

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Desenvolvimento de Um Jogo Sério Para Treinamento de Amputados de
Membros Superiores**

Reidner Santos Cavalcante

Uberlândia – MG
2018

REIDNER SANTOS CAVALCANTE

**DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO SÉRIO PARA TREINAMENTO DE
AMPUTADOS DE MEMBROS SUPERIORES**

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Processamento da Informação

Uberlândia – MG
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C376d Cavalcante, Reidner Santos, 1993-
2018 Desenvolvimento de um jogo sério para treinamento de amputados
de membros superiores / Reidner Santos Cavalcante. - 2018.
 78 f. : il.

Orientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.
Coorientador: Alcimar Barbosa Soares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1102>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. - Teses. 3. Membros superiores -
Teses. 4. - Teses. I. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964-. II. Soares,
Alcimar Barbosa, 1965-. III. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Maria Salete de Freitas Pinheiro – CRB6/1262

REIDNER SANTOS CAVALCANTE

**DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO SÉRIO PARA REABILITAÇÃO DE
AMPUTADOS DE MEMBROS SUPERIORES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Processamento da Informação

Uberlândia, 23 de março de 2018.

Prof. Edgard Afonso Lamounier Júnior, PhD.
Orientador

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

REIDNER SANTOS CAVALCANTE

**DESENVOLVIMENTO DE UM JOGO SÉRIO PARA REABILITAÇÃO DE
AMPUTADOS DE MEMBROS SUPERIORES**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Processamento da Informação

Banca Examinadora:

Prof. Edgard A. Lamounier Junior, PhD – Orientador (UFU)

Prof. Adriano Alves Pereira, Dr. – Banca Interna (UFU)

Prof. Valéria Farinazzo Martins, Dr. – Banca Externa (MACKENZIE)

Prof. Gerson Flávio Mendes de Lima, Dr. – Banca Externa (ULBRA)

Uberlândia – MG
2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me proporcionar a oportunidade de estar realizando meus sonhos, sendo meu grande incentivo a continuar.

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Edgard A. Lamounier, cuja ajuda foi fundamental para a realização desse trabalho, sendo um grande instrutor, companheiro e amigo.

Aos Professores Alcimar Barbosa e Alexandre Cardoso fique aqui com meus agradecimentos pelos valiosos esforços para a conclusão desse trabalho.

Agradeço a Autodesk Foundation pelo apoio. Ao Gerson Flávio, Adrielle Moraes, Carol e Kenio pela grande contribuição durante o desenvolvimento e execução dos testes deste trabalho.

A toda a minha família e amigos que me apoiaram e aos colegas dos laboratórios de engenharia biomédica e computação gráfica que convivi e tiveram grande influência sobre o trabalho, sendo reconhecido pelos meus profundos agradecimentos.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

CAVALCANTE, Reidner S. Desenvolvimento de Um Jogo Sério para Reabilitação de Amputados de Membros Superiores. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU. Uberlândia-MG, 2018.

O desenvolvimento de ambientes virtuais como ferramenta de apoio nos processos de reabilitação demonstrou ser válido e importante para os usuários, ao proporcionar uma forma diferenciada e divertida para a execução dos procedimentos. Quanto mais imerso e motivado o usuário se sentir no ambiente virtual, menor será a chance deste usuário desistir do processo de reabilitação e maior será a chance de obter níveis melhores de aproveitamento. A junção do ambiente virtual com a aplicação das características de Jogo Sério torna favorável a criação de um sistema que permita ao usuário evoluir em seu processo de reabilitação, à medida em que ele se diverte com as tarefas e desafios propostos. Entretanto, o desenvolvimento de um ambiente como este requer a correta escolha desde os dispositivos de interação até a modelagem do ambiente e definição das tarefas e desafios do jogo. Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um ambiente virtual de treinamento para amputados a fim de minimizar seu tempo de adaptação a uma prótese real, utilizando um tirante com sensores acoplados para interagir com o ambiente virtual. Os protocolos de treinamento foram fornecidos por profissionais da área de saúde e a tecnologia de interação foi desenvolvida sob a supervisão destes, procurando garantir um nível de mobilidade e conforto satisfatórios para os usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiente virtual. Amputados. Membros superiores. Treinamento.

ABSTRACT

CAVALCANTE, Reidner S. **Development of a Serious Game for Rehabilitation of Upper Limb Amputees.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU. Uberlândia-MG, 2018.

The development of virtual environments as a support tool in the rehabilitation processes has proved to be valid and important for the users, providing a differentiated and fun way to execute the procedures. The more immersed and motivated the user feels in the virtual environment, there is less chance of him giving up the rehabilitation process and there is more chance of getting better levels of use. The connection of the virtual environment with the application of serious gaming characteristics makes it favorable to create a system that allows the user to evolve in their rehabilitation process, as they enjoy the tasks and challenges proposed. However, the development of an environment like this requires the right choice from the interaction devices to the modeling of the environment and the definition of the tasks and the challenges of the game. In this context, this work proposes the development of a virtual training environment for amputees to minimize their time to adapt to a real prosthesis, using a tether with different sensor to interact with the virtual environment. The training protocols were provided by healthcare professionals and the interaction technology was developed under the supervision of them, seeking to make sure that the satisfactory level of mobility and comfort for the user will be high.

KEYWORDS: Virtual Environment. Amputees. Upper Limbs. Training.

PUBLICAÇÕES

Publicações Resultantes deste Trabalho em Anais de Congressos:

1. CAVALCANTE, R. S.; LAMOUNIER, E.; ALVIM, J. P.; SCHOLTEN, S.; CARDOSO, A.; SOARES, A. Uso de Realidade Virtual e Jogo Sério para Condicionamento e Impressão 3D de Próteses de Baixo Custo. In: 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2017, Curitiba. Anais do 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2017.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura proposta de um Jogo Sério (MITGUTSCH & ALVARADO, 2012)	22
Figura 2 – Jogo Sério para reabilitação funcional (TANNOUS et al, 2015).....	24
Figura 3 - Jogo sério robótico assistido para reabilitação motora e cognitiva pós AVC (HEINS et al,2017).....	24
Figura 4 – Configuração usada para controle dos sensores (à esquerda) e soquete personalizado com sensores (à direita) (KUTTUVA, 2005).....	27
Figura 5 – Exercícios em realidade virtual para treinamento de amputados de membros superiores (KUTTUVA, 2005).....	27
Figura 6 - Diagrama do sistema da prótese mioelétrica virtual (TAKEUCHI et al, 2007)	28
Figura 7 – Processo de execução das tarefas (TAKEUCHI et al, 2007)	29
Figura 8 – Movimentos reconhecidos pela aplicação (BARRAZA-MADRIGAL et al, 2007)	30
Figura 9 - Configuração experimentar com prótese e o jogo Step Mania 5 (PRAHM et al, 2017).....	31
Figura 10 - Jogos utilizados no processo de reabilitação, traduzido de (PRAHM et al, 2017)	31
Figura 11 - Arquitetura, ambiente computacional e interface do usuário (DAVOODI & LOEB, 2012) .	32
Figura 12 - Ambiente virtual do jogo desenvolvido (DAVOODI & LOEB, 2012)	33
Figura 13 – Interface do usuário do ambiente virtual integrado (PERRY et al, 2013)	34
Figura 14 – Operação do membro protético modular por um amputado (PERRY et al, 2013)	35
Figura 15 - Diagrama de Caso de Uso.....	41
Figura 16 - Diagrama de atividades.....	44
Figura 17 - Componentes do sistema proposto	46
Figura 18 - Cenário do jogo no Unity 3D	48
Figura 19 - Posição para uso do Leap Motion. Adaptado de (LEAP MOTION, 2017).....	49
Figura 20 - Movimentos reconhecidos pela aplicação usando Leap Motion. Adaptado de (LEAP MOTION, 2017).	50
Figura 21 - [1] Dispositivo Leap Motion conectado ao computador. [2] Serious Game com prótese virtual	50
Figura 22 - [1] Dispositivo Leap Motion conectado ao computador. [2] Serious Game com prótese segurando objeto virtual.....	51
Figura 23 - Modelo para tirante. (SCHOLTEN et al, 2017).....	51
Figura 24 - Tirante adquirido.....	52
Figura 25 - Arduino e Potenciômetro.....	53
Figura 26 – Estrutura do tirante com sensores.....	53
Figura 27 - Tela inicial do jogo sério.....	54
Figura 28 - Componentes da interface do jogo sério	55
Figura 29 - [1] Fechamento máximo da prótese. [2] Abertura máxima da prótese	56

Figura 30 - Segundo cenário do jogo sério.....	56
Figura 31 - Adequação do posicionamento dos sensores.....	59
Figura 32 - Amputado com caixa de sensores acoplada	60
Figura 33 - Amputado com tirante.....	60
Figura 34 - Estrutura de usabilidade (ABNT, 2002).	62
Figura 35 - Avaliação da manipulação dos objetos virtuais	63
Figura 36 - Avaliação da jogabilidade do jogo sério.....	63
Figura 37 – Avaliação da funcionalidade do jogo sério.....	64
Figura 38 - Avaliação tempo de resposta.....	65
Figura 39 - Avaliação precisão dos movimentos.....	65
Figura 40 - Avaliação do nível de eficiência	66
Figura 41 - Avaliação do nível de imersão.....	67
Figura 42 - Avaliação da experiência durante o jogo	67

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Pacientes atendidos para reabilitação. Adaptado de (ABBR, 2016).....	18
Tabela 2 - Procedimentos realizados pelo SUS. Adaptado de (BRASIL, s.d.).	18
Tabela 3 – Vantagens de Realidade Virtual em aplicações de avaliação e reabilitação. Adaptado de (SCHULTHEIS & RIZZO, 2001).	20
Tabela 4 - Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados	37
Tabela 5 - Requisitos Funcionais	40
Tabela 6 - Requisitos Não-Funcionais	40
Tabela 7 - Caso de uso "Selecionar Dificuldade"	41
Tabela 8 - Caso de uso "Selecionar fase"	42
Tabela 9 - Caso de uso "Iniciar fase"	42
Tabela 10 - Caso de uso "Sair da fase"	42
Tabela 11 – Caso de uso “Exibir estatísticas”	43
Tabela 12 - Caso de uso "Calibrar sensores".....	43

SUMÁRIO

1.	Introdução	14
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO	14
1.2.	OBJETIVOS E METAS	15
1.3.	ORGANIZAÇÃO DESTA DISSERTAÇÃO	16
2.	Fundamentação Teórica.....	17
2.1.	INTRODUÇÃO	17
2.2.	REABILITAÇÃO PARA AMPUTADOS	17
2.3.	REALIDADE VIRTUAL.....	19
2.4.	REALIDADE VIRTUAL APLICADA AO PROCESSO DE REABILITAÇÃO	20
2.5.	JOGOS SÉRIOS.....	21
2.6.	JOGOS SÉRIOS APLICADOS A REABILITAÇÃO.....	23
2.7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
3.	Trabalhos Relacionados	26
3.1.	INTRODUÇÃO	26
3.2.	MYOKINETIC INTERFACE - VIRTUAL REALITY SYSTEM (MKI-VR)	26
3.3.	SISTEMA DE TREINAMENTO VIRTUAL PARA PRÓTESE MIOELÉTRICA	28
3.4.	VIRTUAL PROSTHESIS (VP).....	29
3.5.	REABILITAÇÃO BASEADA EM JOGOS PARA CONTROLE DE PRÓTESES MIOELÉTRICAS DE MEMBROS SUPERIORES	30
3.6.	JOGO DE TIRO COMO FERRAMENTA PARA REABILITAR AMPUTADOS QUE UTILIZAM PRÓTESE ARTICULADAS NOS MEMBROS SUPERIORES	32
3.7.	AMBIENTE INTEGRADO PARA TRATAMENTO DE DOR DE MEMBRO FANTASMA E TREINAMENTO DE PRÓTESE MODULAR	33
3.8.	ESTUDO COMPARATIVO DOS TRABALHOS RELACIONADOS.....	35
3.9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
4.	Arquitetura do sistema	39
4.1.	INTRODUÇÃO	39
4.2.	REQUISITOS DO SISTEMA	39
4.2.1.	Principais requisitos funcionais	40
4.2.2.	Principais requisitos não funcionais	40
4.2.3.	Casos de Uso do Sistema.....	40
4.2.4.	Diagrama de Atividades	43
4.3.	ARQUITETURA DO SISTEMA	44
4.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46

5.	Implementação	47
5.1.	INTRODUÇÃO	47
5.2.	TECNOLOGIAS EMPREGADAS.....	47
5.2.1.	Unity 3D.....	48
5.2.2.	LEAP MOTION.....	49
5.2.3.	TIRANTE E SENSORES UTILIZADOS	51
5.3.	AMBIENTE DE TREINAMENTO.....	54
5.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6.	Resultados e Discussão	58
6.1.	INTRODUÇÃO	58
6.2.	METODOLOGIA DO TESTE	58
6.3.	ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO	61
6.4.	RESULTADOS	62
6.4.1.	Usabilidade	62
6.4.2.	Funcionalidade	63
6.4.3.	Eficiência.....	64
6.4.4.	Experiência de uso.....	66
6.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
7.	Conclusões.....	69
7.1.	TRABALHOS FUTUROS	70
Apêndice I	75
Apêndice II	78

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

De acordo com a definição do Ministério da Saúde do Brasil, amputação é o termo utilizado para definir a retirada total ou parcial de um membro, sendo esta a conduta para diversas doenças e complicações. O processo tem como objetivo retirar o membro acometido e criar novas perspectivas para a melhora da função da região amputada (BRASIL, 2013).

O objetivo traçado em um programa de reabilitação consiste em proporcionar ao paciente amputado habilidades para realização de todas as atividades possíveis sem o uso da prótese, preparar o coto de amputação para que possa ser protetizado e desenvolver exercícios a fim de proporcionar independência funcional a este usuário com um membro protetizado, possibilitando o retorno à sociedade e às suas atividades de vida diária (PORTER, 2005).

De acordo com o censo de 2010, 13.2 milhões de pessoas declararam apresentar algum tipo de deficiência motora e cerca de 470 mil foram vítimas de amputações. Uma estimativa de 13.9 amputações por 100 mil habitantes, onde 58.2% são homens e 41.8% são mulheres (IBGE, 2010).

Quanto mais precoce o início da reabilitação, maior o potencial de sucesso. Quanto maior o retardo, mais provavelmente haverá o desenvolvimento de complicações secundárias como contraturas articulares, debilitação geral e um estado psicológico deprimido. O programa pós-operatório pode ser dividido em duas fases: a fase pré-protética, que é o período decorrido entre a cirurgia e a aplicação de uma prótese definitiva, ou até que seja tomada a decisão de não utilização da prótese, e a fase protética, que tem início com a entrega de um membro artificial permanente (O'SULLIVAN, 2004).

Com o objetivo de amenizar ou sanar os problemas citados acima, propõe-se o desenvolvimento de um ambiente virtual utilizando técnicas de Realidade Virtual e Jogos Sérios como forma de auxiliar no processo de reabilitação do paciente, antes deste obter a prótese. Em

vários casos o processo de adaptação do paciente à prótese real é demorado, cansativo e há a chance de o paciente perder a motivação durante este processo.

De acordo com (DIAS et al, 2009), o longo tempo necessário para o tratamento e a pouca motivação gerada pelos métodos tradicionais são apontados como motivo de abandono do tratamento fisioterápico, caracterizando-se como uma das principais causas de falha terapêutica. Por isso, é importante preparar o amputado para usar a prótese por meio de um processo eficiente de treinamento.

O Jogo Sério (*Serious Game*) está relacionado com a intenção de transmitir ideias, valores e, às vezes, persuadir os jogadores (FRASCA, 2007). Esta tecnologia procura ir além da simples diversão, possuindo o propósito de influenciar os pensamentos e ações dos jogadores em contextos da vida real, assim como ultrapassar o âmbito autônomo do jogo em si (MITGUTSCH & ALVARADO, 2012).

De acordo com (TORI et al, 2006), Realidade Virtual é uma interface avançada do usuário para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização de, e movimentação em ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente.

Vera et al (2007) diz que as principais características dos sistemas de Realidade Virtual são um alto nível de interação, uma resposta realística às ações do usuário, o envolvimento e a possibilidade de imersão, dependendo do equipamento utilizado. Com o auxílio da Realidade Virtual, levando em consideração as características acima descritas, o sistema proposto neste trabalho permite ao paciente experimentar situações da vida real de forma segura ao mesmo tempo que aprende a realizar diversas tarefas que serão desenvolvidas em seu dia-a-dia quando adquirir sua prótese.

1.2. OBJETIVOS E METAS

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um ambiente virtual de treinamento para amputados a fim de minimizar seu tempo de adaptação a uma prótese real. Para atingir tal objetivo foram traçadas as seguintes metas:

- Avaliar a adequabilidade de Realidade Virtual e jogo sério;
- Adequar os protocolos de treinamento utilizados na reabilitação de amputados de membros superiores para o jogo sério;
- Propor uma arquitetura para a interação entre o usuário e a aplicação que permitam a realização dos protocolos identificados no item anterior;

- Implementar a arquitetura proposta;
- Validar o sistema com profissionais da área;
- Realizar testes do sistema com usuários não amputados e amputados;
- Aplicar um questionário de avaliação;
- Avaliar a eficácia do sistema proposto.

1.3. ORGANIZAÇÃO DESTA DISSERTAÇÃO

No Capítulo 2 é realizada a fundamentação teórica da dissertação, apresentando dados estatísticos sobre amputações e o processo de reabilitação de amputados de membros superiores, assim como os fundamentos de Realidade Virtual e Jogos Sérios. Também é apresentado o uso destes em processos de reabilitação.

No Capítulo 3 é feita uma apresentação do estado da arte referente à pesquisas realizadas relacionadas a aplicações desenvolvidas que utilizam de técnicas de Realidade Virtual para auxiliar no processo de reabilitação de amputados de membros superiores.

No Capítulo 4 é apresentada a arquitetura e no Capítulo 5 a implementação do sistema.

No Capítulo 6 são apresentadas a análise dos resultados da avaliação da aplicação desenvolvida e metodologia adotada na avaliação.

Finalmente, o Capítulo 7, apresenta as conclusões da dissertação, sua contribuição para a comunidade de pesquisadores e sugestões de trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo foi organizado com o intuito de fornecer o entendimento sistemático dos conceitos abordado nesta dissertação. Algumas estatísticas sobre amputações e o processo de reabilitação para amputados de membros superiores são apresentados. No que diz respeito a área da computação e jogos, são abordados os conceitos de Realidade Virtual (RV) e Jogos Sérios (*Serious Game*), seguidos pelos conceitos dos mesmos aplicados ao processo de reabilitação. Conceitos que são fundamentais para a compreensão da aplicação proposta.

2.2. REABILITAÇÃO PARA AMPUTADOS

De acordo com Carvalho (2003), a amputação é a retirada parcial ou total de algum membro, sendo considerada um processo reconstrutivo de uma extremidade sem função ou com função limitada. São diversas as causas de amputação, sendo estas classificadas como amputações de membros superiores e inferiores, podendo ser congênita ou adquirida.

As amputações adquiridas são as mais frequentes, sendo o traumatismo a principal causa de amputação de membro superior e as doenças vasculares periféricas, a causa congênita é a mais frequente na amputação de membro inferior (BRITO, 2003). De 2010 a 2016, a Associação Brasileira Beneficente De Reabilitação (ABBR) atendeu sete mil duzentos e quarenta e três (7.243) pacientes que sofreram amputações de membros superiores e/ou inferiores e entraram para o processo de reabilitação, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Pacientes atendidos para reabilitação. Adaptado de (ABBR, 2016).

Ano	Pacientes
2010	763
2011	744
2012	799
2013	1700
2014	1023
2015	1013
2016	1201
Total	7243

Esses dados consideram apenas os pacientes que foram recebidos pela ABBR. A Tabela 2 apresenta a quantidade de procedimentos hospitalares realizados pelo Sistema Único de Saúde (SUS), referentes a amputação/desarticulação de membros superiores no período entre 2008 e 2016.

Tabela 2 - Procedimentos realizados pelo SUS. Adaptado de (BRASIL, s.d.).

Procedimento	Ampuração / Desarticulação De	Ampuração / Desarticulação De	Total
	Mão e Punho	Membros Superiores	
2008	725	491	1216
2009	722	694	1416
2010	681	663	1344
2011	719	728	1447
2012	749	707	1456
2013	781	743	1524
2014	808	714	1522
2015	737	699	1436
2016	745	733	1478
Total	6.667	6172	12839

Observando as tabelas acima, pode-se perceber que apesar da grande quantidade de pacientes atendidos para processos de reabilitação, ainda há uma diferença significativa entre estes e a quantidade de amputações realizadas. Ainda, deve se considerar que nem todos estes pacientes atendidos para reabilitação estarão aptos ou têm a chance de receber uma prótese, visto que dependendo do grau de amputação o paciente pode não estar apto para utilizar a prótese. Assim, como o processo para adquirir uma prótese pode demandar de muito tempo, existe muita desistência por parte dos pacientes.

2.3. REALIDADE VIRTUAL

A definição para Realidade Virtual (RV) sofre modificações a medida em que a tecnologia e os equipamentos que a suportam evoluem, sendo assim, a Realidade Virtual combina programas computacionais, computadores de alto desempenho e periféricos específicos que permitem a navegação, e manipulação em um ambiente tridimensional de aparência realística (CARDOSO & LAMOUNIER, 2006).

Kirner & Siscoutto (2007) dizem que, a Realidade Virtual é uma interface avançada do usuário para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais por computador.

Vera *et al* (2007) diz que as principais características dos sistemas de Realidade Virtual são um alto nível de interação, uma resposta realística às ações do usuário, o envolvimento e a possibilidade de imersão, dependendo do equipamento utilizado. A interação do usuário com o ambiente virtual é um dos aspectos importantes da interface e está relacionada com a capacidade do computador em detectar e reagir às ações do usuário, promovendo alterações na aplicação (BOWMAN, 2005).

Nesse contexto, percebe-se a importância do uso da Realidade Virtual em processos de reabilitação, visto que é possível simular um ambiente e inserir o paciente no ambiente sem expor o mesmo a qualquer risco, desenvolvendo as habilidades necessárias para aquele processo garantindo um nível de interação condizente com as tarefas a serem realizadas.

A interface baseada em Realidade Virtual permite que habilidades e conhecimento intuitivos do usuário possam ser utilizados para a manipulação dos objetos virtuais, podendo ocorrer a interação através de dispositivos não convencionais, como capacete de visualização ou luvas, o próprio corpo, como gestos e comandos de voz, ou até mesmo dispositivos convencionais como mouse, teclado e monitor de vídeo (KIRNER & SISCOUTTO, 2007).

2.4. REALIDADE VIRTUAL APLICADA AO PROCESSO DE REABILITAÇÃO

Schultheis & Rizzo (2001) elaboraram uma tabela que apresenta um resumo das vantagens do uso da Realidade Virtual em aplicações de avaliação e reabilitação com base em informações obtidas em outros trabalhos, Tabela 3.

São diversas as vantagens do uso da Realidade Virtual em processos de reabilitação, dentre elas uma das características que mais auxiliam na motivação no paciente é a capacidade de distraí-lo enquanto ele executa uma tarefa, permitindo que ele aprenda e se desenvolva enquanto se diverte.

O uso da Realidade Virtual ainda permite obter um maior controle sobre os estímulos enviados/recebidos e a medição das respostas destes estímulos, além da possibilidade de apresentar diversos ambientes aos usuários sem os riscos existentes ou limitações territoriais.

Outro fator de grande importância para os processos de reabilitação, é a padronização dos protocolos a serem desenvolvidos que devem estar de acordo com os protocolos fornecidos pelos profissionais da saúde especializados na área em questão, assim como a consistência da avaliação dos resultados obtidos. A junção das vantagens mencionadas propicia ao paciente um ambiente mais diversificado e interativo, permitindo que a Realidade Virtual se torne uma grande aliada durante seu processo de reabilitação.

Tabela 3 – Vantagens de Realidade Virtual em aplicações de avaliação e reabilitação. Adaptado de (SCHULTHEIS & RIZZO, 2001).

Vantagem	Detalhamento
Ambiente mais naturalistas ou próximos da vida real	<ul style="list-style-type: none">• Pode permitir que os usuários “esqueçam” que estão em situação de teste• Permite a apresentação cenários de teste e treinamentos ecologicamente válidos ou desafios cognitivos
Controle da apresentação de estímulo e medição de resposta	<ul style="list-style-type: none">• Controle total e consistência da entrega do estímulo• Permite a apresentação de desafios hierárquicos e repetitivos de estímulo que podem variar do simples ao complexo, contingente no sucesso• Entrega imediata do feedback de desempenho de diversas formas• Capacidade para gravação de todo o desempenho
Avaliação segura de situações perigosas	<ul style="list-style-type: none">• Permite a apresentação de situações de avaliação mais perigosas ou desafiadoras• Permite a concepção de ambientes de aprendizagem seguros que minimizem os riscos devido a erros

	<ul style="list-style-type: none"> • Permite ao usuário experimentar erros para promover a aprendizagem e a autoconsciência
Aumento da generalização da aprendizagem	<ul style="list-style-type: none"> • Design de ambientes de treinamento “individualizados” • Modificação da apresentação sensorial e requisitos de resposta com base nas deficiências do usuário • Capacidade para pausar a avaliação e treinamento para discussões ou outros meios de instrução • Opção para a exploração autoguiada e testes independentes e formação quando considerado apropriado
Maior padronização dos protocolos de reabilitação	<ul style="list-style-type: none"> • Consistência nas abordagens de avaliação e reciclagem • Consistência das medidas dos resultados • Capacidade para criar ambientes de avaliação e reabilitação funcionais de baixo-custo para distribuição.
Maior participação do usuário	<ul style="list-style-type: none"> • Permite a introdução dos fatores de jogo no cenário para melhorar a motivação • Fornecimento de estímulos de leitura ou táticas de visualização projetados para ajudar a orientar o desempenho bem-sucedido dentro de um teste dinâmico ou paradigma de aprendizado sem erro

2.5. JOGOS SÉRIOS

A expressão Jogos Sérios (Serious Games) tem se tornado cada vez mais popular e presente no meio acadêmico e comercial, podendo ser aplicado nas mais diversas áreas, tais como: educação (CONNOLLY, 2007; MAYO, 2007), saúde (MACEDONIA, 2009; SAWYER, 2008), corporativa e treinamento militar (NUMRICH, 2008) e treinamento cultural (ZIELKE, 2009; FREITAS & JARVIS, 2007).

Apesar de não haver uma definição precisa sobre a expressão Jogos Sérios, alguns autores buscam estabelecer um conceito. Derryberry (2008) diz que o que separa Jogos Sérios do restante dos jogos é o foco em um resultado de aprendizado específico e intencional para alcançar mudanças de performance e comportamento mensuráveis e continuadas.

De acordo com Zyda (2005), um Jogo Sério é uma disputa mental, jogado com um computador de acordo com regras específicas, que usa de entretenimento para promover treinamento governamental ou corporativo, de educação, de saúde, de políticas públicas e com objetivos de comunicação estratégica.

Com os conceitos propostos pelos autores acima, pode-se perceber que uma das grandes características que diferem um Jogo Sério de um Jogo é que o entretenimento é apenas parte de seu objetivo e que um Jogo Sério possui um propósito a ser atingido.

Mitgutsch & Alvarado (2012) propõem uma estrutura em que divide o Jogo Sério em cinco elementos e que todos os elementos que o compõem devem estar alinhados com o propósito do jogo (Figura 1).

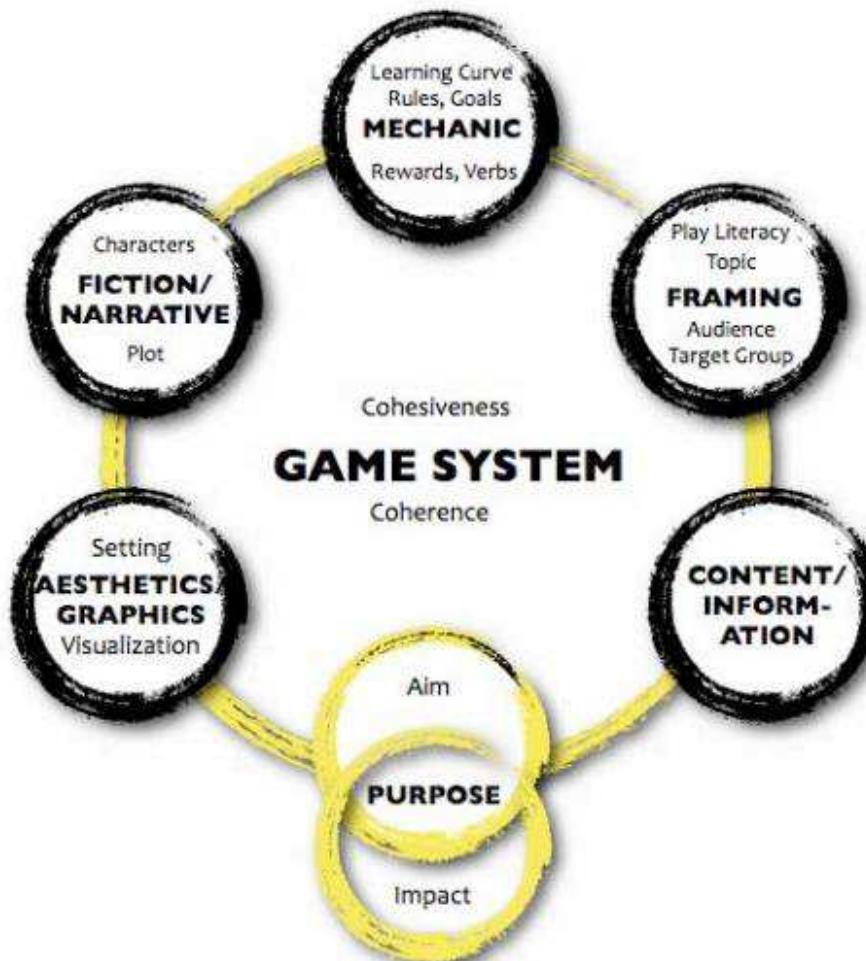


Figura 1 – Estrutura proposta de um Jogo Sério (MITGUTSCH & ALVARADO, 2012)

O desenvolvimento do Jogo Sério se inicia com a definição de seu Propósito (*Purpose*) para impactar seus jogadores, ou seja, com o objetivo do Jogo Sério estabelecido é preciso estabelecer o público alvo e encontrar a melhor forma de conseguir transmitir o conhecimento e/ou experiências que o jogo pretende para seus jogadores.

O elemento Conteúdo e Informação (*Content & Information*) se refere aos fatos, informação e dados oferecidos e utilizados no jogo, tais como as estatísticas fornecidas após finalizar o nível do jogo, os status do personagem, nomes dos personagens e outras informações suplementares.

A Mecânica do Jogo (*Game Mechanics*) envolve toda a definição das regras que definem a possibilidade espacial para operações no mundo do jogo, ou seja, a definição do objetivo em cada fase do jogo, os sistemas de recompensas existentes, a definição dos objetos que possuem interação, balanceamento dos níveis de dificuldade, condição de vitória, entre outros.

A Ficção e Narrativa (*Fiction & Narrative*) se refere ao contexto fictício apresentado ao jogador, ou seja, a narrativa apresentada pelos personagens, a história, cenário, personagens, o problema enfrentado pelos personagens e demais itens.

A Estética e Gráficos (*Aesthesia & Graphics*) consiste de toda a linguagem audiovisual existente no jogo, como as características estéticas, imagens, preferências de estilo, mídia artística e as técnicas de computação gráfica que foram escolhidas e desenvolvidas pelos designers para a visualização do jogo.

O Enquadramento (*Framing*) consiste em alinhar os elementos já descritos em relação ao público alvo e a vivência do público alvo em relação a jogos, buscando garantir que o jogador tenha uma boa experiência e o jogo esteja balanceado em níveis de dificuldade e habilidades. A junção de todos esses elementos define uma estrutura que um jogo deve seguir para que seja enquadrado como um Jogo Sério.

2.6. JOGOS SÉRIOS APLICADOS A REABILITAÇÃO

O uso de jogos em processos de reabilitação possui uma grande contribuição no quesito de motivação do paciente que, como já foi mencionado, é um dos principais motivos para o abandono do tratamento. No trabalho realizado por (TANNOUS et al, 2015) foram utilizadas técnicas de Realidade Virtual para o desenvolvimento de um sistema de jogo sério em tempo real que inclui uma série de exercícios de treinamento de locomoção para o processo de reabilitação musculo-esquelética (Figura 2). O jogo consiste de um avatar que representa o corpo humano e se move de acordo com os movimentos captados pelo dispositivo *Kinect*TM. O avatar demonstra os movimentos a serem realizados e o paciente deve executá-los dentro do tempo determinado. Os participantes avaliaram positivamente o projeto e sua contribuição no processo de reabilitação.

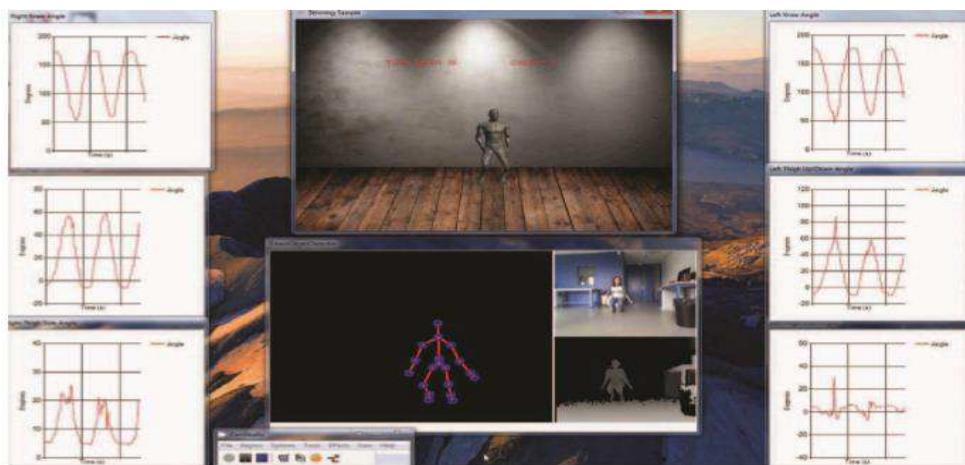


Figura 2 – Jogo Sério para reabilitação funcional (TANNOUS et al, 2015).

A pesquisa apresentada em (HEINS et al,2017) trata de um sistema para auxiliar no processo de reabilitação motora e cognitiva pós Acidente Vascular Cerebral (AVC). Neste sistema, é possível adaptar o nível de dificuldade de acordo com o desempenho de cada paciente proporcionando uma grande flexibilidade durante o treinamento. O usuário interage com o jogo por meio de sensores de força e posições que permitem a ele realizar as tarefas solicitadas, que se resumem a selecionar e mover os itens de acordo com a ordem solicitada (Figura 3). Os trabalhos apresentados fornecem *feedback*, se adaptam a evolução do jogador e focam principalmente na área motora dos pacientes, enquanto que este trabalho, além de possuir as características mencionadas, será de fácil portabilidade e afetará tanto a área motora quanto cognitiva do paciente.

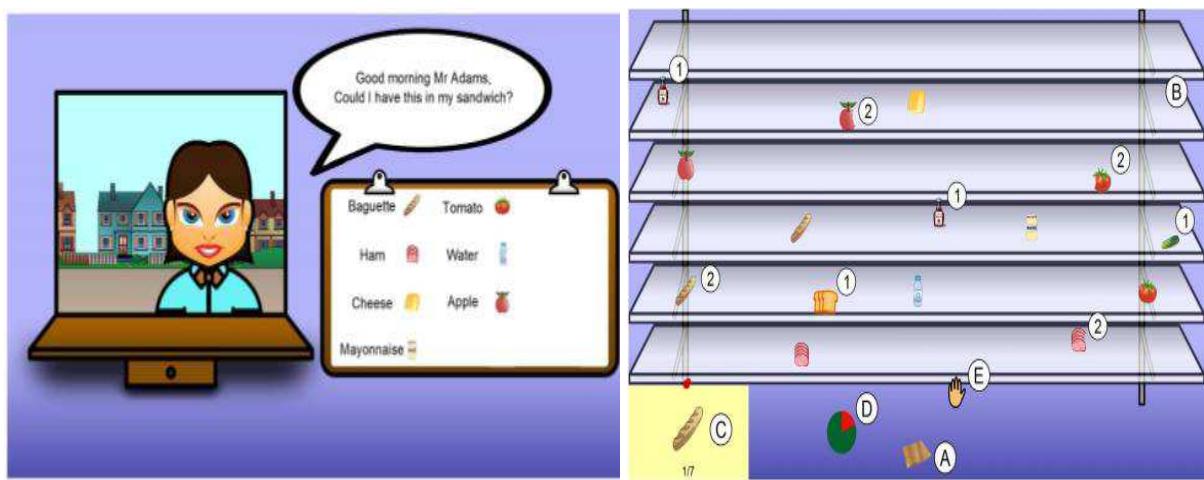


Figura 3 - Jogo sério robótico assistido para reabilitação motora e cognitiva pós AVC (HEINS et al,2017)

2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram abordados os conceitos básicos sobre Realidade Virtual e Jogos Sérios, assim como estatísticas sobre o cenário atual de amputações e produção de próteses.

Os conceitos apresentados neste capítulo são essenciais para o bom entendimento deste trabalho. O próximo capítulo trata-se da análise dos trabalhos relacionados com a proposta desta pesquisa.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta um estudo sobre sistemas computacionais desenvolvidos e/ou adaptados para auxiliar em processos de reabilitação. O objetivo aqui é apresentar uma análise comparativa dos ambientes desenvolvidos que utilizam de técnicas de Realidade Virtual e Aumentada, associadas a jogos sérios, em processos de reabilitação.

Como metodologia para análise dos trabalhos foram realizados os seguintes procedimentos: pesquisa nos mecanismos de busca IEEEExplorer (IEEE), Google Acadêmico e Bancos de Dados de Teses e Dissertações de universidades, tais como: Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade de Campinas (UNICAMP), Universidade Federal do Paraná (UFPR), dentre outras. Os seguintes termos e combinações entre os mesmos foram pesquisados: “jogos sérios para amputados de membros superiores”, “virtual environment for upper limb amputees” e “rehabilitation for upper limb amputees using virtual reality”. Foram selecionados os trabalhos que apresentaram maior relevância e similaridade com este projeto.

3.2. MYOKINETIC INTERFACE - VIRTUAL REALITY SYSTEM (MKI-VR)

O trabalho de (KUTTUVA, 2005) apresenta uma aplicação utilizando Realidade Virtual voltada para amputados dos membros superiores que regista a atividade miocinética dos membros residuais e codifica os movimentos voluntários pretendidos que são então atualizados como movimentos de uma mão virtual. As informações para manipular a mão virtual são obtidas por meio de uma série de sensores de pressão acoplados a um soquete, conforme pode ser visto na Figura 4

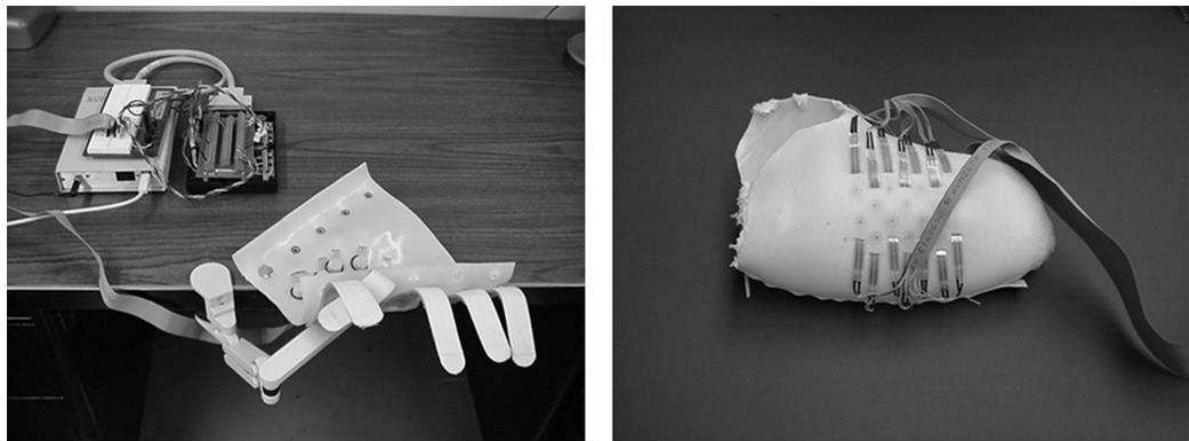


Figura 4 – Configuração usada para controle dos sensores (à esquerda) e soquete personalizado com sensores (à direita) (KUTTUVA, 2005)

A aplicação possui dois ambientes distintos. Porém com protocolos de treinamento similares, onde no primeiro ambiente o usuário deve mover uma bola virtual do ponto inicial para o ponto final e o segundo ambiente o usuário deve mover diversas varetas para pontos específicos em um tabuleiro (Figura 5).

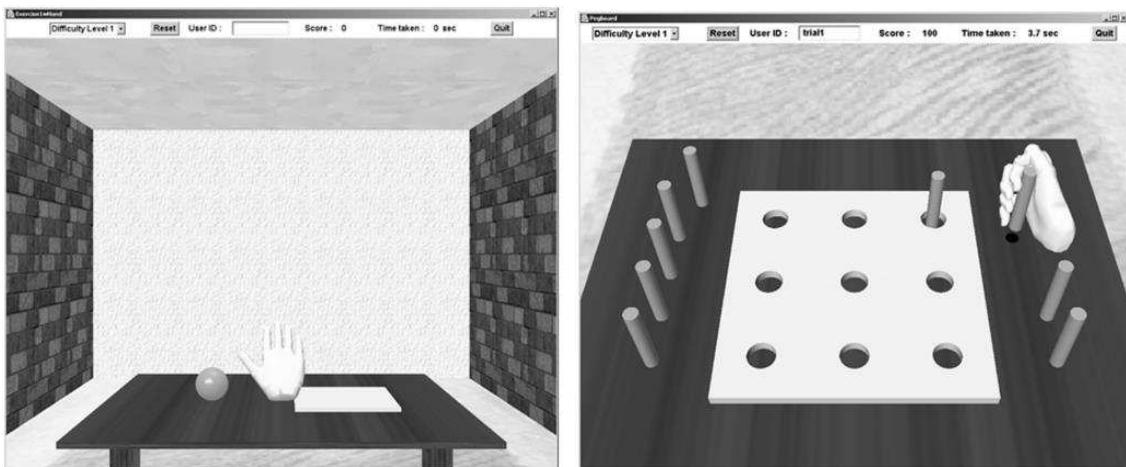


Figura 5 – Exercícios em realidade virtual para treinamento de amputados de membros superiores (KUTTUVA, 2005)

O sistema apresentado possui como principais vantagens uma interface limpa e com tarefas intuitivas. Como desvantagens, o sistema não dispõe de diferentes níveis de dificuldade para a execução das tarefas e requer o auxílio de um membro da área da saúde em diversos momentos.

3.3. SISTEMA DE TREINAMENTO VIRTUAL PARA PRÓTESE MIOELÉTRICA

A pesquisa apresentada em (TAKEUCHI et al, 2007) propõe o desenvolvimento de um sistema de treinamento utilizando Realidade Virtual para amputados de membros superiores para próteses de mão mioelétricas. O sistema desenvolvido recebe sinais EMG obtidos por meio de dois eletrodos acoplados a dois músculos residuais e um electro-goniômetro (instrumento não invasivo que registra os ângulos durante os movimentos de uma articulação em tempo real) que é acoplado ao ombro ou cotovelo para obter a angulação da articulação e determinar o estado da prótese virtual. O processo descrito anteriormente é apresentado a seguir (Figura 6).

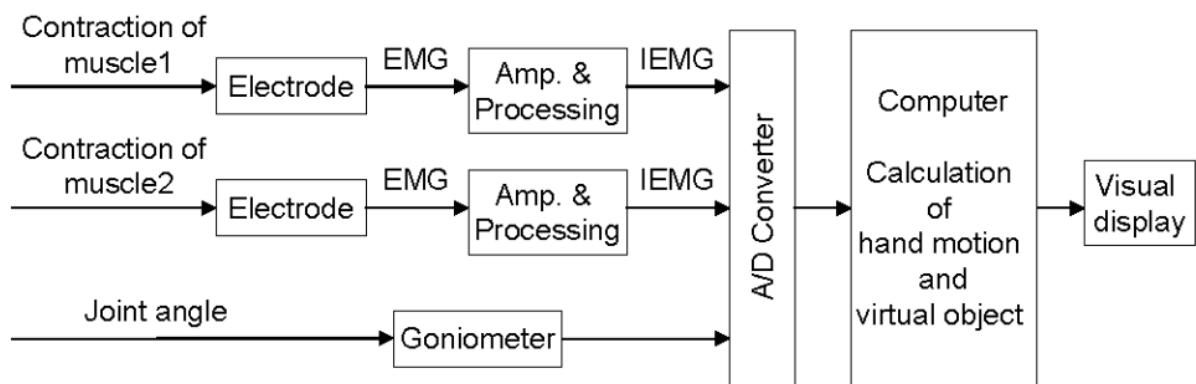


Figura 6 - Diagrama do sistema da prótese mioelétrica virtual (TAKEUCHI et al, 2007)

As tarefas realizadas no ambiente virtual permitem ao usuário segurar, levantar e posicionar objetos virtuais se atentando a força utilizada. Quando o usuário alcança o objeto e a ação para segurar o objeto é enviada o sistema avalia a força que o usuário está exercendo e caso esteja no nível necessário o objeto é levantado. Caso seja menor ou maior do que o necessário, o objeto pode cair ou quebrar. Ao fim, o objeto é movido para seu ponto de destino. O diagrama a seguir elucida a explicação feita anteriormente (Figura 7).

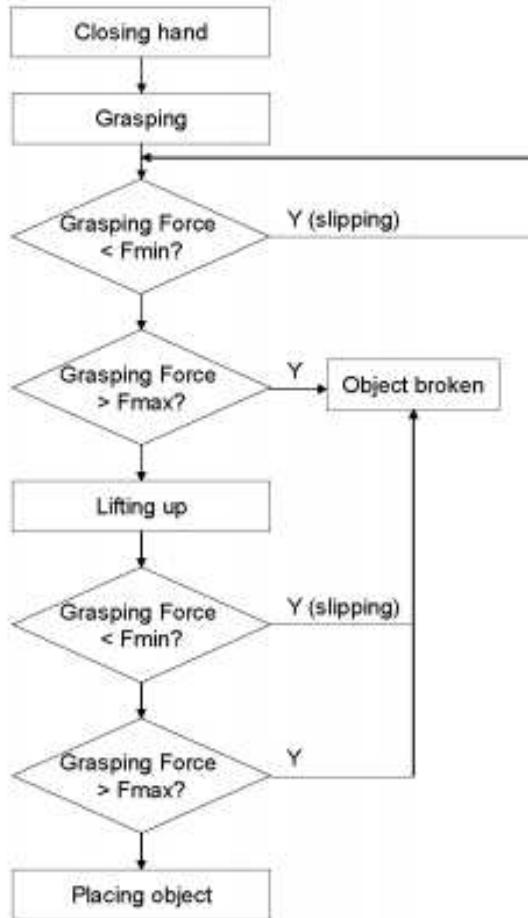


Figura 7 – Processo de execução das tarefas (TAKEUCHI et al, 2007)

Dentre as principais vantagens, tem-se que o sistema é capaz de mudar o nível de dificuldade da tarefa de acordo com a condição do usuário. Porém, não proporciona ao usuário feedback da evolução durante as tarefas.

3.4. VIRTUAL PROSTHESIS (VP)

(BARRAZA-MADRIGAL et al, 2007) apresenta um sistema de treinamento com objetivo de melhorar o ajuste funcional entre o amputado e uma prótese ativa. A aplicação tem como intuito prover um sistema de treinamento como um estágio prévio a aquisição e uso da prótese real, sendo constituído por um ambiente virtual constituído por uma prótese virtual e uma interface de integração mioelétrica. A interface de integração mioelétrica obtém os sinais eletromiográficos por meio de eletrodos localizados nos bíceps e tríceps que são tratados e depois enviados para o ambiente virtual. Os movimentos aceitos pela aplicação podem ser vistos na Figura 8.

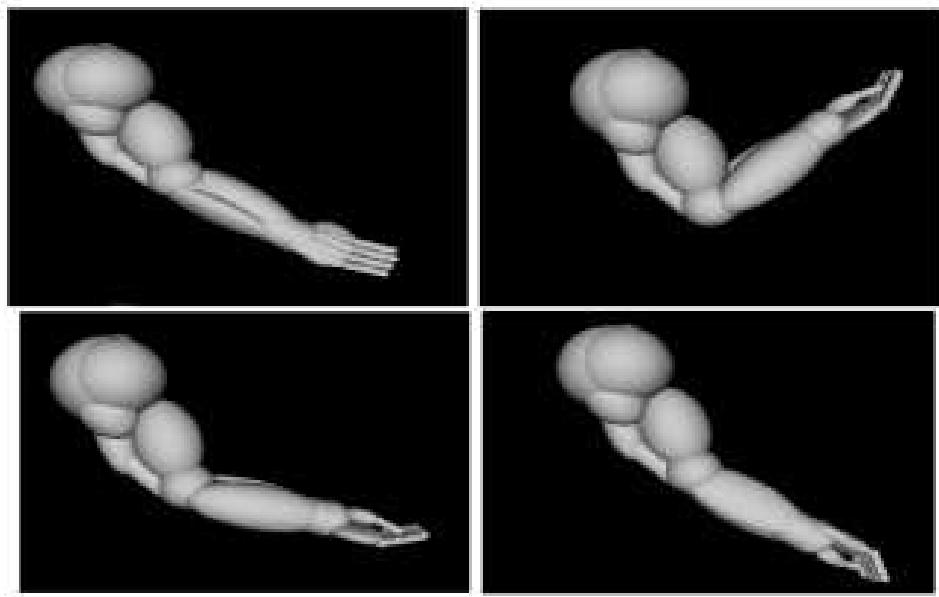


Figura 8 – Movimentos reconhecidos pela aplicação (BARRAZA-MADRIGAL et al, 2007)

Inicialmente, o usuário realiza uma calibração considerando a sua contração máxima voluntária e após ele pode escolher entre realizar movimentos simples, como os vistos na Figura 8, ou tarefas específicas, como tomar água, abrir uma porta, atender o telefone, entre outras. A aplicação apresenta uma interface que não oferece feedback ao usuário, não há interação com outros objetos e o usuário depende de instruções para determinar suas próximas tarefas.

3.5. REABILITAÇÃO BASEADA EM JOGOS PARA CONTROLE DE PRÓTESES MIOELÉTRICAS DE MEMBROS SUPERIORES

O trabalho de (PRAHM et al, 2017) propõe o uso de jogos que utilizam Realidade Virtual como uma intervenção para aprimorar o controle dos sinais EMG, separação de eletrodos e ativação muscular. O estudo foi realizado com um grupo de pessoas, que em sua parte nunca tiveram experiência em controlar próteses. Os sinais EMG, obtido por eletrodos localizados nos músculos residuais do membro (Figura 9), eram tratados e enviados aos jogos, realizando ações diferentes para cada jogo.



Figura 9 - Configuração experimentar com prótese e o jogo Step Mania 5 (PRAHM et al, 2017)

Como pode ser observado na Figura 10, foram consideradas diferentes tipos de contrações para cada jogo. Porém, os mesmos apresentam ações similares, tais como movimentar para cima, baixo, esquerda ou direita. Os resultados da pesquisa indicaram que os indivíduos que utilizaram os jogos demonstraram um aumento significativo nas três avaliações básicas de EMG.

	Electrode Activation	
Jogos	Controles do Jogo	Muscle Contraction
Dexterity: Pospos 	Mover jogador: esquerda, direita, para cima e para baixo	Contrações sustentadas e simultâneas
Racing: SuperTuxKart 	Virar carro para esquerda e direita	Contrações rápidas e sustentadas
Rhythm: Step Mania 5 	Acertar as setas apontando para a esquerda, direito e ambos lado	Contrações rápidas, sustentadas e simultâneas

Figura 10 - Jogos utilizados no processo de reabilitação, traduzido de (PRAHM et al, 2017)

Apesar do usuário conseguir se desenvolver de forma autônoma, as tarefas realizadas no ambiente virtual não condizem com as tarefas a serem realizadas no ambiente real e não há níveis diferentes para os níveis de habilidade do usuário.

3.6. JOGO DE TIRO COMO FERRAMENTA PARA REABILITAR AMPUTADOS QUE UTILIZAM PRÓTESE ARTICULADAS NOS MEMBROS SUPERIORES

A pesquisa apresentada em (DAVOODI & LOEB, 2012) propõe o desenvolvimento de uma interface de Realidade Virtual que consiste de um jogo de tiro ao alvo. O usuário pode interagir com a aplicação por meio de sinais EMG, atividade neural cortical ou movimentos voluntários dos membros restantes (Figura 11). O objetivo é movimentar uma prótese virtual para mirar e atirar em alvos localizados no ambiente virtual.

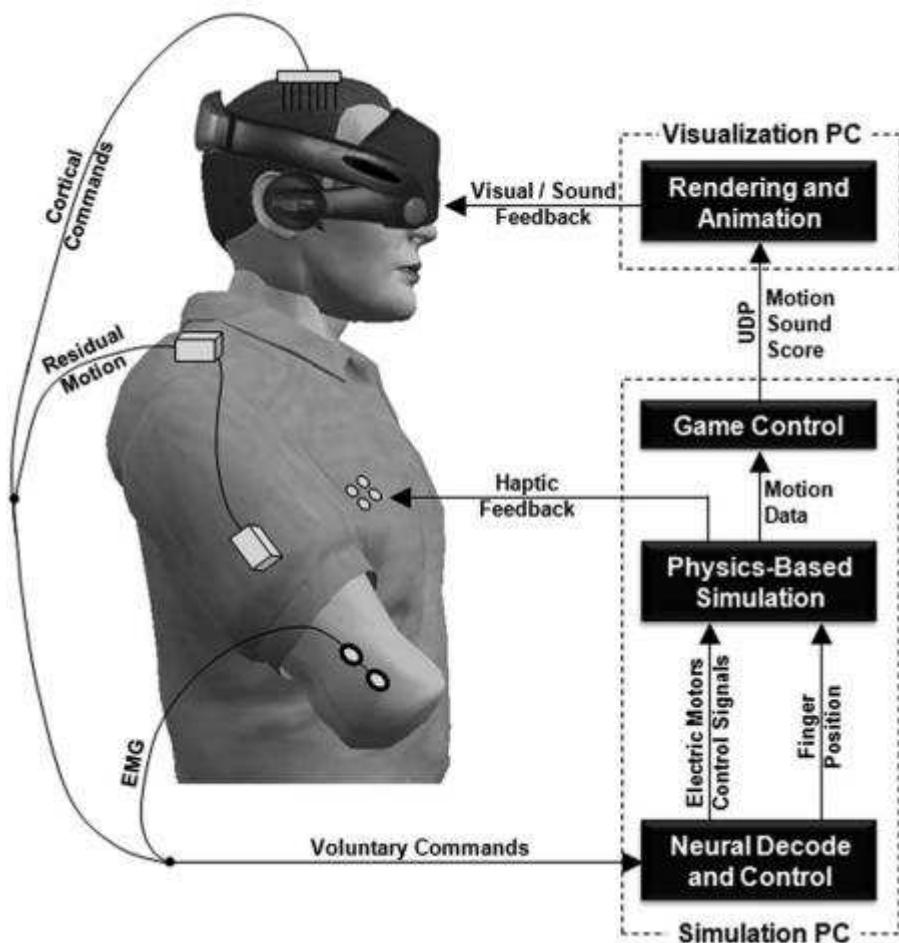


Figura 11 - Arquitetura, ambiente computacional e interface do usuário (DAVOODI & LOEB, 2012)

No ambiente virtual, além da movimentação da prótese o usuário deve controlar o dedo que vai acionar a arma e realizar o disparo. A aplicação utiliza de sons e exibe um placar dos

pontos obtidos para que o usuário saiba o quanto perto ele está de finalizar o nível (Figura 12). Ainda há um *feedback* tátil que proporciona ao usuário a sensação do disparo da arma.

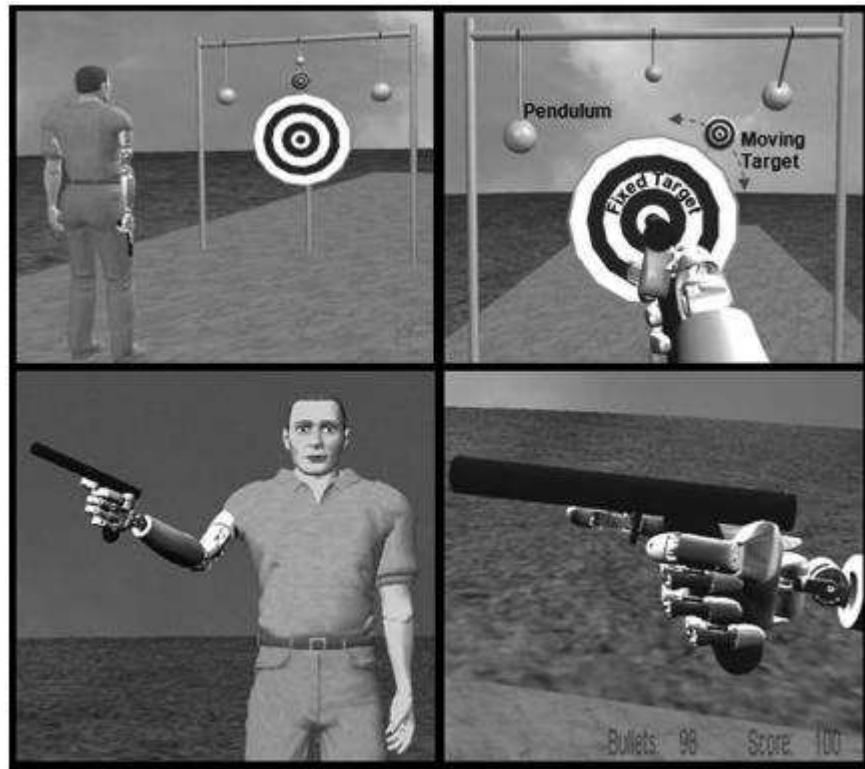


Figura 12 - Ambiente virtual do jogo desenvolvido (DAVOODI & LOEB, 2012)

Uma observação que é de suma importância é que o usuário não necessita medir seus impulsos ao acionar o gatilho da arma, ou seja, o usuário deve acionar o gatilho sem a necessidade de controlar a força com que o acionará. Esta característica da aplicação se difere da proposta nesta dissertação, onde o usuário deve controlar a intensidade de seus movimentos para que consiga alcançar seu objetivo. Além, de permitir a ele obter maior controle sobre a prótese virtual.

3.7. AMBIENTE INTEGRADO PARA TRATAMENTO DE DOR DE MEMBRO FANTASMA E TREINAMENTO DE PRÓTESE MODULAR

O trabalho de (PERRY et al, 2013) apresenta um ambiente virtual integrado para auxiliar no tratamento de dores de membro fantasma para amputados de membros superiores e treinamento modular de membros protéticos. Inicialmente, os indivíduos foram submetidos a algumas sessões de treinamento no ambiente virtual integrado (Figura 13) onde eles devem repetir os movimentos apresentados no ambiente virtual. Os sinais EMG são coletados e comparados com o resultado esperado para determinar se o indivíduo conseguiu realizar o movimento desejado e calcular a sua precisão. Vários movimentos diferentes foram

apresentados pelo ambiente virtual. À medida em que o indivíduo efetuava um movimento com precisão, ele avança para o próximo movimento que implica um nível de dificuldade maior.

Um indivíduo, que conseguiu obter uma taxa alta de precisão e conseguiu efetuar todos os movimentos durante o treinamento no ambiente virtual integrado, utilizou a prótese modular e conseguiu realizar diversos movimentos previamente executados no ambiente virtual (Figura 14).



Figura 13 – Interface do usuário do ambiente virtual integrado (PERRY et al, 2013)

As tarefas propostas para esta aplicação consistem da repetição dos movimentos apresentados no ambiente virtual, não havendo quaisquer interações com o mesmo. O usuário ainda não possui a chance de visualizar os movimentos que seriam gerados pelos dados de entrada, visto que para a validação da tarefa é feita uma comparação entre os sinais gerados pelo usuário e os esperados para cada tarefa.



Figura 14 – Operação do membro protético modular por um amputado (PERRY et al, 2013)

3.8. ESTUDO COMPARATIVO DOS TRABALHOS RELACIONADOS

De forma a extrair as principais características de cada trabalho analisado na literatura revisada e com intuito de estabelecer uma linha guia para o desenvolvimento do presente trabalho. Foi criada a Tabela 4, onde foram estabelecidas seis características.

As características são descritas abaixo.

- **Tecnologia de interação:** as tecnologias que permitem aos usuários da aplicação interagirem com o ambiente desenvolvido.
- **Interface RV:** Suporta técnicas de Realidade Virtual, mais precisamente uma interface que busque um ambiente mais natural e intuitivo para o treinamento de amputados.
- **Jogo Sério:** autores classificam a aplicação como um Jogo Sério.
- **Adaptabilidade:** as aplicações se adaptam à medida que o usuário avança, ou seja, as tarefas que o jogador deve executar possuem diferentes níveis de dificuldade de forma que não sejam muito fáceis ou difíceis.
- **Feedback:** o paciente recebe informações do seu progresso de diferentes formas. Quando o paciente comete um erro ou realiza a atividade com sucesso ele recebe um retorno visual ou auditivo. No início do treinamento ele recebe instruções e ao fim ele visualiza um resumo de seu progresso.

- **Autonomia:** o treinamento requer a presença de um terapeuta no início e fim do mesmo com objetivo de estabelecer as metas e discutir os resultados. Porém a aplicação permite ao paciente treinar sem ajuda a maior parte do tempo.

Tabela 4 - Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados

Características	Tecnologia de interação	Interface RV	Jogo Sério	Adaptabilidade	Feedback	Autonomia
Trabalho						
(KUTTUVA et al, 2005)	Sensores de força	✔	✗	✗	✔	✗
(TAKEUCHI et al, 2007)	Sinais EMG	✔	✗	✔	✗	✗
(BARRAZA-MADRIGAL et al, 2007)	Sinais EMG	✔	✗	✔	✗	✗
(DAVOODI & LOEB, 2012)	Sinais EMG/ atividade neural cortical/ Movimentos voluntários dos membros restantes	✔	✗	✔	✔	✔
(PERRY et al, 2013)	Sinais EMG	✔	✗	✔	✗	✔
(PRAHM et al, 2017)	Sinais EMG	✔	✗	✗	✔	✔

Analisando as características dos trabalhos apresentados e considerando características elencadas na Tabela 4, pode se perceber que alguns trabalhos não proporcionam um feedback ao usuário, outros não permitem que o usuário evolua sozinho ou adaptam o nível de dificuldade à habilidade do usuário. Dentre os trabalhos relacionados, não foi identificado um trabalho que proporcione um ambiente que apresente características de Jogo Sério. Assim, justifica-se a necessidade de explorar e apresentar uma aplicação que, além de apresentar uma interface que utilize de técnicas de Realidade Virtual, proporcione um Jogo Sério voltado para a reabilitação de amputados de membros superiores que satisfaça a todos os quesitos apresentados na tabela acima.

3.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou alguns trabalhos de pesquisa em Reabilitação Virtual Imersiva e não Imersiva descrevendo diferentes estruturas e abordagens.

A possibilidade do uso de um sistema de reabilitação que proporcione ao usuário um ambiente virtual em que o mesmo pode começar a utilizar dias após a amputação e começar a se preparar para o recebimento da prótese real. Represendo uma grande contribuição para seu processo de reabilitação, reduzindo o tempo necessário para adquirir um bom nível de controle sobre a prótese e agilizar o processo de reabilitação.

Observou-se que alguns dos trabalhos analisados possuem níveis diferentes de acordo com ao nível de habilidade, proporcionam um feedback ao usuário ou permitem ao usuário que treine sem a intervenção de um terapeuta na maior parte do tempo. Nenhum dos trabalhos analisados pertenciam a categoria de Jogos Sérios. O próximo capítulo apresenta a arquitetura de um sistema que foi proposto para reprimir as limitações encontradas na Tabela 4.

4. ARQUITETURA DO SISTEMA

4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentados os principais requisitos funcionais e não funcionais do jogo, assim como o Diagrama de Casos de Uso. Um diagrama de atividades é exibido demonstrando graficamente o caminho lógico que o software pode tomar, seguido pela apresentação dos componentes utilizados para o desenvolvimento do sistema.

O modelo de desenvolvimento escolhido foi o modelo espiral, que de acordo com Pressman (2006), combina a natureza iterativa da prototipagem com os aspectos controlados e sistemáticos do modelo em cascata. Ele tem duas principais características distintas, sendo que a primeira é uma abordagem cílica, para aumentar incrementalmente o grau de definição e implementação de um sistema enquanto diminui seu grau de risco. A outra é um conjunto de marcas de ancoragem, para garantir o comprometimento dos interessados com soluções exequíveis e mutualmente satisfatórias para o sistema (PRESSMAN, 2006).

4.2. REQUISITOS DO SISTEMA

Para iniciar o desenvolvimento desta aplicação, foi feito um levantamento dos requisitos funcionais e não funcionais. Sommerville (2007) define os requisitos funcionais como as declarações de serviços que o sistema deve fornecer, de como o sistema deve reagir a entradas específicas e como o sistema deve se comportar em determinadas situações. Ou seja, descreve a funcionalidade ou serviço que se espera que o sistema forneça. Os requisitos não funcionais são restrições sobre os serviços ou as funções oferecidas pelo sistema. Eles incluem restrições de timing, restrições sobre o processo de desenvolvimento e padrões (SOMMERVILLE, 2007).

4.2.1. Principais requisitos funcionais

Os requisitos funcionais se referem à requisição de uma função que um software deverá atender/realizar. A seguir, a Tabela 5 lista os principais requisitos funcionais e suas descrições da aplicação desenvolvida.

Tabela 5 - Requisitos Funcionais

Código	Descrição do Requisito
RF001	Escolher a fase a ser carregada.
RF002	Visualizar a pontuação e progressão na atividade.
RF003	Exibir o grau de abertura da prótese.
RF004	Oferecer a opção de retornar ao menu principal a qualquer momento.
RF005	Habilidade de simular abertura e fechamento de uma prótese virtual

4.2.2. Principais requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais se referem as restrições sobre os serviços oferecidos pelo sistema. A seguir, a Tabela 6 lista os principais requisitos não funcionais e suas descrições.

Tabela 6 - Requisitos Não-Funcionais

Código	Descrição do Requisito
RNF001	A resposta aos dados de entrada deve ser realizada de forma rápida.
RNF002	A modelagem do ambiente virtual deve visar fidelidade com um ambiente real.
RNF003	A interação entre a prótese virtual e os objetos deve simular a interação real entre uma prótese e objeto real.
RNF004	Responder em tempo real, a simulação do uso da prótese por meio de um tirante.

4.2.3. Casos de Uso do Sistema

Para Guedes (2011), o Diagrama de Casos de Uso é o mais abstrato, flexível e informal entre todos os diagramas e que tem como objetivo apresentar uma visão geral das funcionalidades que o sistema deverá oferecer aos usuários. O diagrama de casos de uso procura, por meio de uma linguagem simples, possibilitar a compreensão do comportamento

externo do sistema (em termos de funcionalidades oferecidas por ele) por qualquer pessoa, tentando apresentar o sistema por intermédio de uma perspectiva do usuário (GUEDES, 2011, p.52).

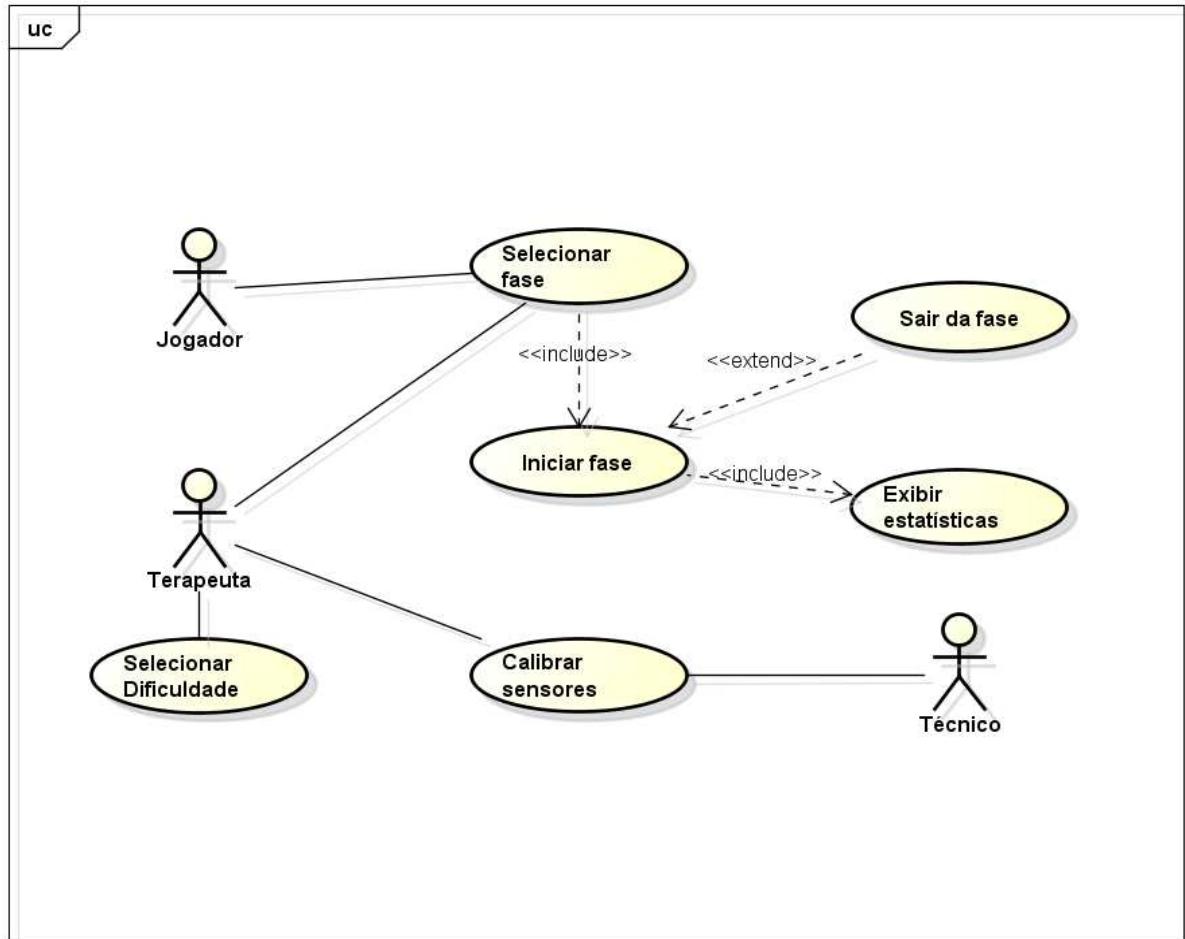


Figura 15 - Diagrama de Caso de Uso

Os quadros abaixo detalham os casos de uso e os atores envolvidos em cada uma das interações mostradas na Figura 15.

Tabela 7 - Caso de uso "Selecionar Dificuldade"

Caso de uso: Selecionar Dificuldade
Descrição: O terapeuta seleciona o nível de dificuldade a ser aplicado as fases durante a sessão.
Atores envolvidos: Terapeuta
Exceções: Caso não seja selecionado um nível de dificuldade, é utilizado o ultimo nível selecionado.

Tabela 8 - Caso de uso "Selecionar fase"

Caso de uso: Selecionar Fase
Descrição: Permite ao ator escolher em um menu qual o próximo ambiente a ser carregado pelo sistema.
Atores envolvidos: Jogador, Terapeuta.
Exceções: Caso a aplicação não consiga se comunicar com o dispositivo de entrada, é exibida uma mensagem de erro ao jogador.

Tabela 9 - Caso de uso "Iniciar fase"

Caso de uso: Iniciar Fase
Descrição: O ator dá início a fase do jogo, preparando os objetos, materiais, texturas e áudios para serem carregados.
Atores envolvidos: Terapeuta.
Exceções: Caso a aplicação não consiga se comunicar com o dispositivo de entrada ou carregar algum objeto, é exibida uma mensagem de erro ao jogador.
Pré-condição: Clicar sobre uma das fases disponíveis no menu.

Tabela 10 - Caso de uso "Sair da fase"

Caso de uso: Sair da Fase
Descrição: Possibilita ao ator envolvido retornar ao menu principal e parar a comunicação com o dispositivo de entrada.
Atores envolvidos: Jogador, Terapeuta.
Exceções: Caso haja problemas de conexão com o servidor é exibida uma mensagem de erro ao jogador.
Pré-condição: Acionar o atalho responsável por executar a ação.

Tabela 11 – Caso de uso “Exibir estatísticas”

Caso de uso: Exibir estatísticas
Descrição: Possibilita ao ator envolvido monitorar os estados da prótese virtual e da progressão na fase.
Atores envolvidos: Jogador, Terapeuta.
Exceções: Caso haja problemas de conexão com o servidor os estados ficam congelados e é exibida uma mensagem de erro ao jogador.

Tabela 12 - Caso de uso "Calibrar sensores"

Caso de uso: Calibrar sensores
Descrição: O ator executa os comandos que realizam a calibração dos sensores acoplados ao tirante.
Atores envolvidos: Terapeuta, Técnico.
Exceções: Caso haja problemas durante a calibração é feita uma nova tentativa.

4.2.4. Diagrama de Atividades

O diagrama de atividades apresentado na Figura 16 tem por objeto apresentar graficamente o caminho lógico que o software pode tomar. São exibidos os processos de escolha da fase, teste de conexão com os sensores, a execução da fase e atualização da pontuação e objetos existentes.

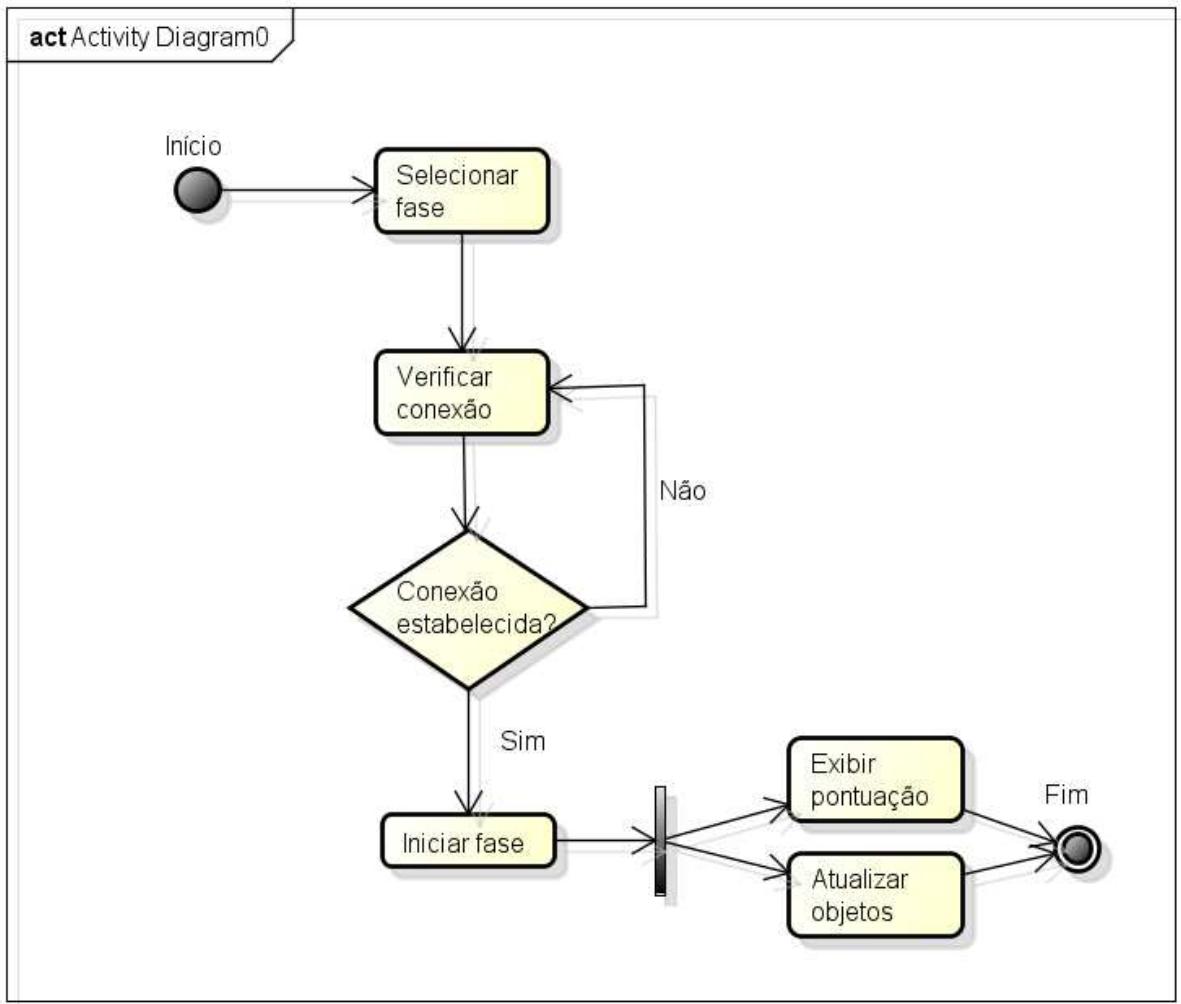


Figura 16 - Diagrama de atividades

4.3. ARQUITETURA DO SISTEMA

A Figura 17 apresenta uma representação gráfica dos principais componentes do sistema. Os principais componentes são o tirante, o sensor inercial, o potenciômetro e a placa Arduino que propicia a comunicação com o ambiente virtual, o próximo capítulo apresenta informações complementares sobre os componentes aqui mencionados e seus funcionamentos.

A interação entre o usuário e o ambiente dá-se inicialmente, pela utilização do tirante. O tirante é um equipamento composto por um fio resistente preso a uma argola que deve estar alinhada com o centro das costas do usuário e preso ao ombro contrário ao qual a prótese será utilizada. Com a movimentação do ombro o fio é puxado provocando um deslocamento do mesmo, e esta ação acionará o potenciômetro que é um dispositivo capaz de identificar de quanto foi este deslocamento.

Os dados gerados pelo potenciômetro é que determinam quão aberta ou fechada estará a prótese virtual. Tanto o potenciômetro quanto o sensor inercial estão conectados a uma placa Arduino e encaixados dentro de uma caixa que é presa ao braço do usuário.

O sensor inercial é o dispositivo que permite determinar a posição e orientação do braço do usuário. Este dispositivo é o responsável por enviar os dados que realizam a movimentação da prótese no ambiente virtual. A placa Arduino ainda possui um módulo Bluetooth conectado a ela, tecnologia que permite a comunicação com outros dispositivos. O Arduino recebe os dados enviados por estes dispositivos, se comunica com o ambiente virtual por meio da conexão Bluetooth e envia os dados.

No ambiente virtual os dados são recebidos, normalizados e depois adicionados aos estados dos objetos virtuais. O módulo situado no computador do jogador é composto pelos objetos tridimensionais do jogo, suas animações e sons, pelo controle da conexão e recepção dos dados para mover a prótese virtual.

O processo de treinamento no ambiente virtual é realizado sob a supervisão de um terapeuta. Antes de iniciar a execução da aplicação é preciso realizar a calibração do sensor inercial para garantir o correto rastreamento da posição do braço do usuário. Esta tarefa consiste em manter o braço ao qual os sensores estão presos na posição horizontal apontado para o lado contrário ao outro braço e manter a posição por dois segundos. O terapeuta deve sempre estar atento ao rastreamento, para caso seja necessário realizar a calibração novamente.

O terapeuta deve monitorar todo o processo de treinamento no ambiente virtual, estando atento a necessidade da repetição de alguma tarefa ou nível, podendo ele determinar se o usuário está pronto para avançar para os níveis de maior complexidade.

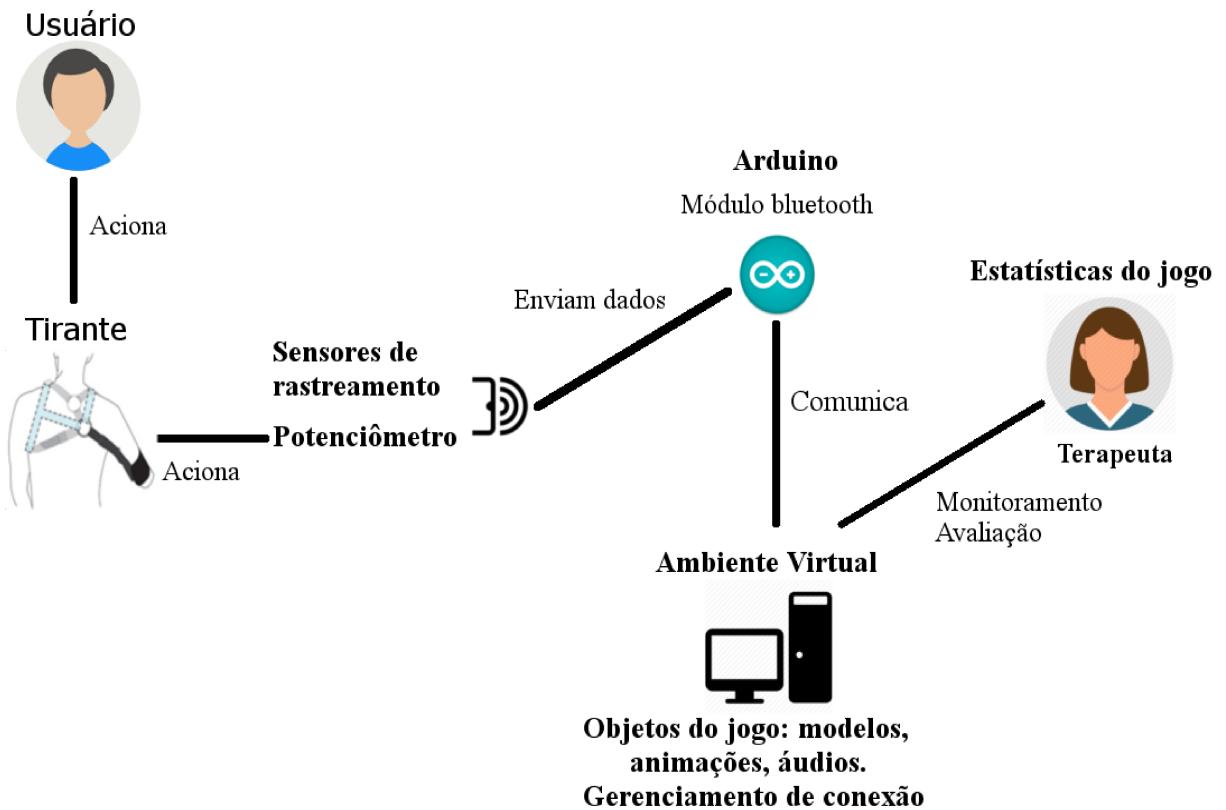


Figura 17 - Componentes do sistema proposto

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo teve como objetivo apresentar a estrutura na qual se baseou para a construção do jogo sério, levantando os principais requisitos funcionais e não funcionais necessários para a construção do mesmo, assim como o caminho lógico a ser tomado. Uma representação dos itens que compõem o sistema é apresentada, demonstrando os agentes que interagem com o sistema, assim como suas ações. O próximo capítulo destina-se a demonstrar os detalhes da implementação do jogo sério, apresentando as ferramentas e técnicas utilizadas.

5. IMPLEMENTAÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas as ferramentas tecnológicas utilizadas para a elaboração da aplicação proposta, assim como os principais requisitos e detalhes de sua implementação.

5.2. TECNOLOGIAS EMPREGADAS

A aplicação desenvolvida consiste de um sistema que deve ser executado em um PC e se comunica com o equipamento responsável pelos dados de entrada, gerados por meio de sensores acoplados a um tirante. Durante todo o uso da aplicação, um terapeuta estará presente para realizar o acompanhamento das atividades desenvolvidas pelo paciente.

O ambiente virtual foi desenvolvido utilizando a *engine* Unity 3D versão 5.5.0 e para a modelagem dos objetos virtuais foi utilizado o software 3Ds Max. Foi utilizado a linguagem de programação C# para a elaboração dos scripts da aplicação. Para a validação inicial da aplicação utilizou-se o dispositivo Leap Motion para a geração dos dados de entrada no lugar dos sensores do tirante.

Para a codificação da aplicação, foi utilizado um *notebook* Dell Inspiron 5557, com um processador Intel Core i7 de sexta geração operando a 2.50 *gigahertz*, 8 *gigabytes* de memória RAM executando Windows 10 Home e placa de vídeo dedicada NVIDIA GeForce 930M com 4 *gigabytes* de memória de vídeo. As próximas seções têm como objetivo apresentar mais detalhes sobre as tecnologias aqui mencionadas.

5.2.1. Unity 3D

O Unity3D Engine é um game engine multiplataforma desenvolvido pela Unity Technologies. É um ambiente para desenvolvimento de aplicações interativas bidimensionais ou tridimensionais, podendo desenvolver desde aplicações simples como um quiz até aplicações mais complexas como simulações distribuídas com múltiplos usuários. Um de seus diferenciais consiste na compatibilidade entre plataformas, até mesmo com dispositivos móveis e ambientes web.

O Unity Engine foi escrito em C/ C++, com o desenvolvimento de jogos permitido apenas nas linguagens C#, Javascript e boo, porém, por utilizar o framework .NET, apresenta capacidade para anexar mecanismos de script em outras linguagens que compartilhem o subsistema CLI da Microsoft. O Unity é composto por uma engine: o motor de renderização e simulação de fenômenos físicos, e por um ambiente de autoria que permite a visualização em tempo real das mudanças codificadas em uma das três linguagens de programação para as quais ele oferece suporte (CREIGHTON, 2010).

O projeto usa o Unity 3D como núcleo do sistema, responsável por tarefas como comunicação com dispositivos de entrada e saída, além de prover a interface com o sistema de script. Na Figura 18, encontra-se um dos cenários do jogo desenvolvido no software Unity 3D.

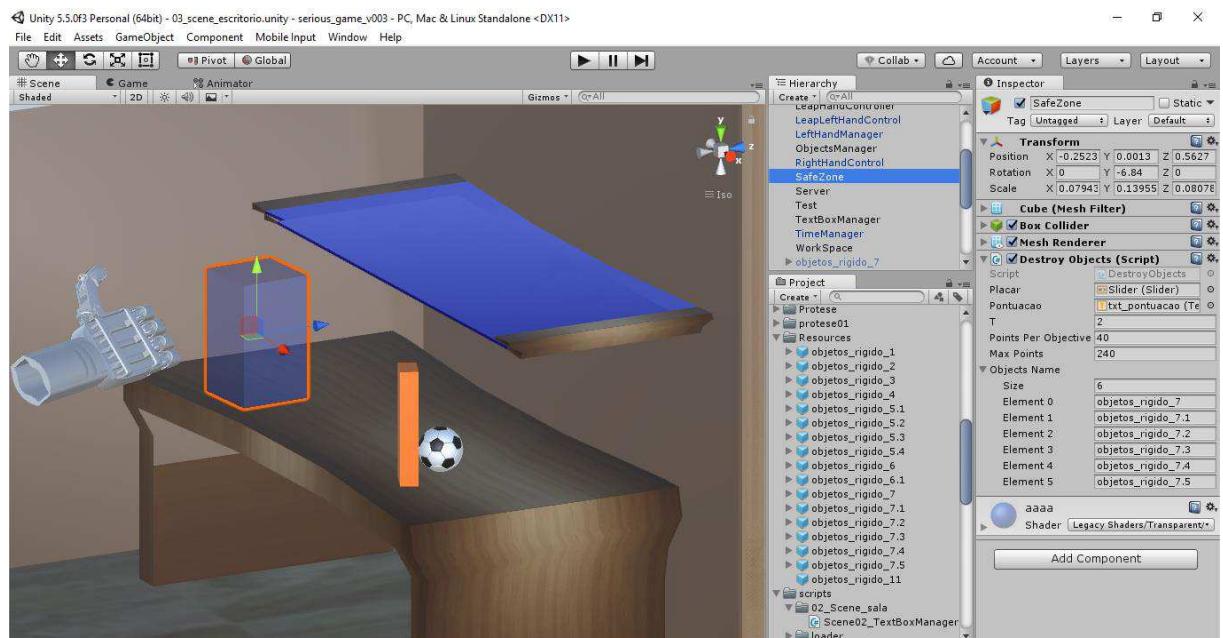


Figura 18 - Cenário do jogo no Unity 3D

5.2.2. LEAP MOTION

Durante o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se do dispositivo Leap Motion como dispositivo de entrada como forma de testar a aplicação, à medida em que o uso do tirante com os sensores ainda não estavam disponíveis. O Leap Motion é um dispositivo com sensores capazes de captar os movimentos do antebraço, mãos e dedos do usuário (LUPU, 2016). Utilizando duas câmeras e três LEDs infravermelho, o dispositivo é capaz de seguir os movimentos das mãos, dedos e antebraços com grande precisão e praticamente não apresenta delay no tempo de rastreio. A Figura 19 demonstra a posição aconselhável das mãos para uso do Leap Motion.

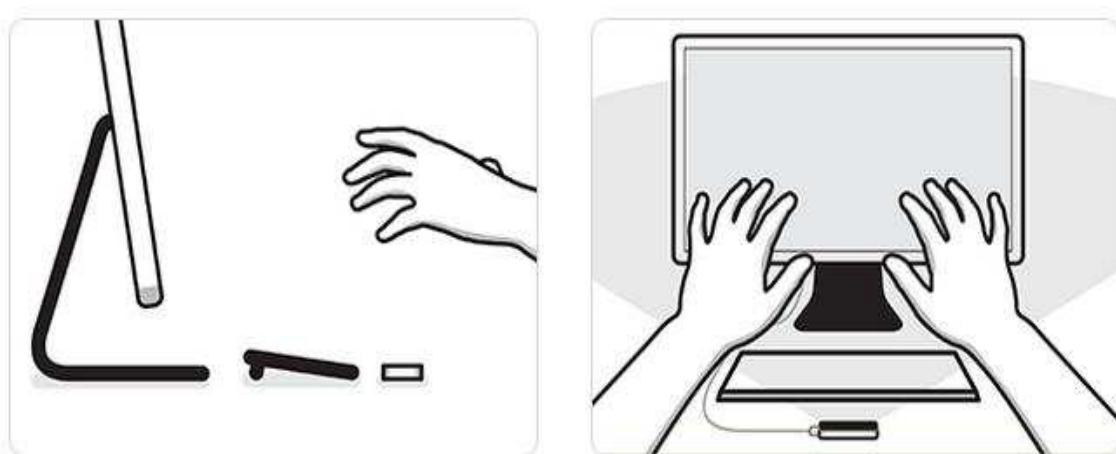


Figura 19 - Posição para uso do Leap Motion. Adaptado de (LEAP MOTION, 2017).

Adotou-se a seguinte estratégia para adaptar o uso do Leap Motion à estrutura desejada da aplicação: o antebraço direito do usuário seria rastreado e sua posição enviada para o ambiente virtual onde essa posição é repassada a prótese virtual, realizando assim a sua movimentação no ambiente virtual. A mão esquerda do usuário é rastreada no eixo Z, conforme Figura 20 abaixo e a sua movimentação nesse eixo vai determinar quão aberta ou fechada a prótese virtual está. Quando a mão se move no sentido para o corpo do usuário a prótese vai fechando e no sentido contrário a prótese vai abrindo.

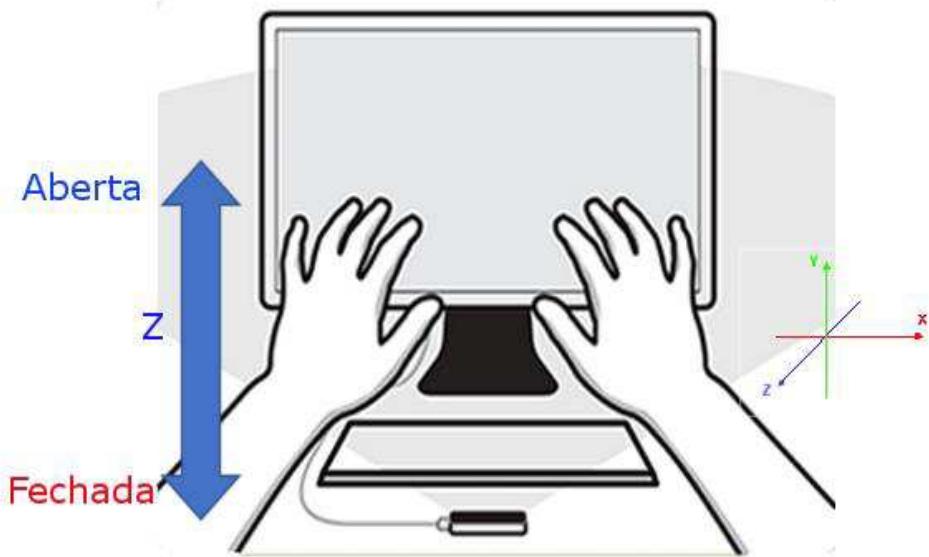


Figura 20 - Movimentos reconhecidos pela aplicação usando Leap Motion. Adaptado de (LEAP MOTION, 2017).

O uso do Leap Motion como dispositivo de entrada permitiu testar as interações com os objetos da cena, assim como identificar possíveis erros existentes na codificação ou nos *collider* dos objetos. Nas Figuras 21 e 22, abaixo, é possível visualizar o uso do dispositivo e o ambiente virtual desenvolvido.



Figura 21 - [1] Dispositivo Leap Motion conectado ao computador. [2] Serious Game com prótese virtual



Figura 22 - [1] Dispositivo Leap Motion conectado ao computador. **[2]** Serious Game com prótese segurando objeto virtual

5.2.3. TIRANTE E SENSORES UTILIZADOS

Foi realizada a aquisição de um tirante modelo 21A36=1 presente no catálogo da empresa Ottobock© 2013, conforme modelo na Figura 23, que é um equipamento composto por um fio preso a uma argola que deve estar alinhada ao centro das costas do usuário e presa no ombro do lado oposto ao qual a prótese será utilizada. Dessa forma, ao movimentar o ombro oposto a prótese, o usuário exerce força sobre o fio que quando acoplado a um sensor capaz de captar a força exercida realizará a mesma ação no ambiente virtual, todo este processo busca representar o uso do tirante com uma prótese real, ao qual funciona da forma descrita acima.

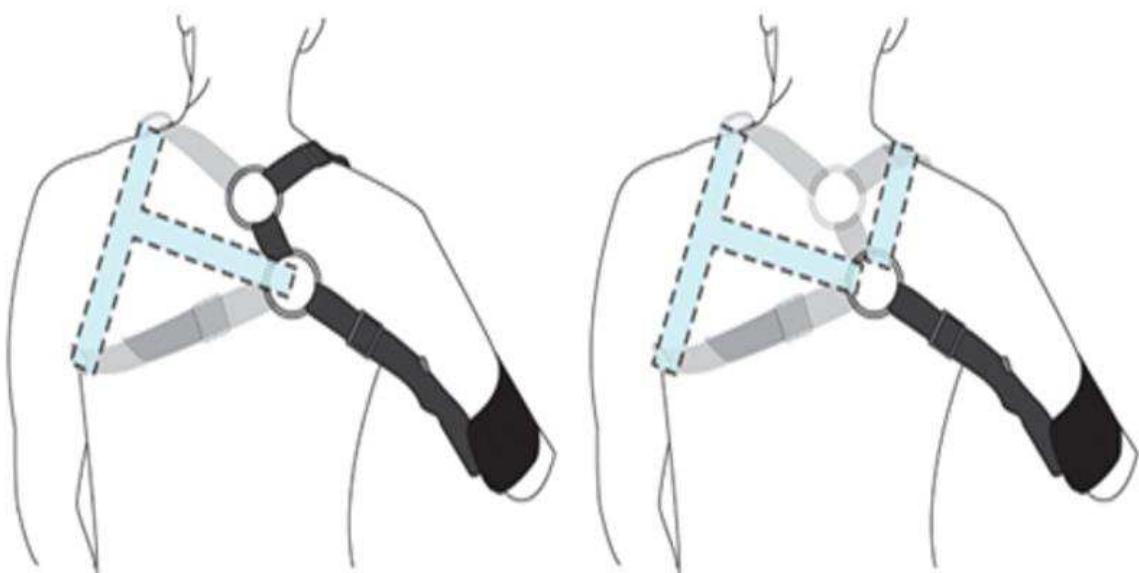


Figura 23 - Modelo para tirante. (SCHOLTEN et al, 2017)

Na Figura 24, abaixo, é possível visualizar o tirante adquirido e a sua correta forma de utilização.



Figura 24 - Tirante adquirido.

Em conjunto com o tirante, tem-se outros dois equipamentos que trabalham em conjunto. O primeiro é um Arduino Nano com um sensor GY-88 conhecido como Unidade de Medição Inercial de 10 graus de liberdade (DOF) e possui diversos sensores de movimento, que são:

- MPU6050 - Combinação de um giroscópio de 3 eixos e um acelerômetro de 3-eixos com processador digital de movimento (DMP);
- HMC5883L - Bússola digital de 3-eixos da fabricante Honeywell;
- BMP085 - Sensor de pressão atmosférica e temperatura da fabricante BOSH.

Para este trabalho foram utilizados os dois primeiros sensores MPU6050 e HMC5883L, que permitem ao dispositivo identificar sua posição e orientação no ambiente real. Com isto é possível rastrear a posição do antebraço do indivíduo no ambiente real e enviar os dados para o computador utilizando uma porta USB, onde os dados serão recebidos, processados e convertidos em novos valores que serão aplicados a prótese virtual, replicando os movimentos realizados no ambiente real. O segundo é um Potenciômetro Deslizante 10K Linear, que está ligado ao cabo do tirante e quando o indivíduo movimenta o ombro, exercendo força sobre o cabo do tirante, este deslizará o potenciômetro na mesma direção que sofrerá um deslocamento e o valor deste deslocamento será enviado para a aplicação que atualizará a cena do jogo abrindo

ou fechando a prótese virtual, na mesma proporção. A Figura 25 apresenta os dois itens já montados em uma pequena caixa que é colocada no antebraço do amputado.

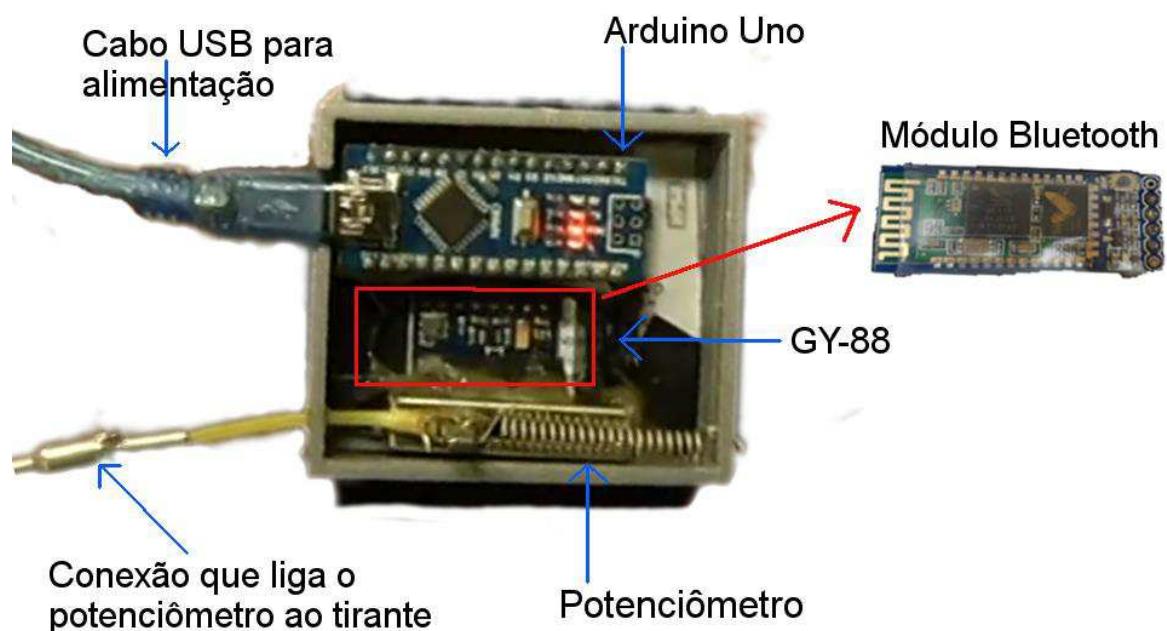


Figura 25 - Arduino e Potenciômetro

A conexão dos sensores com a aplicação é estabelecida devido ao módulo Bluetooth. Na Figura 26, é possível visualizar o resultado da junção do tirante com os sensores. O esquema de montagem dos sensores pode ser visto no Apêndice II. Esta é a estrutura do equipamento a ser utilizada com o jogo sério.

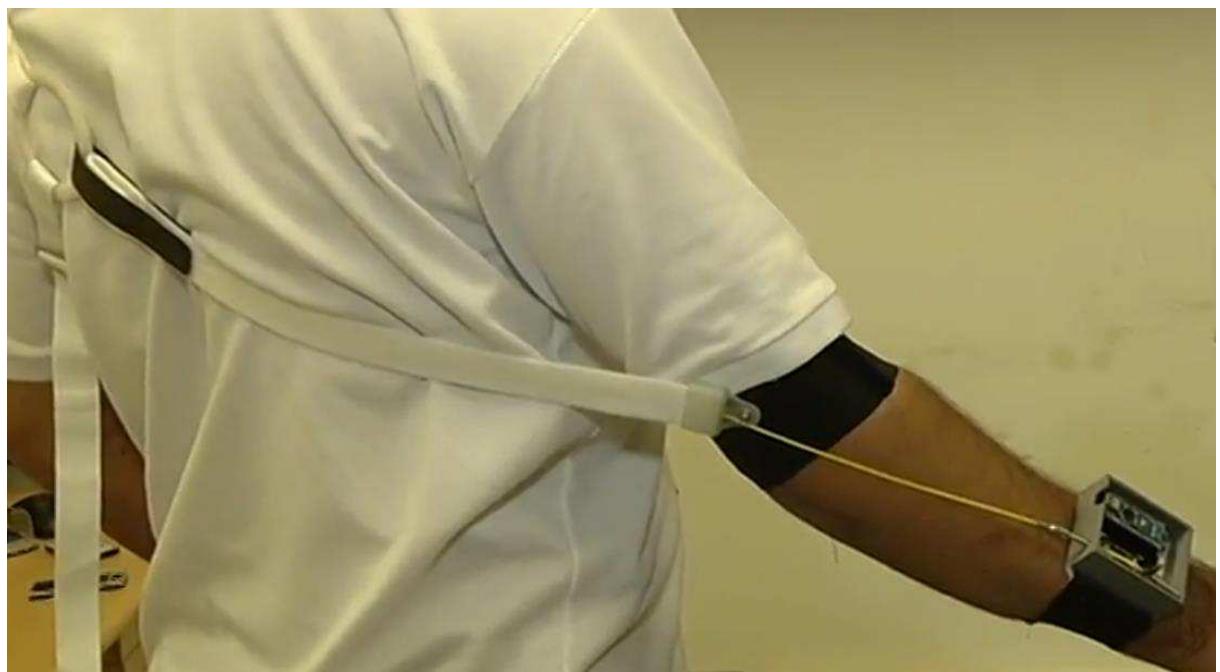


Figura 26 – Estrutura do tirante com sensores.

5.3. AMBIENTE DE TREINAMENTO

O ambiente de treinamento, que foi desenvolvido utilizando o software Unity 3D na sua versão 5.5.0, consiste de cinco níveis diferentes que possuem objetos e dificuldades distintas. O grau de dificuldade avança à medida que o usuário avança de nível.

O protocolo de treinamento a ser executado foi proposto por um profissional da área da saúde. Este protocolo consiste em apresentar ao usuário uma série de atividades em que o mesmo deve mover objetos de tamanhos e formatos distintos de um ponto até ou ponto determinado no ambiente virtual. Os objetos variam entre cilíndricos, esféricos e cúbicos. A Figura 27 apresenta a tela inicial da aplicação, apresentando os cinco níveis existentes, assim como o nível “Calibrar” que consiste de um nível onde é possível testar a conexão com os sensores para garantir que tudo está funcional, não é mandatório acessar esse nível antes de iniciar o jogo.



Figura 27 - Tela inicial do jogo sério

Na Figura 28 é possível visualizar a tela do primeiro nível, onde no canto superior esquerdo está disponível uma barra que apresenta o progresso do jogador, enquanto que no canto superior direito são apresentados a pontuação do jogador e o nível em que ele se encontra. No centro da tela é exibido uma área onde um personagem virtual passa instruções sobre as tarefas ou movimentos que devem ser realizados a seguir. Por fim, é possível visualizar uma barra azul no canto inferior central, esta barra representa a quão fechada ou aberta está a prótese

virtual, quando a barra está totalmente azul indica que a prótese virtual está fechada em seu ponto máximo e quando ela está totalmente cinza indica que a prótese virtual está aberta em seu ponto máximo.

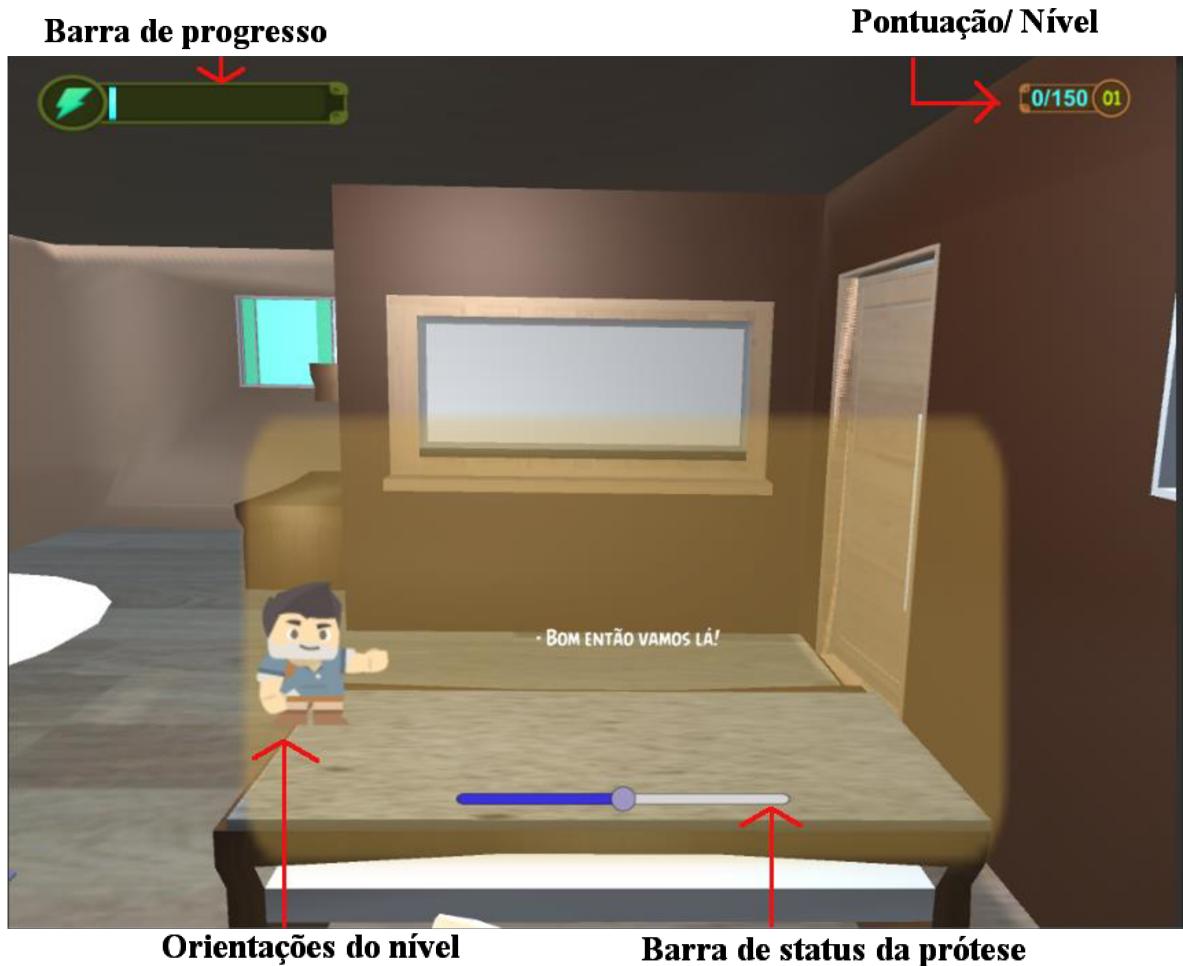


Figura 28 - Componentes da interface do jogo sério

A Figura 29, apresenta a abertura máxima da prótese e o fechamento máximo da prótese. A prótese virtual utilizada neste projeto foi desenvolvida nas mediações da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica em conjunto com os Laboratórios de Engenharia Biomédica e Computação Gráfica. Durante o jogo sério, o usuário deve controlar a abertura/fechamento da prótese por meio do tirante, onde o mesmo acionará o potenciômetro que vai captar os dados da força exercida que depois são interpretados pelo jogo e vão determinar o quanto aberto/fechada a prótese virtual deve estar.

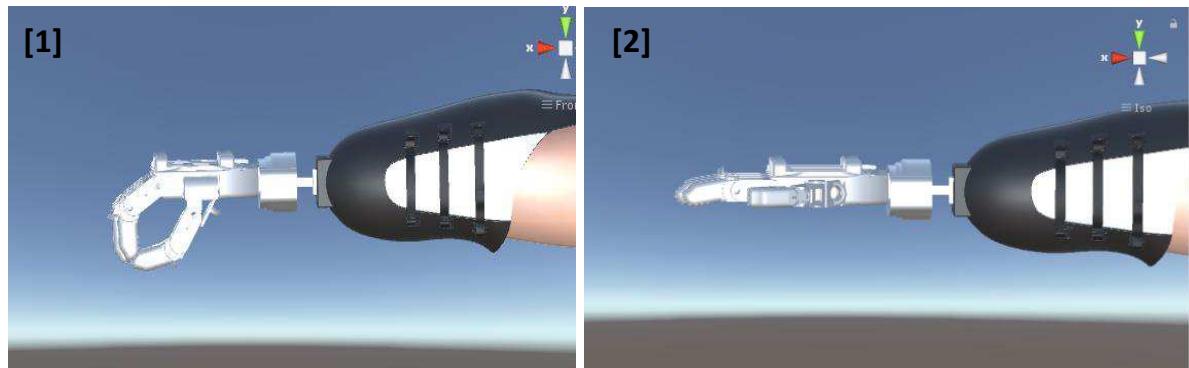


Figura 29 - [1] Fechamento máximo da prótese. [2] Abertura máxima da prótese

O ambiente virtual conta com dois cenários distintos, sendo o primeiro representando uma sala de uma casa (Figura 28) e o segundo representando parte de um escritório (Figura 30). Em ambos os cenários o usuário deve mover os objetos presentes na cena de seu ponto inicial até a área demarcada em azul. Caso o usuário perca o objeto de forma que não seja possível pegá-lo novamente, o jogo irá destruir o objeto existente e instanciar um novo objeto no seu ponto de origem. Um marcador com a quantidade de objetos perdidos é exibido logo ao lado da pontuação, sendo incrementado a cada objeto perdido. O jogo considera que o objeto foi perdido quando este objeto sai da área de alcance do usuário. Esta área é demarcada por um objeto invisível que demarca o espaço que o usuário pode utilizar. Ao fim de cada nível é exibido uma mensagem por ter concluído o nível e o tempo gasto nele.



Figura 30 - Segundo cenário do jogo sério

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo buscou apresentar as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da aplicação, assim como explanar sobre o funcionamento do jogo sério. O trabalho utilizou de dispositivos de entrada diferentes durante seu processo de desenvolvimento. O primeiro foi o Leap Motion, utilizado a medida em que o jogo sério foi desenvolvido para testar as novas implementações, e o segundo foi a junção do tirante com sensores capazes de rastrear o antebraço do usuário e a força exercida durante a movimentação do ombro no tirante. No próximo capítulo, o processo de validação do software, assim como uma discussão sobre os resultados obtidos são apresentados.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é apresentada a metodologia de teste, validação e avaliação de usabilidade do sistema desenvolvido neste trabalho, com o intuito de evidenciar os resultados destacando suas limitações.

6.2. METODOLOGIA DO TESTE

Esta pesquisa faz parte do projeto “Correlatos neurais associados a adaptação e aprendizagem motora” que está registrado na Plataforma Brasil do Ministério da Saúde, sob o CAAE: 60910916.0.0000.5152, tendo como Pesquisador Responsável o Professor Dr. Alcimar Barbosa Soares.

Os testes de validação do sistema foram efetuados nas dependências do bloco de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Santa Mônica. O ambiente montado consistiu de um notebook com um monitor de 24' polegadas e do tirante juntamente com a caixa de sensores apresentada no Capítulo 5. O espaço disponível era grande o suficiente para garantir que os usuários pudessem realizar os movimentos necessários durante o jogo.

A realização dos testes se deu da seguinte forma: em um primeiro instante, os participantes eram informados sobre o objetivo da pesquisa e as etapas que forem desenvolvidas até o presente momento. Logo após, solicitou-se que o participante se sentasse em frente ao monitor com o jogo para que ele colocasse o tirante e fossem feitos os ajustes na posição do tirante e sensores (Figura 31). Após realizar os ajustes no tirante foi apresentado o jogo ao participante explicando sobre o funcionamento e o objetivo das tarefas.

Em seguida, o jogo foi iniciado e foi realizada a calibração dos sensores para cada participante onde o mesmo deve permanecer com o braço aberto na posição horizontal com a

mão apontando para o sentido contrário do corpo. Essa posição permite o correto rastreamento do braço do participante no ambiente real e a sua replicação no ambiente virtual. Após a calibração, o participante já está apto a realizar as tarefas propostas no jogo. O tempo para completar cada nível é livre, ou seja, não há um limite de tempo para concluir o nível, podendo o participante levar o tempo que for necessário. Foi solicitado que o participante completasse no mínimo dois níveis, ainda deve-se levar em consideração que o participante pode apresentar cansaço caso leve muito tempo para completar o nível, nessa situação o participante pode optar por realizar uma pausa ou realizar o teste em outro momento.

Os testes foram realizados com sete usuários não amputados e um usuário amputado (Figuras 32 e 33), possibilitando assim avaliar o sistema com base em diferentes pontos de vista, tendo o ponto de vista do amputado como prioritário. As tarefas a serem realizadas consistiam em mover o objeto em cena do ponto de origem até a área demarcada. Ao fim da realização do teste é aplicado o questionário de avaliação do jogo sério, explicando cada pergunta e os termos específicos presentes de forma que o participante tenha consciência do que se trata cada questão (Apêndice 1). Um vídeo com o participante amputado utilizando o tirante e realizando os primeiros testes com o jogo sério pode ser visualizado no seguinte link: https://youtu.be/b_RNpTFjak.



Figura 31 - Adequação do posicionamento dos sensores

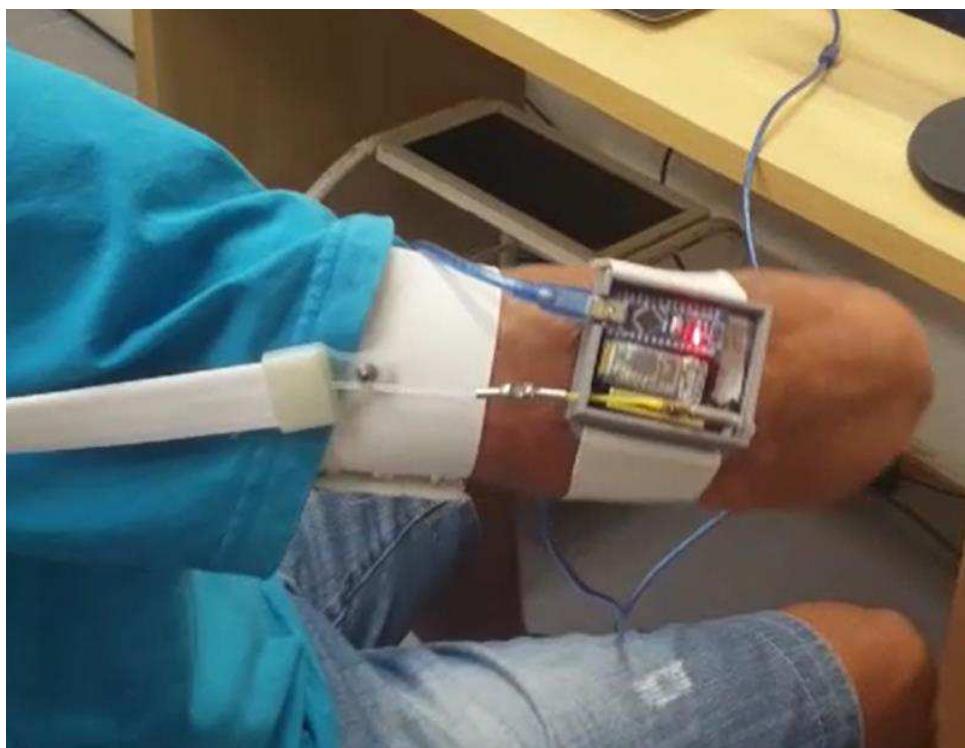


Figura 32 - Amputado com caixa de sensores acoplada



Figura 33 - Amputado com tirante

6.3. ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O desenvolvimento do questionário de avaliação se deu com base nos critérios para avaliação de software apresentados em (ABNT, 2003) que é uma norma para qualidade de produto de software. Ainda, atentou-se às diretrizes sobre usabilidade expressas em (ABNT, 2002). A norma ISO 9126 propõe atributos de qualidade, que estão distribuídos em seis características principais:

- Funcionalidade: evidencia a existência de um conjunto de funções e suas propriedades especificadas;
- Confiabilidade: evidencia a capacidade do software de manter seu nível de desempenho sob condições estabelecidas durante um período de tempo estabelecido;
- Usabilidade: evidencia o esforço necessário para poder utilizar o software;
- Eficiência: evidencia os recursos gastos em relação à acurácia e abrangência com as quais usuários atingem objetivos;
- Manutenibilidade: evidencia o esforço necessário para modificar, remover defeitos ou adaptar o software;
- Portabilidade: evidencia a capacidade do software em ser transferido de um ambiente para outro.

A norma ISO 9241-11 cita que para especificar ou medir a usabilidade é necessário identificar os objetivos e decompor eficácia, eficiência e satisfação e os componentes do contexto de uso subcomponentes com atributos mensuráveis e verificáveis (Figura 34) (ABNT, 2002). No questionário, é possível avaliar as questões em uma escala de 1 a 5, considerando que 1 é uma avaliação negativa e 5 uma avaliação positiva.

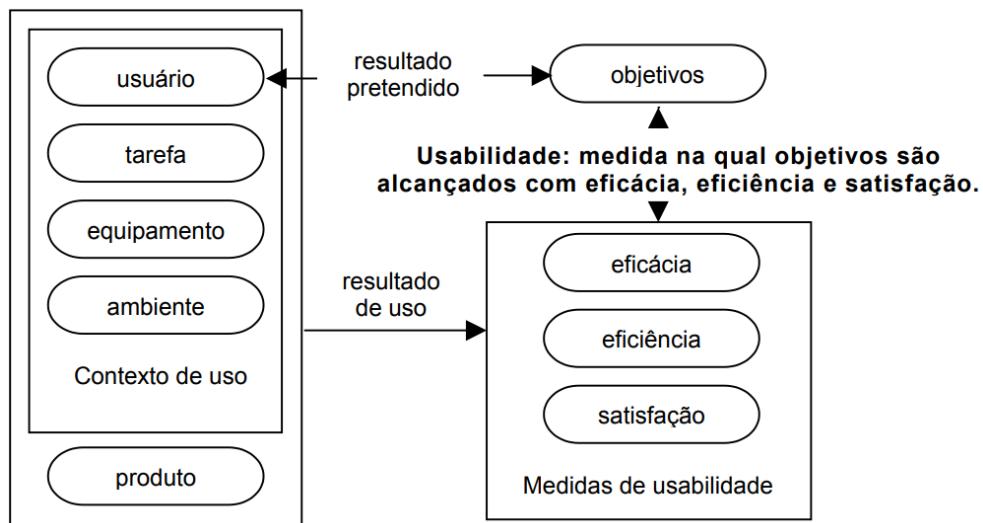


Figura 34 - Estrutura de usabilidade (ABNT, 2002).

6.4. RESULTADOS

O questionário aplicado englobou os seguintes quesitos:

- Usabilidade: evidencia a facilidade de utilização do software;
- Funcionalidade: evidencia que o conjunto de funções atende as necessidades explícitas e implícitas para a finalidade que se destina o software (reabilitação para amputados a fim de minimizar o tempo de adaptação a uma prótese);
- Eficiência: evidencia que os recursos e os tempos envolvidos são compatíveis com o tempo de desempenho requerido para o jogo, neste quesito busca-se identificar se o sistema responde de forma esperada;
- Experiência de Uso: elementos e fatores relativos à interação com o jogo, neste quesito considera-se que imersão está relacionado a quão envolvente é o ambiente.

6.4.1. Usabilidade

No que se refere a usabilidade do software, pode-se notar que é possível compreender o funcionamento do jogo sem a necessidade de grande intervenção externa e dispões de informações de fácil legibilidade, tais como a progressão do nível, pontuação e nível atual. Uma funcionalidade a ser melhorada é a manipulação dos objetos em cena que se demonstrou complicada, levando o usuário a gastar muito tempo para aprender como interagir e manipular os objetos virtuais (Figura 35). A jogabilidade de modo geral apresentou divergências nas avaliações, onde apenas um usuário classificou o jogo como fácil, enquanto que dois usuários o avaliaram como um jogo de dificuldade intermediária (Figura 36).

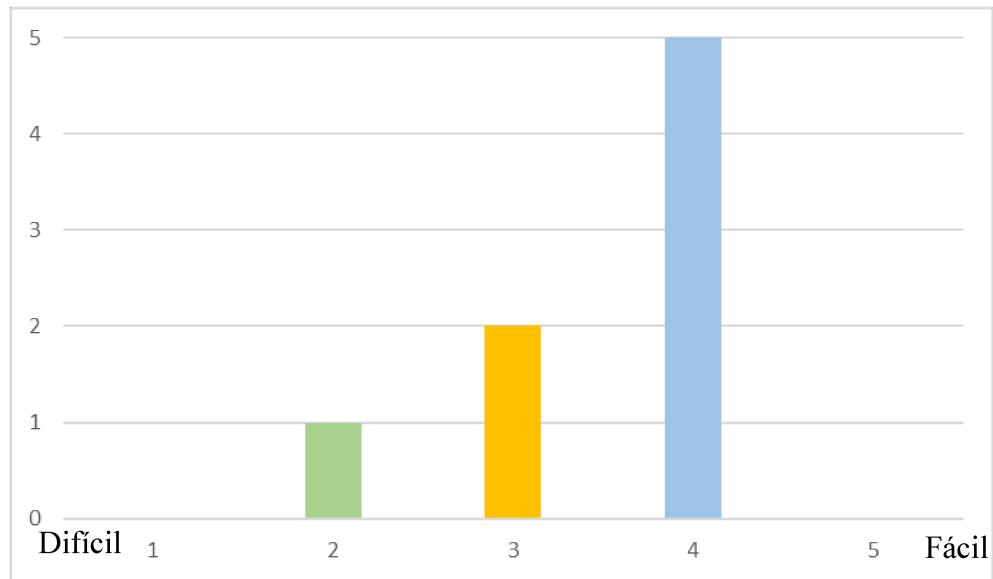


Figura 35 - Avaliação da manipulação dos objetos virtuais

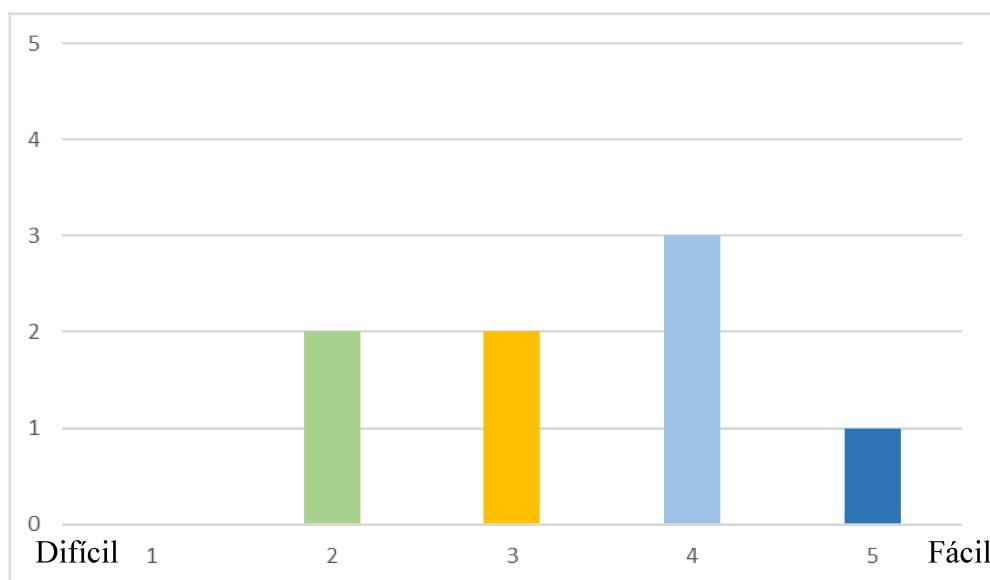


Figura 36 - Avaliação da jogabilidade do jogo sério

Quanto a experiência do amputado, observou-se que ele conseguiu compreender o funcionamento do jogo e considerou que as informações presentes na tela são de fácil legibilidade. Entretanto, ele apontou dificuldade ao realizar a manipulação dos objetos em cena, sendo este um dos pontos que precisa ser aprimorado.

6.4.2. Funcionalidade

No quesito funcionalidade, os usuários consideraram que o jogo atende as necessidades do jogo, alcançando a finalidade proposta de minimizar o tempo de adaptação de um amputado a uma prótese. Três usuários afirmaram que o jogo consegue atender a finalidade, enquanto que

os demais usuários disseram que ele atende, porém ainda há alguns pontos a serem trabalhados (Figura 37). É importante ressaltar que o usuário amputado considerou o jogo como uma grande ajuda no processo de reabilitação e que atende a finalidade proposta.

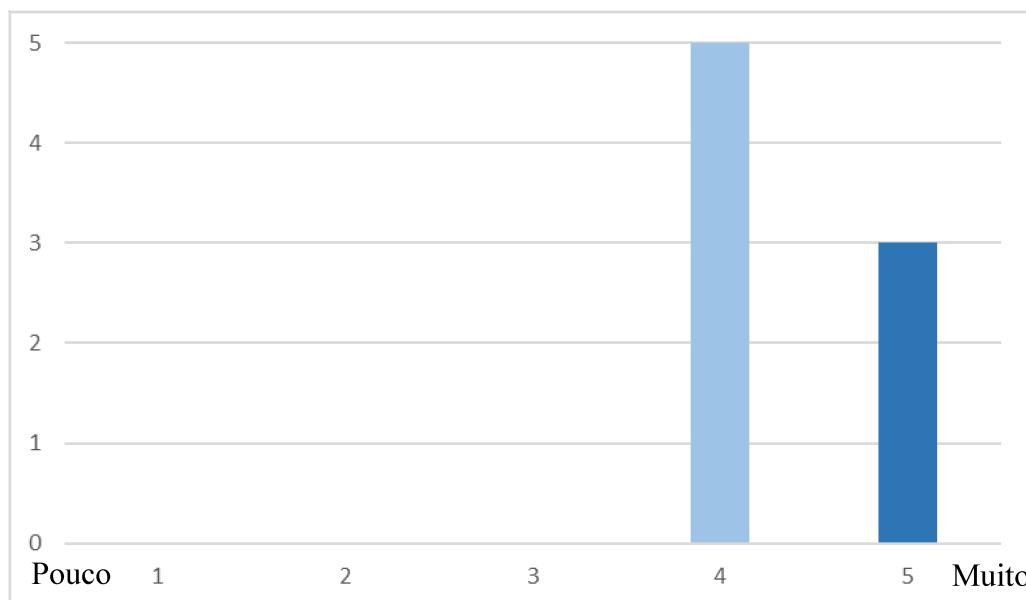


Figura 37 – Avaliação da funcionalidade do jogo sério

6.4.3. Eficiência

No quesito eficiência, houve contribuições importantes para a avaliação do jogo. O tempo de resposta do sistema aos movimentos dos usuários foi considerado rápido (Figura 38), informação que permite-nos concluir que os equipamentos e estrutura adotada se mostraram adequados para a proposta. Entretanto, houve momentos em que a resposta era rápida, mas os movimentos no ambiente virtual não estavam concisos com os movimentos realizados no ambiente real (Figura 39) e devido a isto, os usuários consideraram que o nível de eficiência do jogo não é tão alto quanto o necessário (Figura 40).

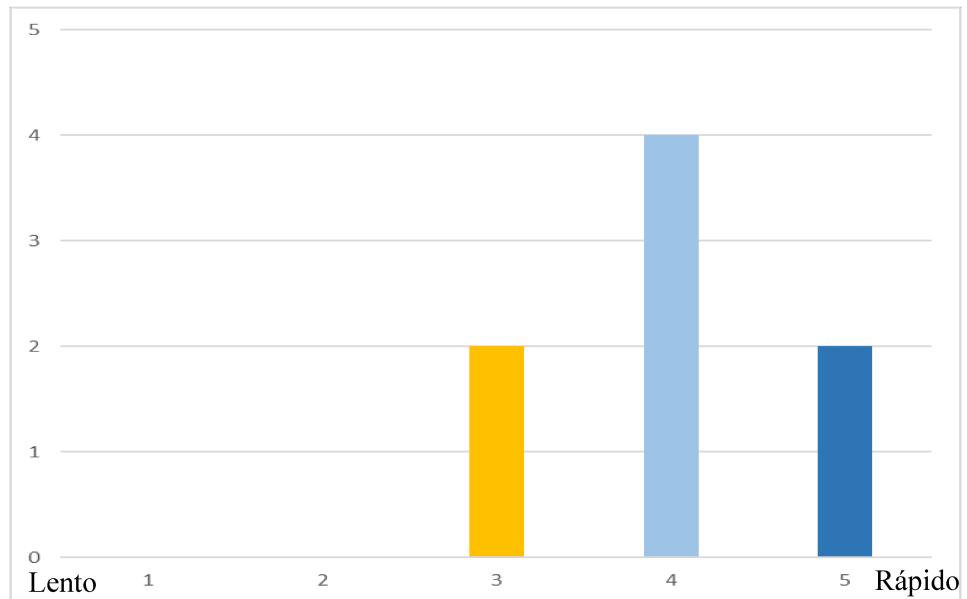


Figura 38 - Avaliação tempo de resposta

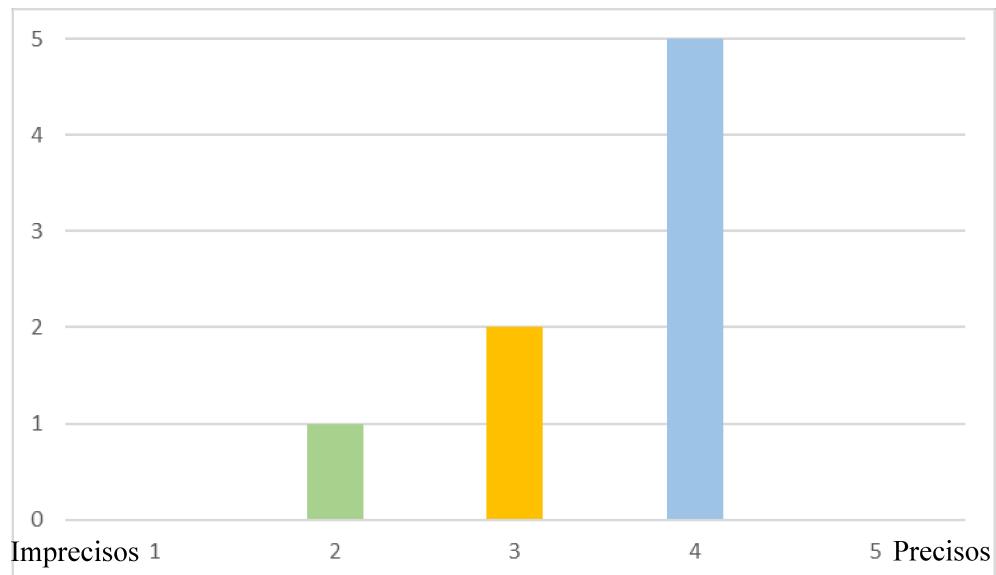


Figura 39 - Avaliação precisão dos movimentos

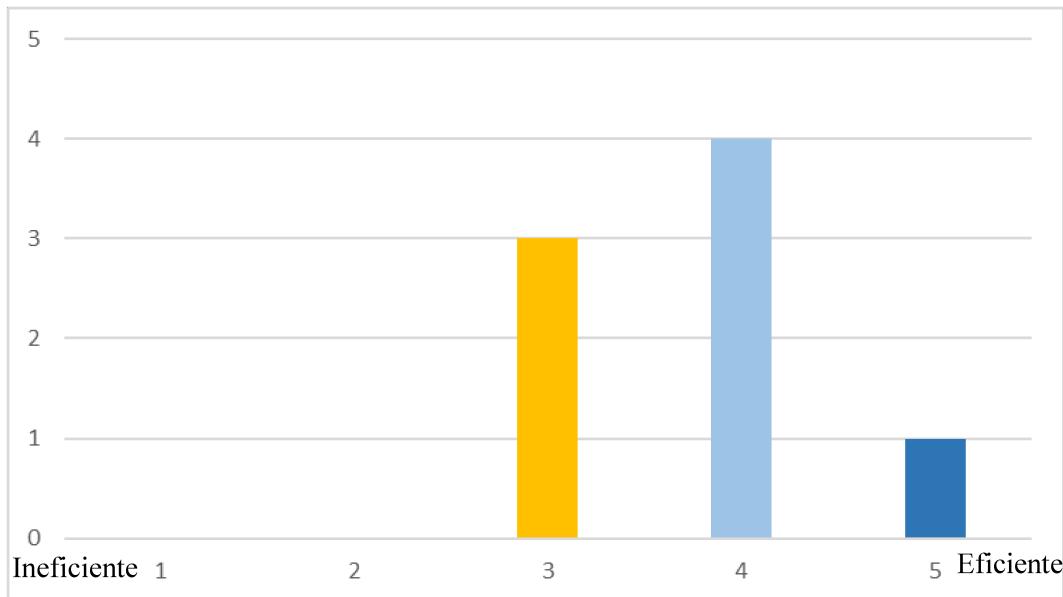


Figura 40 - Avaliação do nível de eficiência

Durante o experimento, o amputado relatou que apesar do tempo resposta ser satisfatório, em alguns momentos a precisão dos movimentos executados não condiz com o esperado o que prejudica a experiência de jogar.

6.4.4. Experiência de uso

No quesito experiência de uso, os usuários consideraram que o jogo apresenta um nível de dificuldade elevada, sendo este uma provável consequência da forma como é feita a interação com os objetos e a perca de precisão em alguns momentos. Os objetos virtuais demonstraram ser fieis aos objetos reais e o jogo proporciona um nível de imersão aceitável (Figura 41), tendo o amputado mencionado que ele sentiu como se estivesse realmente movendo uma prótese posicionada em seu braço. De modo geral, os usuários consideraram o jogo estimulante (Figura 42), característica de grande importância para que os usuários não gerem o desejo de abandonar o ambiente durante seu treinamento.

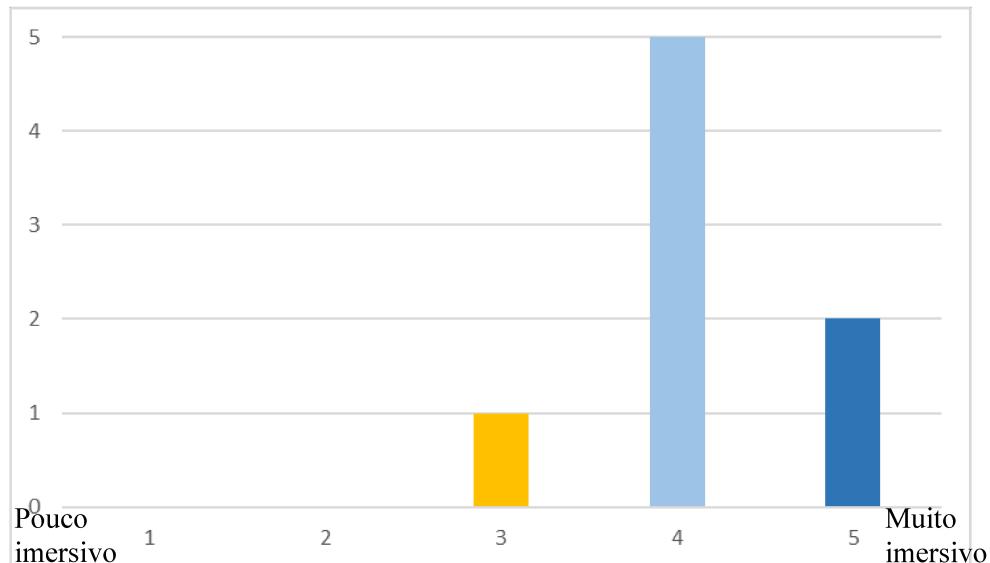


Figura 41 - Avaliação do nível de imersão

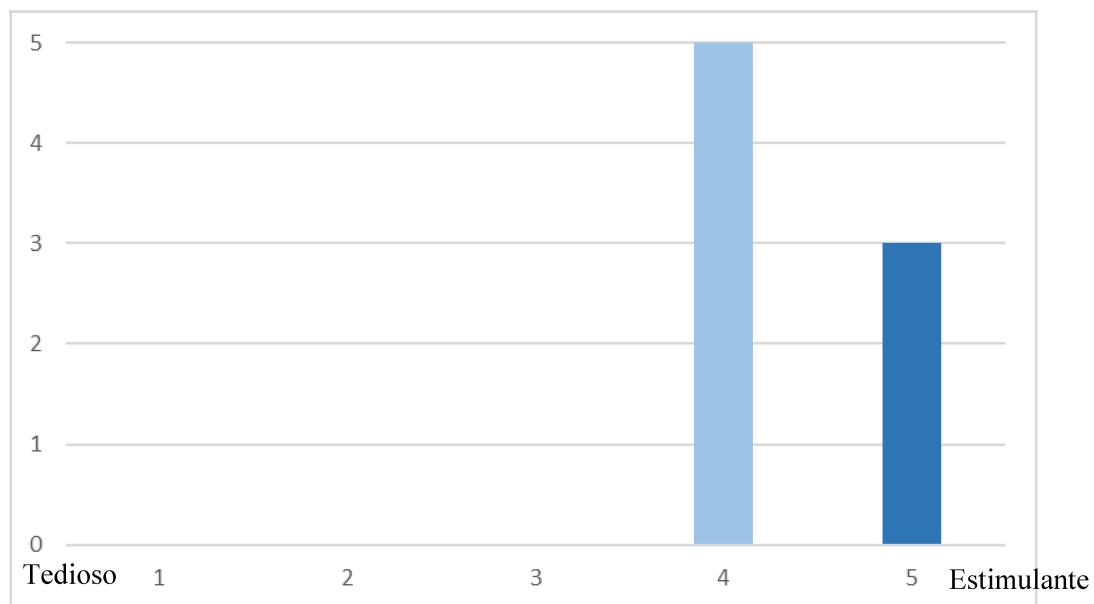


Figura 42 - Avaliação da experiência durante o jogo

Quanto a experiência do amputado, ele considerou que os objetos virtuais são fiéis aos objetos reais proporcionando um nível de imersão ainda maior e uma experiência estimulante, gerando expectativas para novas sessões de treinamento.

6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresentou-se a metodologia adotada para a validação do jogo sério, assim como a discussão das informações obtidas após os testes.

No geral, o jogo apresentou uma aceitação significativa sobre o seu potencial para uso no processo de reabilitação de amputados de membros superiores, tendo como principais vantagens uma interface intuitiva e tempo de resposta aceitável entre os movimentos realizados no ambiente real e virtual. Como características que precisam ser aprimoradas, tem-se a melhoria da precisão dos movimentos realizados e modificação na forma de interação no ambiente virtual, buscando aprimorar os códigos de forma a proporcionar uma interação mais intuitiva com os objetos virtuais.

No próximo capítulo são apresentadas as conclusões deste projeto bem como propostas para trabalhos futuros com base nos dados aqui apresentados.

7. CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs um ambiente virtual de treinamento para amputados de membros superiores a fim de minimizar seu tempo de adaptação a uma prótese real. Este ambiente utiliza um tirante com sensores para captura da força exercida sobre o mesmo e a movimentação do antebraço do usuário como dispositivo de entrada do sistema. Com base nas informações obtidas por meio do questionário, observou-se que os métodos e técnicas utilizadas para o desenvolvimento do jogo sério se mostraram consistentes e adequadas para o propósito proposto.

Conforme citado nos resultados, existem critérios que necessitam ser ajustados e aperfeiçoados para que o jogo alcance um nível mais satisfatório, com foco principal na precisão dos movimentos e interação entre os objetos virtuais. A estrutura desenvolvida para interagir com o ambiente virtual que conta com o tirante e os sensores mostrou-se adequada e importante para o processo de treinamento, visto que o usuário amputado vai se desenvolver durante este processo obtendo maior controle sobre o tirante, o que permitirá a ele reduzir o tempo necessário para se adaptar à sua prótese real.

A ferramenta Unity 3D® se mostrou adequada para o desenvolvimento, visto que o ambiente construído conseguiu passar ao usuário a sensação de estar imerso àquele ambiente. É importante ressaltar que o usuário amputado que realizou os testes afirmou se sentir dentro do ambiente virtual com a sensação de estar realmente movendo uma prótese real.

A aplicação do formulário para avaliação do jogo sério foi uma ferramenta importante para identificar os pontos fortes e os pontos que precisam ser aperfeiçoados para proporcionar ao usuário um nível maior de satisfação e interação com o ambiente virtual. Por fim, com base no feedback fornecido pelos participantes da pesquisa pode-se concluir que o jogo sério desenvolvido se mostrou adequado e com características importantes para o processo de reabilitação de amputados.

7.1. TRABALHOS FUTUROS

Como maneira de aperfeiçoar o sistema para trabalhos futuros, espera-se ajustar e aprimorar as funcionalidades que não demonstraram estar em nível satisfatório de execução, tais como a captura dos movimentos com precisão e a interação entre os objetos virtuais.

Também, considera-se importante realizar uma pesquisa e análise do uso de mais sensores e/ou aquisição de modelos diferentes que sejam mais precisos e a sua substituição na estrutura proposta, identificando os possíveis ganhos de velocidade e precisão no ambiente virtual. Ainda, considera-se a adaptação do jogo sério para seu uso no treinamento com próteses mioelétricas e adição de novos protocolos de treinamento.

Outra possibilidade é o uso de mais um sensor para a captura dos movimentos do braço do usuário, proporcionando a ele mais ângulos de liberdade e um nível mais interação dentro do ambiente virtual com um espaço maior de interação. Além disso, o desenvolvimento de mais níveis para o jogo, trazendo objetos virtuais que se assemelham aos objetos utilizando no cotidiano dos usuários e a geração de um relatório ao fim de cada nível. Por fim, realizar testes com mais amputados a fim de aprimorar o jogo sério, pois para cada tipo de amputação, adequações de interação com o jogo precisam ser realizadas.

REFERÊNCIAS

ABBR. Associação Brasileira Beneficente De Reabilitação. **Relatório Anual 2016**. Disponível em:<http://www.abbr.org.br/abbr/institucional/relatorios_e_balancos.html>. Acesso em: 10 de out. 2017.

ABNT. **ISO 9241-11: Requisitos Ergonômicos para Trabalho de Escritórios com Computadores Parte 11 - Orientações sobre Usabilidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasília. 2002.

ABNT. **NBRISO/IEC9126-1 Engenharia de software - Qualidade de produto - Parte 1: Modelo de qualidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasília. 2003.

BARRAZA-MADRIGAL, J.; RAMIREZ-GARCIA, A. AND MUÑOZ-GUERRERO, R. **A virtual upper limb prosthesis as a training system**. 7th International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICEEE.2010.5608586>.

BOWMAN, D., et al. **3D User Interfaces: Theory and Practice**. Boston, MA: Addison-Wesley, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)**. Disponível em: <<http://datasus.saude.gov.br/sistemas-e-aplicativos/hospitalares/sihsus>>. Acesso em: 29 de abr. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Diretrizes de atenção à pessoa amputada**. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. 1. ed. 1. reimp. – Brasília: Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

BRITO, C. M. M. **Reabilitação de Amputados de Membros Inferiores Epidemiologia e Apresentação de Casos Clínicos**: Aspectos Funcionais e Abordagem Terapêutica. Congresso de Telefisiatria, 2003. Disponível em <<http://www.cbtms.com.br>>. Acesso em: 10 de out. 2017.

CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. **A Realidade Virtual na Educação e Treinamento**. In: TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOUTTO, Robson. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC, 2006. P. 304-312.

CARVALHO, J. A. **Amputações de membros inferiores**: Em busca da plena reabilitação. São Paulo: Manole, 2003.

CONNOLLY, T. M.; STANSFIELD, M.; HAINES, T. **An application of gamesbased learning within software engineering**. British Journal of Educational Technology, vol. 38, no.3, pp. 416—428, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00706.x>.

CREIGHTON, R. H. **Unity 3D Game Development by example**. Mumbay: PAKT, v. 1, 2010.

DAVOODI, R.; LOEB, G. **Development of a Physics-Based Target Shooting Game to Train Amputee Users of Multijoint Upper Limb Prostheses.** Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 21, no. 1, pp. 85-95, 2012. https://doi.org/10.1162/PRES_a_00091.

DERRYBERRY, A. **Serious games:** online games for learning. I'm Serious.net. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/c9bd/36db4fc2f95d4b53aa2021337d0e2ee7ac4f.pdf>>. Acesso em: 04 de out. de 2017.

DIAS, R. S.; SAMPAIO, I. L. A. & TADDEO, L. S. **Fisioterapia x Wii:** a introdução do lúdico no processo de reabilitação de pacientes em tratamento fisioterápico. In: Brasilian Symposium On Games And Digital Entertainment. Rio de Janeiro, 2009.

FOLLMANN, J., BRINHOL, G., TAROUCO, P., SARAÇOL, J.; AMARAL, É. **Realidade Aumentada Aplicada ao Processo de Reabilitação Física de Membro Superior.** XXXVII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.

FRASCA, G. **Play the Message:** Play, Game and Videogame Rhetoric. Ph.D. Dissertation. IT University of Copenhagen. Denmark, Supervisor: Espen Aarseth, 2007.

FREITAS, S.; JARVIS, S. **Serious Games – engaging training solutions:** A research and development project for supporting training needs. British Journal of Educational Technology. Vol. 38, No.3, pp. 523—525, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2007.00716.x>.

GUEDES, G. T. A. **UML 2: Uma abordagem prática.** 2 ed. São Paulo: Novatec, 2011.

HEINS, S.; DEHEM, S.; MONTEDORO, V.; DEHEZ, B.; EDWARDS, M.; STOQUART, G.; ROCCA, F.; DE DEKEN, P.; MANCAS, M.; LEJEUNE, T. **Robotic-assisted serious game for motor and cognitive post-stroke rehabilitation.** 2017 IEEE 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2017.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

KIRNER, C; SISCOUTTO, R.A. Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada. In: ____(org.). **Realidade Virtual e Aumentada:** Conceitos, Projetos e Aplicações. Livro do Pré-Simpósio IX Sysmposium on Virtual and Augmented Reality. Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, Porto Alegre, 2007.

KUTTUVA, M.; BURDEA, G.; FLINT, J.; CRAELIUS, W. **Manipulation Practice for Upper-Limb Amputees Using Virtual Reality.** Presence: Teleoperators and Virtual Environments, vol. 14, no. 2, pp. 175-182, 2005. <https://doi.org/10.1162/1054746053967049>.

LEAP MOTION – **Setup Guide.** Disponível em: <<https://www.leapmotion.com/setup>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

LUPU, R.; BOTEZATU, N.; UNDUREANU, F.; IGNAT, D.; MOLDOVEANU, A. **Virtual reality based stroke recovery for upper limbs using leap motion.** IEEE Xplore Document, pp. 295–299, 2016. <https://doi.org/10.1109/ICSTCC.2016.7790681>.

MACEDONIA, M. **Virtual worlds:** A new reality for treating posttraumatic stress disorder. IEEE Comp. Graph. App., vol. 29, no.1, pp. 86—88, 2009. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.18>.

MAYO, M. **Games for Science and Engineering Education.** Communications of the ACM, vol. 50, no. 7, pp. 31—35, 2007. <https://doi.org/10.1145/1272516.1272536>.

MITGUTSCH, K.; ALVARADO, N. **Purposeful by design?:** a serious game design assessment framework. Proc. Int. Conf. on the Foundations of Digital Games, pp. 121–128, 2012. <https://doi.org/10.1145/2282338.2282364>.

NUMRICH, S. K. **Culture, models, and games:** Incorporating warfare's human dimension. IEEE Intell. Syst., vol. 23, no. 4, pp. 58—61, 2008. <https://doi.org/10.1109/MIS.2008.63>.

O'SULLIVAN, S. B.; Schmitz, T. J. **Fisioterapia: avaliação e tratamento.** In *Fisioterapia: avaliação e tratamento*, 2004.

PERRY, B.; ALPHONSO, A.; TSAO, J.; PASQUINA, P.; ARMIGER, R.; MORAN, C. A **Virtual Integrated Environment for phantom limb pain treatment and Modular Prosthetic Limb training.** 2013 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2013.6662105>.

PORTER, S. B. **Fisioterapia em amputados.** Fisioterapia de Tidy. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005, pp. 508-513.

PRAHM, C.; KAYALI, F.; VUJAKLIJA, I.; Sturma, A.; ASZMANN, O. **Increasing motivation, effort and performance through game-based rehabilitation for upper limb myoelectric prosthesis control.** 2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR), 2017. <https://doi.org/10.1109/ICVR.2017.8007517>.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software.** 6^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

SAWYER, B. **From cells to cell processors:** The integration of health and video games. IEEE Comp. Graph. App., vol. 28, no. 6, pp. 83-85, 2008. <https://doi.org/10.1109/MCG.2008.114>.

SCHOLTEN, S.; ALVIM, J. P.; CAVALCANTE, R. S.; LAMOUNIER, E.; SOARES, A.; CARDOSO, A. **Manufatura De Próteses De Membros Superiores De Baixo Custo Através De Técnicas De Modelagem e Impressão 3D.** In: COBEC-SEB 2017, 2017, Uberlândia. Anais do COBEC-SEB 2017, 2017.

SCHULTHEIS, M.; RIZZO, A. **The application of virtual reality technology in rehabilitation.** Reabilitativos Psychology, vol. 46, no. 3, pp. 296-311, 2001. <https://doi.org/10.1037/0090-5550.46.3.296>.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software.** Addison-Wesley Brasil, 8^a Edição, 2007.

TAKEUCHI, T.; WADA, T.; MUKOBARU, M.; DOI, S. **A Training System for Myoelectric Prosthetic Hand in Virtual Environment**. 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering, 2007. <https://doi.org/10.1109/ICCME.2007.4381964>.

TANNOUS, H.; DAO, T.; ISTRATE, D.; THO, M. **Serious game for functional rehabilitation**. 2015 International Conference on Advances in Biomedical Engineering (ICABME), 2015. <https://doi.org/10.1109/ICABME.2015.7323297>.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Livro do Pré-Simpósio. VIII Symposium on Virtual Reality. Belém, 2006.

VERA, L.; CAMPOS, R.; HERRERA, G.; ROMERO, C. **Computer graphics applications in the education process of people with learning difficulties**. Computers & Graphics, vol. 31, no. 4, pp. 649-658, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2007.03.003>.

ZIELKE, M. A.; EVANS, M. J.; DUFOUR, F.; CHRISTOPHER, T.V.; DONAHUE, J. K.; JOHNSON, P.; JENNINGS, E.; FRIEDMAN, B.; OUNEKEO, P.; FLORES, R. **Serious Games for Immersive Cultural Training: Creating a Living World**. IEEE Comp. Graph. App., vol. 29, no. 2, pp. 49-60, 2009. <https://doi.org/10.1109/MCG.2009.30>.

ZYDA, M. **From Visual Simulation to Virtual Reality to Games**. IEEE Computer. Vol. 38, no. 9, pp. 25—32, 2005. <https://doi.org/10.1109/MC.2005.297>.

Apêndice I

Formulário de Avaliação do Jogo Sério

Nome: _____

Data: / / .

Marque apenas 1(um) espaço em branco para cada questão.

Usabilidade

Evidencia a facilidade de utilização de software.

Assinale a opção que melhor traduz a sua opinião com relação a:

1. Compreensão do funcionamento do jogo:

	1	2	3	4	5	
Confuso						Compreensível

2. Manipulação dos objetos em cena:

	1	2	3	4	5	
Difícil						Fácil

3. Legibilidade das informações presentes na tela:

	1	2	3	4	5	
Pouco legível						Muito legível

4. Jogabilidade, de modo geral:

	1	2	3	4	5	
Difícil						Fácil

Funcionalidade

Evidencia que o conjunto de funções atende as necessidades explícitas e implícitas para a finalidade que se destina o software (reabilitação para amputados a fim de minimizar o tempo de adaptação a uma prótese).

Assinale a opção que melhor traduz a sua opinião.

5. O jogo auxilia no processo de aprendizagem na finalidade proposta?

	1	2	3	4	5	
Pouco						Muito

6. De modo geral, o jogo atende a finalidade proposta?

	1	2	3	4	5	
Pouco						Muito

Eficiência

Evidencia que os recursos e os tempos envolvidos são compatíveis com o tempo de desempenho requerido para o jogo.

7. Tempo de resposta do sistema aos movimentos:

	1	2	3	4	5	
Lento						Rápido

8. Precisão dos movimentos executados durante as atividades:

	1	2	3	4	5	
Imprecisos						Precisos

9. De modo geral, qual o nível de eficiência do jogo?

	1	2	3	4	5	
Ineficiente						Eficiente

Experiência de Uso

Elementos e fatores relativos à interação com o jogo.

10. Nível de dificuldade do jogo

	1	2	3	4	5	
Difícil						Fácil

11. Fidelidade dos objetos virtuais em relação aos reais

	1	2	3	4	5	
Pouco fiel						Muito fiel

12. Nível de imersão do jogo.

	1	2	3	4	5	
Pouco imersivo						Muito imersivo

13. De modo geral, como foi a experiência durante o jogo.

	1	2	3	4	5	
Tedioso						Estimulante

Comentários/Observações:

Apêndice II

Esquema de montagem dos sensores

