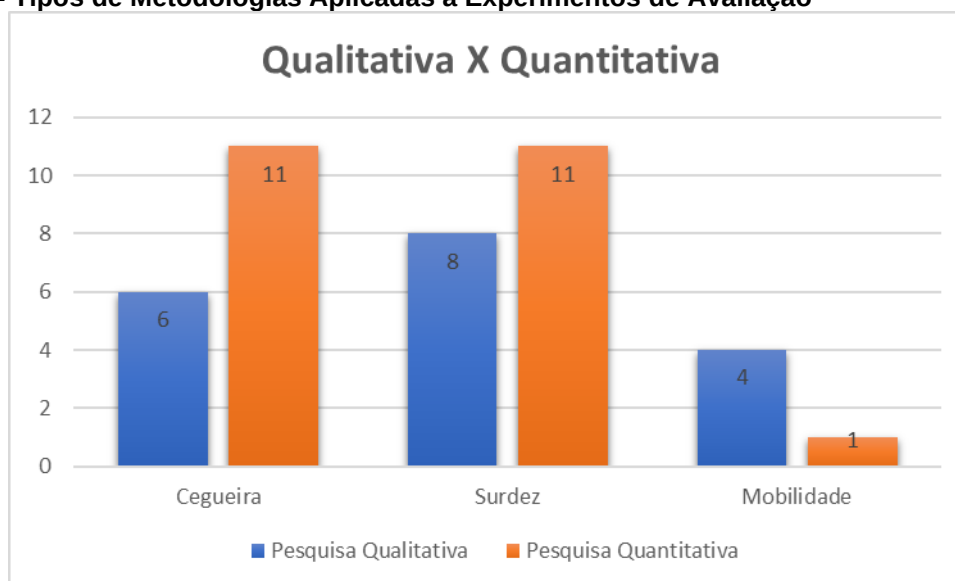
Fonte: O autor (2020).

Uma das razões para isso é que as pesquisas encontradas com soluções proprietárias são, em sua grande maioria, de incentivo da iniciativa privada, sejam instituições de ensino ou outras empresas privadas. Já as soluções tecnológicas denominadas como *software* livre recebem incentivos de instituições governamentais (municipais e estaduais) ou mesmo do próprio governo federal.

- **QS4** - *Quais as principais abordagens metodológicas de avaliação para o desenvolvimento de tecnologias de acessibilidade?*

As avaliações experimentais de pesquisas com tecnologias aplicadas em AVA para auxiliar os deficientes nas realizações de suas atividades apresentam 56,10% de avaliações quantitativas e 43,90% qualitativas (Figura 6).

Figura 6 - Tipos de Metodologias Aplicadas a Experimentos de Avaliação



Fonte: O autor (2020)

Em ambos os tipos de avaliação, são utilizadas como ferramentas de avaliação o questionário avaliativo e a observação das ações, geralmente visando melhorias nas ferramentas tecnológicas aplicadas nos AVA.

Os experimentos controlados, executados na pesquisa qualitativa, possuem um processo mais burocrático em suas realizações, pois envolvem questões éticas existentes nesses experimentos (comitê de ética, amostra reduzida de voluntários para pesquisa, entre outras). Entretanto, os experimentos voltados à pesquisa qualitativa possuem mais *expertise* em seus resultados, por envolverem usuários desde o início de suas concepções (requisitos, protótipos, estudos de caso, entre outros) até o produto final (QIANG; GUODONG, 2009; VAN JAARSVELDT; NDEYANDEREYA, 2013).

É importante ressaltar que experimentos de pesquisas do tipo proprietário se tornam difíceis de serem replicados, principalmente devido à falta de acesso aos códigos-fonte, aos requisitos envolvidos no *software* desenvolvido e esquemas dos dispositivos eletrônicos presentes nos artigos. Portanto, levando os pesquisadores a criar do ponto zero as soluções tecnológicas que se façam necessárias em suas pesquisas, demandando assim mais tempo no desenvolvimento dessas soluções.

2.2 MAPEAMENTO SISTEMÁTICO DE LITERATURA FASE II

A Fase II do MSL teve como objetivo buscar trabalhos na literatura que pudessem fornecer características úteis bem como limitações que pudessem ser melhoradas para o desenvolvimento das soluções ao problema tratado nesta tese.

Com este objetivo, esta fase do MSL considerou o mesmo intervalo de tempo da Fase I do MSL (2009 – 2020), buscando agora artigos relacionados especificamente com o problema de pesquisa elicitado. A análise dos trabalhos levantados encontra-se no Capítulo 4 desta tese.

2.2.1 Questões de Pesquisa do Mapeamento Sistemático de Literatura Fase II

Neste ponto, partiu-se com o objetivo de responder às questões de pesquisa desta tese que são:

QP1: É possível o desenvolvimento conjunto de aparatos tecnológicos (*hardware* e *software*) para pessoas com mobilidade reduzida severa, com base em Tecnologias Assistivas?

QP2: Tal solução poderia ser ao mesmo tempo eficaz em sua execução e livre para uso da comunidade acadêmica?

2.2.2 Estratégia de Busca

Foi necessário considerar a criação de novos termos chave de pesquisa, retirados das questões centrais da tese. A elaboração desta nova *String* de Busca também foi realizada por meio de um *brainstorming* com os mesmos pesquisadores do primeiro MSL, no qual foram levantadas as principais palavras que representam a área de pesquisa em questão. No Quadro 3 é apresentada a *string* de busca.

Quadro 3 - *String* de Busca dos Trabalhos Relacionados com o Tema de Pesquisa da Tese.

<i>String</i> de Busca
(“severe reduced mobility” OR “quadriplegia” OR “disabled students” AND “computational accessibility” OR “accessibility devices” OR “Assistive Technologies” AND “assistive technology software” OR “assistive technology hardware” OR “universal design” OR “inclusive design”)

Fonte: O autor (2020)

As fontes de busca foram as citadas na Seção 2.1.3.

2.2.3 Seleção dos Estudos Primários

Novos critérios de inclusão e exclusão foram criados para esta fase do MSL, levando em consideração agora artigos específicos com o tema direcionado para a

tese:

- **CrITÉRIOS de Exclusão** - Não foram considerados estudos teóricos; *software* sem embasamento tecnológico assistivo; dispositivos (*hardware*) sem embasamento tecnológico assistivo; artigos que não mostrassem integração com tecnologias do tipo assistiva; estudos publicados em editoriais, prefácios, apenas resumo, entrevistas, notícias, livros e revisões; artigos que não relacionassem a tetraplegia à tecnologia assistiva utilizada; artigos inconsistentes ou com conteúdo incompleto e estudos similares em engenhos diferentes (quando dois ou mais artigos apresentavam conteúdos semelhantes, foi considerado o estudo mais recente); e
- **CrITÉRIOS de Inclusão** - Foram considerados todos os estudos encontrados a partir da *string* de busca nos engenhos já citados, desde que o estudo estivesse disponível na Internet e satisfizesse alguns dos seguintes critérios: relevância que o estudo possuísse em relação às questões de pesquisa propostas; artigos completos publicados em periódicos, conferências ou simpósios; estudos que descrevessem pesquisas e experiências relacionadas ao tema; e estudos que relacionassem o tema à Ciência da Computação.

2.2.4 Discussões e Resultados da Fase II do Mapeamento Sistemático de Literatura

Como este trabalho buscou criar novos recursos tecnológicos para auxiliar PD com mobilidade reduzida severa (tetraplegia) na realização de atividades computacionais em ambientes *Web* de EaD, além dos critérios de exclusão e inclusão definidos na Seção 2.2.3, foram considerados apenas artigos que continham pelo menos dois dos critérios listados a seguir para compor a etapa do ciclo de pesquisa dos estudos relacionados deste trabalho de tese:

- a. Incluir PD com mobilidade reduzida severa no desenvolvimento do trabalho;
- b. Incluir dispositivos de acessibilidade computacional que tenham por base PD com mobilidade reduzida severa;
- c. Apresentar *software* que teste a qualidade do dispositivo desenvolvido para PD com mobilidade reduzida severa; ou
- d. Apresentar *software* que ajude na realização das atividades

computacionais, utilizado em conjunto com os dispositivos desenvolvidos para PD com mobilidade reduzida severa.

Assim, a Fase II do MSL realizado apontou oito (8) trabalhos relacionados à tese, os quais estão analisados no Capítulo 4.

2.3 PROCESSOS PARA GERAR ELICITAÇÃO DE REQUISITOS

No segundo momento da metodologia adotada para desenvolvimento deste trabalho (Figura 1, marcação 2), foram utilizados dois dos três métodos existentes para a criação e avaliação em Interação Humano Computador (*Human Computer Interaction* – HCI): o método observacional e o experimental para a elaboração de requisitos e desenvolvimento do dispositivo apontador (*mouse*) e do aplicativo auxiliar (*software*), ficando excluído o método correlacional por não ser necessário em nenhuma das etapas de pesquisa.

Ambos os métodos são empíricos, pois se baseiam na observação ou na experiência do usuário. E mesmo havendo diferenças entre os métodos, os resultados convergem para a resolução dos objetivos propostos (MACKENZIE, 2013, p. 130–131), os quais em conjunto, foram utilizados para executar as atividades propostas e consequentemente, gerar todas as bases de dados resultantes para a resposta às questões de pesquisa.

2.3.1 Elicitação de Requisitos para Hardware Assistivo Auxiliar

Assim, dando sequência aos passos metodológicos deste trabalho, como primeira tarefa da elicitação de requisitos, foram considerados os aparatos tecnológicos encontrados nos artigos da Fase II do MSL, particularmente, características, limitações e usabilidade, como as necessidades de um cliente, adaptando a engenharia de *software* para a referida elicitação (Figura 7), onde : 1 – Artigos encontrados MSL; 2 – Possui requisitos utilizáveis; 3 – Não possui requisitos utilizáveis; 4 – Adaptar para requisitos utilizáveis.

Figura 7 - Levantamento dos Requisitos a partir das Limitações Encontradas



Fonte: O autor (2020).

As limitações foram destacadas porque são as características que mais se assemelham com as “necessidades do cliente” na hora do levantamento dos requisitos de um sistema, pois segundo Sommerville:

Os requisitos de um sistema são as descrições do que o sistema deve fazer, os serviços que oferecem e as restrições a seu funcionamento. Esses requisitos refletem as necessidades dos clientes para um sistema que serve a uma finalidade determinada, como controlar um dispositivo, colocar um pedido ou encontrar informações. O processo de descobrir, analisar, documentar e verificar esses serviços e restrições é chamado de Engenharia de Requisitos – RE, do inglês *Requirements Engineering* (SUMMERVILLE, 2011, p.57).

Como o *hardware* desenvolvido neste trabalho seguiu uma arquitetura baseada em componentes, decidiu-se adaptar a metodologia RUP¹¹ (*Rational Unified Process*) da IBM¹² para gerar os requisitos necessários para tanto. O RUP foca em produzir uma arquitetura executável nas fases iniciais do projeto, tornando-o flexível e apto a mudanças rápidas caso os requisitos sejam modificados em tempo de execução (ANWAR, 2014).

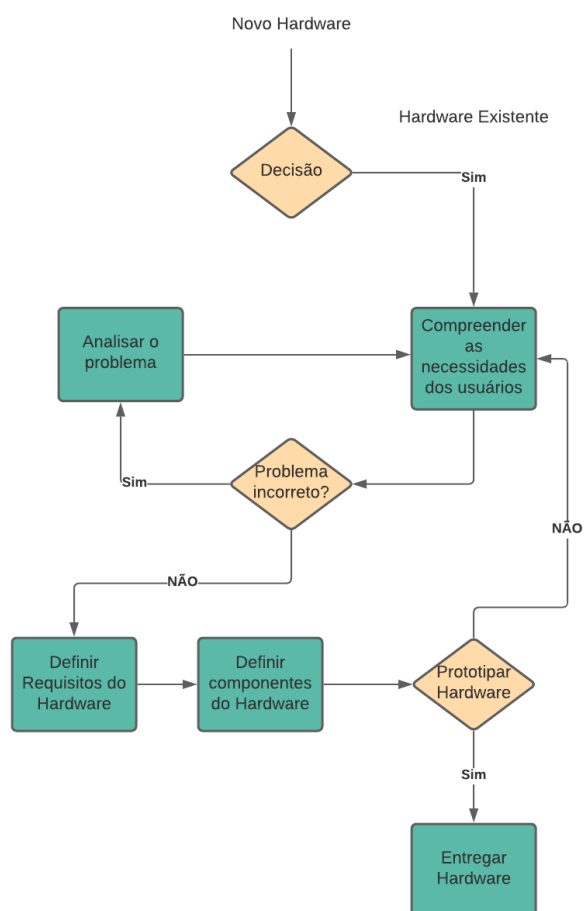
Assim como ocorre com as fases específicas da problematização que geram os requisitos de um sistema (*software*), essas fases foram adaptadas para a construção do *hardware*, descrevendo todas as tomadas de decisão, análise do problema, compreensão dos problemas do usuário, prototipação, componentes, até a criação do dispositivo (Figura 8).

¹¹

https://www.ibm.com/developerworks/rational/library/content/03July/1000/1251/1251_bestpractices_TP026B.pdf

¹² <https://www.ibm.com/br-pt?ar=1>

Figura 8 - Adaptação do Modelo RUP para a Criação do Hardware Assistivo Auxiliar



Fonte: Adaptada de Anwar (2014)

Com base nas análises da literatura obtida na Fase II do MSL, os seguintes requisitos foram elicitados:

Requisitos Não Funcionais do *Hardware* Assistivo Auxiliar - HAA

[RNF- 0001] Não Intrusivo

Prioridade Essencial

Descrição O *hardware* não deve ser intrusivo.

Status Realizado

[RNF- 0002] Compatibilidade com Diferentes Sistemas Operacionais

Prioridade Essencial

Descrição O *hardware* deverá ser compatível com sistema operacional Windows, Linux e MacOS¹³

Status Realizado

¹³ <https://www.apple.com/br/macOS/catalina/>

[RNF- 0003] Manutenível

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>hardware</i> deverá ser composto por peças de fácil aquisição e reposição.
Status	Realizado

[RNF- 0004] Compatibilidade com Computador Pessoal

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>hardware</i> poderá ser utilizado por qualquer computador pessoal que tenha entrada USB. Caso o computador pessoal não tenha entrada USB, poderá ser utilizado um adaptador que promova a este computador, uma entrada USB.
Status	Realizado

[RNF- 0005] Conforto

Prioridade	Desejável
Descrição	O <i>hardware</i> deverá proporcionar conforto ao ser utilizado pelo usuário.
Status	Realizado

[RNF- 0006] Não Visível

Prioridade	Desejável
Descrição	O <i>hardware</i> deverá ser imperceptível ao usuário em relação ao seu posicionamento. O <i>hardware</i> deverá ficar não visível.
Status	Realizado

Requisitos Funcionais do *Hardware* Assistivo Auxiliar**[RF- 0001] Calibragem**

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>hardware</i> deverá não precisar de calibração externa para seu funcionamento

O *hardware* não dependerá da iluminação do ambiente, seja natural ou artificial) para seu funcionamento.

Status Realizado

[RF- 0002] Movimento da Cabeça

Prioridade Essencial

Descrição O *hardware* deverá detectar o movimento da cabeça do usuário.
O *hardware* não dependerá de qualquer outro movimento a não ser o da cabeça do usuário.

Status Realizado

[RF- 0003] Alimentação Funcional

Prioridade Essencial

Descrição O *hardware* deverá ser alimentado por meio de cabo USB.
O *hardware* dependerá de que o computador pessoal esteja ligado para poder funcionar quando estiver conectado a este.

Status Realizado

2.3.2 Elicitação de Requisitos para o Software Assistivo Auxiliar

Elaborou-se, por meio de roteiro de atividades, uma análise de todas as necessidades que o usuário teria para acessar os recursos computacionais disponíveis de modo a executar atividades básicas em um computador (DA ROCHA PERRIS; DE SOUZA, 2020).

Pontos importantes foram abordados para o desenvolvimento do *software*. Entre eles, a independência do PD na escolha de quais aplicativos deveriam estar disponíveis para ele, bem como a possibilidade de substituir aplicativos.

Foram realizadas entrevistas com os alunos da disciplina Interação Humano-Computador - IHC do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia - IFBA e um usuário de cadeira de rodas com lesão medular C6 (**lesão de Grau 1**), sendo este, considerado pelo pesquisador neste momento, o principal consultor e avaliador do conjunto (*hardware* e *software*) desenvolvido nesta pesquisa.

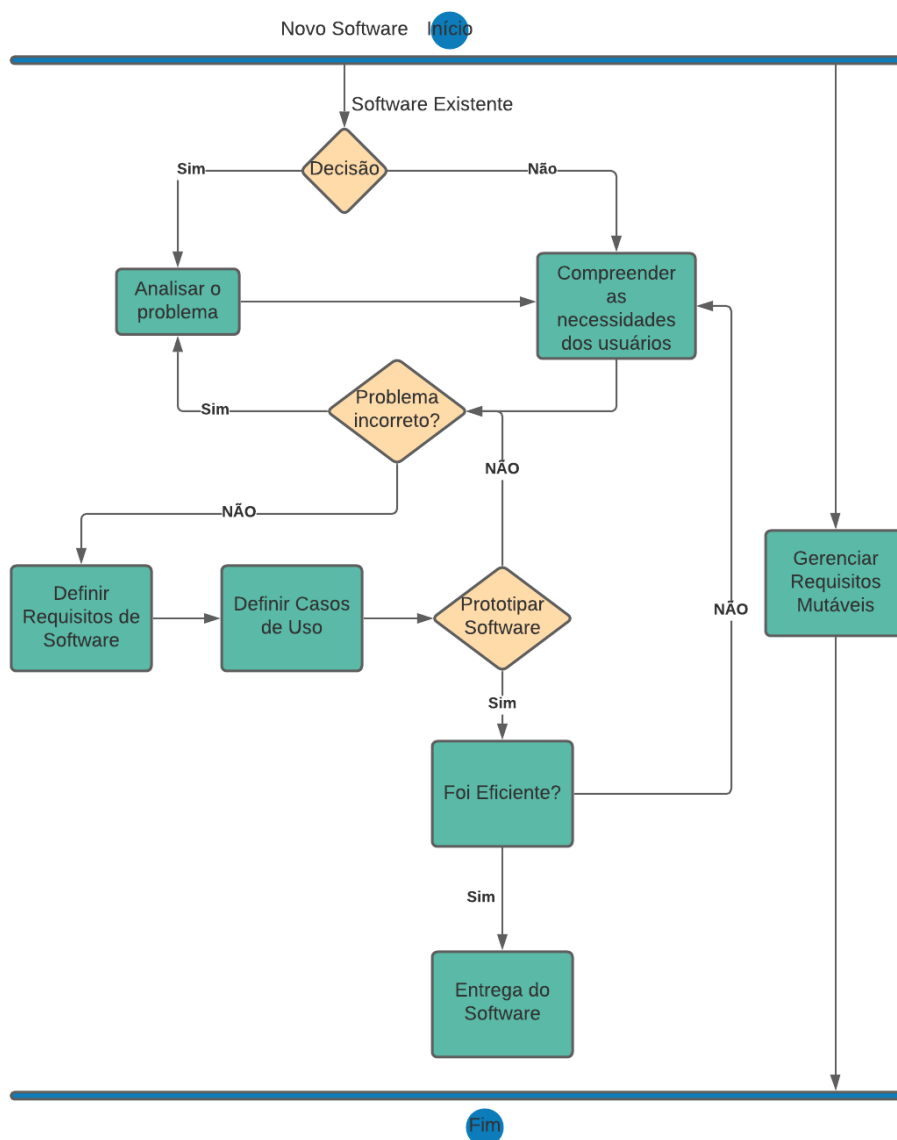
Na entrevista, eram relacionadas todas as características dos dispositivos assistidos encontrados, seus aspectos positivos e negativos e se questionava como poderia resolver os problemas de aspectos negativos nas soluções. As soluções

propostas então, eram prototipadas em um dispositivo e em seguida testadas para saber se realmente solucionavam o problema do aspecto negativo.

A união do HAA e do SAA formam o Sistema Assistivo Auxiliar Modular – SAAM, ambos de tecnologia livre (*hardware* e *software*) e de patente do IFBA, que será utilizado para a realização dos experimentos executados em ambiente real e após a comprovação de sua eficácia ficará à disposição de todos, para adaptações a outros dispositivos ou aplicativos, melhoramentos, inovações e não poderá ser comercializado (DA ROCHA PERRIS; DE SOUZA, 2020).

Para o desenvolvimento do SAA, utilizou-se novamente do modelo RUP, por ter melhor gerenciamento dos requisitos mutáveis do processo, adaptando-o para a elicitação de requisitos do aplicativo SAA (Figura 9).

Figura 9 - Modelo RUP para elicitação e Gerenciamento de Requisitos do SAA



Requisitos Não Funcionais do *Software* Assistivo Auxiliar - SAA

[RNF- 0001] Linguagem de desenvolvimento

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá ser desenvolvido em uma linguagem compatível com os sistemas ¹⁴ operacionais Windows e Linux.
Status	Realizado

[RNF- 0002] Cores do aplicativo

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá apresentar cores distintas para cada função.
Status	Realizado

[RNF- 0003] Tamanho dos ícones do aplicativo

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá apresentar ícones grandes, para facilitar a interação do usuário.
Status	Realizado

Requisitos Funcionais do *Software* Assistivo Auxiliar - SAA

[RF- 0001] Monitoramento das ações do mouse

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá monitorar as ações do mouse no sistema.
Status	Realizado

[RF- 0002] Adicionar aplicativos

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá permitir ao usuário criar atalhos de seus principais aplicativos em sua janela se assim ele desejar.
Status	Realizado

[RF- 0003] Retirar aplicativos adicionados

Prioridade	Essencial
------------	-----------

¹⁴ Não testado no sistema MacOS

Descrição	O <i>software</i> deverá permitir ao usuário retirar os atalhos de seus principais aplicativos se ele assim desejar.
Status	Realizado

[RF- 0004] Configurar tempo de segurar o click

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá permitir ao usuário configurar o tempo de permanência do botão pressionado pelo usuário, para que possa exibir sua janela de aplicativos se ele assim desejar.
Status	Realizado

[RF- 0005] Inicialização

Prioridade	Essencial
Descrição	O <i>software</i> deverá permitir ao usuário configurar se o aplicativo inicia junto com o sistema operacional ou por ação do <i>mouse</i> após a inicialização do sistema operacional se ele assim desejar.
Status	Realizado

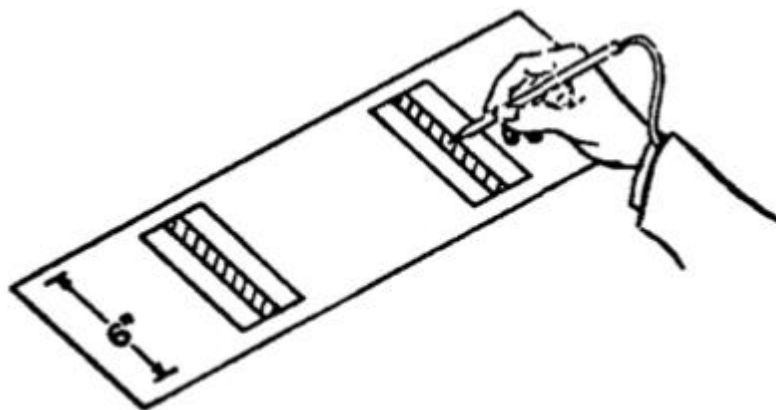
2.4 DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS DE AVALIAÇÃO

O processo definido para avaliação dos artefatos desenvolvidos neste trabalho é constituído por duas etapas. Na primeira é avaliado o dispositivo apontador *Hardware Assistivo Auxiliar* (HAA), uma vez que ele é fundamental na solução desenvolvida nesta tese. Na segunda etapa foi, então, avaliado o uso conjunto do apontador com o *Software Assistivo Auxiliar* (SAA), uma vez que o SAA sozinho não teria utilidade alguma. O perfil dos participantes é descrito no tópico 5.1.3 (Sujeitos Experimentais) e os resultados desta avaliação estão descritos na Seção 5.3 (Atividades e Resultados).

Assim, para o HAA a avaliação realizada baseia-se na premissa de que interfaces humano-computador, as quais funcionam como *mouse*, possuem normas que permitem sua avaliação, especificamente a ISO/TS 9241. Particularmente, deve-se considerar a “*Ergonomics of human-system interaction – Part 411: Evaluation methods for the design of physical input devices*” (ISO/TS, 2012). Esta é a norma que descreve os testes da lei de Fitts (FITTS, 1954), a qual endereça a capacidade de transmitir informações do sistema motor humano controlando a amplitude e a precisão

dos movimentos. Basicamente, envolve testes que variam a distância entre alvos, sendo que a tarefa deve ser realizada da maneira mais rápida e precisa possível. Um exemplo é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Aparato de Teste Lateral



Fonte: Fitts (1954).

A descrição e os resultados da avaliação realizada com o HAA são apresentados no Capítulo 6, na Seção 6.1. As subseções seguintes descrevem o tratamento estatístico utilizado nos processos de avaliação realizados.

2.4.1 Métricas

Considerando o índice de dificuldade (*ID*) de uma tarefa e o tempo em que a mesma é realizada, se o *ID* (*bits*) for dividido pelo tempo (*s*), obtém-se a taxa de transferência de informações entre o ser humano e o computador em *bits/s* (FITTs, 1954; FITTS; PETERSON, 1964). Segundo Mackenzie (2013, p. 251), esta é uma ideia provocativa, pois é baseada puramente numa analogia, sem base no comportamento psicomotor humano. Apesar disso, a medida da taxa de transferência tem sido amplamente utilizada para analisar e comparar dispositivos de apontamento (como o *mouse*), representado pela fórmula:

$$T_t = \frac{IDe}{T_m}$$

Sendo T_t - taxa de transferência (*throughput*) em *bits/s*, T_m - tempo de movimento em segundos e o *IDe* - índice de dificuldade efetivo em *bits*.

2.4.2 Taxa de Transferência

Com o objetivo de comparar as taxas de transferência, foi utilizada a média das médias (SOUKOREFF; MACKENZIE, 2004) para cada tipo de tarefa (unidirecional e

multidirecional), utilizando a seguinte fórmula:

$$T_t = \frac{1}{y} \sum_{i=1}^y \left(\frac{1}{x} \sum_{j=1}^x \frac{IDeij}{Tmij} \right)$$

Onde y é o número de participantes e x o número de blocos que o participante foi submetido para a tarefa correspondente. Nos testes do HAA, serão 4 blocos no FittsStudy em 5 sessões diárias, totalizando 20 testes para cada participante.

Caso fosse necessário, para avaliar se esses resultados eram realmente próximos, não bastaria examinar somente as médias, mas sim realizar a análise de variância (ANOVA - *analysis of variance*) com os resultados da taxa de transferência por participante, com o HAA. O resultado da ANOVA mostraria se as diferenças são ou não estatisticamente significativas, o que poderia indicar que não se poderá descartar a hipótese nula (igualdade na comparação) (SOUKOREFF; MACKENZIE, 2004).

2.4.3 Controle das Ameaças à Validade do Experimento

a) Validade interna

Todos os participantes utilizaram as mesmas ferramentas (*Mouse* convencional e o HAA) e receberam o mesmo treinamento.

b) Validade externa

O ambiente externo ao experimento não poderia exercer influência ao local de experimentos, o qual deveria ser fechado, refrigerado e silencioso.

c) Validade de Conclusão

Todos os cálculos estatísticos para a taxa de transferência foram feitos com base em Mackenzie (MACKENZIE, 2013, p. 251).

d) Validade do Constructo

Após o início e durante os experimentos, o pesquisador não poderia intervir na sua execução.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foram apresentadas todas as etapas do método de pesquisa utilizado no desenvolvimento desta tese.

Nele, o Mapeamento Sistemático da Literatura foi realizado em duas fases. A primeira de forma mais genérica, na procura de evidências temáticas, e a segunda de forma mais específica, para que, aplicando e adaptando metodologias, fosse possível

ajudar a desenvolver os aparatos computacionais que formam o SAAM, principal contribuição desta tese.

Também foi apresentado o desenho experimental, o qual foi utilizado para avaliação do HAA de modo a gerar os resultados que avaliaram sua eficácia.

No próximo capítulo, serão abordados alguns dos principais conceitos relativos à severa mobilidade reduzida, especificamente a tetraplegia, bem como à tecnologia assistiva, particularmente acessibilidade computacional à web aplicada a ambientes virtuais de aprendizagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO CONCEITUAL

“Dificuldades e obstáculos são fontes valiosas de saúde e força para qualquer sociedade.”

Albert Einstein.

Neste capítulo serão abordados alguns dos principais conceitos relativos à severa mobilidade reduzida, especificamente a tetraplegia, bem como a tecnologia assistiva, particularmente acessibilidade computacional à web e ambientes virtuais de aprendizagem. Tais temas formam o objeto de estudos deste trabalho.

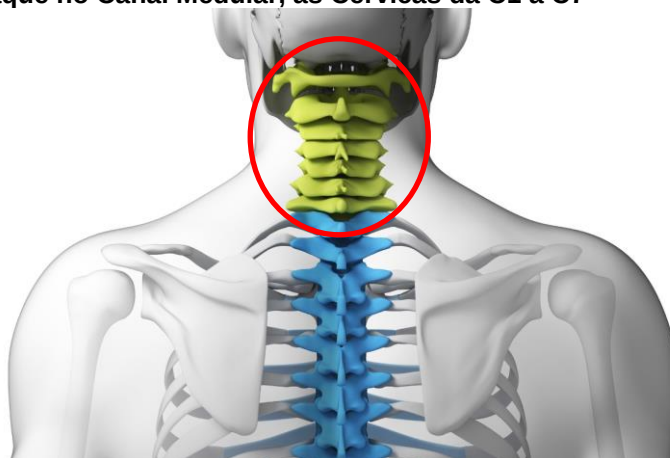
3.1 MOBILIDADE REDUZIDA SEVERA – TETRAPLEGIA

Pesquisas estimam que cerca de 500 mil pessoas com idade entre 20 e 30 anos no mundo sejam diagnosticadas anualmente com lesão medular. No Brasil, esse índice é de 6 a 8 mil novos casos por ano e a idade da maioria dos afetados oscila entre os 10 a 30 anos.

A maioria das lesões (90%) possui etiologia traumática, oriundas por exemplo de quedas, acidentes automobilísticos ou violência e a consequência mais comum nos afetados é a perda da mobilidade, além das desordens afetivas e da qualidade de vida (WHO, 2012).

As lesões da medula espinhal são classificadas pela Associação Americana de Lesão Medular - ASIA, do inglês, *American Spinal Injury Association* - de acordo com a lesão na segmentação motora e sensorial (ANEXO A). ASIA recomenda que nos casos de lesão medular sempre se classifique como tetraplegia ou paraplegia. Ambas se referem à perda da função motora dos segmentos cervicais da medula espinhal (no destaque da Figura 11), ocasionada por danos permanentes nos elementos neurais dentro do canal medular, sendo a tetraplegia a forma mais severa.

Figura 11 - Em destaque no Canal Medular, as Cérvicas da C1 à C7



Fonte: Imagem Dreamstime, direito adquirido¹⁵ e adaptada pelo autor (2020).

3.1.1 Tipos de Lesões

O Ministério da Saúde determina o grau de mobilidade que é aplicado aos músculos do tronco, pela avaliação do grau de força muscular (Quadro 4) e nos grupos musculares correspondentes aos miótomos¹⁶.

Quadro 4 - Avaliação da Força Muscular

Grau 0	Paralisia total
Grau 1	Contração visível ou palpável
Grau 2	Movimentação ativa sem vencer a força da gravidade
Grau 3	Vence a gravidade, mas não vence qualquer resistência
Grau 4	Não vence a resistência do examinador
Grau 5	Normal

Fonte: Ministério da Saúde (2013)

O nível sensitivo é definido como o segmento mais longe da medula que tem função sensitiva normal em ambos os lados do corpo. O nível motor é o último nível em que a força é pelo menos **Grau 3** (movimentos normais dos membros acima da linha da cintura) e o nível acima tem força muscular normal (**Grau 5**).

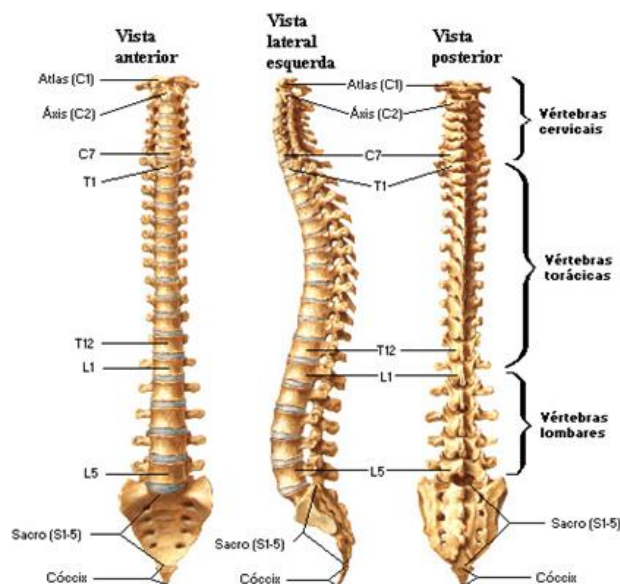
Esta tese estudará e irá criar soluções de acessibilidade a recursos

¹⁵ Licença de uso no Apêndice B

¹⁶ Segundo a ASIA, miótomo é definido como grupo e fibras musculares inervados pelos axônios motores de um único nervo espinhal.

computacionais para indivíduos com as lesões de **Grau 1**, as quais abrangem as vértebras cervicais C3 a C7 e permitem a PD a sustentação e movimentação da cabeça (Figura 12), deixando de fora as lesões nas vértebras cervicais C1 e C2, Atlas e Axis respectivamente.

Figura 12 - Prancha 153 - Coluna Vertebral



Fonte: Netter (2011)

A paraplegia (**Grau 2**) geralmente não oferece qualquer dificuldade a PD em acessar a Internet. Já tetraplegia (**Grau 1**), no entanto, impõe dificuldades significativas, dependendo do tipo da lesão sofrida. Alguns indivíduos com tetraplegia podem fazer algum uso de suas mãos, mas não o suficiente para, por exemplo, manipular um mouse ou algum tipo de teclado e, mesmo com essas limitações, indivíduos com tetraplegia são capazes de fazer uso de tecnologias assistivas que lhes permitam o acesso às funcionalidades de seus computadores (BANDEIRA; ZUCATELLI, 2016).

PD que tenham os movimentos de uma mão ou braço afetados por lesões podem fazer uso da Internet utilizando o teclado com apenas uma das mãos, sem muita dificuldade. Tais dispositivos estão disponíveis e podem compensar com eficiência a necessidade do indivíduo. No entanto, alguém que tenha perdido o movimento em ambos os membros pode ter necessidade de recorrer a outras tecnologias, como as utilizadas por tetraplégicos (e.g. varinhas para a cabeça, bastões para a boca, *software* de reconhecimento de voz, entre outros) (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Quando falamos em educação, na maioria das instituições de ensino superior, presenciais ou virtuais, os ambientes de aprendizagem são muitas vezes adaptados

para este tipo de aluno. Normalmente, os alunos portadores de necessidades especiais recebem o conteúdo formatado de uma forma que pode ser acessado com tecnologias assistivas. Isto é, apesar da aceitação comum de que projetar o conteúdo acessível a partir da sua origem o torna mais custoso com relação a tempo e não garante que o material seja eficaz para todos os estudantes (AMARAL *et al.* 2010).

3.2 TECNOLOGIA ASSISTIVA

Em ambientes educacionais, a tecnologia está mudando a maneira como as pessoas aprendem, como os educadores ensinam e como professores e alunos se comunicam entre si. As tecnologias assistivas (TA) têm sido a fonte de consideráveis esforços de pesquisa, pois têm um impacto real sobre conforto de vida dos pacientes com severas lesões na medula ou baixo grau de mobilidade.

Para Cook e Polgar (2014), na atividade humana o modelo de TA é descrito como uma estrutura de quatro componentes que representam a interação entre pessoas com deficiência e sua atividade, usando dispositivos auxiliares em um ambiente específico. Isso faz com que a importância de uma interface humano-tecnológica adequada seja alinhada com a ideia de várias tomadas de decisões com base nos componentes TA envolvidos para a elaboração de um ambiente que atenda perfeitamente às necessidades dos participantes.

Tanto os dispositivos TA quanto o uso de ferramentas TA requerem habilidades específicas, dependendo da interface de interação fornecida (COOK; POLGAR, 2014). Para pessoas com lesões medulares, as interfaces disponíveis mais comuns para TA podem ser classificadas em duas categorias.

A primeira categoria consiste em interfaces mecânicas ou eletromecânicas, as quais incluem principalmente dispositivos de comutação (como interruptores montados na cabeça), teclados dedicados, *mouses*, *trackballs*, *joysticks*, ponteiros de mão, sistemas de controle de lábios, entre outros (GAJOS; WOBBROCK; WELD, 2008; JOSÉ; DE DEUS LOPES, 2015).

Embora esses dispositivos não sejam totalmente invasivos, eles continuam difíceis de usar para as pessoas que vivem com lesões medulares graves, pois seu uso vai depender muito do nível de lesão e das habilidades remanescentes.

A segunda categoria é a das interfaces que incluem rastreamento de movimento, dispositivos baseados em reconhecimento de padrões e sistemas baseados em “biômetros” (*bio-signals*). Essas interfaces de interação humano-computador (IHC) desafiam seus pesquisadores e *designers* a proporcionar conforto, intuição, discrição

e não intrusão, o que as tornam mais atraentes aos usuários com necessidades especiais.

Esses desafios vêm sendo reconhecidos na comunidade de IHC, mais particularmente nos projetos de TA com alvo nas PD com tetraplegia. Já existem projetos que envolvem diferentes áreas de desenvolvimento do conhecimento com novas aplicações de IHC em TA. Por exemplo, um tipo de projeto nessa área considera a criação de Interface Óculos-Mouse (IOM) (RODRIGUES *et al.*, 2016).

O IOM visa permitir o uso do computador por PD com paralisia motora (sem capacidade intelectual comprometida), incluindo o uso de TIC, para controlar os movimentos do mouse por meio do movimento da cabeça, bem como ação do clique do mouse pelo piscar de olhos. O projeto ainda está em desenvolvimento.

Acompanhando a evolução dos dispositivos, há *software* especificamente projetado para atender às necessidades desses PD de mobilidade reduzida. Por exemplo, *software* para digitar com os olhos e detectar o movimento da cabeça por meio de um teclado exibido na tela do computador, sendo guiado pela lente da câmera do computador (BANDEIRA; ZUCATELLI, 2016).

Bandeira & Zucatelli (2016) ressaltam que muitos dos dispositivos de entrada de dados necessitam de um *software* para auxiliar na resolução de tais atividades, pois sem ele, se tornam de pouca utilidade e geram alto grau de frustração nos usuários.

Atualmente, a comunidade internacional de IHC debate os sete grandes desafios para se viver e interagir em ambientes com tecnologia aumentada ou muito desenvolvida (Figura 13) que agrega aspectos tecnológicos a ambientes reais, aprimorando o conhecimento da realidade.

Figura 13 - Sete Grandes Desafios Para Interagir em Ambientes com Tecnologia Aumentada



Fonte: Adaptada de Stephanidis *et al.* (2019)

Essa comunidade relata, entre outros assuntos relacionados à IHC, que novos métodos precisam ser criados ou adaptados, para que desenvolvimentos de dispositivos assistivos (*software* ou *hardware*) tornem-se mais comuns e simples de serem encontrados e utilizados por PD. Os pesquisadores dessa área buscam, atualmente, interfaces mutáveis de acordo com as necessidades do usuário, criando um potencial enorme de interfaces tangíveis personalizadas em tempo real (STEPHANIDIS *et al.* 2019).

A adequação das várias soluções tecnológicas assistivas para as diferentes combinações de PD e ambiente em que se localizam, compreendendo a evolução das necessidades humanas e o seu contexto de uso, está criando modelos apropriados para o usuário com o avanço do conhecimento dos seus requisitos.

3.3 AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM E ACESSIBILIDADE

No escopo da educação *online*, acessibilidade é definida pelo *IMS Global Learning Consortium* (2013) como “a habilidade de ajustar o ambiente de aprendizagem às necessidades de todos os estudantes”. Segundo esse consórcio, a acessibilidade pode ser determinada pela flexibilidade do ambiente educacional e pela disponibilidade de conteúdos e atividades alternativos (adaptados) equivalentes aos

originais, ou seja, que atendam aos objetivos pedagógicos pretendidos.

Ambientes virtuais de aprendizagem AVA assistivos fazem uso da tecnologia assistiva para a sua concepção. Já no início do desenvolvimento assistivo, para o modelo de navegação, o desenvolvedor web constrói as páginas de um curso no AVA a partir dos *storyboards*. Quando parte para o desenvolvimento no formato *Hypertext Markup Language* (HTML), menus, *links*, caixas de texto e audiodescrição são inseridos (CARVALHO et al. 2018).

O recurso de TA de audiodescrição existente nos AVA inclusivos serve para descrever as imagens inseridas nas salas de aula virtuais. Um texto prévio é criado, explicando detalhadamente a imagem e é feita uma gravação em áudio do conteúdo, gerando assim um arquivo no formato Mp4¹⁷. Quando inserido no código HTML, este arquivo dá origem ao reprodutor de faixas de áudio, sendo anexado abaixo da imagem no AVA (FARHAN; RAZMAK, 2020).

AVA assistivos permitem aos usuários definirem cor de fundo, cor e tamanho das letras, tamanho das imagens, componentes da fase do modelo de interface, que determina a identidade visual da tecnologia. Assim, a aparência se torna atraente para o usuário (FARHAN; RAZMAK, 2020).

Os testes de acessibilidade nos AVA são, inicialmente, executados por meio de avaliadores automáticos (*software*) e só depois uma avaliação manual por usuários, permitindo a detecção eficaz de problemas de acessibilidade. Essa avaliação manual pode ser feita por um único usuário com deficiência e deverá ser validada (BRASIL, 2011).

Outra integração bem feita em AVA assistivos é a adoção de mundos virtuais 3D. Agentes pedagógicos corporais e inteligentes são empregados para aprimorar a interação com os alunos e melhorar sua experiência geral de aprendizagem. Para portadores de paralisia ou tetraplegia, tem-se mostrado muito inclusivo, pois as limitações físicas no mundo virtual não existem (GRIVOKOSTOPOULOU, KOVAS; PERIKOS, 2020).

Porém, todas essas implementações e recomendações dependem muito de todo o *staff* corporativo envolvido, do pedagógico ao desenvolvimento, todos devem contribuir para a criação destes ambientes e de suas TA envolvidas (O'DONNELL et al. 2015).

Resultados de pesquisas realizadas por Dietze (et al. 2013) e pelo W3C (2015)

¹⁷ Um padrão de container de áudio e vídeo que é parte da especificação MPEG-4 desenvolvido pela ISO/IEC 14496-14.

constatarem que o processo de cumprimento das diretrizes de acessibilidade propostas pelo *Web Content Accessibility Guidelines*¹⁸, atreladas aos AVA, apresentam fragilidades, estando essas atreladas ao não cumprimento total das diretrizes propostas, bem como à limitação do público atendido pelos cursos ofertados. Os desenvolvedores web não têm experiência das necessidades específicas destes usuários em termos de acesso para a confecção e entrega de um ambiente virtual de aprendizagem.

A participação igualitária para portadores de necessidades especiais é um objetivo importante na política de educação. Os governos no mundo têm uma forte ênfase na educação assistiva, permitindo-a para todos os cidadãos. A tendência de usar AVA para o acesso a conteúdo de estudantes nas instituições de ensino de forma geral tem o potencial de permitir novas oportunidades para pessoas que enfrentam desafios na educação (GOODWIN *et al.* 2011).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os principais conceitos relacionados aos objetos de estudo deste trabalho. Assim, foram abordados a severa mobilidade reduzida, especificamente a tetraplegia, e o tipo de lesão que será considerada nesta tese. Também foram abordados os avanços da tecnologia assistiva, particularmente acessibilidade computacional à Web e os 7 grandes desafios de IHC para prover acessibilidade computacional. Para finalizar, foi apresentada uma discussão geral sobre as tecnologias assistivas utilizadas em AVA e as facilidades que elas proporcionam a seus usuários.

No próximo capítulo serão analisados os trabalhos relacionados diretamente com esta tese, obtidos na Fase II do MSL realizado. Uma análise comparativa dos trabalhos relacionados com esta tese também será apresentada. Desta análise, surgiram as primeiras características para o desenvolvimento dos aparatos tecnológicos assistivos desta tese.

¹⁸ <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/wcag/>

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Este capítulo apresenta uma análise dos trabalhos relacionados com esta tese, obtidos na Fase II do MSL realizado. Os critérios utilizados para a análise foram: métodos de movimentos capturados pelo sistema; o princípio básico de atuação dos aparatos; se a solução foi ou não testada com usuários com deficiência motora durante a sua fase de experimentos; e qual foi o método de desenvolvimento utilizado.

4.1 SOFTWARE PARA INTERFACES

A pesquisa, realizada por **Bandeira e Zucatelli (2016)**, serve como uma alternativa aos testes de dispositivos apontadores que utilizam *software* baseado na lei de Fitts para aferir sua eficácia. Tais parâmetros podem ser utilizados para avaliar a eficácia dos dispositivos desenvolvidos para pessoas com severas limitações de mobilidade.

Tem seu foco na compreensão e experiência dos usuários em identificar os objetivos da usabilidade de um *Mouse* de Cabeça (*HeadMouse*), o qual permite que as funções do *mouse* no computador sejam realizadas por meio dos movimentos da cabeça e do rosto do usuário em uma interface gráfica (*Graphical User Interface - GUI*). O clique e os movimentos do cursor do *mouse* são executados por *software*, o qual identifica os movimentos da cabeça, olhos e boca do usuário por meio de uma *webcam*.

A interface de testes é realizada no MatLab. A metodologia utilizada nas atividades que são realizadas nessa interface consiste em uma tela inicial na qual serão calibrados pontos que precisarão ser interligados pelo usuário em uma sequência correta.

São disponibilizados na interface oito pontos representando as seguintes atividades:

- ponto 1 – inicie uma atividade;
- ponto 2 – abra uma janela e localize um arquivo;
- ponto 3 – feche a janela aberta;
- ponto 4 – volte ao ponto anterior (início);
- ponto 5 – religue os dois (ou mais) pontos existentes na tela;
- ponto 6 – salve os pontos interligados até o momento como um arquivo;
- ponto 7 – revise os pontos interligados até o momento; e
- ponto 8 – salve e feche a interface.

Durante a atividade, o usuário tem avaliado o tempo executado, o ponto atual que se encontra o ponteiro do *mouse*, o número de pontos existentes na atividade e os números de pontos já alcançados (representando curvas realizadas) e os que ainda faltam fechar na atividade para que a mesma mude seu *status* para “completa”.

No estudo, foi utilizada a ideia de que interação seria referida como “*todas as maneiras que um usuário poderia interagir com um mouse em um computador*” e foram considerados os seguintes dispositivos:

- a. *Mouse* de mão estilo *touchpad* (Usuário comum);
- b. *Mouse* de queixo (PD mobilidade reduzida severa);
- c. *Mouse* de polegares dos pés (PD mobilidade reduzida); e
- d. Rastreador facial - *Facetrack mouse* (PD mobilidade reduzida).

A pesquisa realizada utilizando essa interface obteve como resultados mais significativos: ao se fornecerem condições iguais para PD com pouca mobilidade elas terão desempenhos semelhantes; as habilidades de uso com os dispositivos são adquiridas com a repetição das atividades ao longo do tempo; e, há necessidade de melhorar os dispositivos do tipo *Trackerface* utilizando mais os olhos, pois os apontamentos dos olhos são mais rápidos que os movimentos da face.

A pesquisa desenvolvida por **Kwan et al. (2011)** mostra um *software* como uma ferramenta que aumenta as habilidades de usuários que utilizam *mouse* controlado por movimentos de cabeça ou olhos. Funciona com qualquer sistema operacional ou dispositivo que controle os movimentos do *mouse*, além de fornecer *feedback* visual para notificar a um usuário antes que os cliques ocorram, permitindo que ele descarte os cliques involuntários. Simula os comandos de *mouse* usando uma abordagem baseada em gestos que não impõem requisitos nas habilidades de movimento de um usuário.

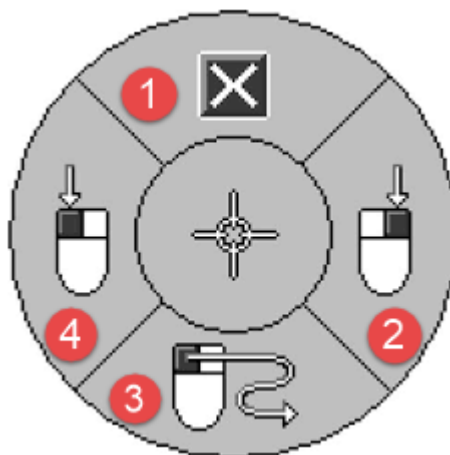
O usuário inicia o *Click Control* (*Software* desenvolvido na pesquisa) como um aplicativo auxiliar (juntamente com o seu dispositivo apontador). O *software* fica em espera em segundo plano até que o usuário tente executar um comando de *mouse*.

Por padrão do sistema, o *software* é acionado pelo evento “*MouseDown*” enviado pelo usuário na substituição do clique do *mouse* convencional para o sistema operacional. No entanto, esse clique pode ser alterado para outro executável (e.g. um pressionamento de tecla, comando de voz ou entrada física). Quando o usuário deseja executar um comando no *mouse*, o *Click Control* armazena a localização atual do ponteiro do *mouse* e exibe uma figura perto a essa localização.

O *Click Control* exibe uma figura semitransparente (Figura 14) com um alvo para

mostrar ao usuário exatamente que comando será enviado, exibindo a ele um conjunto de botões com os quais pode executar diferentes tipos de comandos do *mouse* onde: 1 – Fechar programa; 2 – clicar com botão direito do *mouse*; 3 – Clicar e arrastar; 4 – Clicar com o botão esquerdo do *mouse*.

Figura 14 - Opções Oferecidas ao Usuário pelo *Click Control*



Fonte: Kwan *et. al.* (2011)

O sistema estará prestes a executar o clique, dando ao usuário *feedback* visual e a oportunidade de cancelar a ação se não for essa a intenção. Uma vez que um gesto válido é reconhecido, o comando do *mouse* associado é enviado para o local onde o ponteiro do *mouse* se localiza. Se o clique foi acidental e o usuário não deseja enviar nenhum comando, ele pode desfazer o comando ou esperar até desaparecer automaticamente a imagem.

O *Click Control* não restringe a área de navegação do ponteiro do *mouse* na tela, deixando o usuário navegar livremente por sua área de trabalho. Os cliques foram projetados para serem fáceis de executar, exigindo apenas a capacidade de mover o ponteiro do *mouse* e deixando explícito que é improvável que sejam realizados cliques involuntários.

O *Click Control* foi desenvolvido para Windows¹⁹ usando a biblioteca de teclado global *open source* para capturar os eventos *MouseDown* que desencadeiam a imagem de comandos do *software* para simular eventos do *mouse*.

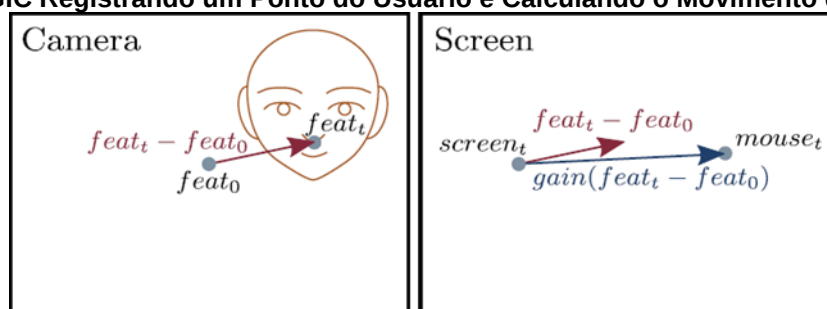
Já a pesquisa que aponta o *Software* desenvolvido por **Kurauchi *et. al.* (2015)** para dar maior precisão aos dispositivos que usam o movimento de cabeça e olhos em substituição do *mouse*, chamado de HMAGIC, requer menor movimento de cabeça em comparação com o uso de um dispositivo apontador utilizado sem seu

¹⁹ <https://www.microsoft.com/pt-br/windows>

apoio, o que é provavelmente menos cansativo, especialmente para pessoas com deficiência, não exigindo que os usuários mantenham a cabeça em posições desconfortáveis.

O *software*, utilizando uma câmera do computador e independentemente do dispositivo apontador, faz a calibragem do ponteiro do *mouse* na tela selecionando um ponto específico do rosto do usuário (geralmente o nariz) e centralizando o ponteiro do *mouse* na tela onde este ponto específico se direciona e calcula, ainda calibrando, as distorções dos movimentos da cabeça ao ponteiro do *mouse* na tela e suas posições (Figura 15).

Figura 15 - HMAGIC Registrando um Ponto do Usuário e Calculando o Movimento do Mouse



Fonte: Kurauchi *et al.* (2015)

Durante os testes foi utilizado um dispositivo apontador fixo em um óculos, semelhante à Interface Óculos Mouse (IOM) (RODRIGUES *et al.*, 2016), também abordada neste capítulo. Um total de oito voluntários (5 do sexo masculino, 3 do sexo feminino) entre 24 e 31 anos e sem deficiência motora participaram do experimento.

Três participantes tinham menos de um ano de experiência com *mouse* rastreador do posicionamento do olho e um nunca teve experiência antes com esse tipo de dispositivo. Outro usuário não mostrou dificuldade em utilizar um dispositivo apontador fixado em sua cabeça, pois já utilizava óculos e acumulava grande *expertise* neste sentido. Deste modo, seus dados não foram considerados na pesquisa.

A análise estatística indicou um significativo ganho na velocidade de movimento em todos os modos de testes, pois a distância entre alvos tornou-se mais perceptível e encurtada. Então, mesmo que HMAGIC seja considerado mais rápido do que os dispositivos usados sem seu apoio, os tamanhos e as distâncias dos alvos devem continuar a ser considerados ao projetar interfaces de apoio a dispositivos apontadores.

Com o resultado da análise dos testes com o HMAGIC, pôde-se interpretar que a perda de precisão dos apontamentos comparando os dispositivos de movimentos

de cabeça ou rastreador de olho remoto não é visivelmente observada.

Isso pode ser considerado um possível tema para pesquisa futura utilizando uma única câmera para acompanhar o percurso da cabeça e estimar o ponto central de apontamento, eliminando assim a necessidade de um rastreador de olho específico para essa aplicação.

O *UserTracking*, pesquisa desenvolvida por **Martins, Rodrigues e Martins (2015)**, aborda o desenvolvimento de uma interface humano-computador sem toque, a qual permite que qualquer pessoa controle um computador sem usar um teclado, *mouse* ou tela sensível ao toque.

Impulsionada em atender às necessidades das pessoas com dificuldades motoras ou baixa mobilidade e por corte nas verbas governamentais que davam suporte às pesquisas na área de acessibilidade, essa pesquisa tratou de desenvolver uma interface de baixo custo reutilizando sensores desatualizados do Microsoft *Kinect*²⁰ para detectar os movimentos da cabeça ou rosto.

Com custo inicial estimado de €70,00 (setenta euros, preço de um sensor *Kinect* de primeira geração), desenvolveu-se um aplicativo que foi denominado "*UserTracking*" e foi testado em uma resolução de tela 640 x 480 *pixels* e uma taxa de quadros de 30 fps (frames por segundos).

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizada a biblioteca Kinect para Windows SDK v1.8 ²¹ (*Software Development Kit*) disponível a partir da Microsoft, tendo como linguagem de programação C#²². O dispositivo, por meio dos sensores *Kinect* disponibilizados acima da tela do computador, capta o áudio e a profundidade do posicionamento do usuário.

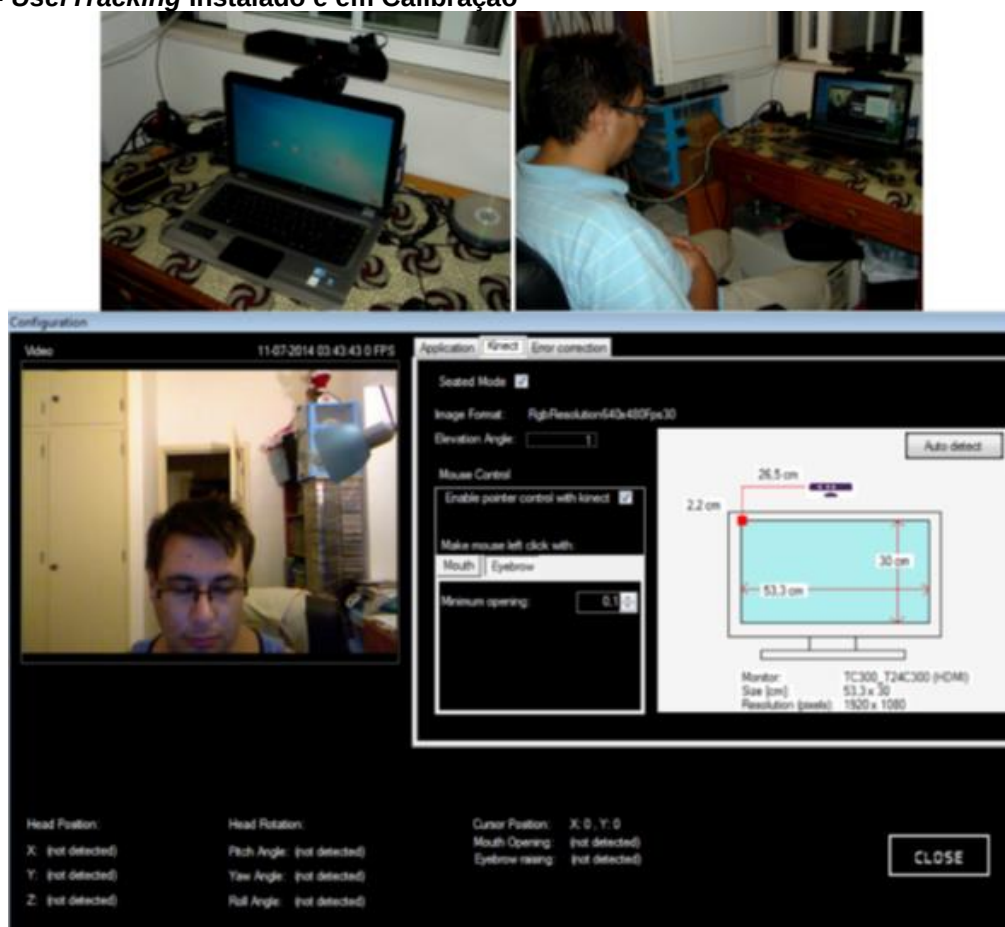
A partir dos dados de profundidade e da proximidade do usuário o posicionamento do rosto é estimado, a localização exata do ponteiro no monitor dar-se-á de movimentos do rosto para esquerda, direita, para cima e para baixo, calculando-se também em paralelo por meio do registro de animações das imagens de sobrancelhas e boca que servirão como botões do *mouse* (Figura 16).

²⁰ <https://developer.microsoft.com/pt-br/windows/kinect/>

²¹ <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=40278>

²² <https://docs.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/>

Figura 16 - UserTracking Instalado e em Calibração

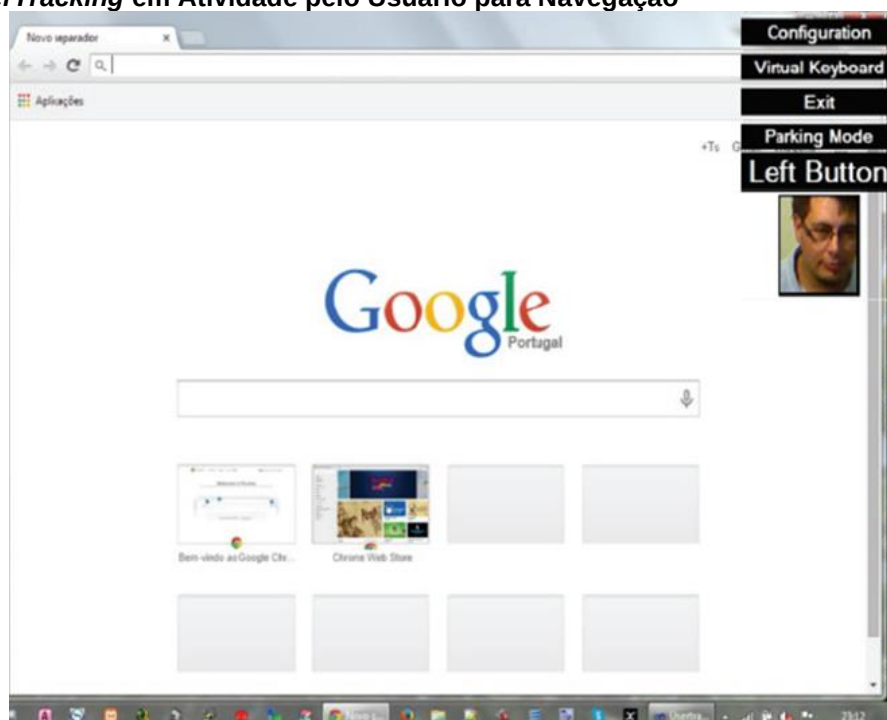


Fonte: Martins, Rodrigues e Martins (2015)

Para os experimentos foram recrutados oito voluntários, dos quais três desistiram ainda na fase de calibração e treinamento do dispositivo. Os motivos relatados pela desistência foram: dificuldade de controlar o ponteiro do *mouse*, pois eram muito sensíveis aos movimentos realizados com a cabeça; desconforto ao usar o sistema, incluindo dores no pescoço; e uso de lentes bifocais pelo usuário que precisava alterar as regiões da lente para ver de perto e de longe, gerando desconforto durante a calibração do sistema.

Foi adicionado um menu lateral que mostra o usuário detectado pela interface e uma série de comandos possíveis de serem feitos com base nos movimentos da sobrancelha e boca detectados pelo sistema (Figura 17).

Figura 17 - UserTracking em Atividade pelo Usuário para Navegação



Fonte: Martins, Rodrigues e Martins (2015)

Os autores afirmaram ainda que o teclado desenvolvido por eles foi descrito nos testes como sendo de difícil acessibilidade nas teclas e que os usuários preferiam utilizar o teclado virtual nativo do sistema operacional Windows.

A licença de uso e desenvolvimento da interface, bem como os códigos-fonte de todos os programas se encontra sob a licença GNU de *software* livre no *site* <https://github.com/MigMart/Usertracking> para que outros desenvolvedores possam aprimorar a interface e contribuir com a pesquisa.

O Eye-Gaze, pesquisa elaborada por **Biswas e Langdon (2015)**, apresenta uma série de estudos para desenvolver um novo sistema baseado no rastreamento de olhos.

O sistema é composto de um novo modelo de previsão de alvo que funciona para diferentes modalidades de dispositivos e combina o ponto de vista do rastreamento do olho com um controlador *joystick* que pode reduzir os tempos de “apontar” e “selecionar”.

Os estudos confirmaram que os usuários podem executar tarefas de apontar e selecionar significativamente mais rápido usando esse novo rastreador do olhar, baseado em tarefas cotidianas na comparação com os dispositivos de entrada existentes.

Inicialmente, desenvolveram algoritmos de filtragem para mover ponteiros em uma tela. Trabalharam ainda o desenvolvimento de um sistema de previsão de alvo

que lê instantaneamente velocidade, rolamento e aceleração do movimento e uso do cursor para prever o possível posicionamento do alvo.

A pesquisa avaliou esse modelo de previsão utilizando vários dispositivos de entrada diferentes. Depois disso, os pesquisadores realizaram um estudo detalhado sobre sistemas baseados em rastreamento de olhos no qual avaliaram diferentes modalidades para selecionar metas para explorar o problema conhecido como Toque de Midas²³ no rastreamento de olhos.

Executaram estudos de tarefas realistas em pares de usuários para confirmar que o sistema de monitoramento multimodal inteligente de olhos é melhor do que os dispositivos de entrada existentes até então.

Em resumo, a metodologia da pesquisa seguiu três fases:

- a. Desenvolver e validar um novo sistema de previsão de destino de alvos para reduzir os tempos de apontar para diferentes modalidades de interação;
- b. Um estudo detalhado de usabilidade dos usuários para comparar o monitoramento do olho em sistemas com diferentes modalidades para selecionar o alvo; e
- c. Estudos de confirmação para comparar os Óculos adaptativos multimodais de rastreamento com dispositivos de interação existentes para tarefas.

Realizaram os testes do sistema com dez participantes com idade média de 37 anos, sendo quatro mulheres e seis homens perfeitamente sadios e com vários dispositivos, entre eles o *Eye Tracking with Z-Axis Selection* (ZAxis²⁴), *Eye Tracking with Voice-Based Selection* ²⁵(Voice), HOTAS²⁶ (Joystick) e Mouse (Standard), no qual foi detectado o melhor resultado de precisão.

O desenvolvimento seguiu um processo de *design* centrado no usuário, composto por três fases. Como parte do processo, desenvolveram e avaliaram um novo modelo de previsão de alvo e o integraram no sistema de rastreamento de olhos.

Atualmente, o sistema encontra aplicações importantes no *cockpit* de aeronaves de combate dos Estados Unidos, mas também pode ajudar usuários iniciantes de computadores a realizar tarefas de apontar e selecionar mais rapidamente, usando o

²³ Problema em selecionar alvos involuntariamente.

²⁴ <https://mathworld.wolfram.com/z-Axis.html>

²⁵ <https://chrome.google.com/webstore/detail/speech-recognition-anywhere/kdnnmhpmcakilnofmllgcigkibjonof>

²⁶ http://www.thrustmaster.com/pt_BR/products/hotas-warthog

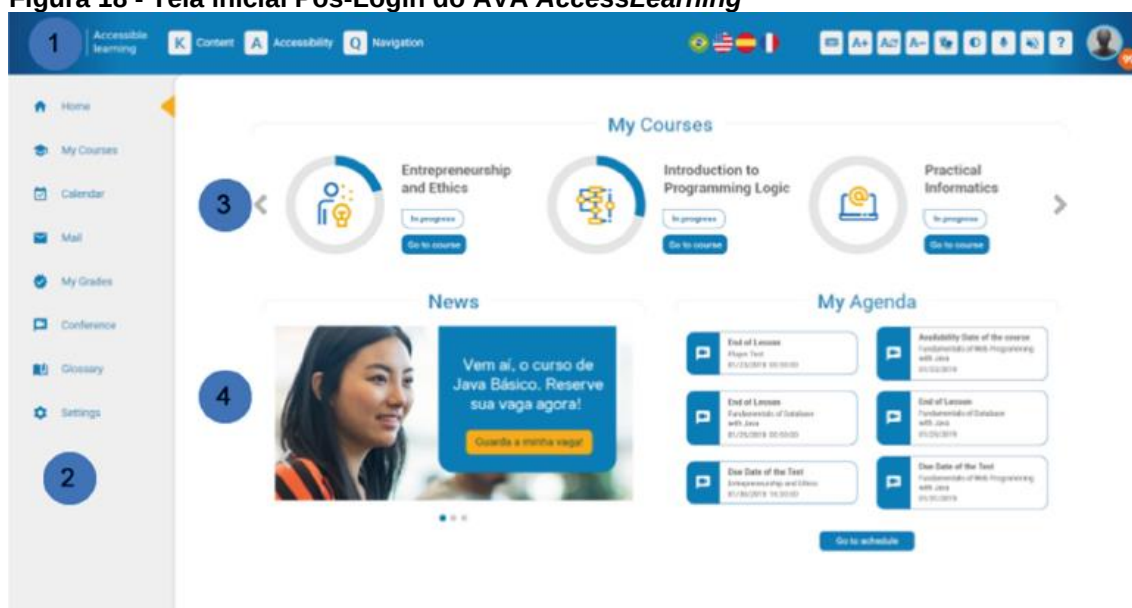
sistema de rastreamento inteligente do olho, que os dispositivos de entrada convencionais existentes.

Em pesquisa realizada por **Nascimento et al. (2019)**, foi apresentado o *AccessLearning*, AVA desenvolvido de acordo com os requisitos de acessibilidade estabelecidos pela WCAG, para se adaptar a três tipos de deficiência: visual, auditiva e motora.

Utilizando recursos como sistema de banco de dados, *chat*, ferramentas de aprendizagem e interação amplamente adaptados do *OpenOlat*²⁷, o *AccessLearning* foi desenvolvido para a Universidade Estadual do Ceará – UECE²⁸ pela Dell Computadores no Brasil²⁹, formando uma parceria público-privada.

No *AccessLearning*, durante interação com o sistema, são fornecidos vários recursos para dar suporte a uma diversidade de deficiências, para que se possa acessar o conteúdo de aprendizagem. Cada recurso pode ser acionado por perfil do usuário e sua deficiência, pois para cada perfil está disponível uma interface diferente.

Figura 18 - Tela inicial Pós-Login do AVA AccessLearning



Fonte: Nascimento et al. (2020)

O AVA apresenta sua barra de acessibilidade com todos os recursos de acessibilidade, opção de idioma e perfil do editor (1). Seu menu (2) disponibiliza todas as ferramentas existentes para o aluno como meus cursos, calendário, e-mail, minhas notas, conferência, glossário e configurações. Apresenta ainda a situação dos cursos

²⁷ OpenOLAT é um sistema de gerenciamento de aprendizado baseado na Web para ensino, educação, avaliação e comunicação. O nome OpenOLAT significa Open Online Learning And Training, destacando sua fonte aberta e natureza online.

²⁸ <http://www.uece.br/>

²⁹ <https://www.dell.com/pt-br>

(3) que o aluno está matriculado bem como um *link* para acessar o curso. O aluno poderá visualizar em um painel sua agenda e avisos (4) postados pelo tutor (Figura 18).

Como a maioria dos AVA modernos, no *AccessLearning* estão disponíveis diferentes funções de usuários como aluno (com e sem deficiência), tutor, administrador do sistema, coordenação pedagógica e intérprete de língua de sinais. Tal função permite ao professor ou tutor ter a visão do aluno durante a realização das atividades e corrigir possíveis erros de interação.

O perfil do aluno é definido após o primeiro *login* no AVA, gravando na plataforma as suas necessidades gerais de interação. O sistema apresenta os recursos de acessibilidade disponíveis, os quais são previamente configurados. Apesar dos recursos de configuração serem oferecidos por tipo de deficiência, é possível selecionar todos os recursos, caso seja do interesse do usuário (Figura 19).

Figura 19 - Menu de Opção de Acessibilidade por Tipo de Deficiência no AccessLearning



Fonte: Nascimento *et al.* (2020)

Após definir o perfil e as preferências do usuário, um menu no AVA é habilitado com atalhos de acessibilidade (Figura 20), no qual: **K** é um atalho para o conteúdo; **A** é um atalho para o menu de acessibilidade; e **Q** é um atalho para o menu de navegação. As demais opções são: **1** - Lista de teclas de atalho e comandos de voz; **2** - Habilitar / Desabilitar Teclado Virtual; **3** - Ativar / desativar alto contraste; **4** - Aumente o tamanho da fonte; **5** - Restaurar tamanho da fonte; **6** - Diminua o tamanho da fonte; **7** - Ativar / desativar alertas sonoros; **8** - Ativar / desativar vídeos em linguagem de sinais; e **9** - Centro de ajuda.

Figura 20 - Menu de Atalhos de Acessibilidade



Fonte: Nascimento *et al.* (2020)

O AVA foi desenvolvido com base em sistemas distribuídos modulares de interação mútua. Neste conceito, os módulos podem ser executados em servidores

web distintos, evitando sobrecarga de serviços em um único servidor, garantindo com isso, maior escalabilidade ao sistema.

4.2 DISPOSITIVOS APONTADORES (HARDWARE)

Em pesquisa desenvolvida por **Azmi, Alsabhan e Aldosari (2009)**, o foco é a criação de um dispositivo de Interação Humano-Computador de baixo custo tendo como ponto de partida o movimento da cabeça e apontamento dos olhos para utilização exclusiva na navegação Web.

O dispositivo é composto de um *Wii Remote*³⁰, que se comunica por meio de *Bluetooth* de curto alcance com o computador (cinco metros) e um Óculos com dois sinalizadores de Infravermelho (*Infra Red – IR*). Tais sinalizadores de IR serão detectados pelo *Wii Remote* tendo como consequência a detecção dos movimentos da cabeça do usuário.

A pesquisa utilizou, para substituir as funções do *mouse*, um conjunto de três aplicativos: a Win32 API³¹ para criar e gerenciar o ponteiro do *mouse* e suas funções; o WiiLib³², a biblioteca para controle e comunicação com o *Wii Remote*; e o SAPI³³ (*Speech Application Programming Interface*), uma interface projetada pela Microsoft oferece suporte a entrada e saída de fala dinâmica, e está integrada ao sistema operacional atual da Microsoft.

Todos esses aplicativos são gratuitos e dois deles estão disponibilizados nos sistemas operacionais da Microsoft, o que motivou os pesquisadores a utilizarem este tipo de sistema operacional em sua pesquisa, além de ser também o sistema operacional mais utilizado pelos usuários e de interface mais amigável.

Foi adaptado ainda, um navegador de Internet³⁴ para a aplicação, o qual compreendesse perfeitamente os comandos de voz do usuário pelo aplicativo SAPI e oferecesse as opções necessárias para a navegação Web.

O conjunto de *hardware* e *software* utilizado na pesquisa funciona com as seguintes propriedades: o *Bluetooth* é usado para se comunicar com IR *Wii Remote*; a informação é lida continuamente a partir do IR *Wii Remote*; as informações provenientes do *Wii Remote* são decodificadas para obter as coordenadas do posicionamento da cabeça em tempo real; as coordenadas do fluxo de dados

³⁰ https://pt.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote

³¹ <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/apiindex/windows-api-list>

³² <https://sourceforge.net/projects/wiilib/>

³³ [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/desktop/ms720151\(v=vs.85\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/desktop/ms720151(v=vs.85))

³⁴ Os autores não informaram qual o navegador.

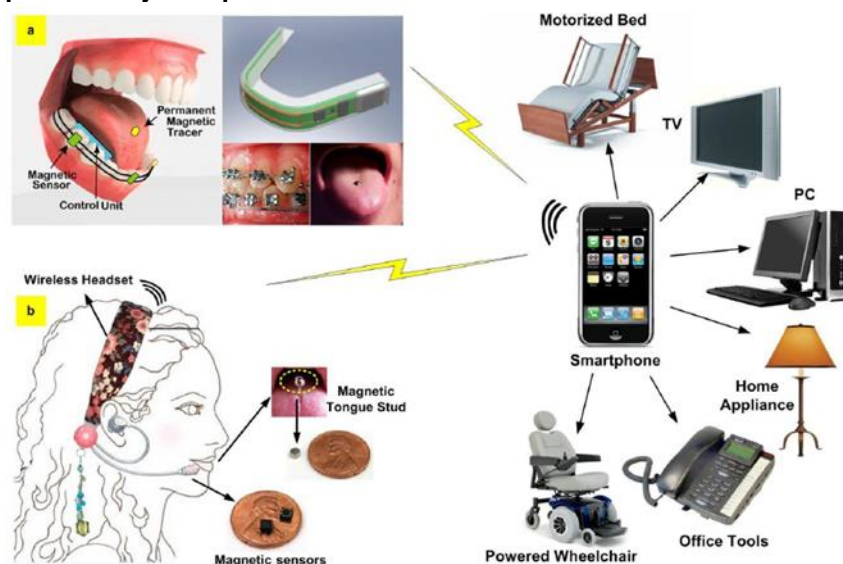
provenientes do *Wii Remote* são comparadas continuamente; se o usuário diz o comando de voz "clicar", por exemplo, um clique do *mouse* é acionado.

O *Tongue Drive System* (TDS), desenvolvido em pesquisa de **Kim et al. (2012)**, teve como premissa a ideia de que a língua se move com grande velocidade, intuitivamente e com baixo esforço muscular, apontando assim um grande potencial de usabilidade na criação de um dispositivo próprio para interação com o computador ou para controlar cadeiras de rodas motorizadas.

O dispositivo consiste em uma série de sensores magnéticos, montados em um retentor dentário dentro da boca, semelhante a um aparelho ortodôntico, juntamente com mais um pequeno rastreador magnético permanente em sua língua, semelhante a um *piercing*.

TDS sem fio detecta uma série de posições e gestos específicos da língua dentro do espaço oral e os traduz em tempo real em um conjunto de comandos definidos pelo usuário, sem exigir que a língua toque ou pressione qualquer coisa. Esses comandos podem então, quando conectados aos receptores do TDS, ser usados para se comunicar com uma variedade de outros dispositivos no ambiente do usuário (Figura 21).

Figura 21 - Exemplos de Objetos que Podem Ser Controlados Pelo TDS



Fonte: Kim et al. (2012)

O *headset* do TDS é equipado com transdutores adicionais, como microfone e sensores de movimento, os quais quando combinados com *software* de reconhecimento de voz e uma interface gráfica de usuário (GUI) tornam-se um único e integrado sistema multimodal multifuncional que pode ser efetivamente usado em uma variedade de ambientes para múltiplos propósitos.

O TDS mais recente inclui:

- a. um rastreador magnético; um fone de ouvido sem fio construído em *headgear* para dar suporte mecanicamente a uma série de quatro sensores magnéticos axiais e uma unidade de controle que recebe a medição de dados brutos do movimento da língua captados pelo campo magnético antes da transmissão sem fio;
- b. um receptor sem fio que recebe os dados do campo magnético já tratados e os entrega para o *Personal Computer* - PC, cadeira de rodas motorizada ou smartphone;
- c. uma interface gráfica de usuário em execução no computador ou *smartphone*; e
- d. sensor de processamento do sinal (*Sensor Signal Processing* - SSP) para filtrar e classificar os sinais do sensor magnético.

O TDS foi testado, em sua concepção primária, em seis indivíduos (quatro homens e duas mulheres), com idades que variaram entre 23 e 34 anos, estudantes de pós-graduação da Universidade Estadual da Carolina do Norte, todos perfeitamente saudáveis.

O resultado dos testes com indivíduos saudáveis e aqueles com alto nível de lesões na medula mostraram que o TDS atual pode fornecer aos usuários um controle efetivo sobre computadores e cadeiras de rodas.

O TDS em sua forma atual é duas vezes mais rápido que os dispositivos baseados em Eletroencefalograma - EEG testados em humanos com boa *expertise* em EEG. A capacidade de executar todas as tarefas indicou que o TDS pode ser aprendido facilmente e rapidamente com pouco treinamento e baixa concentração.

Os pesquisadores estão adicionando mais modalidades de controle ao TDS para transformá-lo em um dispositivo multimodal multifuncional. Também estão trabalhando em uma versão intraoral de TDS (iTDS) sob a forma de um retentor dental, o qual pode ser personalizado com base na anatomia oral de qualquer usuário.

A pesquisa desenvolvida por **Rodrigues et al. (2016)** diz respeito à criação de um dispositivo de baixo custo chamado Interface Óculos Mouse (IOM).

O dispositivo é composto por um quadro simples com dois sensores (giroscópio e acelerômetro) presos a um óculos, ligados a um microcontrolador e ligados via cabo ao computador e que passam a acompanhar os movimentos da cabeça. Tal dispositivo permite que as pessoas usem movimentos de cabeça e olhos para realizar as tarefas de computador (Figura 22).

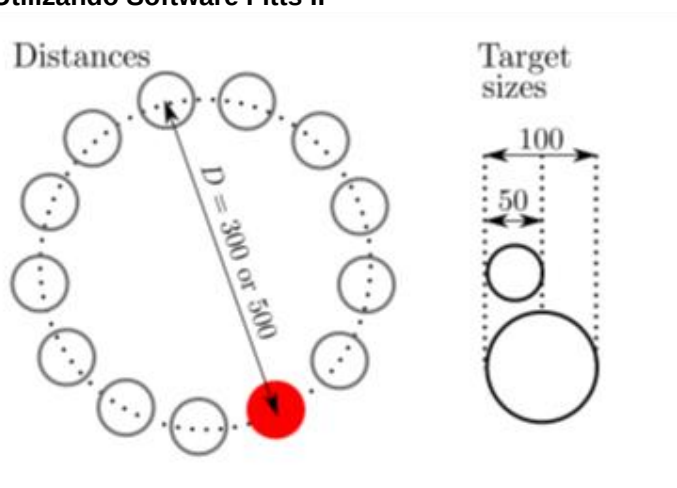
Figura 22 - Descrição da Composição do Dispositivo IOM



Fonte: Rodrigues *et al.* (2016)

Os testes desse *hardware* se basearam na lei de Fitts para aferir a velocidade de transmissão dos dados de movimento do ponteiro do *mouse*. Foram utilizados 13 alvos circulares, organizados em um ciclo no centro da tela, medindo sempre duas distâncias entre os círculos (300 e 500 pixels ou aproximadamente 12 e 20 cm) e duas medidas de diâmetro do círculo (30 e 60 pixels, aproximadamente 1,5 e 3 cm) cobrindo quatro combinações, com 13 faixas em cada combinação (Figura 23).

Figura 23 - Teste do IOM Utilizando Software Fitts II



Fonte: Rodrigues *et al.* (2016)

A avaliação do IOM foi realizada utilizando o movimento da cabeça para controlar o posicionamento do ponteiro do *mouse* na tela e o clique padrão do *mouse* (botão esquerdo) foi simulado após o ponteiro fixar-se no alvo por certo período de tempo de permanência (nos testes, determinado como 750ms). Assim que o usuário selecionasse um alvo com o ponteiro do *mouse*, outro se tornaria vermelho para que pudesse ser atingido. Se o clique ocorresse fora do alvo realçado, o erro seria contabilizado e a experiência continuaria normalmente.

Para a métrica quantitativa, a velocidade do movimento foi calculada como D / TS , onde D é a distância entre a posição inicial e posição final de uma sequência de movimentos, e o TS é o tempo em segundos que o ponteiro leva do ponto de origem até o ponto destacado. O tempo de 750 milissegundos para efetuar o clique foi

desconsiderado.

O dispositivo encontra-se patenteado e atualmente está ainda em desenvolvimento. Seu valor estimado inicial é de U\$40,00 (Quarenta dólares) e isso o aponta como um dispositivo de alta abrangência entre os PD de mobilidade reduzida severa.

Uma visão geral da análise dos principais dispositivos e *softwares* desenvolvidos pela TA em IHC, encontrados no MSL, é mostrada no Quadro 5.

Quadro 5 - Tecnologias Assistivas para Controle e Teste de Dispositivos Assistivos

Referência	TA	Movimentos Capturados	Princípio Básico de Atuação	Teste com pessoas com deficiência motora	Método de desenvolvimento	Descrição do Sistema
Kwan <i>et. al.</i> 2011.	Click Control	Interage com outro controlador de ponteiro. Usa o mouse da câmera.	Baseado em gestos e câmera de vídeo	Sim, um aluno com paralisia cerebral.	Observação da experiência de usuário.	Previne cliques acidentais (movimentos involuntários) por meio de uma tela para cancelar o clique. Pode trabalhar com qualquer sistema controlador do <i>mouse</i> .
Kurauchi <i>et. al.</i> 2015.	HMagic	Cabeça e Olhos	Câmera de vídeo e Movimento dos Olhos	Não	Usabilidade e experiência do usuário	Movimentos do Olho em etapas (velocidade) + movimentos da cabeça para precisão
Martins, Rodrigues e Martins, 2015.	User Tracking	Face (cabeça, nariz, olhos e boca)	Câmera (sensores kinect)	Não	Usabilidade (orientado a tarefas) para medição do tempo, precisão e conforto.	Movimentos naturais usando kinect em reconhecimento do rosto, olhos, nariz, boca (aberto, fechado) e diferentes sons para clicar.
Rodrigues <i>et. al.</i> (2017)	Glasses Mouse Interface (IOM - Interface Óculos Mouse)	Cabeça e olhos	Sensores de infravermelho e câmera de vídeo	Não	Usabilidade.	API do Windows, Óculos (IR) para captura dos movimentos da cabeça
Huo, 2015.	Tongue drive	Língua	Baseado em movimentos da língua	Sim	Usabilidade	Este sistema consiste em um dispositivo de cabeça que transmite dados capturados por sensores na boca do usuário, gerenciando a captura do movimento rotativo de sua língua.
Biswas e Langdon, 2015.	Eye-Gaze	Olhos	Rastreamento do olhar - Oculografia	Sim	Orientado a tarefas, usabilidade e experiência do usuário.	<i>Hardware</i> a ser usado em paralelo com o <i>mouse</i> .

Azmi, Alsabhan e AlDosari, 2009.	Wiimote	Cabeça e voz	Ponteiro de rastreamento de cabeça e fala	Sim	Orientado a tarefas, usabilidade e experiência do usuário.	API do Windows, o WiLab e o SAPI (reconhecimento de voz) software que inclui o controle de LED Wii e Óculos (IR) para captura dos movimentos da cabeça
Nascimento et al. 2020	AccessLearning	Adaptável a qualquer tipo de dispositivo apontador	A depender do dispositivo	Sim	Orientado ao usuário	O sistema se adapta ao tipo de deficiência do usuário (Visão, Audição, Física)

Fonte: O autor (2020)

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS TRABALHOS RELACIONADOS E ESTA TESE

As tecnologias analisadas neste capítulo têm o intuito de auxiliar PD com mobilidade reduzida severa na realização de atividades diárias. Entretanto, há particularidades existentes em seus componentes, métodos de desenvolvimento, modos de uso e aplicabilidade, as quais foram utilizadas como requisitos para o desenvolvimento dos aparatos computacionais desta tese. Elas foram melhoradas ou descartadas pelo pesquisador, sempre buscando aprimorar o que já foi desenvolvido, conforme discutido a seguir.

A grande maioria de *software* desenvolvido em TA é em função da usabilidade dos dispositivos e de detectores frontais da face do usuário (*webcam*, *Kinect*, sensores *infrared*, *wiimote*).

Tal dependência torna locais naturais difíceis de usabilidade para qualquer dispositivo apontador, pois a variância de luz e a distância do usuário para os sensores frontais influenciam diretamente no desempenho.

Esta dependência fez surgir o Requisito Funcional 1 – **RF1** do HAA (Seção 2.3.1.) – O dispositivo não poderá sofrer influência da variância de luz, tanto artificial, quanto natural.

Todos os dispositivos apontadores abordados são frontais. Três utilizam Óculos como apoio aos sensores e possuem sensores de comunicação de dados na parte superior do monitor para detecção da face (olhos e boca). O foco dos dispositivos está

sendo sempre a face do usuário (olhos, nariz, boca, língua).

Isto fez surgir por exemplo, o Requisito Funcional 2 – **RF2** do HAA (Seção 2.3.1) – O dispositivo deverá detectar os movimentos da cabeça do usuário, sem focar sua face (olhos, nariz, boca ou língua).

O Requisito Funcional 3 e o Requisito Não Funcional 4 – **RF3** e **RNF4** – surgiu da necessidade de alimentar de energia o dispositivo e fazer a troca de dados entre o HAA e o PC. Foi decidido manter a conexão USB (*Universal Serial Bus*) para suprir as duas necessidades simultaneamente.

Entre os dispositivos listados está o *tongue-drive*, considerado intrusivo, pois necessita do implante de um sensor na língua do usuário (*piercing*) e sensores intraorais para registro dos movimentos do ponteiro do *mouse* ou até mesmo o controle dos movimentos de uma cadeira de rodas motorizada computadorizada.

Não ser intrusivo é o Requisito Não Funcional 1 – **RNF1** do HAA (Seção 2.3.1), com a finalidade de ser bem mais aceito pelos usuários.

O Requisito Não Funcional 2 – **RNF2** do HAA veio da notação dos pesquisadores que, se utilizando a porta USB diretamente ou com um adaptador *Thunderbolt*, o HAA poderá ser detectado pelos sistemas operacionais Windows e Linux.

A utilização de peças de equipamentos descontinuados e de difícil aquisição (*Wiiremote*, *Kinect*) fez-se necessário a criação do Requisito Não Funcional 3 – **RNF3** do HAA – Ser manutenível, utilizando peças de baixo custo e de fácil acesso em lojas especializadas.

Já os Requisitos Não Funcionais 5 e 6 – **RNF5** e **RNF6** – surgiram quando analisados os problemas encontrados nos artigos do MSL na segunda fase e que também deram origem ao **RF2**. Optando-se em se colocar o dispositivo no encosto espumado de cabeça da cadeira do usuário, tornando-o confortável e não visível ao mesmo tempo que detecta os movimentos da cabeça do usuário.

Já todos os requisitos para o desenvolvimento do SAA, seguiram os paços descritos por Sommerville (2011) adaptados a Barbosa e Silva (2010)

O número de usuários utilizados em testes variou de 1 a 8 usuários sadios e todas as pesquisas que realizaram esses testes foram referendadas em publicações de congressos com Qualis³⁵ A1, A2, B1 e B2.

³⁵ O Qualis, Qualis-Periódicos ou Qualis/CAPES, é um sistema brasileiro de avaliação de periódicos, mantido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que relaciona e classifica os veículos utilizados para a divulgação da produção intelectual dos programas de pós-graduação do tipo "stricto sensu" (mestrado e doutorado), quanto ao âmbito da circulação (local, nacional ou internacional) e à qualidade (A, B, C), por área de avaliação.

O número baixo de participantes nos testes encontrados na literatura justifica o número de participantes nos experimentos desta tese. Porém, nela, o número de participantes dos primeiros experimentos realizados foi de 16, para mitigar possíveis dúvidas sobre a eficiência dos aparatos computacionais assistivos desenvolvidos nesta tese.

Na literatura pesquisada, nenhum conjunto de *hardware* e *software* executou uma atividade educacional. Foram descritas apenas navegação em *sites* ou atividades de testes locais (*off-line*).

Fazendo uma análise dos aplicativos auxiliares, o *software* desenvolvido nesta tese tem como base as contribuições encontradas nas pesquisas como bibliotecas *open source* para a chamada de aplicativos pré-existentes no sistema operacional (teclado virtual, comando de voz, cliques do *mouse*). O referido *software* tem a característica de ser livre, pois foi desenvolvido e testado em ambiente de instituição pública, com recursos públicos e nada mais justo que disponibilizá-lo ao público em geral.

As bibliotecas de controle do movimento do *mouse* são as do padrão do sistema operacional utilizado (Windows), uma vez que o dispositivo apontador desenvolvido nesta tese não necessita de outras bibliotecas para o seu funcionamento.

O dispositivo apontador desenvolvido nesta tese utiliza, assim como todos os dispositivos apontadores pesquisados, a detecção dos movimentos de cabeça, mas com o diferencial de não ter a necessidade de sensor apontado ou na face do usuário e nem a necessidade de se ter distância preestabelecida para seu uso.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Os trabalhos relacionados neste capítulo são os de maior relevância encontrados na literatura que serviu de base aos procedimentos elaborados para os testes realizados com as inovações tecnológicas desenvolvidas nesta tese.

A partir da literatura revisada, foi possível apontar quais os procedimentos que deveriam ser tomados em experimentos, além de definir as amostras relevantes de pesquisa com relação ao número de usuários participantes e à quantidade de experimentos a serem realizados por cada um deles.

Tais trabalhos indicam, ainda, *software* disponível pela academia para análise dos dispositivos e suas respectivas coletas de dados para uma avaliação estatística de cada atividade desenvolvida pelos usuários.

A literatura aponta ainda os pontos de vulnerabilidade de cada *software* ou *hardware* desenvolvido e utilizado na tecnologia assistiva, o que também norteia o desenvolvimento de soluções mais eficazes nesta tese.

Tais características são fundamentais na elicitação de requisitos para a concepção de elementos de TA que serviram como guia resumido de análise, teste, ajustes e desenvolvimento dos aparatos tecnológicos desta tese.

No próximo capítulo, são descritas todas as fases do desenvolvimento dos aparatos computacionais gerados nesta tese (componentes, prototipagem, usabilidade). A condução de experimentos em ambientes reais e as origens dos primeiros resultados são também contempladas.

5 DESENVOLVIMENTO DO HAA E DO SAA E AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

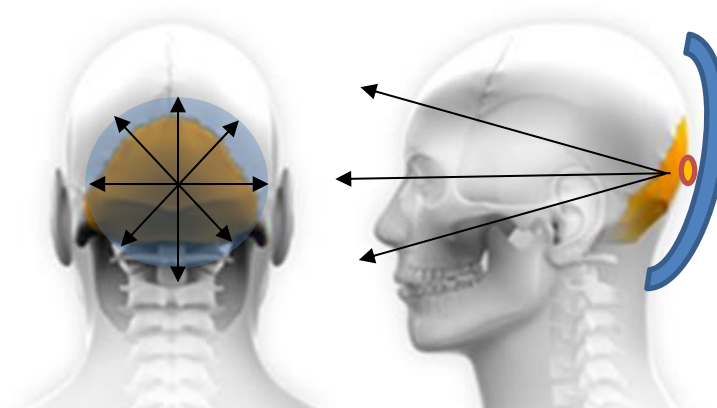
A partir da análise dos problemas encontrados no MSL descrito no Capítulo 2, mostrou-se necessária a criação de um Sistema Assistivo Auxiliar Modular (SAAM) para mitigar as limitações encontradas. Assim, a solução SAAM é composta por um dispositivo apontador próprio, o *Hardware Assistivo Auxiliar* (HAA) e por um *Software Assistivo Auxiliar* (SAA), o qual visou não apenas auxiliar na realização das atividades computacionais propostas aos participantes dos experimentos, mas a todos os futuros usuários desta tecnologia.

5.1 O DISPOSITIVO APONTADOR HAA

O HAA foi desenvolvido com as mesmas funcionalidades mecânicas que um *mouse* convencional, porém, com componentes direcionados ao problema de acessibilidade para PD, especificamente com tetraplegia.

O dispositivo deve ser posicionado no apoio de cabeça do usuário na cadeira de rodas de modo a capturar os movimentos da cabeça por meio de um *LED* e de sensor óptico, componentes do HAA (Figura 24). Tal captura é realizada analogamente à forma que o *mouse* convencional captura os movimentos em um *mousepad*. Neste trabalho, a cabeça do usuário, no ponto do osso occipital, é o *mousepad* para o HAA (DA ROCHA PERRIS; DE SOUZA, 2020).

Figura 24 - Posicionamento do HAA no Encosto da Cabeça do Usuário



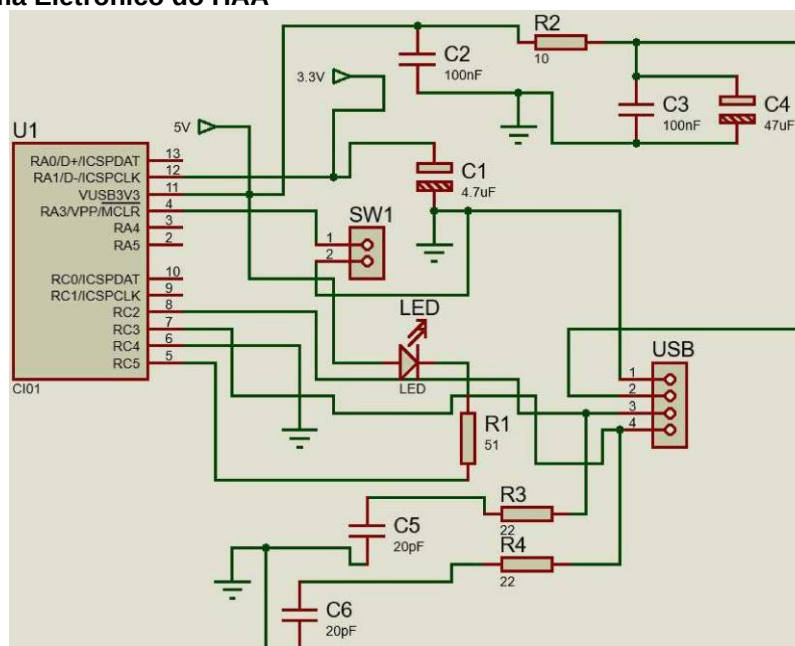
Fonte: Imagem Dreamstime, com direito adquirido³⁶ e adaptada pelo autor (2020)

Para o seu funcionamento prático, o primeiro protótipo do HAA consiste em um *LED*, dois resistores (51ohms e 51K), dois capacitores (100nF e 10mF), um botão (estado normalmente aberto), um circuito integrado M16183 (sensor óptico), uma lente

³⁶ Licença de uso no Apêndice B

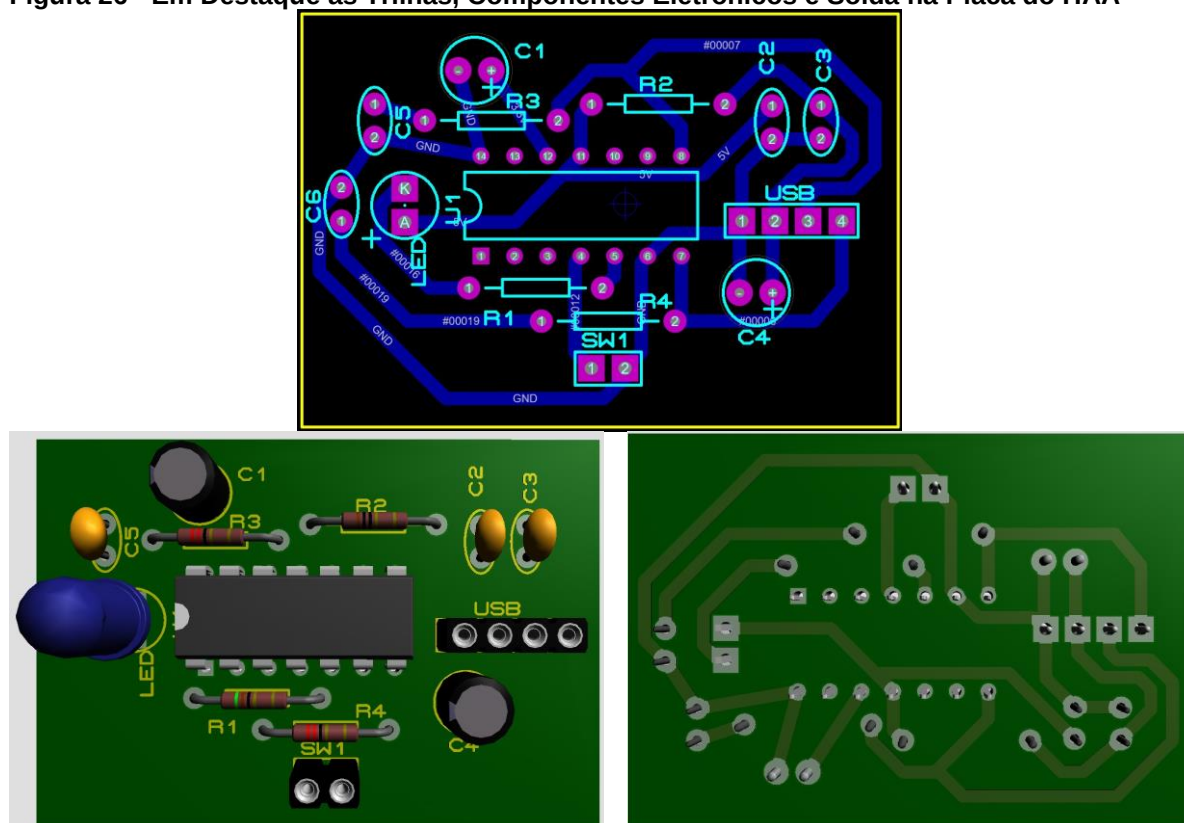
de ampliação de prisma para foco e um cabo USB para alimentar o dispositivo (Figura 25). A disposição dos componentes na placa controladora está representada na Figura 26, assim como o processo de soldagem eletrônica nos mesmos. Todos os componentes necessários são facilmente encontrados em lojas especializadas e seu custo total não excede U\$ 10,00 (dez dólares).

Figura 25 - Esquema Eletrônico do HAA



Fonte: O autor (2020)

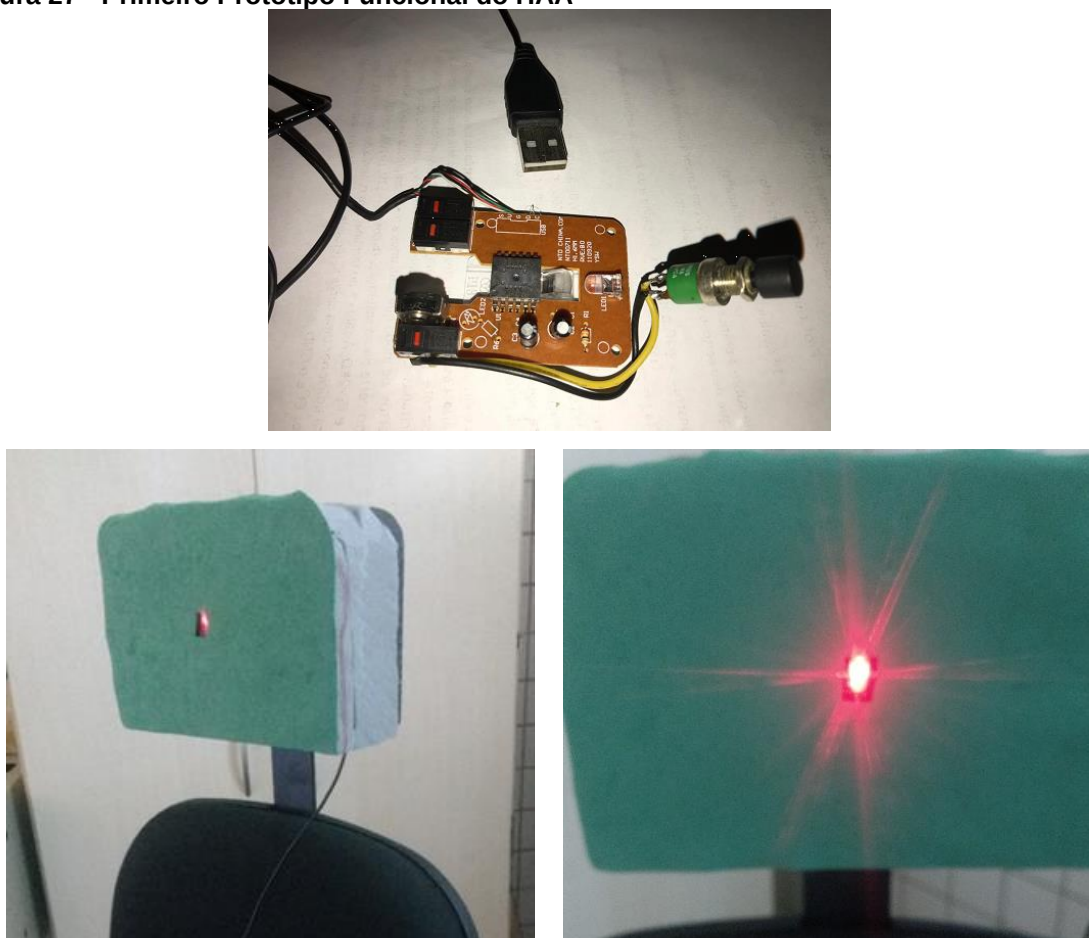
Figura 26 - Em Destaque as Trilhas, Componentes Eletrônicos e Solda na Placa do HAA



Fonte: O autor (2020)

Dois protótipos, com a mesma configuração, foram desenvolvidos para a execução de experimentos controlados em laboratório. O *LED* que indica os movimentos da cabeça do usuário e facilita a leitura do sensor óptico HAA deve estar na posição do osso occipital do usuário, como informado anteriormente (Figura 27).

Figura 27 - Primeiro Protótipo Funcional do HAA



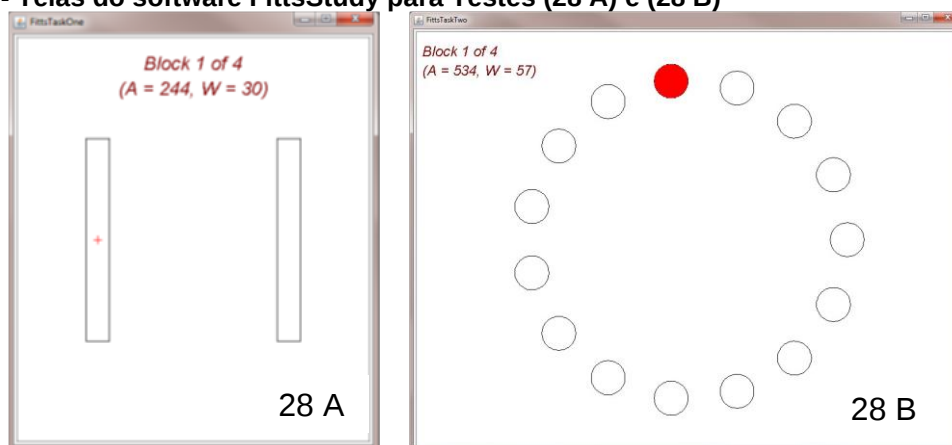
Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

5.1.1 Avaliação do HAA

Durante os testes, utilizando o *FittsStudy*³⁷, foram apresentadas telas como a da Figura 28 (A e B). No teste unidirecional, o participante pode parar o *mouse* em qualquer ponto dentro do retângulo que possui um sinal + vermelho. Quando isso ocorre, o sinal muda para o outro retângulo e o participante precisa levar o ponteiro do *mouse* para esse outro retângulo. O ponto exato (x, y) de cada posição é registrado, e cada par de posicionamento estabelece uma distância.

³⁷ *FittsStudy* é para conduzir e analisar estudos apontando de acordo com os padrões acadêmicos e internacionais estabelecidos. Além de suportar a manipulação de A e W, ele também suporta a manipulação de MT com um metrônomo. Ambas as tarefas de apontamento 1-D e 2-D são suportadas com base na ISO 9241-9. Outros recursos incluem cálculo automático de modelos e medidas, exportação de resultados para planilhas e uma ferramenta para exploração visual de ensaios. Disponível em: <http://depts.washington.edu/acelab/proj/fittsstudy/index.html>

Figura 28 - Telas do software FittsStudy para Testes (28 A) e (28 B)



Fonte: O autor (2020)

No teste multidirecional, o participante movimentando a cabeça no encosto da cadeira de rodas onde está o HAA (Figura 24 e 27) aponta o ponteiro do *mouse* e seleciona com um *click*, pressionando o botão do HAA com a cabeça para trás, o círculo indicado em vermelho pelo aplicativo FittsStudy (Figura 28B). Uma vez selecionado, outro na diagonal oposta é indicado (também em vermelho) como o próximo alvo. Os procedimentos se repetem até que se completem os testes.

5.1.2 Experimentos

O Teste de Fitts propõe quantificar a dificuldade de movimento da tarefa por meio do ID (índice de dificuldade), baseado na teoria da informação. Os objetivos desses experimentos estão definidos a seguir.

Geral

Avaliar a usabilidade do HAA em comparação ao uso de outros dispositivos de acessibilidade, apontadores convencionais, utilizando o teste da lei de Fitts.

Específicos

- Realizar, com os participantes selecionados, o teste da lei de Fitts com o *mouse* convencional;
- Realizar, com os participantes selecionados, o teste da lei de Fitts com o HAA; e
- Comparar os resultados dos testes entre o *mouse* convencional e o HAA.

5.1.3 Sujeitos Experimentais

Foram selecionados 16 sujeitos de pesquisa (também chamados participantes) sem deficiências motoras e que não tivessem experiência com o HAA. Com idade entre 18 e 47 anos, sendo 12 homens e 4 mulheres. Todos foram recrutados entre os participantes da disciplina de Interação Humano Computador – IHC da Graduação no curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas - ADS do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia - IFBA, Campus Irecê.

Foi calculada a média de idade entre os participantes, bem como o tempo médio de uso de recursos computacionais diários.

Esta quantidade de sujeitos experimentais é suficiente para realizar testes seguindo a lei de Fitts (FITTS, 1954), haja vista que pesquisas similares usaram: 12 participantes (9 homens e 3 mulheres) (MACKENZIE; KAUPPINEN; SILFVERBERG, 2001); 9 participantes (4 homens e 5 mulheres) (YOUSEFI; HUO; VELEDAR, 2011); 16 participantes (11 homens e 5 mulheres) (ZHANG; MACKENZIE, 2007) e 12 participantes (8 homens e 4 mulheres) (JOSÉ, 2015).

Definir a quantidade de sujeitos de pesquisa baseada em pesquisas similares é uma recomendação, pois evita tanto o número pequeno de sujeitos de pesquisa que não tenha significância estatística, quanto um número excessivo que pode introduzir ruído devido à dificuldade de acompanhar com cuidado os experimentos com todos eles (MACKENZIE, 2013).

5.1.4 Desenvolvimento Experimental

Os experimentos ocorreram em uma sala silenciosa, somente com as presenças de um participante e do pesquisador por vez. Duas formas de interação foram usadas como objeto experimental:

- *Mouse* convencional; e
- HAA.

À primeira vista, avaliar o HAA seria a única medida necessária, mas ao obter os resultados, não seria possível comparar se os valores obtidos foram limitados pela capacidade do movimento da cabeça ou pela capacidade do HAA.

Por esse motivo, também foi avaliado o uso do *mouse* convencional, uma vez que o uso das mãos é a referência geral no uso de interfaces humano-computador. Dessa forma, pode-se considerar que os resultados do experimento com o HAA estão ou não bem próximos de sua capacidade máxima. Essa condição exigiu que os

experimentos ocorressem somente com pessoas sem deficiência motora.

O *mouse* convencional foi, então, escolhido como padrão ouro, pois a sua taxa de transferência é bem conhecida: valores de 3,7 bits/s a 4,9 bits/s. Sendo assim, se o resultado obtido pelo *mouse* estivesse próximo desses valores, indicava que o aparato de testes não provocava distorção grave nos resultados. Dessa forma, os resultados com o *mouse* convencional funcionaram como amostra de controle.

Normalmente, em experimentos como este são esperados os efeitos de aprendizagem (MACKENZIE, 2013, p. 58). Isto é, o participante aprende o funcionamento do objeto experimental (teste de Fitts) com o *mouse* convencional e depois aprende o funcionamento do HAA. Dessa forma, seria evitado o choque de usar primeiro um novo dispositivo (HAA), de uma maneira diferente (com a cabeça) e realizando um teste desconhecido.

Outras pesquisas que comparam dispositivos equivalentes (e.g. *mouse*, *touch pad*, *trackball*) trocam a ordem de uso, realizando normalmente uma distribuição quadrado latino (*latin square*), para que o último dispositivo não seja beneficiado pelos efeitos de aprendizagem (MACKENZIE, 2013, p. 58). Porém isto não foi aplicado aqui, pois foi avaliado um único dispositivo: o HAA (o *mouse* convencional foi utilizado somente para avaliar se o aparato de testes era adequado) e como a principal análise envolve seu controle pelo movimento da cabeça (uma forma muito diferente de interação para os participantes), os efeitos de aprendizagem são utilizados para que os resultados sejam mais realistas.

5.1.5 Escopo do Experimento

Cada um dos dezesseis sujeitos de pesquisa realizou duas tarefas (uma unidirecional e a outra multidirecional) com cada um dos dois dispositivos (*mouse* convencional e HAA). Cada tarefa unidirecional (horizontal) teve vinte e cinco repetições e a multidirecional (círculo), quatorze repetições. Quatro blocos de combinações foram utilizados para cada tarefa. Todo este conjunto constituiu uma sessão. Cada participante realizou cinco sessões, sendo as duas primeiras em um dia e as três últimas em dias diferentes.

5.1.6 Variáveis Independentes

Fator – avaliação de dispositivos apontadores utilizando testes baseados na lei de Fitts (objeto experimental)

Parâmetros – sala silenciosa de experimentos para não haver distrações; *mouse* padrão led de 1.600dpi equivalente ao mesmo padrão do HAA; sistema operacional Windows 8.1; e Notebook Core i5 com 4GB de memória RAM.

5.1.7 Variáveis Dependentes

- Tempo de executar o teste por cada sujeito de pesquisa;
- Transferência em bps do *mouse* convencional e do HAA; e
- Boa condição física do sujeito de pesquisa para realização dos testes.

5.1.8 Definição dos Experimentos

Cada participante, em todas as sessões de experimentos, seguiu a sequência: primeiro o *mouse* convencional e depois o HAA. Esta ordem foi determinada para permitir a escolha do dispositivo mais conhecido (*mouse* convencional) para o dispositivo não conhecido (HAA).

Cada participante teve um período de treinamento de aproximadamente 30 minutos, no qual recebeu todas as instruções necessárias para usar todos os dispositivos e executar todas as tarefas sem que os dados fossem contabilizados nos resultados.

No segundo dia de experimentos, antes de iniciar a terceira sessão, os participantes treinaram somente com o HAA, por aproximadamente cinco minutos, com o objetivo de relembrar a operação do dispositivo.

Cada sessão de experimentos levou aproximadamente 30 minutos. Assim, no primeiro dia, cada participante consumiu aproximadamente 30 minutos de treinamento e 1 hora com as duas primeiras sessões de experimentos. No segundo dia, cada participante consumiu aproximadamente 1 hora e 35 minutos para realizar as três últimas sessões.

A divisão dos experimentos em dois dias distintos foi projetada para reduzir a fadiga física e mental provocada pela realização das tarefas (MACKENZIE, 2013). Todos os experimentos com todos os participantes foram realizados num período de quatro semanas.

5.1.9 Execução dos Experimentos

O procedimento para a tarefa unidirecional foi apontar e selecionar um retângulo. Uma vez selecionado, outro é indicado (por meio de um sinal + vermelho) e assim por

diante. Este procedimento se repetiu 25 vezes para cada bloco (ISO/TS, 2012).

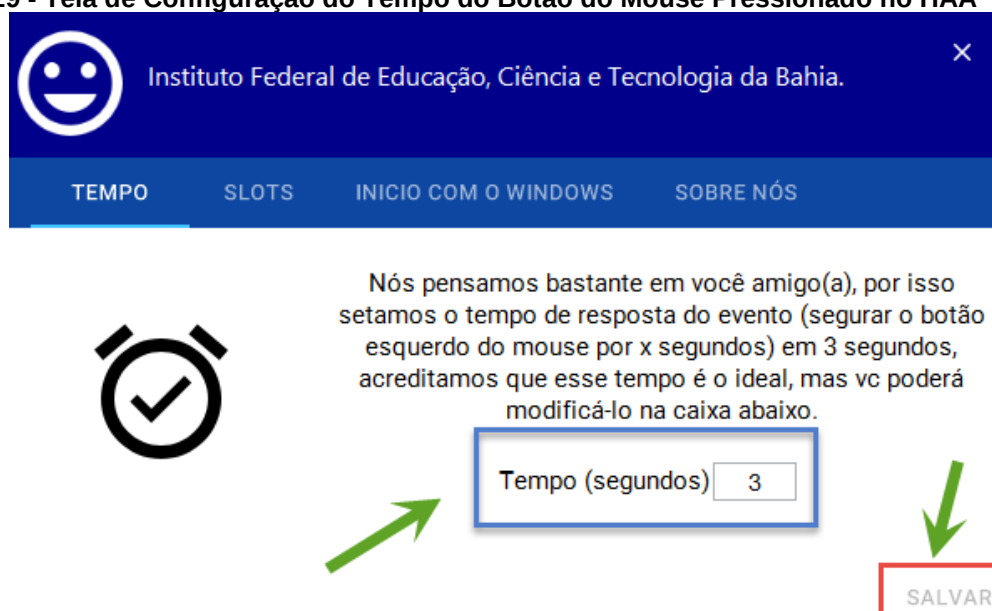
O procedimento para a tarefa multidirecional foi apontar e selecionar o círculo indicado em vermelho. Uma vez selecionado, outro na diagonal oposta é indicado (também em vermelho) como o próximo alvo. Este processo se repetiu até que os quinze círculos fossem selecionados.

5.2 O SOFTWARE ASSISTIVO AUXILIAR

Como citado no início deste capítulo, foi observada na literatura pesquisada a necessidade do desenvolvimento de um *Software Assistivo Auxiliar* (SAA), como parte de SAAM, a solução desenvolvida nesta tese.

SAA funciona monitorando todas as ações do HAA, principalmente a duração do clique, o qual pressionado por alguns segundos (3 e não mais do que 5 segundos) abre uma janela trazendo os principais programas para o usuário (Figura 29). É possível aos PD configurá-lo a qualquer momento. O SAA foi desenvolvido seguindo as regras do IHC (ícones grandes, fáceis de observar e muito intuitivos), como mostra a Figura 30.

Figura 29 - Tela de Configuração do Tempo do Botão do Mouse Pressionado no HAA



Fonte: O autor (2020)

E, após pressionado o botão do HAA por um tempo pré-configurado no aplicativo, uma janela de configurações do SAA aparece na tela principal do usuário, permitindo: 1 – Adicionar atalho de aplicativo; 2 – Mostra os atalhos de aplicativos já instalados no SAA; e 3 – Mostra o número de *slots* para adicionar aplicativos ainda

vazios no SAA (Figura 27).

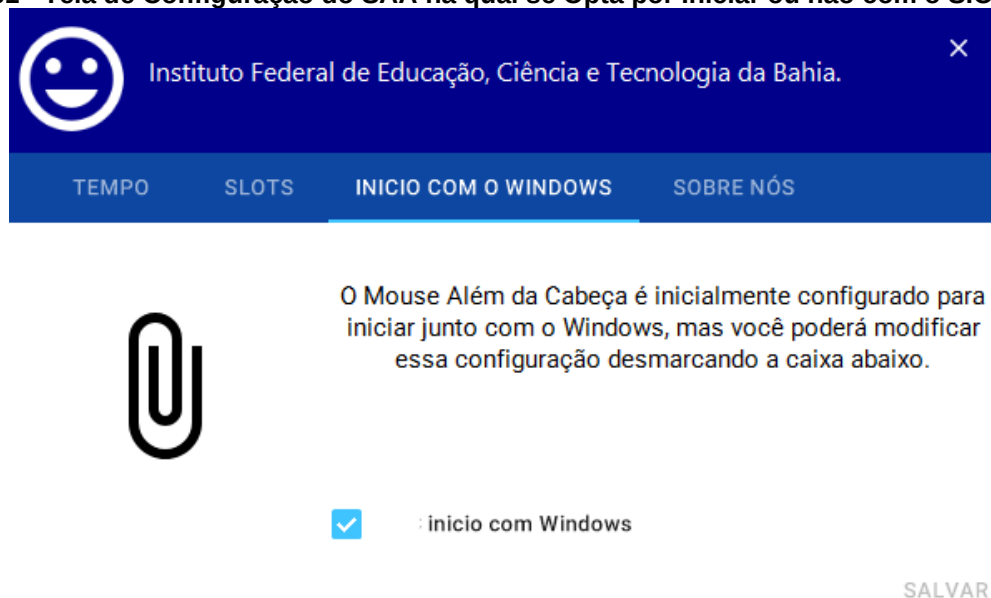
Figura 30 - Menu do SAA



Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

Durante a instalação do SAA no sistema operacional (SO), é permitido ao instalador definir se o SAA irá inicializar junto com o sistema operacional do usuário (Figura 31).

Figura 31 - Tela de Configuração do SAA na qual se Opta por Iniciar ou não com o S.O



Fonte: O autor (2020)

Outra opção do SAA é permitir ao próprio usuário, seja PD ou não, a remoção dos atalhos dos aplicativos instalados que não estejam mais em uso, dando ao usuário total autonomia no uso do aplicativo SAA (Figura 32), onde 1 - Mostra um Slot Preenchido; 2 - A Opção de Remoção do Atalho de Aplicativo; 3 - Slot Vazio Podendo Ser Preenchido; 4 – Fecha a janela do aplicativo.

Figura 32 - Menu de Configurações do SAA



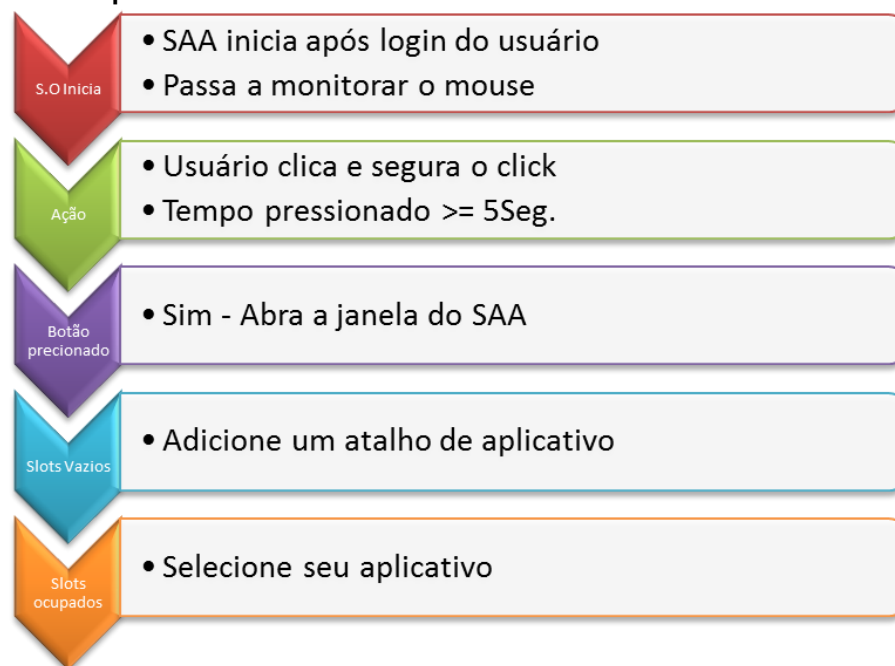
Fonte: O autor (2020)

O SAA foi desenvolvido na linguagem C#³⁸ e é compatível com os sistemas operacionais Windows ou Linux³⁹, sendo dotado de uma biblioteca de vínculo dinâmico que monitora o *mouse* a todo o momento, inspecionando suas atividades de movimentação e *click*. Neste último, sendo monitorado o tempo de permanência do *click* pressionado (Figura 33).

³⁸ C# é uma linguagem de programação, multiparadigma, de tipagem forte, desenvolvida pela Microsoft como parte da plataforma .NET. A sua sintaxe orientada a objetos foi baseada no C++ mas inclui muitas influências de outras linguagens de programação, como Object Pascal e, principalmente, Java.

³⁹ Linux é um termo popularmente empregado para se referir a sistemas operativos ou sistemas operacionais que utilizam o Kernel Linux. O núcleo foi desenvolvido pelo programador finlandês Linus Torvalds, inspirado no sistema Minix.

Figura 33 - Esquema de Funcionamento do SAA



Fonte: O autor (2020)

Para medir a eficácia de SAAM, foram computados os tempos de execução dos participantes que realizaram as atividades. Erros cometidos durante as atividades (variável manipulada) também foram pontuados. E, no final dos experimentos, foi aplicado um questionário (Apêndice A) que pontuava o nível de satisfação do usuário com SAAM e coletava sugestões para possíveis melhorias.

5.3 ATIVIDADES E RESULTADOS

Esta seção foca na avaliação dos experimentos a partir dos primeiros resultados obtidos na utilização conjunta do HAA e do SAA, componentes do SAAM (DA Rocha PERRIS; DE SOUZA, 2020).

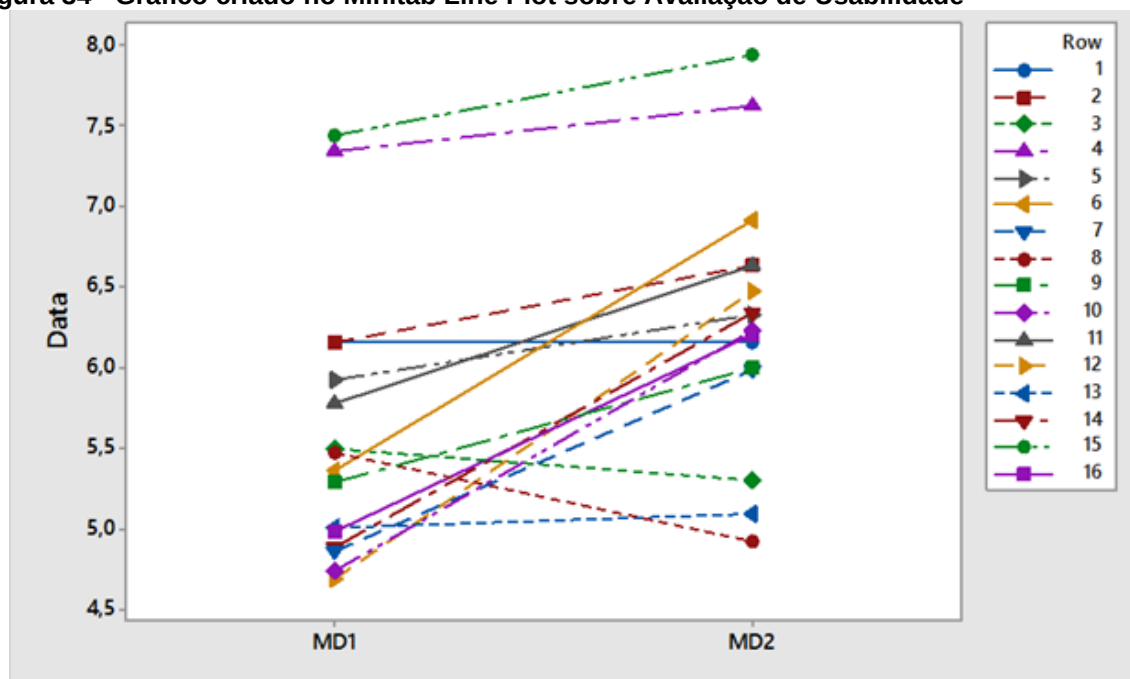
5.3.1 Avaliação da Usabilidade

Somente para dois dos participantes dos experimentos não foi possível observar a evolução do uso com SAAM (usuários US3 e US8) (Figura 34). Eles relataram em suas entrevistas que tiveram cansaço e desconforto em relação à rotina das atividades propostas para serem realizadas com o SAAM. Também alegaram não estarem muito dispostos a fazer as atividades.

Para o participante US6 (Linha amarela) no entanto, foi possível observar uma evolução acentuada. Ele começou com valores de transmissão de dados abaixo dos valores de um *mouse* convencional no primeiro dia de experimentos, sendo apenas o

oitavo participante a concluir os experimentos, evoluindo para ser o terceiro a terminar os experimentos no segundo dia.

Figura 34 - Gráfico criado no Minitab Line Plot sobre Avaliação de Usabilidade



Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

Os usuários US4 e US15 iniciaram a atividade com valores de transmissão de dados superiores aos encontrados no uso de um *mouse* convencional. Eles continuaram a evoluir na usabilidade do SAMM no segundo dia de experimentos. Isto pode ser atribuído à sua experiência em controlar melhor os movimentos da cabeça (um consultor e o outro o pesquisador), mantendo o foco no experimento e a motivação para desenvolver novas tecnologias.

5.3.2 Atividade Prática em um Ambiente Real – Semestre 1

Para medir a eficiência do SAAM, foi aferido o tempo e o número de erros no que foi proposto a todos os usuários para a realização de atividades em um AVA. O escolhido foi o *Google Classroom*⁴⁰ por ser o padrão utilizado pelo IFBA (Figura 35) (LAZAR; FENG; HOCHHEISER, 2017).

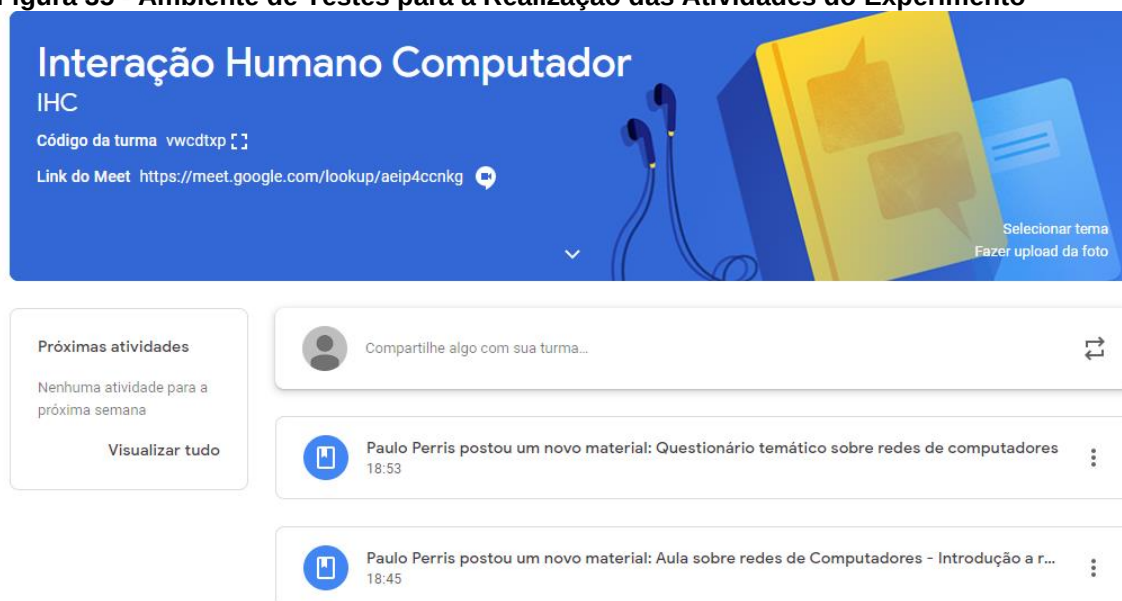
As etapas de configurar o aplicativo SAA, comuns para todos os usuários, não foram somadas para este experimento, pois partiu-se do pressuposto, que a PD terá uma pessoa para ajudá-la em seu primeiro acesso e configurações.

As etapas da atividade proposta foram:

⁴⁰ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.classroom&hl=pt_BR

- a. acessar o AVA;
- b. encontrar o módulo do curso;
- c. assistir a um vídeo sobre um tópico proposto;
- d. responder a um questionário com várias opções sobre o tópico mostrado no vídeo;
- e. enviar suas respostas pelo AVA;
- f. terminar a sessão; e
- g. sair da plataforma.

Figura 35 - Ambiente de Testes para a Realização das Atividades do Experimento



Fonte: O autor (2020)

Neste ponto da pesquisa, decidiu-se utilizar os métodos observacional e experimental, pois segundo Mackenzie (MACKENZIE, 2013, p. 130–131) “Na condução de pesquisas empíricas em IHC, é essencial observar seres humanos interagindo com computadores ou com alguma tecnologia incorporada a computadores”. Foi utilizada a variável manipulada “**penalidade por erro**” como uma das duas variáveis no experimento controlado para fins de avaliação.

Durante as atividades, cada etapa foi cronometrada. Cada erro do usuário (clique fora do alvo) foi adicionado como uma penalidade de 0,30s em seu tempo total de atividade. Os resultados dos dois dias de experimentos são mostrados na Tabela 1 e na Tabela 2.

Tabela 1 - Dados do Primeiro Dia de Atividades - Primeiro Semestre 2019
Painel de atividades do primeiro dia Semestre 1

Usuário	Login	Localizar o módulo no AVA	Ler e responder ao exercício	Enviar a atividade no AVA	Total sem contabilizar erros	Erros	Tempo total contabilizando erros
US1	00:06:13	00:02:14	00:24:20	00:00:07	00:32:54	6	00:43:17
US2	00:05:25	00:01:28	00:26:31	00:00:09	00:33:33	18	00:47:09
US3	00:09:11	00:00:33	00:28:01	00:00:09	00:37:54	12	00:49:59
US4	00:06:33	00:00:14	00:22:09	00:00:08	00:29:04	6	00:39:02
US5	00:07:29	00:01:01	00:21:11	00:00:14	00:29:55	6	00:39:56
US6	00:08:01	00:00:20	00:20:33	00:00:09	00:29:03	12	00:40:48
US7	00:06:29	00:00:17	00:19:23	00:00:07	00:26:16	6	00:36:16
US8	00:11:01	00:00:25	00:24:33	00:00:08	00:36:07	24	00:51:38
US9	00:06:30	00:00:16	00:26:10	00:00:08	00:33:04	30	00:50:11
US10	00:05:19	00:00:34	00:29:31	00:00:07	00:35:31	0	00:43:45
US11	00:06:32	00:01:07	00:20:29	00:00:07	00:28:15	6	00:38:17
US12	00:08:04	00:00:31	00:26:26	00:00:09	00:35:10	24	00:50:32
US13	00:10:05	00:01:02	00:23:31	00:00:08	00:34:46	12	00:46:29
US14	00:05:26	00:00:27	00:21:10	00:00:06	00:27:09	6	00:37:02
US15	00:08:18	00:00:33	00:24:30	00:00:07	00:33:28	18	00:47:02
US16	00:05:35	00:00:31	00:28:10	00:00:08	00:34:24	0	00:42:37

Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

Antes de mostrar a tabela com os cálculos de execução aos alunos, foi apresentada uma palestra sobre “Penalidades do tempo por distração na execução das atividades diárias” com base no trabalho de Ferreira, Rocha e Haas (2019), explicando o quanto de tempo era perdido nas execuções de suas atividades diárias por conta de distrações. Logo em seguida foram mostrados aos alunos os seus tempos com e sem penalidades por erro.

Todos os participantes ficaram surpresos com as penalidades de tempo adicionais por erros em suas atividades. Eles alegaram que não imaginavam que pequenos erros pudessem adicionar muito ao tempo final do experimento.

Foi perguntado aos participantes: se tivessem cometido menos erros, eles teriam terminado suas atividades em menos tempo? Eles foram unânimes em afirmar que sim. Mesmo com essa afirmação, aos participantes não foram impostas novas regras sobre erros no segundo dia de experimentos.

Tabela 2 - Segundo Dia de Atividades - Primeiro Semestre 2019

Painel de atividades do segundo dia Semestre 1

Usuário	Login	Localizar o módulo no AVA	Ler e responder ao exercício	Enviar a atividade no AVA	Total sem contabilizar erros	Erros	Tempo total contabilizando erros
US1	00:00:33	00:01:16	00:26:07	00:00:05	00:28:01	2	00:40:40
US2	00:00:14	00:01:08	00:28:01	00:00:07	00:29:30	3	00:42:26
US3	00:00:13	00:01:02	00:26:09	00:00:07	00:27:31	3	00:40:28

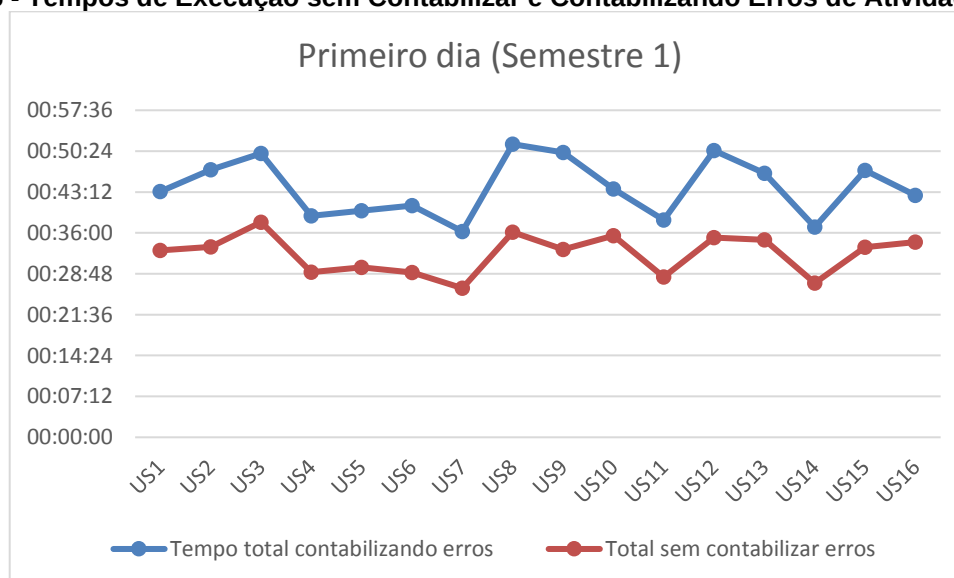
US4	00:00:22	00:00:16	00:26:11	00:00:06	00:26:55	2	00:39:33
US5	00:00:13	00:01:14	00:27:33	00:00:10	00:29:10	3	00:42:07
US6	00:00:19	00:00:33	00:26:23	00:00:07	00:27:22	5	00:40:54
US7	00:00:12	00:00:28	00:25:10	00:00:07	00:25:57	2	00:38:35
US8	00:00:11	00:00:21	00:27:31	00:00:05	00:28:08	8	00:42:35
US9	00:00:13	00:00:31	00:29:26	00:00:07	00:30:17	6	00:44:07
US10	00:00:16	00:00:26	00:29:30	00:00:07	00:30:19	2	00:42:59
US11	00:00:11	00:00:35	00:25:10	00:00:07	00:26:03	1	00:38:25
US12	00:00:17	00:00:28	00:29:11	00:00:07	00:30:03	2	00:42:42
US13	00:00:14	00:01:00	00:26:20	00:00:07	00:27:41	3	00:40:38
US14	00:00:17	00:00:29	00:25:05	00:00:06	00:25:57	6	00:39:46
US15	00:00:13	00:01:01	00:27:02	00:00:05	00:28:21	3	00:41:19
US16	00:00:16	00:01:04	00:29:02	00:00:07	00:30:29	0	00:42:34

Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

Foi possível observar nos resultados obtidos no segundo dia de atividades que algumas das características do navegador escolhido para os testes (Ex.: salvar o *login* e a senha) foram aprimoradas. Todos os participantes que tiveram problemas com *logins* e senhas longos, os resolveram clicando no botão OK para efetuar *login*, sem a necessidade de digitar essas informações novamente usando o teclado virtual e o SAAM.

A Figura 36 mostra o resultado da análise comparativa das atividades realizadas pelos participantes, evidenciando que os participantes US8 e US9 tiveram um aumento maior no tempo por terem cometido mais erros.

Figura 36 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades I

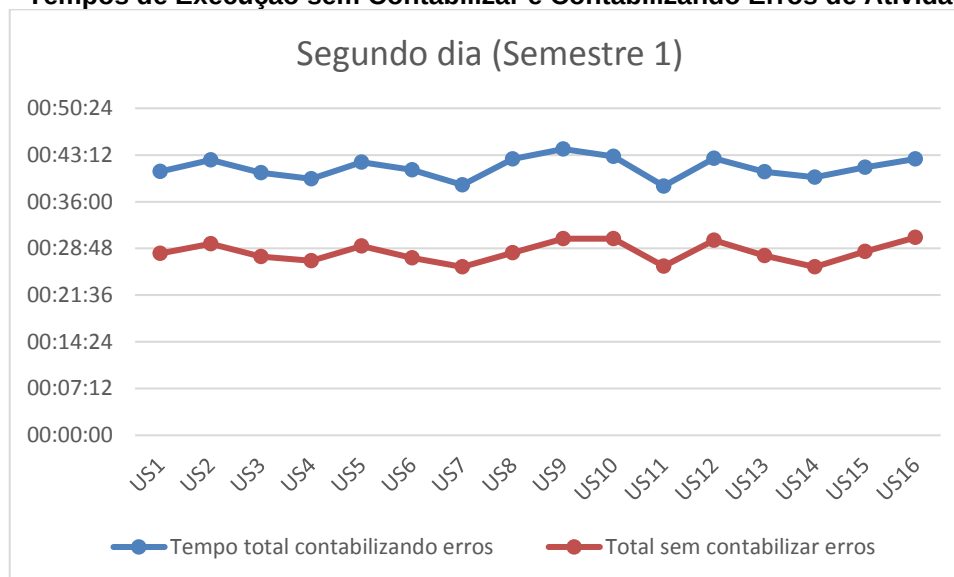


Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

No segundo dia de atividades, todos os participantes tiveram o cuidado de não cometer erros ou cometer o menor número possível de erros. Questionados sobre o

cuidado de não cometer erros, eles responderam que não gostariam de ser penalizados com tempo extra para as atividades. Observou-se com isso que o tempo de realização das atividades aumentou naturalmente (Figura 37).

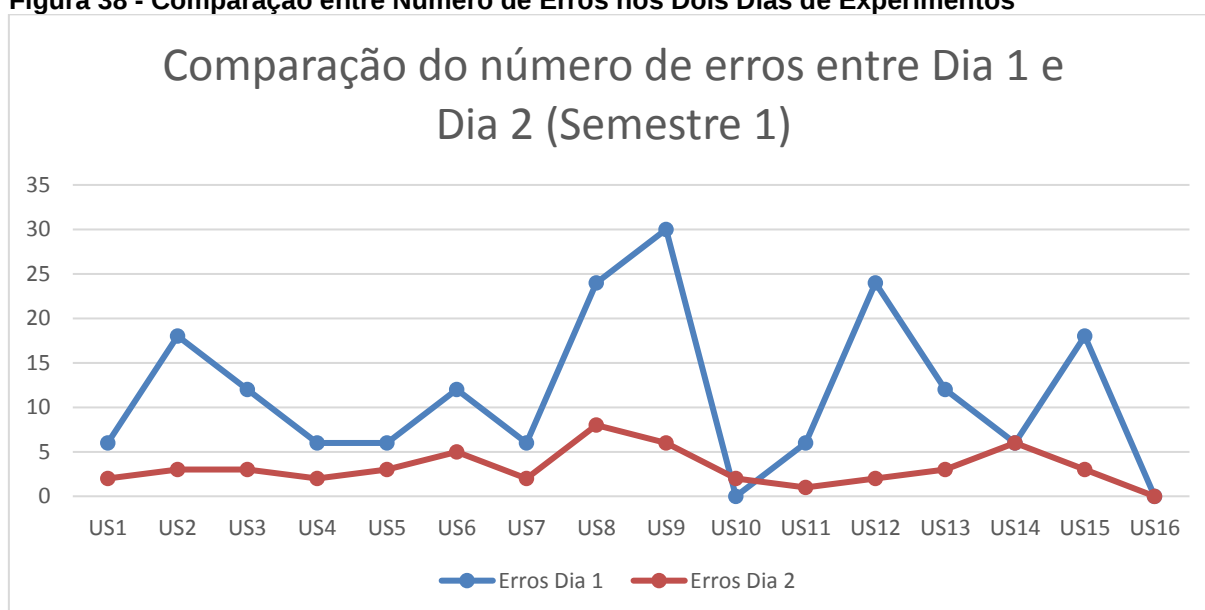
Figura 37 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades II



Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

A diferença entre o número de erros no primeiro dia de atividades e no segundo dia de atividades é graficamente visível (Figura 38), mostrando apenas o participante US10 cometendo mais erros no segundo dia do que no primeiro.

Figura 38 - Comparação entre Número de Erros nos Dois Dias de Experimentos

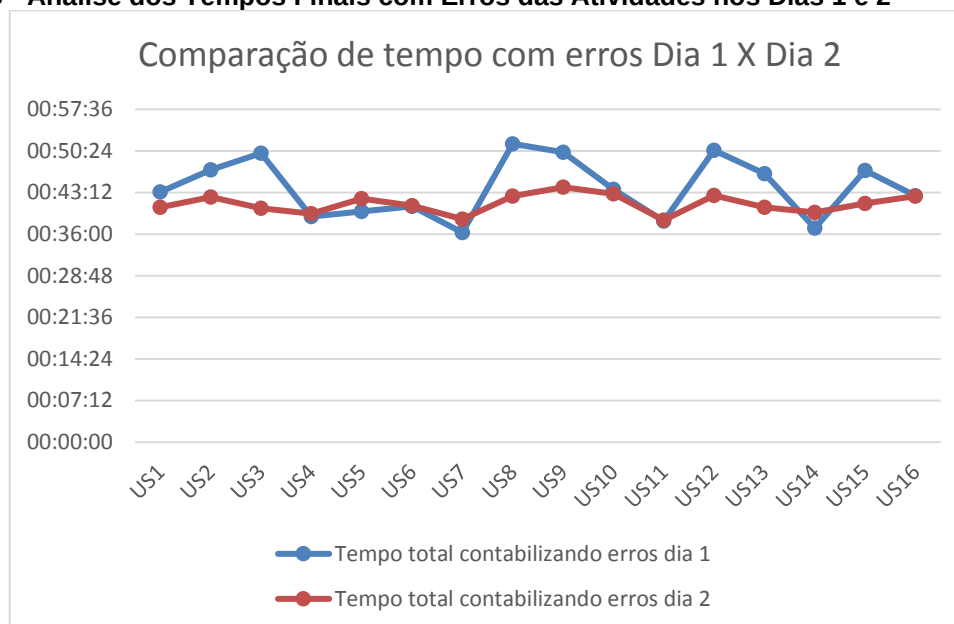


Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

Após uma análise comparativa dos tempos com erros do primeiro dia com o segundo dia de atividades, percebeu-se que 12 dos 16 participantes melhoraram ou

mantiveram os tempos nos quais as atividades foram realizadas (Figura 39).

Figura 39 - Análise dos Tempos Finais com Erros das Atividades nos Dias 1 e 2



Fonte: Da Rocha Perris e De Souza (2020)

5.3.3 Atividade Prática em um Ambiente Real – Semestre 2

Com o início do segundo semestre letivo e a chegada de novos alunos à disciplina de IHC, decidiu-se repetir o experimento do semestre anterior, repetindo todos seus procedimentos, com o diferencial de não se ter o pesquisador nem o consultor executando os experimentos, justamente por serem exatamente iguais aos do semestre anterior.

Dezesseis alunos foram escolhidos de uma turma de 18 matriculados. Os outros dois alunos ficaram apenas observando, fazendo anotações e auxiliando o pesquisador durante as atividades.

Novamente foi utilizada a variável manipulada “**penalidade por erro**” como uma das duas variáveis no experimento controlado para fins de avaliação e, mais uma vez, durante as atividades, cada etapa foi cronometrada. Cada erro do usuário (clique fora do alvo) foi adicionado como uma penalidade de 0,30s em seu tempo total de atividade, exatamente como no semestre anterior. Os resultados dos dois dias de experimentos são mostrados na Tabela 3 e na Tabela 4.

Tabela 3 - Dados do Primeiro dia de Atividades no Segundo Semestre
Painel de atividades do primeiro dia (Semestre 2)

Usuário	Login	Localizar o módulo no AVA	Ler e responder ao exercício	Enviar a atividade no AVA	Total sem contabilizar erros	Erros	Tempo total contabilizando erros
US1	00:12:27	00:01:14	00:25:28	00:00:05	00:39:14	9	00:50:00
US2	00:07:11	00:01:21	00:25:32	00:00:07	00:34:11	20	00:48:19
US3	00:11:13	00:01:00	00:22:13	00:00:07	00:34:33	11	00:46:22
US4	00:09:14	00:00:19	00:27:07	00:00:08	00:36:48	13	00:49:01
US5	00:13:12	00:01:07	00:20:20	00:00:08	00:34:47	14	00:47:07
US6	00:12:07	00:01:31	00:21:21	00:00:10	00:35:09	14	00:47:42
US7	00:14:01	00:01:13	00:20:11	00:00:11	00:35:36	9	00:46:35
US8	00:09:04	00:01:06	00:23:22	00:00:10	00:33:42	17	00:47:12
US9	00:10:32	00:01:08	00:23:11	00:00:11	00:35:02	22	00:49:51
US10	00:09:26	00:00:31	00:24:19	00:00:08	00:34:24	21	00:48:56
US11	00:12:34	00:01:10	00:26:11	00:00:08	00:40:03	15	00:52:37
US12	00:10:10	00:01:07	00:25:19	00:00:08	00:36:44	23	00:51:48
US13	00:13:11	00:01:26	00:20:34	00:00:08	00:35:19	19	00:49:13
US14	00:17:19	00:01:14	00:22:07	00:00:10	00:40:50	8	00:51:44
US15	00:10:11	00:01:30	00:21:03	00:00:09	00:32:53	16	00:45:58
US16	00:12:25	00:01:30	00:23:23	00:00:08	00:37:26	14	00:49:55

Fonte: O autor 2020

Foi também apresentada para os novos alunos a palestra baseada no trabalho de Ferreira, Rocha e Haas (2019), realizada para os alunos do semestre anterior. Logo em seguida foram mostrados aos alunos os seus tempos com e sem penalidades por erro.

Surpreendentemente, os alunos não mostraram tanto espanto em relação aos seus erros cometidos ou a penalidades que tomaram em decorrência desses erros. Em conversa informal na própria sala de aula, foram questionados pelo professor por que não se surpreenderam e a resposta unânime foi a que souberam pelos alunos do experimento passado, minutos antes da aula com os resultados, que eles tomariam punições por erros em tempos de execução do experimento.

Porém, como já informado, só souberam desta informação após o experimento, nada influenciando nos resultados do segundo semestre de testes.

Neste novo período de experimentos, foi perguntado aos participantes, assim como no semestre anterior, que se tivessem cometido menos erros, eles teriam terminado suas atividades em menos tempo. Todos, mais uma vez, afirmaram que sim e, mesmo com essa afirmação, aos novos participantes também não foram impostas novas regras sobre erros no segundo dia de experimentos.

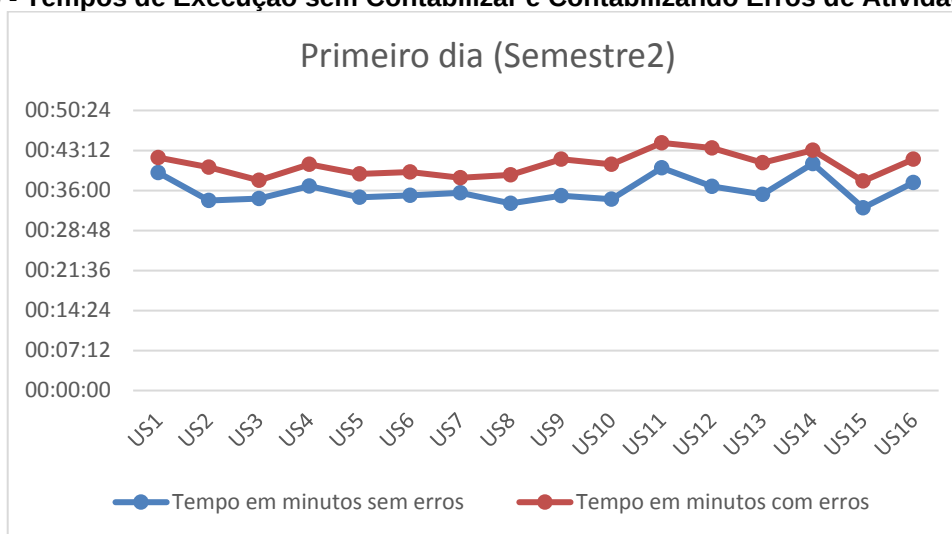
Tabela 4 - Dados do Segundo Dia de Atividades no Segundo Semestre
Painel de atividades do segundo dia (semestre 2)

Usuário	Login	Localizar o módulo no AVA	Ler e responder ao exercício	Enviar a atividade no AVA	Total sem contabilizar erros	Erros	Tempo total contabilizando erros
US1	00:00:13	00:00:20	00:27:07	00:00:04	00:27:44	4	00:40:59
US2	00:00:10	00:00:31	00:27:01	00:00:07	00:27:49	4	00:41:03
US3	00:00:11	00:01:07	00:28:10	00:00:04	00:29:32	6	00:43:23
US4	00:00:10	00:00:29	00:23:32	00:00:05	00:24:16	4	00:37:30
US5	00:00:11	00:00:30	00:26:25	00:00:07	00:27:13	3	00:40:10
US6	00:00:11	00:00:19	00:25:26	00:00:07	00:26:03	6	00:39:54
US7	00:00:13	00:00:21	00:25:10	00:00:07	00:25:51	3	00:38:46
US8	00:00:12	00:00:20	00:25:18	00:00:08	00:25:58	3	00:38:55
US9	00:00:13	00:00:31	00:27:07	00:00:11	00:28:02	5	00:41:35
US10	00:00:14	00:00:17	00:26:31	00:00:08	00:27:10	3	00:40:09
US11	00:00:11	00:00:34	00:25:10	00:00:09	00:26:04	2	00:38:44
US12	00:00:14	00:00:20	00:26:20	00:00:09	00:27:03	1	00:39:23
US13	00:00:11	00:00:23	00:26:35	00:00:08	00:27:17	1	00:39:40
US14	00:00:12	00:00:22	00:24:22	00:00:05	00:25:01	5	00:38:33
US15	00:00:13	00:00:26	00:24:10	00:00:06	00:24:55	2	00:37:33
US16	00:00:12	00:01:02	00:28:31	00:00:08	00:29:53	3	00:42:53

Fonte: O autor (2020)

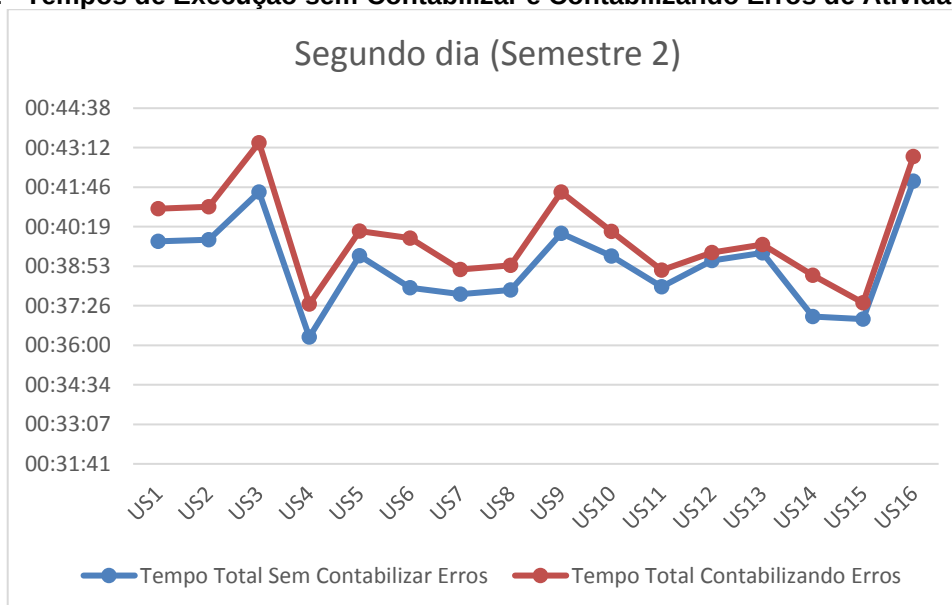
Foi possível observar, mais uma vez que, nos resultados do segundo dia de atividades que algumas das características do navegador escolhido para os testes (Ex.: salvar o *login* e a senha) foram aprimoradas. Entretanto, neste ponto da pesquisa, foi verificado que havia uma terceira variável nos experimentos, pois o “Salvar *login* e senha”, no primeiro dia do experimento, facilitava ao usuário o tempo de execução das atividades no segundo dia de testes. Isto justifica os princípios da Tecnologia Assistiva aplicada à Computação, descritos por Cook e Polgar (2014). E, novamente, todos os participantes que tiveram problemas com *logins* e senhas longos no primeiro dia, os resolveram clicando no botão OK para efetuar *login*, sem a necessidade de digitar essas informações novamente usando o teclado virtual e o SAAM.

A Figura 40 mostra o resultado da análise comparativa das atividades realizadas pelos participantes no primeiro dia de experimentos. Pode-se notar que os participantes tiveram os tempos de execução das atividades mais elevados que os do semestre anterior. Foi acentuado o número de erros em seus experimentos. Os usuários US2, US8 e US15 tiveram os melhores tempos de execução sem contabilizar erros. Os usuários US3, US5 e US7 tiveram os melhores tempos de execução das atividades, somados os tempos de penalidades. Eles erraram menos na execução das atividades propostas.

Figura 40 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades I

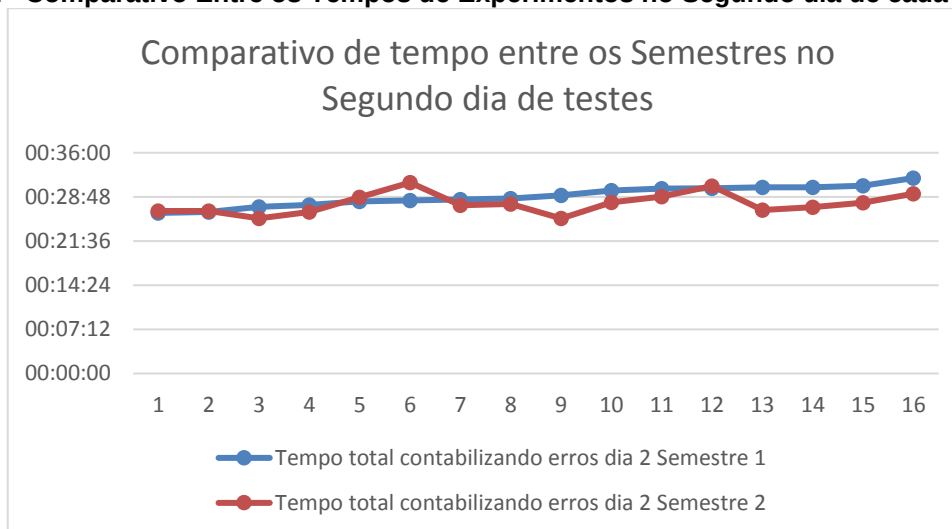
Fonte: O autor (2020)

No segundo dia de atividades, todos os participantes tiveram maior cuidado ao executar as atividades, cometendo menor número de erros (Figura 41). Em conversa informal, eles informaram que sabiam que seriam penalizados com tempo extra para as atividades.

Figura 41 - Tempos de Execução sem Contabilizar e Contabilizando Erros de Atividades II

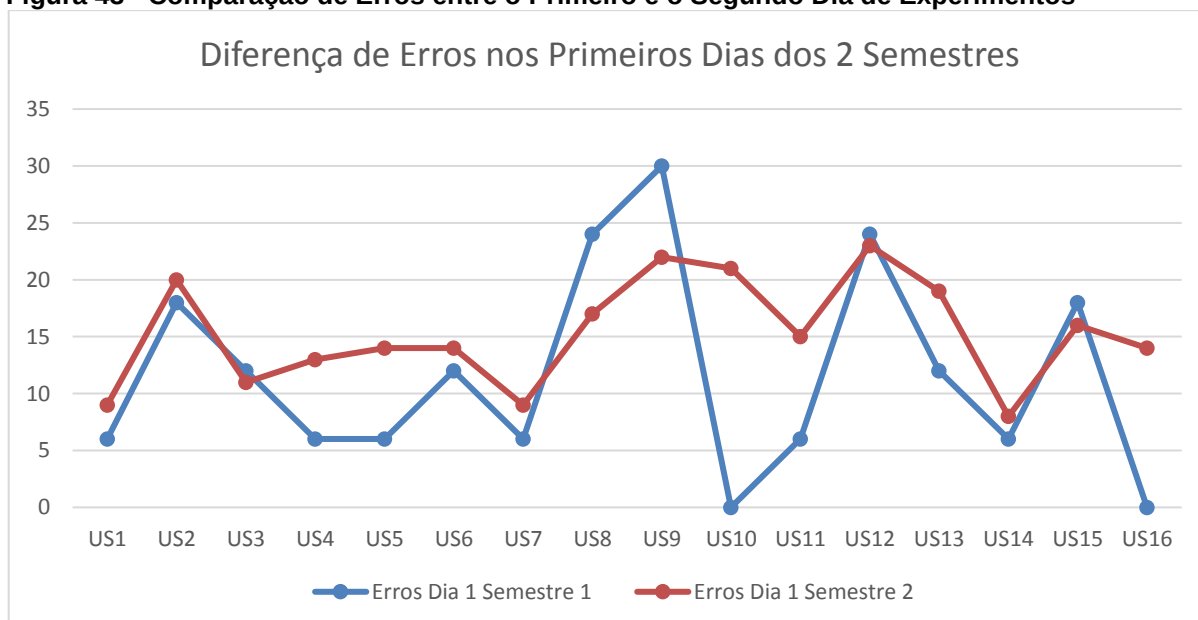
Fonte: O autor (2020)

Foi observado no segundo dia de experimentos do segundo semestre que, ao contrário do segundo dia de experimentos do semestre anterior, todos os participantes cometeram erros de execução. Entretanto, os participantes do segundo semestre de testes tiveram, em média de tempo, um desempenho melhor que os participantes do primeiro semestre (Figura 42).

Figura 42 - Comparativo Entre os Tempos de Experimentos no Segundo dia de cada Semestre

Fonte: O autor (2020)

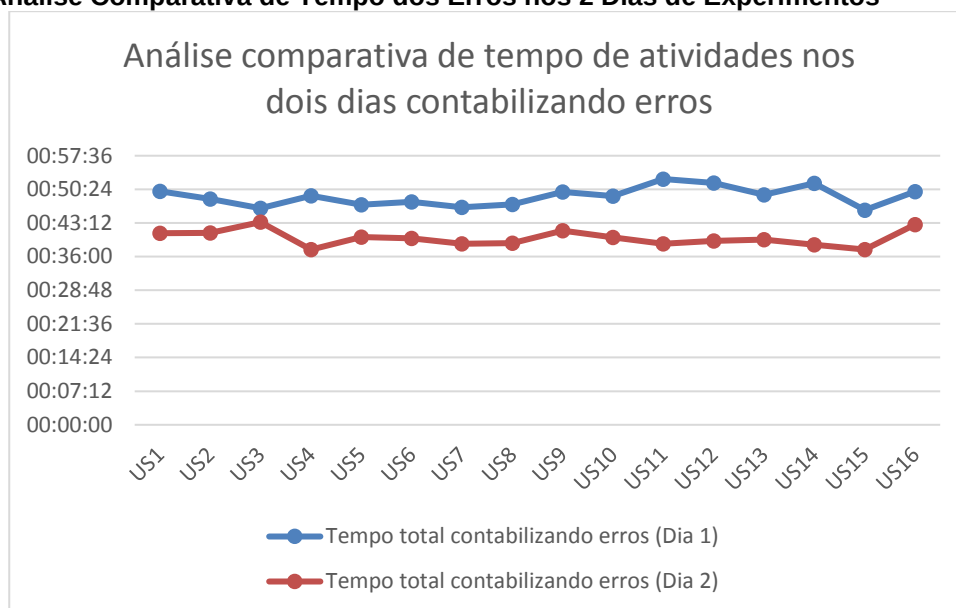
Em uma análise comparativa de erros de execução entre o primeiro e o segundo dia de experimentos, observou-se a mesma linearidade no segundo dia, mostrada na Figura 34, a qual se refere à comparação análoga que ocorreu no primeiro semestre. Porém, no primeiro dia de experimentos do segundo semestre, os erros foram bem maiores que os encontrados no mesmo período do primeiro semestre (Figura 43).

Figura 43 - Comparação de Erros entre o Primeiro e o Segundo Dia de Experimentos

Fonte: O autor (2020)

Em análise temporal, de realização das atividades nos experimentos do segundo semestre, comparando o primeiro e o segundo dia, observou-se uma linearidade entre os dias, porém, um significativo ganho de tempo na realização das atividades (Figura 44).

Figura 44 - Análise Comparativa de Tempo dos Erros nos 2 Dias de Experimentos

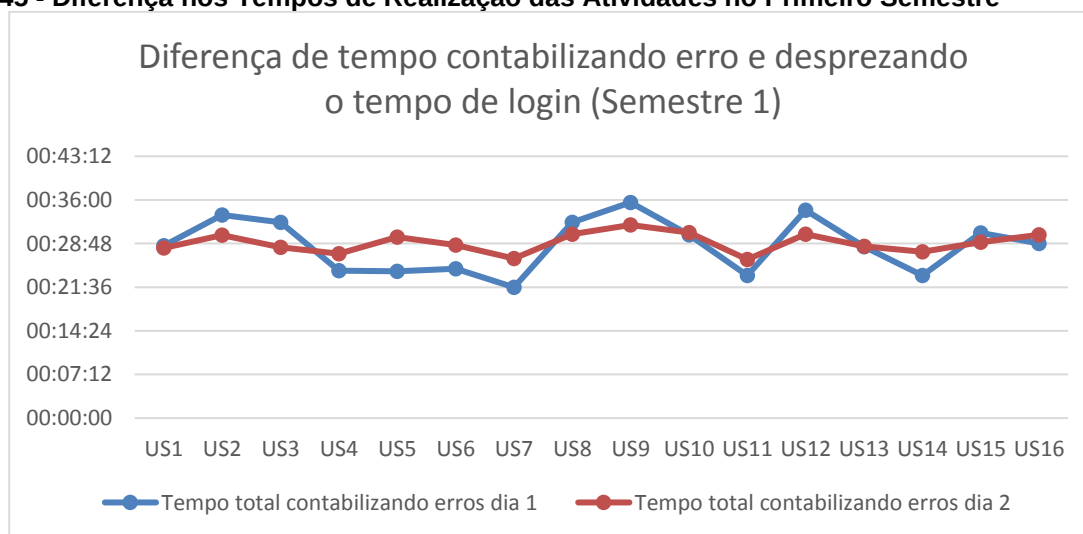


Fonte: O autor (2020)

Com a percepção da existência de uma terceira variável (salvar *login* e senha no *browser*) constante em todos os momentos dos experimentos, resolveu-se analisar o tempo de execução das atividades, ignorando o tempo gasto na realização de digitação de *login* e senha pelos participantes, em ambos os dias e semestres. Simulou-se, desta maneira, os participantes entrando diretamente no sistema.

Assim, houve uma inversão nos tempos de execução das atividades, pois a aplicação de apenas uma variável manipulada em um experimento aumenta, em sua maioria, os tempos de execução das atividades (Figura 45).

Figura 45 - Diferença nos Tempos de Realização das Atividades no Primeiro Semestre



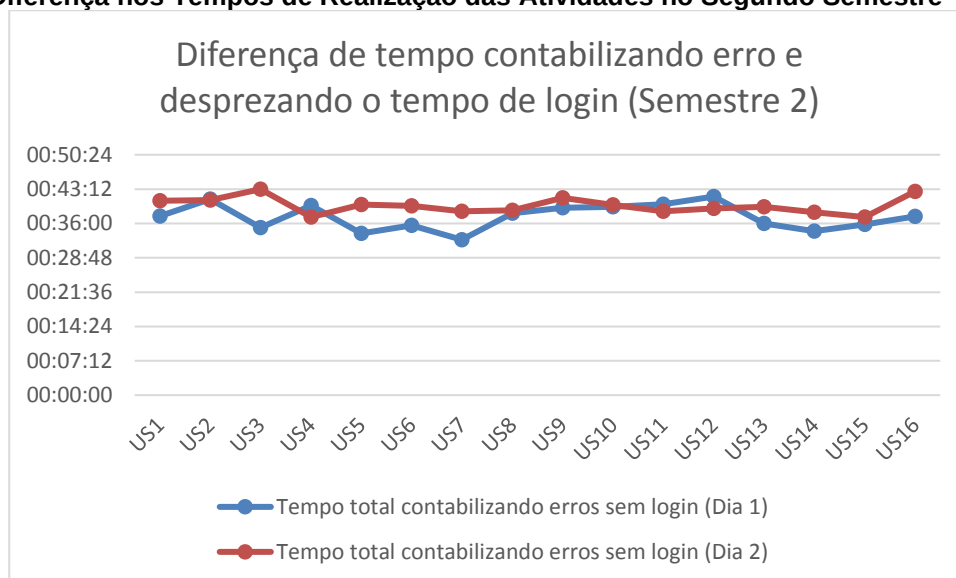
Fonte: O autor (2020)

Ficou decidido, então, aplicar o mesmo fator, nos dois dias de experimento do

segundo semestre e ver qual seria o resultado.

A diferença dos tempos de realização das atividades, desprezando-se o tempo de *login* nos dois dias de experimentos no segundo semestre, foi menor em relação ao mesmo período no primeiro semestre (Figura 46), variando de aproximadamente 40% no primeiro semestre para 50% no segundo semestre.

Figura 46 - Diferença nos Tempos de Realização das Atividades no Segundo Semestre



Fonte: O autor (2020)

Assim, ficou decidido tabular os tempos de atividades de todos os participantes dos dois semestres, nos dois dias de atividades, sem contabilizar os erros no primeiro dia e contabilizando os erros no segundo dia, aplicando as penalidades. Porém, foi retirado o tempo utilizado na digitação de *login* e senha em todos os dias de atividades (Tabela 5).

Tabela 5 - Soma de Todos os Tempos de Todos os Participantes nos 2 Semestres

Usuário	Total sem contabilizar erros dia 1 sem contabilizar login (Ambos os semestres)	Total sem contabilizar erros dia 2 sem contabilizar login (Ambos os semestres)	Tempo total contabilizando erros dia 1 sem contabilizar login (ambos os semestres)	Tempo total contabilizando erros dia 2 sem contabilizar login (Ambos os semestres)
US1	00:35:16	00:39:31	00:37:04	00:40:07
US2	00:36:20	00:41:18	00:41:44	00:42:12
US3	00:37:13	00:39:21	00:40:49	00:40:15
US4	00:30:41	00:38:35	00:32:29	00:39:11
US5	00:30:38	00:41:00	00:32:26	00:41:54
US6	00:29:11	00:39:05	00:32:47	00:40:35
US7	00:27:59	00:37:47	00:29:47	00:38:23
US8	00:33:25	00:40:00	00:40:37	00:42:24
US9	00:34:41	00:42:07	00:43:41	00:43:55
US10	00:38:26	00:42:07	00:38:26	00:42:43

US11	00:29:57	00:37:56	00:31:45	00:38:14
US12	00:35:16	00:41:49	00:42:28	00:42:25
US13	00:32:49	00:39:31	00:36:25	00:40:25
US14	00:29:48	00:37:41	00:31:36	00:39:29
US15	00:33:20	00:40:11	00:38:44	00:41:05
US16	00:37:01	00:42:18	00:37:01	00:42:18
US17	00:34:51	00:39:34	00:37:33	00:40:46
US18	00:35:07	00:39:41	00:41:07	00:40:53
US19	00:31:51	00:41:23	00:35:09	00:43:11
US20	00:35:53	00:36:08	00:39:47	00:37:20
US21	00:29:43	00:39:04	00:33:55	00:39:58
US22	00:31:23	00:37:55	00:35:35	00:39:43
US23	00:29:53	00:37:39	00:32:35	00:38:33
US24	00:33:02	00:37:49	00:38:08	00:38:43
US25	00:32:43	00:39:52	00:39:19	00:41:22
US26	00:33:11	00:39:01	00:39:29	00:39:55
US27	00:35:33	00:37:56	00:40:03	00:38:32
US28	00:34:44	00:38:52	00:41:38	00:39:10
US29	00:30:19	00:39:10	00:36:01	00:39:28
US30	00:32:01	00:36:51	00:34:25	00:38:21
US31	00:30:59	00:36:44	00:35:47	00:37:20
US32	00:33:18	00:41:47	00:37:30	00:42:41

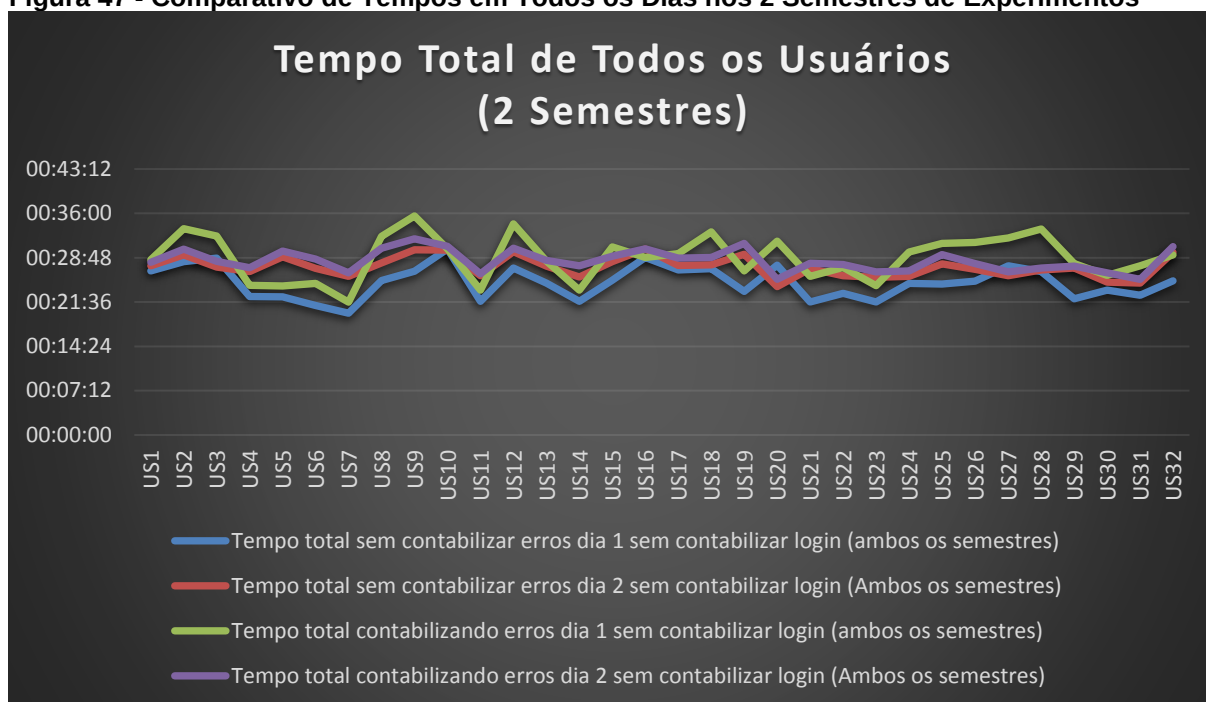
Fonte: O autor (2020)

Pode-se observar que, mesmo com um tempo maior de execução das atividades, manteve-se a linearidade mais acentuada nas execuções dos experimentos no segundo dia, em ambos os semestres, com e sem erros (Linhas laranja e amarela na Figura 46). Deduziu-se que a penalidade por erro fez com que os participantes utilizassem a tecnologia assistiva (neste caso o SAAM) tentando errar cada vez menos.

Para mostrar a influência da tecnologia de *cookies*⁴¹ existentes nos navegadores e o quão benéfico é às PD, decidiu-se separar os dados de *logins* dos primeiros dias dos dois semestres e compará-los com os dados dos segundos dias de experimentos dos mesmos períodos (Figura 47).

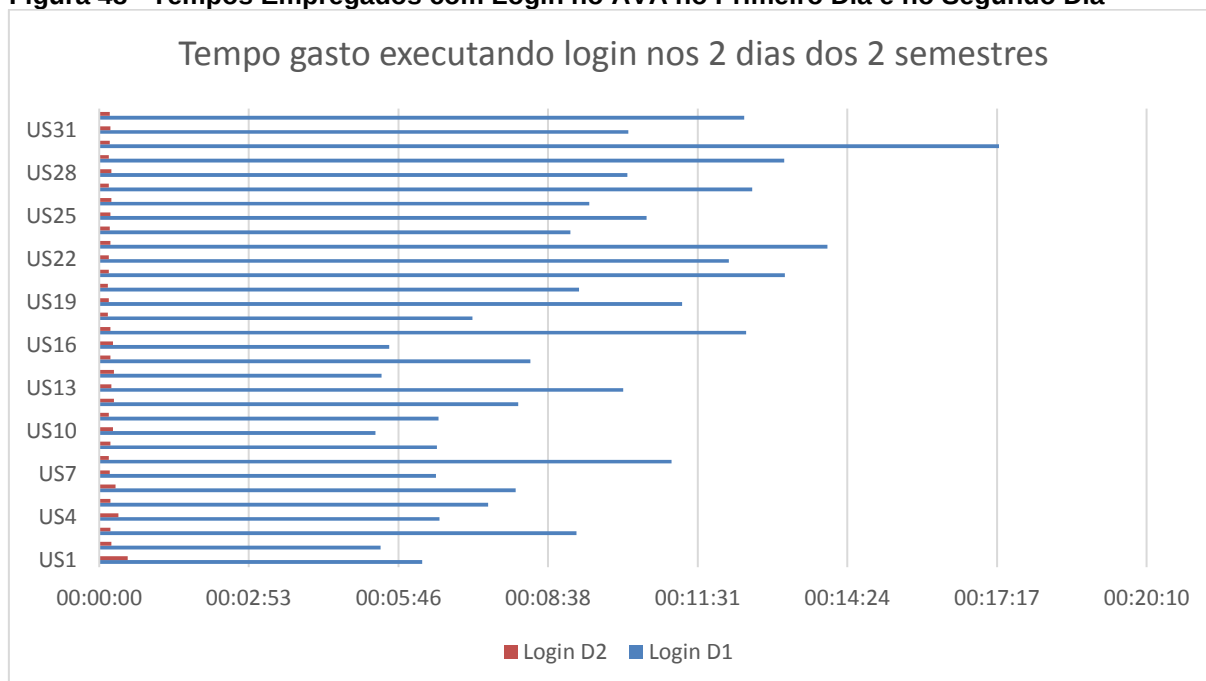
⁴¹ Os cookies são arquivos de internet que armazenam temporariamente o que o internauta está visitando na rede. Esses bytes geralmente possuem formato de texto e não ocupam praticamente nenhum espaço no disco rígido do computador.

Figura 47 - Comparativo de Tempos em Todos os Dias nos 2 Semestres de Experimentos



Fonte: O Autor (2020)

Figura 48 - Tempos Empregados com Login no AVA no Primeiro Dia e no Segundo Dia



Fonte: O autor 2020

Pode-se observar que os *cookies* do navegador, tão criticados por guardar dados de navegação do usuário, mostram-se como poderoso aliado da tecnologia assistiva, diminuindo o tempo das atividades computacionais executadas nos experimentos usando o SAAM (Figura 48).

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo abordou a criação dos aparatos componentes do SAAM: o HAA e o SAA, bem como a avaliação de usabilidade.

Para o HAA foram descritos seus componentes, sua usabilidade e aplicação, bem como sua prototipagem. Também foi mostrado o desenho utilizado para a realização dos experimentos seguindo os parâmetros da lei de Fitts.

Para o SAA foram apresentadas suas interfaces, seu modo de usabilidade e sua arquitetura.

Experimentos foram realizados em um ambiente real, unindo pela primeira vez o HAA e o SAA. Em ambos os casos, foi utilizada a variável manipulada de **punição de tempo**, mas percebeu-se que tecnologias existentes nos navegadores ajudam às PD quando utilizadas em conjunto com aparatos computacionais assistivos.

Foram obtidos vários dados gerados pelos experimentos com relação à usabilidade do SAAM em um ambiente real de experimentos. Estes realizados em 2 semestres letivos com um total de 32 usuários.

No próximo capítulo serão analisados todos os resultados dos experimentos realizados com o HAA, apresentando-se uma análise estatística dos resultados. Os experimentos foram realizados para avaliação de eficácia do HAA, de modo a responder as questões de pesquisa e comprovar a Hipótese 1 desta tese, refutando as demais hipóteses.

6 DISCUSSÕES E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Neste Capítulo, são apresentadas as análises dos experimentos realizados pelo HAA e seus resultados estatísticos. Tais resultados são discutidos e destacadas as respostas às questões de pesquisa, bem como a comprovação/refutação de Hipóteses.

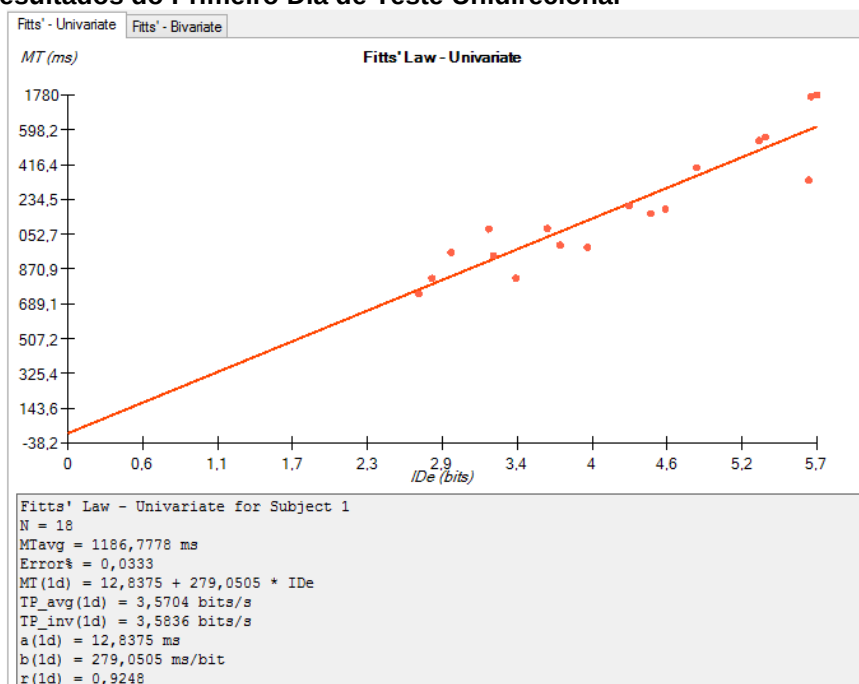
6.1 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS DO HAA

Nesta seção são analisados os resultados obtidos nos experimentos realizados com o HAA, nos quais foi utilizado o *FittsStudy*⁴², comparando-se o desempenho do HAA com o de um *mouse* convencional, proposto nos experimentos da Seção 5.1.4.

6.1.1 Primeira Análise Comparativa do Primeiro Dia de Experimentos.

Teste Unidirecional - No resultado do primeiro dia de teste unidirecional, 60% das pontuações ficaram acima da média, conforme mostrado na Figura 49.

Figura 49 - Resultados do Primeiro Dia de Teste Unidirecional

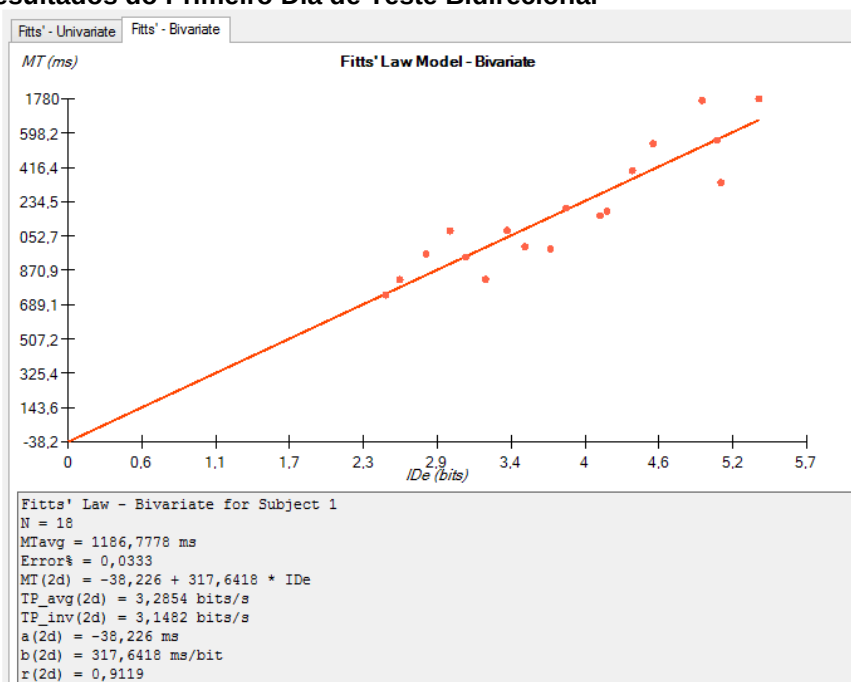


Fonte: O autor (2020)

Teste Bidirecional - No resultado do primeiro dia de teste bidirecional, 70% dos escores ficaram acima da média, conforme mostrado na Figura 50.

⁴² <http://depts.washington.edu/acelab/proj/fittsstudy/index.html>

Figura 50 - Resultados do Primeiro Dia de Teste Bidirecional



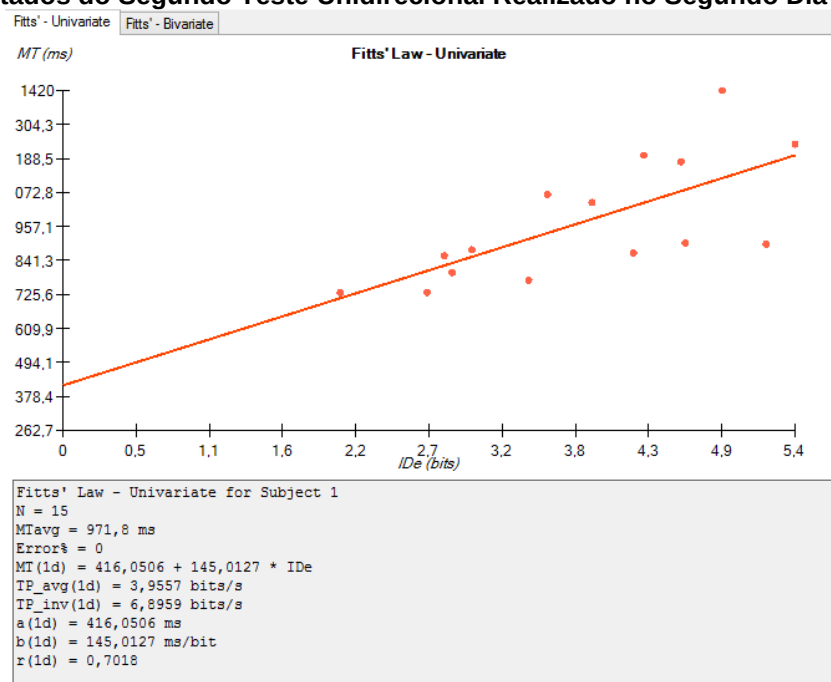
Fonte: O autor (2019)

O aumento significativo na média de escores do segundo teste (bi variável) em relação aos escores do primeiro teste (uni variável) pode ser atribuído ao ganho de experiência adquirida pelo usuário sobre a utilização do HAA na execução do primeiro teste, mesmo os testes sendo executados com alvos diferentes (Barras e Círculos).

6.1.2 Segunda Análise Comparativa - Segundo Dia de Experimentos

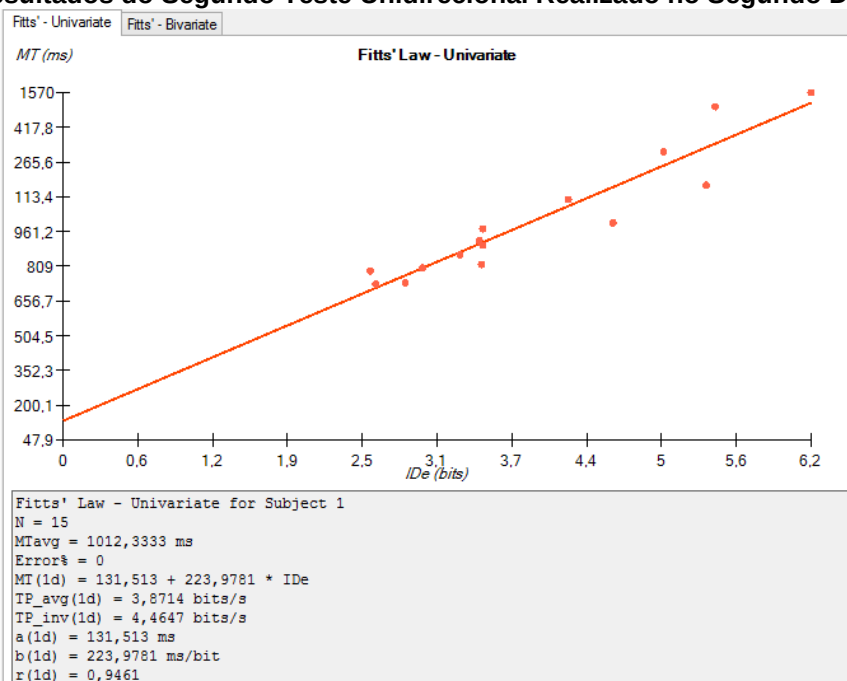
No segundo dia de experimentos, foram realizadas duas sequências dos testes que ocorreram no dia anterior, com intervalo de uma hora entre os experimentos, para evitar fadiga com a usabilidade do HAA.

No primeiro teste unidirecional realizado no segundo dia, uma precisão de 70% foi observada nas notas do dispositivo nos alvos, conforme mostrado na Figura 51.

Figura 51 - Resultados do Segundo Teste Unidirecional Realizado no Segundo Dia

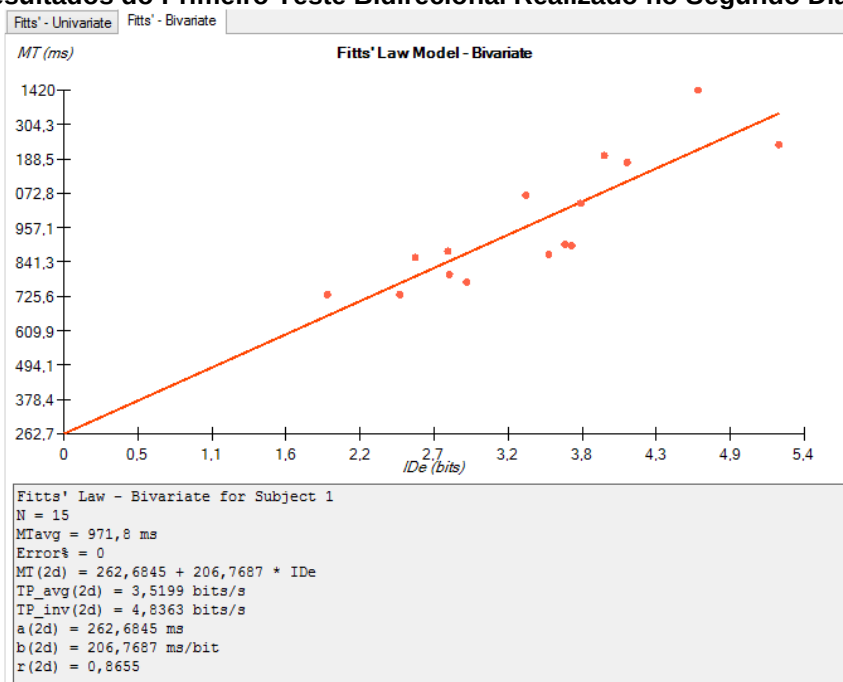
Fonte: O autor (2020)

No segundo teste unidirecional realizado no segundo dia, uma precisão de 80% foi observada nas notas do dispositivo nos alvos, conforme mostrado na Figura 52.

Figura 52 - Resultados do Segundo Teste Unidirecional Realizado no Segundo Dia

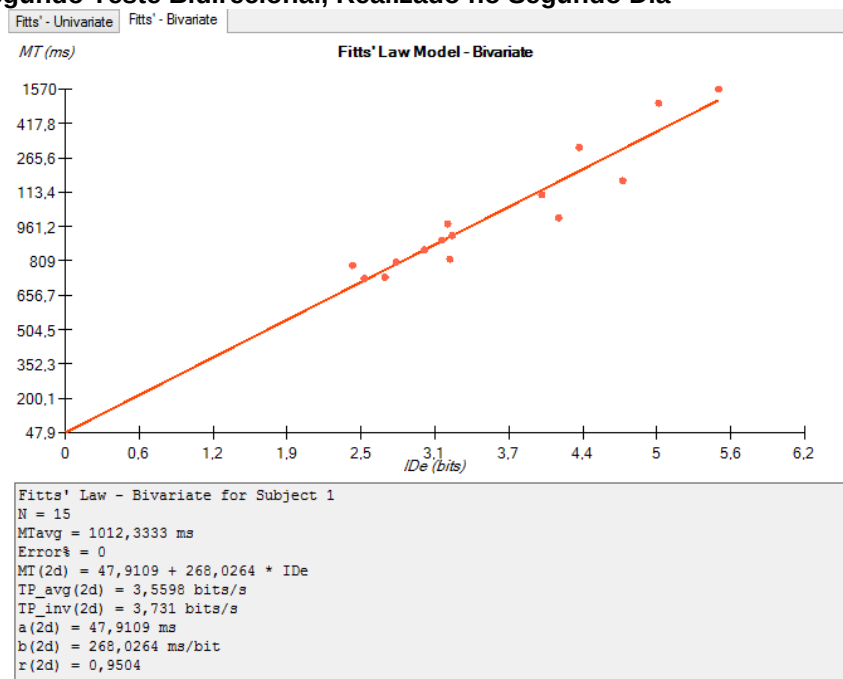
Fonte: O autor (2020)

No primeiro teste bidirecional realizado no segundo dia, foi observada uma precisão de 65% de direcionamento pelo dispositivo, mostrado na Figura 53.

Figura 53 - Resultados do Primeiro Teste Bidirecional Realizado no Segundo Dia

Fonte: O autor (2020)

No segundo teste bidirecional, realizado no segundo dia, foi observada uma precisão de 80% de direcionamento pelo dispositivo, mostrado na Figura 54.

Figura 54 - Segundo Teste Bidirecional, Realizado no Segundo Dia

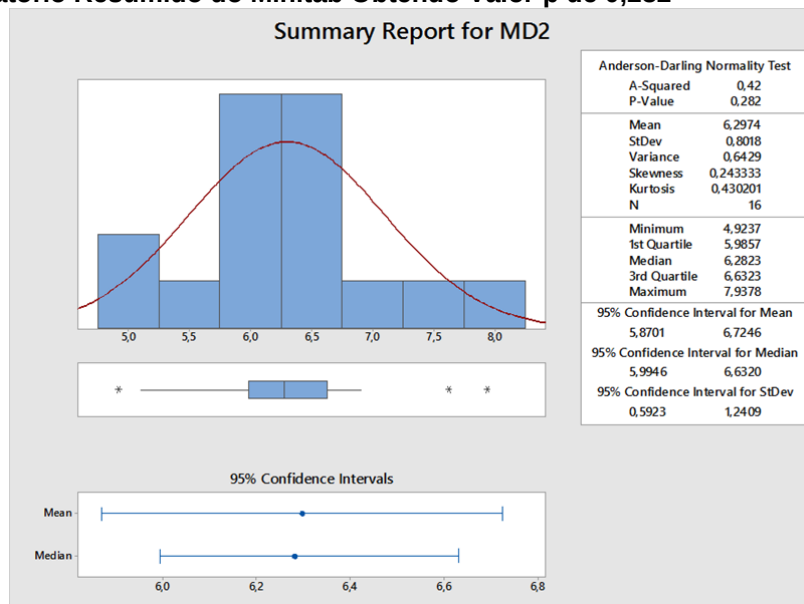
Fonte: O autor (2020)

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO HAA

Os resultados estatísticos das duas sessões de teste de usabilidade e execução de atividades no *software FittsStudy*, pelos 16 indivíduos, comprovaram a eficácia do

uso do HAA. Tal comprovação é baseada no P-Value encontrado, o qual apresentou resultados estatísticos de 28,2% (valor significativo) em um intervalo de confiança de 95%, conforme mostrado na Figura 55.

Figura 55 - Relatório Resumido do Minitab Obtendo Valor p de 0,282



Fonte: O autor (2020)

6.3 DISCUSSÕES

Com base nos resultados obtidos nos testes de usabilidade, são discutidos nas próximas seções os resultados dos experimentos, se eles respondem às questões de pesquisa e se comprovam a Hipótese 1 (**H1**) da tese, refutando as demais hipóteses.

6.3.1 Hardware Assistivo Auxiliar

Após os primeiros experimentos com o HAA no *software FittsStudy*, o qual se baseia na Lei de Fitts e segue padrões internacionais para mensurar seus resultados, o HAA teve sua eficácia comprovada no primeiro dia, com 60% de precisão no teste unidirecional e 70% de precisão no teste bidirecional.

No segundo dia, foi possível verificar que a eficácia aumentou novamente com a execução dos dois experimentos no mesmo dia, obtendo precisão respectivamente de 70% e 80% nos testes unilaterais e 65% e 80% nos testes bidirecionais com o dispositivo HAA, sendo um intervalo de uma hora entre os experimentos executados no segundo dia.

Percebeu-se ganho na experiência de usabilidade do dispositivo durante o primeiro dia de experimentos, favorecendo melhor desempenho no segundo dia, o que indica facilidade de manuseio e aprendizado com o HAA pelo usuário. Tal

indicação sugere que o HAA é um dispositivo de usabilidade facilmente aprendida, corroborando com as premissas básicas dos dispositivos assistivos desenvolvidos na TA.

No que se refere ao baixo custo, as peças que integram o HAA (LED, dois resistores - 51ohms e 51K; dois capacitores - 100nF e 10mF; um botão (estado normalmente aberto); um circuito integrado (sensor óptico - M16183); uma lente de prisma de ampliação para foco; e um cabo USB para alimentar o dispositivo) não excedem o custo de US\$10,00 (Dez dólares). Além disso, todos os componentes são fáceis de encontrar em lojas especializadas.

6.3.2 Software Assistivo Auxiliar

O SAA apresentou as características comuns aos aplicativos de acessibilidade desenvolvidos com as normas básicas da TA. O botão direito do *mouse*, tanto tradicional quanto de dispositivos de acessibilidade computacional assistiva, agora passa a dispor de uma nova função, pois permite que o usuário, PD ou não, crie atalhos para seus aplicativos no próprio SAA, utilizando apenas um *click* para executar.

Ele foi utilizado em experimentos com duas variáveis manipuladas e ofereceu acessibilidade computacional em todos os testes, pois os resultados, com ou sem variáveis manipuladas, mostraram eficazes em sua essência, permitindo realizar corretamente as atividades propostas.

O SAA possui as características essenciais de IHC relacionadas ao *design* no desenvolvimento (ícones grandes, largos, intuitivos e de fácil acesso) permitindo a usuários PD acessarem seus aplicativos com mais confiança.

6.3.3 O Sistema Assistivo Auxiliar Modular – SAAM

O uso do SAAM, que reúne a usabilidade conjunta do HAA e do SAA, permitiu que 32 usuários, sendo eles um pesquisador, um consultor e 30 alunos da disciplina de IHC do IFBA, realizassem atividades computacionais utilizando apenas os movimentos da cabeça, mostrando que a tecnologia assistiva empregada no desenvolvimento desses aparatos computacionais atingiram de maneira eficaz seus objetivos.

6.4 RESPOSTA ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

A partir dos resultados obtidos nos experimentos, remete-se às questões de pesquisa:

QP1: *É possível o desenvolvimento **conjunto** de aparatos tecnológicos (hardware e software) para pessoas com mobilidade reduzida severa, com base em Tecnologias Assistivas?*

QP2: *Tal solução poderia ser ao mesmo tempo eficiente em sua execução e livre para uso da comunidade acadêmica?*

QP1 e QP2 foram respondidas como segue. Foi criado o HAA, dispositivo de baixo custo e fácil desenvolvimento, composto por componentes de fácil acesso no mercado e licenciado pela *Creative Commons*⁴³ como *Hardware Livre*, para ser utilizado por todos os que precisarem de um dispositivo de acessibilidade computacional assistiva. Conjuntamente, também foi desenvolvido o SAA. Este, *software* livre, gratuito, com desenvolvimento baseado em TA e seguindo as normas de IHC, também licenciado pela *Creative Commons* e disponível para *download* e desenvolvimento em <https://github.com/pauloperris/HASA>.

Ambos os aparatos computacionais formam o Sistema Assistivo Auxiliar Modular – SAAM e estão em processo de patente pelo IFBA e foram eficientes nas realizações das atividades propostas, produzindo o efeito esperado.

6.5 COMPROVAÇÃO/REFUTAÇÃO DE HIPÓTESES

Os resultados obtidos nos experimentos, os quais justificaram as respostas às questões de pesquisa desta tese, comprovam que **H1** está correta, pois foram desenvolvidos aparatos tecnológicos assistivos livres, de código aberto e disponível para toda a comunidade acadêmica e eficientes em suas atividades, produzindo os efeitos esperados na realização das mesmas. Consequentemente, H2, H3 e H4 foram refutadas.

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A avaliação dos resultados dos experimentos realizados com o HAA no *FittsStudy*, bem como dos resultados obtidos no uso do SAA em um cenário proposto

⁴³ Organização não governamental sem fins lucrativos localizada em Mountain View, na Califórnia, voltada a expandir a quantidade de obras criativas disponíveis, através de suas licenças que permitem a cópia e compartilhamento com menos restrições que o tradicional todos direitos reservados.

e considerando também a análise estatística realizada, comprovaram a eficácia e usabilidade de SAAM na realização de atividades computacionais.

Neste capítulo também foram apresentadas as respostas às questões de pesquisa e foi confirmada a hipótese H1 e consequentemente a refutação das demais hipóteses levantadas, endossando inteiramente a propriedade da solução apresentada.

No próximo capítulo são apresentadas as conclusões desta tese, as publicações geradas a partir desta pesquisa, limitações e sugestões de trabalhos futuros.

7 CONCLUSÕES

Pesquisas vêm sendo realizadas, conforme abordado nos capítulos 2 e 3 desta tese, visando desenvolver soluções para auxiliar pessoas com deficiência (PD), dos mais diferentes tipos, a realizarem suas atividades da forma mais autônoma possível. A tecnologia, particularmente a computacional, em geral tem um papel muito importante nessas soluções. Por outro lado, uma das ações mais relevantes neste contexto é a educação, capaz de fornecer conhecimentos e habilidades, tanto para promover a inclusão social dessas PD, quanto para aumentar suas chances de ingresso no mercado de trabalho.

Dentre as PD, as pessoas com severa mobilidade reduzida (tetraplegia) normalmente têm dificuldades significativas para realizar atividades computacionais, como por exemplo acessar a Internet. Suas maiores chances de aprendizado são por meio da Educação a Distância (EaD), uma vez que esta modalidade permite às PD o acesso à informação sem ter que sofrer o desconforto de se deslocar para uma instituição de ensino e de enfrentar, sem algum dispositivo assistivo apropriado para elas, as dificuldades inerentes à sua condição.

Entretanto, conforme revelou o Mapeamento Sistemático de Literatura (MSL) realizado neste trabalho, as evoluções da Tecnologia Assistiva (TA) para PD têm sido mais significativas para as que apresentam surdez ou cegueira. Portanto, essa carência de tecnologias educacionais assistivas relativa a PD com severa mobilidade reduzida, especificamente tetraplegia, é um desafio motivador para desenvolvimento de soluções tecnológicas assistivas que possam tornar mais eficaz o processo de aprendizagem dessas PD por meio da EaD.

Assim, o desenvolvimento de dispositivos assistivos de *hardware* e *software* auxiliares para trabalhar em conjunto na execução de atividades em ambientes virtuais de aprendizagem, de modo a facilitar a interação de PD com severa mobilidade reduzida com esses ambientes foi o objeto de estudo deste trabalho.

Este capítulo apresenta as principais contribuições desta tese e discute suas limitações, além de propor recomendações para trabalhos futuros.

7.1 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

A realização desta tese permitiu o desenvolvimento do Sistema Assistivo Auxiliar Modular (SAAM), um artefato computacional para promover a acessibilidade de PD com tetraplegia a ambientes *web*, particularmente, Ambientes Virtuais de

Aprendizagem (AVA). SAAM é formado por dois componentes: o *Hardware* Assistivo Auxiliar (HAA) e o *Software* Assistivo Auxiliar (SAA).

As principais contribuições desta tese estão listadas a seguir:

- Com o resultado dos experimentos no *FittsStudy*, o HAA mostrou ser eficaz, permitindo aos participantes realizar as atividades propostas. HAA obteve valores de desempenho bem próximos aos de um *mouse* convencional, o que para um dispositivo apontador assistivo é considerado excelente pela academia. Também ficou comprovado que é de fácil adaptação por parte dos que participaram dos experimentos, permitindo melhorar seus resultados de uma seção para outra. O baixo custo e a facilidade de encontrar seus componentes eletrônicos, bem como a sua facilidade de concepção são contribuições importantes. Seu desempenho não sofreu alteração por parte de fatores externos (luz natural ou artificial, distância usuário – computador, barulho), assim como não ofereceu nenhum tipo de incômodo relatado em sua usabilidade, atendendo a todos os requisitos elicitados para sua criação.
- Os resultados dos experimentos com relação ao SAA excederam às expectativas. Ele conseguiu auxiliar a realização das atividades propostas nos experimentos em tempo satisfatório e mostrou que pode ser utilizado tanto associado a um dispositivo apontador assistivo quanto a um *mouse* convencional, podendo proporcionar ao usuário fácil acesso aos seus programas mais utilizados. O SAA foi desenvolvido com biblioteca de vínculo dinâmico e em linguagem C#, sendo, portanto, compatível com os sistemas operacionais Windows e Linux.
- Quando utilizados em conjunto, formando o SAAM, constituem um aparato tecnológico assistivo de código aberto e livre para a comunidade acadêmica e para todos que estudam e desenvolvem tecnologia assistiva.

Espera-se, também, com estas contribuições, aumentar a produção acadêmica de pesquisas em IHC, suprimindo a necessidade de *software* para auxiliar as atividades e testes de dispositivos apontadores assistivos.

7.1.1 Publicações

Além das contribuições destacadas, as seguintes publicações foram produzidas em decorrência desta tese:

Artigos Publicados

Nome	Tipo	Qualis	Artigo	Mês/Ano
HCI International 2020 and the Affiliated Conferences	Conferência	B1	"Integrated Assistive Auxiliary System - Developing Low Cost Assistive Technology to Provide Computational Accessibility for Disabled People"	Julho / 2020

Artigos Submetidos

Nome	Tipo	Qualis	Artigo	Mês/Ano
Informatics in Education. ISSN: 1648-5831 (printed), 2335-8971 (online)	Journal	B1	"Evaluating the Performance of Computational Activities in Virtual Learning Environments Through Assistive Devices and The Role of Independent Variables of HCI."	Outubro / 2020

7.2 LIMITAÇÕES

Durante o desenvolvimento deste trabalho, particularmente no ano de experimentos, muito foi evoluído e corrigido, tanto no *software* quanto no *hardware*, mas ambos ainda podem ser melhorados ou inovados. Assim, podem ser apontadas como limitações deste trabalho, embora não comprometendo a qualidade de seus resultados:

- Conseguir PD com mobilidade severa para a realização de entrevistas ou experimentos em ambiente controlado foi impossível em Recife. Por duas vezes foi negado acesso por parte de uma instituição beneficente. Tendo retornado à Bahia por motivos profissionais, o pesquisador teve oportunidade de contato com uma PD, de lesão Grau 1, porém o IFBA não permitiu oficializar a participação dela na pesquisa.
- Outra dificuldade encontrada durante a realização dos experimentos foi a utilização de cabelos longos soltos por participantes, o que tornava a leitura do HAA um pouco imprecisa. Entretanto, este fato fez surgir a ideia de se trocar o LED utilizado pela versão atual, por laser, o que o faz ser mais eficiente em quaisquer superfícies.
- A pandemia da COVID-19 parou completamente todos os experimentos

que estavam sendo executados no Campus, impedindo a criação de módulo *mobile* de comunicação para o SAAM.

7.3 TRABALHOS FUTUROS

Algumas oportunidades de pesquisa podem ser realizadas como consequência desta tese. Assim, sugestões para a continuidade desta pesquisa são discutidas a seguir.

Duas mudanças significativas poderão ser realizadas no HAA. A primeira poderá ser a troca do cabo USB, o qual alimenta de energia o dispositivo e transmite os dados de leitura do movimento da cabeça do usuário para o computador, por um sensor sem fio (*Wi-fi* ou *bluetooth*) para a transmissão de dados e a alimentação por meio de baterias recarregáveis. Essa mudança poderá dar ao dispositivo mobilidade e adaptação a outros lugares que não seja só o encosto de cabeça da cadeira de rodas.

A segunda mudança deverá ser a troca do LED, utilizado no dispositivo atual, por laser, para tornar o HAA mais eficiente nas leituras dos movimentos da cabeça. Dado que foi detectado durante os experimentos que cabelos longos e soltos dificultam a leitura do movimento pelo dispositivo.

Tais mudanças visam tornar o HAA um dispositivo móvel e eficiente para todos os tipos de superfície de leitura (cabelos curtos, longos, sem cabelo, molhados, entre outros)

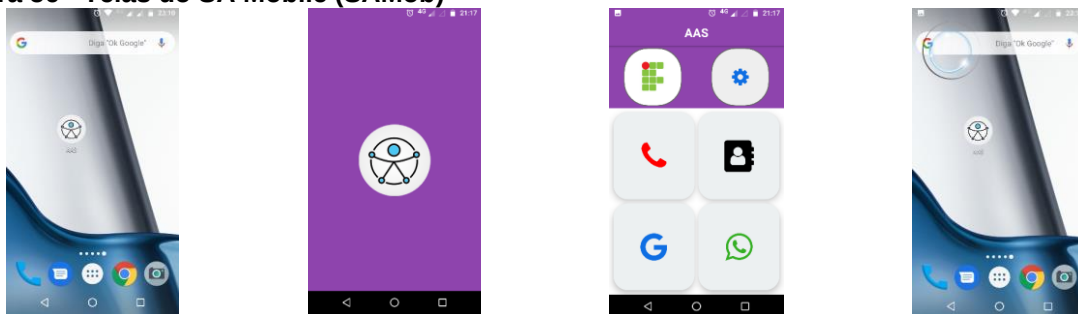
Outro tópico promissor poderá ser o desenvolvimento de um aplicativo *mobile* de comunicação para PD com severa mobilidade motora. Isso dará mais ênfase ao **M** do Sistema Assistivo Auxiliar **Modular** - SAAM, pois a concepção destes aparatos tecnológicos assistivos (*hardware* e *software*) prevê que possam ser utilizados em módulos, seja isolado ou em conjunto.

Embora o primeiro protótipo funcional do *software mobile* já esteja desenvolvido, com nome provisório de SAMob – Software Assistivo Mobile de Comunicação (disponível em: <https://github.com/pauloperris/acessbobile>), não pôde ser testado no início do semestre do ano de 2020, dada a chegada da pandemia, uma vez que o semestre foi suspenso e o isolamento social foi imposto para a segurança de todos.

A Figura 56 apresenta as primeiras telas do SAMob. Ele apresenta o símbolo universal de acessibilidade criado pela Organização das Nações Unidas para a

Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO⁴⁴, deixando-o mais intuitivo em sua interação e usabilidade.

Figura 56 - Telas do SA Mobile (SAMob)



Fonte: O autor (2020)

Espera-se, com o fim da pandemia, dar continuidade a este projeto e ampliar as possibilidades de acessibilidade computacional a PD, por meio da tecnologia *mobile*.

⁴⁴ <https://en.unesco.org/>

REFERÊNCIAS

ABDELLAOUI, H. *et al.* **Ontology based description of an accessible learning object.** *In:* 2013, Information and Communication Technology and Accessibility (ICTA). [S. l.: s. n.] p. 1–5.

Anwar, A. **A review of rup (rational unified process).** International Journal of Software Engineering (IJSE) (2014), 5(2), 12-19.

ALSOBHI, A. Y.; KHAN, N.; RAHANU, H. DAEL Framework: **A New Adaptive E-learning Framework for Students with Dyslexia.** *In:* 2015, Procedia Computer Science, ICCS 2015 International Conference On Computational Science, Elsevier. [S. l.: s. n.] p. 1947–1956.

AMARAL, M.; NERY, A. L. E.; VASCO, A. M. e SANTOS, J. G. C. - **Desenvolvimento Acessível de Objetos de Aprendizagem.** Colabor@ - Revista Digital da CVA - Ricesu, ISSN 1519-8529. Volume 6, Número 24, Dezembro de 2010. Curitiba.

AZMI, A.; ALSABHAN, N. M.; ALDOSARI, M. S. **The Wiimote with SAPI: Creating an accessible low-cost, human computer interface for the physically disabled.** International Journal of Computer Science and Network Security, [S. l.], v. 9, p. 63–68, 2009.

BANDEIRA, I. S.; ZUCATELLI, F. H. G. **A Human-Computer Interface and an Analysis on the Drawing of Curves with a Face Tracker Mouse.** *In:* 2016, International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction. Springer International Publishing. [S. l.: s. n.]

BARBOSA, Simone; SILVA, Bruno. **Interação humano-computador.** Elsevier Brasil, 2010.

BISWAS, P.; LANGDON, P. **Multimodal intelligent eye-gaze tracking system.** International Journal of Human-Computer Interaction., [S. l.], v. 31, n. 4, p. 277–294, 2015.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação, Departamento de Governo Eletrônico. **e-MAG - Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico.** Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; 2011.

BUICĂ-BELCIU, O. **Blended Learning Using Multitouch and Sensory Responsive Technologies in Kindergarten: The Funlab Project,** Bucharest, 2014. *In:* 2015, The 11th International Scientific Conference eLearning and Software for Education. Bucharest. [S. l.: s. n.]

CARVALHO, Luciana Vieira de et al. **Construction of assistive technology as online course for the blind about hypertension.** Revista Brasileira de Enfermagem, v. 71, n. 4, p. 1970-1976, 2018.

COOK, A. M.; POLGAR, J. M. **Assistive technologies-e-book: principles and practice**. Elsevier Health Sciences. [S. l.: s. n.]. E-book.

DA ROCHA PERRIS, P. A.; DE SOUZA, F. F., **Integrated Assistive Auxiliary System-Developing Low Cost Assistive Technology to Provide Computational Accessibility for Disabled People**. In: International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2020. p. 33-47.

DIETZE, S.; SANCHEZ-ALONSO, S.; EBNER, H.; Yu, H. Q.; GIORDANO, D.; MARENZI, I.; NUNES, B. P. - **Interlinking educational resources and the web of data: A survey of challenges and approaches**, Program: electronic library and information systems, Vol. 47 Iss: 1, pp.60 – 91, 2013.

DOSTÁL, J. **Activating Devices and Their Use in e-Learning – Focussed on Handicapped Students**. In: 2015, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Elsevier. [S. l.: s. n.]

FARHAN, Wejdan; RAZMAK, Jamil. **A comparative study of an assistive e-learning interface among students with and without visual and hearing impairments**. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, p. 1-11, 2020.

FERREIRA, E. J.; ROCHA, A. J. S.; HAAS, C. M. M. **QUE CONSEQUÊNCIAS TEM O USO EXCESSIVO DE CELULAR PARA A FORMAÇÃO JURÍDICA?** Dom Helder Revista de Direito, [S. l.], p. 113–139, 2019.

FITTS, P. M. **The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement**. Journal of experimental psychology, [S. l.], v. 6, p. 381, 1954.

FITTS, P. M.; PETERSON, J. R. **Information capacity of discrete motor responses**. Journal of experimental psychology, [S. l.], v. 2, p. 103, 1964.

GAJOS, K. Z.; WOBROCK, J. O.; WELD, D. S. **Improving the performance of motor-impaired users with automatically-generated, ability-based interfaces**. In: 2008, Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems. ACM. [S. l.: s. n.] p. 1257–1266.

GOODWIN, M. S. *et al.* **Global Web Accessibility Analysis of National Government Portals and Ministry Web Sites**. Journal of Information Technology & Politics, [S. l.], v. 8, 2011.

GRIVOKOSTOPOULOU, Foteini; KOVAS, Konstantinos; PERIKOS, Isidoros. **The Effectiveness of Embodied Pedagogical Agents and Their Impact on Students Learning in Virtual Worlds**. Applied Sciences, v. 10, n. 5, p. 1739, 2020.

HABBASH, M. M.; ALQAHTANI, H. H. **Assistive Technology in Teaching English as a Foreign**. International Journal of English and Education. ISSN: 2278-4012., [S. l.], v. 6, n. 1, 2017.

IMS Global Learning Consortium (2013). **IMS Access For All v3.0 Final Specification**. Disponível em: <http://www.msglobal.org/accessibility/>. Acessado em

18/10/2020.

ISO/TS. **Ergonomics of human-system interaction - part 411 – evaluation methods for the design of physical input devices, iso/ts 9241- 411:2012.** INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, [S. l.], v. 9241, p. 411, 2012.

JOSÉ, M. A. **Inteface humano-computador controlada pelo lábio.** 2015. [S. l.], 2015.

JOSÉ, M. A.; DE DEUS LOPES, R. **Human-computer interface controlled by the lip.** IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 302–308, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2305103>

KIM, J. *et al.* **Evaluation of a smartphone platform as a wireless interface between tongue drive system and electric-powered wheelchairs.** IEEE transactions on biomedical engineering, [S. l.], v. 59, n. 6, p. 1787–1796, 2012.

KITCHENHAM, B. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.** Technical report, [S. l.], v. 2.3, 2007.

KURAUCHI, A. *et al.* **HMAGIC: head movement and gaze input cascaded pointing.** In: 2015, PETRA 2015: Proceedings of the 8th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments. [S. l.: s. n.]

KWAN, C. *et al.* **Click control: improving mouse interaction for people with motor impairments.** In: 2011, The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ACM. [S. l.: s. n.] p. 231–232.

LAABIDI, M. *et al.* **Learning technologies for people with disabilities.** Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, [S. l.], v. 26, p. 29–45, 2014.

Lazar, J.; Feng, J. H.; Hochheiser, H. **Research methods in human-computer interaction.** Morgan Kaufmann, 2017.

MACKENZIE, I. Scott. **Human-Computer Interaction - An Empirical Research Perspective.** In: KAUFMANN MORGAN (org.). Human-Computer Interaction. Waltham: Elsevier, 2013. p. 370. *E-book*.

MACKENZIE, I. Scott; KAUPPINEN, Tatu; SILFVERBERG, Miika. **Accuracy measures for evaluating computer pointing devices.** Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. p. 9-16, [S. l.], 2001.

MAĆKOWSKI, M. S.; BRZOZA, P. F.; SPINCZYK, D. R. **Tutoring math platform accessible for visually impaired people.** Computers in biology and medicine, [S. l.], 2017.

MARTINS, J. M.; RODRIGUES, J. M.; MARTINS, J. A. **Low-cost natural interface based on head movements.** Procedia Computer Science, [S. l.], v. 67, p. 312–321,

2015.

MARTINS, P. *et al.* **Accessible options for deaf people in e-learning platforms: technology solutions for sign language translation.** *Procedia Computer Science*, [S. l.], v. 67, p. 263–272, 2015 a.

MARTINS, P. *et al.* **Accessible options for Deaf people in e-Learning platforms: technology solutions for Sign Language translation.** *In*: 2015b, 6th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Infoexclusion (DSAI 2015). Elsevier. [S. l.: s. n.]

MAUCH, L. H.; MAUCH, C. **An online accessible learning environment for a selection and training process of teachers in the public basic education system in Brazil.** *Procedia Computer Science*, [S. l.], v. 14, 2012.

NASCIMENTO, Marcos *et al.* **A Learning Management System Accessible for Visual, Hearing and Physical Impairments.** *In*: International Conference on Human-Computer Interaction. Springer, Cham, 2019. p. 481-493.

O'DONNELL, Eileen *et al.* **A review of personalised e-learning: Towards supporting learner diversity.** *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*, v. 13, n. 1, p. 22-47, 2015.

PESSOA, Fernando. **Livro do Desassossego por Bernardo Soares.** Vol.I. (Recolha e transcrição dos textos de Maria Aliete Galhoz e Teresa Sobral Cunha. Prefácio e Organização de Jacinto do Prado Coelho.) Lisboa: Ática, 1982. - 85.

PETERSEN, K. *et al.* **Systematic mapping studies in software engineering.** *In*: 2008, In 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE). [S. l.: s. n.]

QIANG, L.; GUODONG, B. **Network Teaching and Learning Modes Based on Internet for Deaf Students.** *In*: 2009, Intelligent Ubiquitous Computing and Education International Symposium on IEEE. [S. l.: s. n.] p. 250–253.

RAO, K. **Universal design for online courses: Addressing the needs of non-traditional learners.** *In*: 2012, Technology Enhanced Education (ICTEE), 2012 IEEE International Conference on IEEE. [S. l.: s. n.]

RODRIGUES, A. S. *et al.* **Evaluation of the Use of Eye and Head Movements for Mouse-like Functions by Using IOM Device.** Springer International Publishing Switzerland. UAHCI 2016, Part II, LNCS 9738, [S. l.], v. II, p. 81–91, 2016.

SANTANA, Ivani. **Corpo aberto: Cunningham, dança e novas tecnologias.** 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2002. *E-book*.

SMITH, Roger O. *et al.* **Assistive technology products: a position paper from the first global research, innovation, and education on assistive technology (GREAT) summit.** *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, v. 13, n. 5, p. 473-485, 2018.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software.** 9o Edição. 2011.

SOUKOREFF, R. W.; MACKENZIE, I. S. **Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of fitts' law research in hci.** International journal of human-computer studies., [S. l.], v. 6, p. 751–789, 2004.

STEPHANIDIS, Constantine et al. **Seven HCI grand challenges.** International Journal of Human–Computer Interaction, v. 35, n. 14, p. 1229-1269, 2019.

ULBRICHT, V. R. *et al.* **A tool to facilitate including accessible content in Moodle to the person with visual impairment.** Procedia Computer Science, [S. l.], v. 14, p. 138–147, 2012.

VAN JAARSVELDT, D. E.; NDEYA-NDEREYA, C. N. **Making accommodations for students with visual impairments to participate in the Nominal Group Technique.** In: 2013, Educational Media (ICEM), 2013 IEEE 63rd Annual Conference International Council for IEEE. [S. l.: s. n.] p. 1–6.

W3C. **Introduction to Web Accessibility.** [s. l.], 2015. Disponível em: <http://www.w3.org/WAI/intro/accessibility.php>, acessado em 18/10/2020.

WHO, World Health Organization. **Relatório mundial sobre a deficiência.** São Paulo SEDPcD, [S. l.], p. 512, 2012.

YOUSEFI, B.; HUO, X.; VELEDAR, E. **Quantitative and comparative assessment of learning in a tongue-operated computer input device.** Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on-line, p. 747–757, [S. l.], v. 5, 2011.

ZHANG, X.; MACKENZIE, I. S. **Evaluating eye tracking with iso 9241- part 9.** In Human-Computer Interaction. HCI Intelligent Multimodal Interaction Environments, [S. l.], p. 779–788, 2007.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO

Participante Nº _____

Questionário

1. Sexo: ☐ Masculino ☐ Feminino

2. Faixa de idade:

☐ 18 a 24 anos

☐ 25 a 44 anos

☐ 45 a 64 anos

☐ acima de 65 anos

3. Grau de instrução:

☐ Ensino médio incompleto ☐ Ensino médio completo

☐ Ensino técnico incompleto ☐ Ensino técnico completo

☐ Ensino superior incompleto ☐ Ensino superior completo

4. Experiência com a tecnologia	Frequência de uso			
	Diária	Semanal	Eventual	Nunca
Uso de computador				
Sistema Operacional Windows				
Sistema Operacional Linux				
Uso de mouse				
Uso de Smartphone				

5. Já havia participado de um experimento similar a este?

☐ Sim ☐ Não

6. Com relação aos aparatos tecnológicos e as atividades computacionais

Hardware Auxiliar Assistivo	Discordo Totalmente				Concordo Totalmente
Adaptei-me facilmente					
É intuitivo					
Fácil localização do ponteiro					
Confortável					
Ajustou-se bem					
Fácil utilização					
Software Auxiliar Assistivo	Discordo Totalmente				Concordo Totalmente
Adaptei-me facilmente					
É intuitivo					
Fácil localização do ponteiro					
Fácil utilização					
Atividade	Discordo Totalmente				Concordo Totalmente
Fácil Realização					
Adaptei-me Facilmente					

Tempo suficiente para realização					
---	--	--	--	--	--

7. Desejaria comentar sua opinião sobre o experimento?
8. Desejaria dar sugestões sobre o HAA?
9. Deseja dar sugestões sobre o SAA?
10. Deixe seu livre comentário sobre a pesquisa e o experimento.

APÊNDICE B - LICENÇA DE USO DE IMAGEM DREAMSTIME LCC

Proof of License (accurate as of February 27, 2020)



Dreamstime LLC
1616 Westgate Circle
Brentwood, TN 37027
United States

Customer name: Pulo A R Perris
Location: Jaboatão Dos Guararapes, Brazil - Pernambuco
Address: R. Coronel Dário Ferraz de Sá 186
Phone: 5581996234677

Dreamstime.com LLC hereby confirms that the buyer, Pulo A R Perris, and/or the buyer's client(s) as indicated, are entitled to use the media listed below, beginning on the date listed next to each and under the license indicated, for commercial/editorial purposes listed on our site at the dates listed below. This document shall serve as proof that the specified licenses for usage of each media listed below have been properly purchased from Dreamstime.com LLC, and such usage is authorized subject and according to the rights and restrictions set forth on the Terms & Conditions page of its website (available at <https://www.dreamstime.com/terms>).

Image	File ID	Title	Author	Downloaded	Size	License
	30722645	Sections of the spine	Sebastian Kaulitzki Dreamstime.com	07/04/2015 04:46 PM	Extralarge	Royalty Free
	47585652	Male Occipital Bone Skull Anatomy - Isolated on wh	Decade3d Dreamstime.com	07/04/2015 04:40 PM	Extralarge	Royalty Free
	30721725	Human skull anatomy	Sebastian Kaulitzki Dreamstime.com	07/04/2015 03:37 PM	Extralarge	Royalty Free
	30721735	Parietal bone	Sebastian Kaulitzki Dreamstime.com	07/04/2015 03:36 PM	Extralarge	Royalty Free
	47585738	Male Parietal Bone Skull Anatomy - Isolated on whl	Decade3d Dreamstime.com	07/04/2015 03:34 PM	Extralarge	Royalty Free

Print

APÊNDICE C – ARTIGOS ENCONTRADOS NO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO I

- ALSOBHI, A. Y.; KHAN, N.; RAHANU, H. DAEL Framework: A New Adaptive E-learning Framework for Students with Dyslexia. In: 2015, *Procedia Computer Science, ICCS 2015 International Conference On Computational Science*, Elsevier. [S. l.: s. n.] p. 1947–1956.
- Azmi, A., Alsabhan, N.M., AlDosari, M.S.: The wiimote with SAPI: creating an accessible low-cost, human computer interface for the physically disabled. *IJCSNS Int. J. Comput. Sci. Netw. Secur.* 9(12), 63–68 (2009)
- Billi, M., Burzagli, L., Catarci, T. et al. A unified methodology for the evaluation of accessibility and usability of mobile applications. *Univ Access Inf Soc* 9, 337–356 (2010).
- Biswas, P., Langdon, P.: Multimodal intelligent eye-gaze tracking system. *Int. J. Hum.- Comput. Int.* 31(4), 277–294 (2015)
- Bittencourt, I.I., Baranauskas, M.C., Pereira, R. et al. A systematic review on multi-device inclusive environments. *Univ Access Inf Soc* 15, 737–772 (2016).
- CARVALHO, Luciana Vieira de et al. Construction of assistive technology as online course for the blind about hypertension. *Revista Brasileira de Enfermagem*, v. 71, n. 4, p. 1970–1976, 2018.
- Chadwick D., Wesson C. (2016) Digital Inclusion and Disability. In: Attrill A., Fullwood C. (eds) *Applied Cyberpsychology*. Palgrave Macmillan, London.
- Chambel T., Antunes P., Duarte C., Carriço L., Guimarães N. (2009) Reflections on Teaching Human-Computer Interaction to Blind Students. In: Kotzé P., Wong W., Jorge J., Dix A., Silva P.A. (eds) *Creativity and HCI: From Experience to Design in Education*. IFIP – International Federation for Information Processing, vol 289. Springer, Boston, MA.
- DOSTÁL, J. Activating Devices and Their Use in e-Learning – Focussed on Handicapped Students. In: 2015, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier. [S. l.: s. n.]
- Feng, W., Chen, M., Betke, M.: Target reverse crossing: a selection method for camerabased mouse-replacement systems. In: *PETRA 2017: Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, May 2017
- George J., Cockton G., Greenough T. (2010) A Social Approach to Accessible Social Networking Using the CAT Model. In: Miesenberger K., Klaus J., Zagler W., Karshmer A. (eds) *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6179. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ghali N.I. et al. (2012) Virtual Reality Technology for Blind and Visual Impaired People: Reviews and Recent Advances. In: Gulrez T., Hassanien A.E. (eds) *Advances in Robotics and Virtual Reality. Intelligent Systems Reference Library*, vol 26. Springer, Berlin, Heidelberg.
- FARHAN, Wejdan; RAZMAK, Jamil. A comparative study of an assistive e-learning interface among students with and without visual and hearing impairments. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, p. 1-11, 2020.
- Hakonen, M., Piitulainen, H., Visala, A.: Current state of digital signal processing in myoelectric interfaces and related applications. *Biomed. Signal Process. Control* 18, 334–359 (2019)
- Hersh M. (2012) Deaf People in the Workplace. In: Moss G. (eds) *Lessons on Profiting from Diversity*. Palgrave Macmillan, London.
- Huo, X.: Tongue drive: a wireless tongue-operated assistive technology for people with severe disabilities, 03 November 2012. <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/45887>. Accessed 02 Dec 2019
- JOSÉ, M. A.; DE DEUS LOPES, R. Human-computer interface controlled by the lip. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 302–308, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JBHI.2014.2305103>
- Karpov A., Ronzhin A. (2014) A Universal Assistive Technology with Multimodal Input and Multimedia Output Interfaces. In: Stephanidis C., Antona M. (eds) *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design and Development Methods for Universal Access. UAHCI 2014. Lecture Notes in Computer Science*, vol 8513. Springer, Cham.
- Kumar, K.L., Owston, R. Evaluating e-learning accessibility by automated and student-centered methods. *Education Tech Research Dev* 64, 263–283 (2017).
- KURAUCHI, A. et al. HMAGIC: head movement and gaze input cascaded pointing. In: 2015, *PETRA 2015: Proceedings of the 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. [S. l.: s. n.]
- KWAN, C. et al. Click control: improving mouse interaction for people with motor impairments. In: 2011, *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - ACM*. [S. l.: s. n.] p. 231–232.
- LAABIDI, M. et al. Learning technologies for people with disabilities. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, [S. l.], v. 26, p. 29–45, 2014.
- MACKOWSKI, M. S.; BRZOZA, P. F.; SPINCZYK, D. R. Tutoring math platform accessible for visually impaired people. *Computers in biology and medicine*, [S. l.], 2017.
- MARTINS, J. M.; RODRIGUES, J. M.; MARTINS, J. A. Low-cost natural interface based on head movements. *Procedia Computer Science*, [S. l.], v. 67, p. 312–321, 2019.

- MARTINS, P. et al. Accessible options for deaf people in e-learning platforms: technology solutions for sign language translation. *Procedia Computer Science*, [S. l.], v. 67, p. 263–272, 2019 a.
- MAUCH, L. H.; MAUCH, C. An online accessible learning environment for a selection and training process of teachers in the public basic education system in Brazil. *Procedia Computer Science*, [S. l.], v. 14, 2012.
- Mesiti M., Ribaldo M., Valtolina S., Barricelli B.R., Boccacci P., Dini S. (2012) Collaborative Environments: Accessibility and Usability for Users with Special Needs. In: Pardede E. (eds) *Community-Built Databases*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Milic A., Simic K., Milutinovic M. (2016) Cloud Computing Environment for e-Learning Services for Students with Disabilities. In: Mahmood Z. (eds) *Continued Rise of the Cloud*. Computer Communications and Networks. Springer, London.
- Missimer, E., Betke, M.: Blink and wink detection for mouse pointer control. In: Makedon, F., Maglogiannis, I., Kapidakis, S. (eds.) *Proceedings of the 3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA 2010)*. ACM, New York, Article 23, 8 p. (2010).
- Naves Jr., E., Pino, P., Losson, E., Andrade, A.: Alternative communication systems for people with severe motor disabilities: a survey. *BioMedical Engineering OnLine* 2012
- Ossmann, R., Thaller, D., Nussbaum, G., Pühretmair, F., Veigl, C., Weiß, C., Morales, B., Diaz, U.: AsTeRICS, a flexible assistive technology construction set. *Original Res. Art. Procedia Comput. Sci.* 14, 1–9 (2012)
- Perez-Maldonado, C., Wexler, A., Joshi, S.: Two-dimensional cursor-to-target control from single muscle site sEMG signals. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 18, 203–209 (2010)
- GRIVOKOSTOPOULOU, Foteini; KOVAS, Konstantinos; PERIKOS, Isidoros. The Effectiveness of Embodied Pedagogical Agents and Their Impact on Students Learning in Virtual Worlds. *Applied Sciences*, v. 10, n. 5, p. 1739, 2020.
- RAO, K. Universal design for online courses: Addressing the needs of non-traditional learners. In: 2012, *Technology Enhanced Education (ICTEE)*, 2012 IEEE International Conference on IEEE. [S. l.: s. n.]
- RODRIGUES, A. S. et al. Evaluation of the Use of Eye and Head Movements for Mouse-like Functions by Using IOM Device. Springer International Publishing Switzerland. *UAHCI 2016, Part II, LNCS 9738*, [S. l.], v. II, p. 81–91, 2016.
- Sombrio G., Primo L., Ulbricht V., Villarouco V. (2019) Blind Students' Learning Experiences–Challenges and Opportunities in Design for Inclusion. In: Rocha Á., Correia A., Adeli H., Reis L., Mendonça Teixeira M. (eds) *New Advances in Information Systems and Technologies. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 444. Springer, Cham.
- ULBRICHT, V. R. et al. A tool to facilitate including accessible content in Moodle to the person with visual impairment. *Procedia Computer Science*, [S. l.], v. 14, p. 138–147, 2012.
- VAN JAARSVELDT, D. E.; NDEYA-NDEREYA, C. N. Making accommodations for students with visual impairments to participate in the Nominal Group Technique. In: 2013, *Educational Media (ICEM)*, 2013 IEEE 63rd Annual Conference International Council for IEEE. [S. l.: s. n.] p. 1–6.
- DA ROCHA PERRIS, P. A.; DE SOUZA, F. F.. Integrated Assistive Auxiliary System-Developing Low Cost Assistive Technology to Provide Computational Accessibility for Disabled People. In: *International Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, Cham, 2020. p. 33-47.
- YOUSEFI, B.; HUO, X.; VELEDAR, E. Quantitative and comparative assessment of learning in a tongue-operated computer input device. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on-line*, p. 747–757, [S. l.], v. 5, 2011.
- Zervas P. et al. (2013) Supporting Open Access to Teaching and Learning of People with Disabilities. In: Sampson D., Ifenthaler D., Spector J., Isaías P. (eds) *Digital Systems for Open Access to Formal and Informal Learning*. Springer, Cham.

ANEXO A - Tabela American Spinal Injury Association (ASIA)

ASIA AMERICAN SPINAL INJURY ASSOCIATION		INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI)		ISCOS INTERNATIONAL STANDARD CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY		Patient Name _____	Date/Time of Exam _____
						Examiner Name _____	Signature _____
RIGHT		SENSORY		SENSORY		LEFT	
MOTOR		KEY SENSORY POINTS		KEY SENSORY POINTS		MOTOR	
KEY MUSCLES		Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR)		Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR)		KEY MUSCLES	
C2						C2	
C3						C3	
C4						C4	
C5 Elbow flexors						C5 Elbow flexors	
C6 Wrist extensors						C6 Wrist extensors	
C7 Elbow extensors						C7 Elbow extensors	
C8 Finger flexors						C8 Finger flexors	
T1 Finger abductors (little finger)						T1 Finger abductors (little finger)	
T2						T2	
T3						T3	
T4						T4	
T5						T5	
T6						T6	
T7						T7	
T8						T8	
T9						T9	
T10						T10	
T11						T11	
T12						T12	
L1						L1	
L2 Hip flexors						L2 Hip flexors	
L3 Knee extensors						L3 Knee extensors	
L4 Ankle dorsiflexors						L4 Ankle dorsiflexors	
L5 Long toe extensors						L5 Long toe extensors	
S1 Ankle plantar flexors						S1 Ankle plantar flexors	
S2						S2	
S3						S3	
S4-5						S4-5	
(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No) ☐						(DAP) Deep Anal Pressure (Yes/No) ☐	
RIGHT TOTALS		RIGHT TOTALS		RIGHT TOTALS		LEFT TOTALS	
(MAXIMUM)		(MAXIMUM)		(MAXIMUM)		(MAXIMUM)	
MOTOR SUBSCORES		MOTOR SUBSCORES		MOTOR SUBSCORES		MOTOR SUBSCORES	
UER ☐ + UEL ☐ = UEMS TOTAL ☐		LER ☐ + LEL ☐ = LEMS TOTAL ☐		LTR ☐ + LTL ☐ = LT TOTAL ☐		PPR ☐ + PPL ☐ = PP TOTAL ☐	
MAX (25) (25) (50)		MAX (25) (25) (50)		MAX (50) (50) (112)		MAX (50) (50) (112)	
NEUROLOGICAL LEVELS		NEUROLOGICAL LEVELS		NEUROLOGICAL LEVELS		NEUROLOGICAL LEVELS	
1. SENSORY ☐ R ☐ L ☐		1. SENSORY ☐ R ☐ L ☐		1. SENSORY ☐ R ☐ L ☐		1. SENSORY ☐ R ☐ L ☐	
2. MOTOR ☐ R ☐ L ☐		2. MOTOR ☐ R ☐ L ☐		2. MOTOR ☐ R ☐ L ☐		2. MOTOR ☐ R ☐ L ☐	
3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) ☐		3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) ☐		3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) ☐		3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI) ☐	
4. COMPLETE OR INCOMPLETE? ☐		4. COMPLETE OR INCOMPLETE? ☐		4. COMPLETE OR INCOMPLETE? ☐		4. COMPLETE OR INCOMPLETE? ☐	
5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) ☐		5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) ☐		5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) ☐		5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS) ☐	
6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION ☐		6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION ☐		6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION ☐		6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION ☐	
7. SENSORY ☐ R ☐ L ☐		7. SENSORY ☐ R ☐ L ☐		7. SENSORY ☐ R ☐ L ☐		7. SENSORY ☐ R ☐ L ☐	
8. MOTOR ☐ R ☐ L ☐		8. MOTOR ☐ R ☐ L ☐		8. MOTOR ☐ R ☐ L ☐		8. MOTOR ☐ R ☐ L ☐	

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association.

REV 11/15