

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**MAURÍCIO DE SOUZA REALAN ARRIEIRA**

**VICTUS: UMA SOLUÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA NA  
REABILITAÇÃO FÍSICA DE INDIVÍDUOS AMPUTADOS DE  
MEMBROS INFERIORES**

**Bagé  
2017**

**MAURÍCIO DE SOUZA REALAN ARRIEIRA**

**VICTUS: UMA SOLUÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA NA  
REABILITAÇÃO FÍSICA DE INDIVÍDUOS AMPUTADOS DE  
MEMBROS INFERIORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Bacharelado em Engenharia de  
Computação como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de  
Computação.

Orientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral  
Co-orientador: Julio Saraçol Domingues Junior

**Bagé  
2017**

**AB8Cx5 Arrieira, Maurício de Souza Realan**

**Victus: Uma Solução Computacional Aplicada na Reabilitação Física de Indivíduos Amputados de Membros Inferiores / Maurício de Souza Realan Arrieira.** – junho, 2017.

102 f.: il.

**Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Engenharia de Computação, 2017.**

**“Orientação: Érico Marcelo Hoff do Amaral; Co-orientação: Julio Saraçol Domingues Junior”.**

**1. Computação Aplicada. 2. Monitoramento Automatizado. 3. Pacientes Amputados. 4. Reabilitação Física. I. Título.**

**MAURÍCIO DE SOUZA REALAN ARRIEIRA**

**VICTUS: UMA SOLUÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA NA  
REABILITAÇÃO FÍSICA DE INDIVÍDUOS AMPUTADOS DE  
MEMBROS INFERIORES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Bacharelado em Engenharia de  
Computação como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de  
Computação.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de julho de 2017.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral  
Orientador

---

Prof. Dr. Milton Roberto Heinen  
Universidade Federal do Pampa

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Sandra Dutra Piovesan  
Universidade Federal do Pampa

## RESUMO

Ao longo dos últimos anos, o número de soluções computacionais aplicadas na área da saúde tem aumentando significativamente, e cada vez mais estão sendo desenvolvidas aplicações que vão desde o monitoramento de pacientes ao auxílio no processo de diagnóstico de uma determinada enfermidade. Ao mesmo tempo, o processo de reabilitação física de indivíduos amputados, especialmente, amputados de membros inferiores se denota como uma área onde o acompanhamento do progresso do paciente, de maneira efetiva, é fundamental na recuperação do paciente e na retomada de suas atividades diárias. Desta forma, este trabalho apresenta a proposta de uma solução computacional que provenha aos profissionais de fisioterapia um recurso para o acompanhamento automatizado do progresso no tratamento de reabilitação física de pacientes com algum tipo de amputação de membro inferior. O objetivo central é construir a solução baseada na integração de sensores, da plataforma de prototipagem eletrônica de hardware Arduíno e de um software, e desta forma monitorar sessões de exercícios físicos realizados pelos pacientes em uma bicicleta ergométrica. Assim sendo, como resultado, se espera que o sistema desenvolvido possa auxiliar os fisioterapeutas na avaliação do progresso do paciente ao longo do tratamento, de maneira eficiente, atuando como um recurso inovador para o acompanhamento automatizado do tratamento de reabilitação física.

**Palavras-chave:** Computação Aplicada. Monitoramento Automatizado. Pacientes Amputados. Reabilitação Física.

## ABSTRACT

Over the last few years, the number of computerized solutions applied in the health area has increased significantly, and increasingly applications are being developed ranging from monitoring patients to help in the process of diagnosing a particular disease. At the same time, the process of physical rehabilitation of amputees, especially amputees of the lower limbs, is denoted by an area where monitoring of the patient's progress, in an effective way, is fundamental in recovering the patient and resuming their daily activities. In this way, this work presents the proposal of a computational solution, which provides physiotherapy professionals with a resource for the automated monitoring of progress in the physical rehabilitation treatment of patients with some type of lower limb amputation. The central goal is to build the solution based on sensor integration, the Arduino hardware electronic prototyping platform and software, and thus monitor physical exercise sessions performed by patients on an exercise bike. Thus, as a result, it is expected that the developed system can assist the physiotherapists in assessing the progress of the patient throughout the treatment, efficiently, acting as an innovative resource for the automated monitoring of physical rehabilitation treatment.

**Keywords:** Applied Computing, Automated Monitoring, Amputated Patients, Physical Rehabilitation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Principais Níveis de Amputação de Membros Inferiores .....	17
Figura 2	Exemplos de Próteses Transtibial e Transfemural.....	18
Figura 3	Exemplo de RV Aplicada no Processo de Reabilitação Física .....	23
Figura 4	Estrutura Básica de um Microcontrolador.....	25
Figura 5	Exemplos de Plataformas de Prototipagem de Hardware.....	26
Figura 6	Diferentes Versões da Plataforma Arduino .....	27
Figura 7	Exemplos de Sensores Utilizados com o Arduino.....	29
Figura 8	Exemplo de Utilização do Sistema de Monitoramento W3DM .....	30
Figura 9	Exemplo de Utilização da Ferramenta Running Wheel .....	32
Figura 10	Exemplo de Utilização da Solução Cybercycle .....	33
Figura 11	Metodologia Representada em um Diagrama de Atividades .....	37
Figura 12	Representação Conceitual da Solução Proposta.....	38
Figura 13	Diagrama Representado as Etapas de Construção da Solução .....	39
Figura 14	Identidade Visual do Projeto Victus .....	40
Figura 15	Diagrama Representando a Obtenção das Informações .....	41
Figura 16	Diagrama de Casos de Uso do Sistema .....	44
Figura 17	Diagrama de Casos de Uso do Usuário .....	45
Figura 18	Diagrama de Casos de Uso de uma Nova Sessão.....	45
Figura 19	Diagrama de Classes Conceitual da Solução.....	46
Figura 20	Diagrama de Casos de Uso do Nô Sensor .....	47
Figura 21	Plataforma Arduino Mega 2560 Utilizada no Projeto .....	48
Figura 22	Sensor de Efeito Hall.....	49
Figura 23	Sensor de Pulso Amped .....	49
Figura 24	MyoWare Muscle Sensor.....	50
Figura 25	Diagrama de Sequência Representando a Coleta de Dados .....	51
Figura 26	Tela Inicial do Sistema Victus .....	52
Figura 27	Tela de Monitoramento de Sessão do Sistema Victus .....	53
Figura 28	Tela de Resultados da Sessão do Sistema Victus.....	53
Figura 29	Tela de Gráficos da Sessão do Sistema Victus.....	54
Figura 30	Diagrama de Navegação do Sistema Victus .....	55

Figura 31	Modelo Entidade de Relacionamento do Sistema Victus .....	56
Figura 32	Sistemática dos Testes Realizados na Etapa 1 .....	58
Figura 33	Posicionamento dos Sensores Hall e Amped .....	59
Figura 34	Realização do Teste de Validação do Módulo de Coleta de Dados .....	59
Figura 35	Realização de Testes com Pacientes .....	63
Figura 36	Coletas e Monitoramento dos Testes com Pacientes .....	63
Figura 37	Avaliação da Questão 1.....	65
Figura 38	Avaliação da Questão 2.....	65
Figura 39	Avaliação da Questão 3.....	66
Figura 40	Avaliação da Questão 4.....	66
Figura 41	Avaliação da Questão 5.....	67
Figura 42	Avaliação da Questão 6.....	67
Figura 43	Avaliação da Questão 7.....	68
Figura 44	Avaliação da Questão 8.....	68
Figura 45	Resultado Médio do Questionário Para as Questões de 1 a 8.....	69

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Frequência de Causas de Amputação Registradas pelo SUS em 2011 .....	16
Tabela 2	Comparação entre a Solução Victus e as Ferramentas Relacionadas.....	34
Tabela 3	Requisitos Funcionais do Sistema.....	43
Tabela 4	Requisitos Não Funcionais do Sistema .....	44
Tabela 5	Precisão do Módulo de Coleta de Dados.....	61
Tabela 6	Pacientes Selecionados para Participação nos Experimentos.....	62

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BPM	Batimentos por Minuto
EMG	Eletromiografia
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IOT	Internet das Coisas
JVM	Máquina Virtual Java
MIPS	Milhões de Instruções por Segundo
MS	Ministério da Saúde
RAM	Memória de Acesso Aleatório
RV	Realidade Virtual
SRF	Serviço de Reabilitação Física
SUS	Sistema Único de Saúde
UML	Linguagem de Modelagem Unificada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Problema de Pesquisa .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>13</b>
1.2.1 Objetivo Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>1.3 Estrutura do Documento.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Procedimentos de Amputação e de Protetização .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Amputação: Definição e Causas .....	15
2.1.2 Níveis de Amputação .....	16
2.1.3 Protetização.....	17
<b>2.2 Processo de Reabilitação Física .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Terapia Convencional.....	19
2.2.2 Tratamento em Amputados.....	20
<b>2.3 Computação Aplicada à Saúde .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4 Microcontroladores.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Arduino .....</b>	<b>26</b>
<b>2.6 Sensores.....</b>	<b>28</b>
<b>2.7 Trabalhos Correlatos .....</b>	<b>30</b>
2.7.1 W3D3 .....	30
2.7.2 Running Wheel .....	31
2.7.3 Cybercycle .....	32
2.7.4 Análise Comparativa.....	33
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
<b>4 PROJETO VICTUS.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Projeto.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 Indicadores .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Modelagem do Sistema .....</b>	<b>43</b>
<b>4.4 Desenvolvimento.....</b>	<b>46</b>
4.4.1 Nó Sensor.....	47

4.4.2 Software .....	51
4.4.3 Banco de Dados .....	55
<b>5 TESTES E RESULTADOS PARCIAIS .....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Etapa 1 - Avaliação de Precisão do Sistema.....</b>	<b>57</b>
5.1.1 Concepção dos Testes .....	57
5.1.2 Resultados e Discussões .....	60
<b>5.2 Etapa 2 - Validação do Sistema Victus e Testes Com Pacientes.....</b>	<b>62</b>
5.2.1 Grupo Experimental e Descrição dos Experimentos .....	62
5.2.2 Avaliação da Solução .....	64
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A — DOCUMENTO DE REQUISITOS E CASOS DE USO.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE B — DOCUMENTO DE PLANO DE TESTES .....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE C — DOCUMENTO DE SOFTWARE.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE D — QUESTIONÁRIO - PROFISSIONAIS .....</b>	<b>100</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há uma série de situações na medicina em que conhecer com precisão as características de movimento das pessoas é realmente útil devido ao seu impacto no diagnóstico, monitoramento e compreensão de interrupções e patologias. Na medicina esportiva, os movimentos dos atletas precisam ser monitorados a fim de melhorar seu desempenho esportivo ou corrigir problemas que podem causar danos futuros, assim explicam Callejas-Cuervo et al., (2016).

Em saúde ocupacional, conhecer as características de movimento das pessoas permite avaliar problemas posturais relacionados ao seu trabalho, bem como realizar atividades para reduzir o impacto de danos por meio de modelos de terapia ocupacional. Em uma análise mais específica, uma avaliação mais precisa dos movimentos de um indivíduo pode ser utilizado na reabilitação física e na avaliação do progresso de diferentes tipos de pacientes (CALLEJAS-CUERVO et al., 2016).

Dentro desta realidade, em todo o mundo existem milhões de pessoas que vivem com algum tipo de deficiência motora, causadas por acidentes ou qualquer tipo de lesão ou enfermidade. Infelizmente a readaptação destes pacientes é geralmente um processo lento, desmotivador e muitas vezes avaliado com imprecisão (MATOS et al., 2014). Considerando estas circunstâncias, uma das principais e mais desafiadoras áreas de tratamento é a readaptação de pessoas que passaram por amputações, mais especificamente amputações de membros inferiores.

Analizando este contexto, é possível apontar o notório crescimento tecnológico aplicado nos diversos ramos da ciência. Em particular, a área da saúde tem sido bastante beneficiada pelos avanços da computação. De fato, a computação tem auxiliado os profissionais tanto no diagnóstico preciso e na intervenção adequada, como também no processo de reabilitação física de pacientes (NOGUEIRA et al., 2014).

Avaliando a conjuntura apresentada, este trabalho se propõem a apresentar uma solução computacional aplicada no processo de reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores. Considerando a relevância do tema dentro da sociedade e do desenvolvimento de um projeto interdisciplinar envolvendo não só conceitos referentes a área da computação mas também apresentando definições referentes a área da reabilitação física.

## **1.1 Problema de Pesquisa**

É possível implementar uma solução computacional efetiva, utilizando software e hardware, que disponibilize aos profissionais de fisioterapia um acompanhamento automatizado do processo de reabilitação física, em pacientes que passaram por cirurgias para amputação de membros inferiores, e que ainda auxilie estes profissionais na avaliação dos resultados obtidos durante o tratamento?

## **1.2 Objetivos**

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral do projeto, proposto a partir da definição do problema de pesquisa e, também, os objetivos específicos que se espera alcançar ao longo do desenvolvimento do projeto.

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral é propor uma solução computacional, baseada na integração de sensores, da plataforma de prototipagem eletrônica de hardware Arduíno e de um software, que provenha aos profissionais de fisioterapia um recurso para o acompanhamento do progresso no tratamento de reabilitação física de pacientes com algum tipo de amputação de membro inferior.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

São definidos como objetivos específicos os seguintes itens:

- Levantamento e estudo do estado da arte referente aos temas envolvidos no desenvolvimento do projeto;
- Definição dos requisitos do sistema;
- Desenvolvimento da modelagem do projeto, tendo como base os requisitos definidos;
- Construção do nó sensor, ou seja, o módulo de coleta de dados;
- Testes e validação do nó sensor;

- Construção do software;
- Testes e validação do software;
- Construção de uma solução que tenha como base a integração do nó sensor e do software, para o monitoramento automatizado de sessões de exercícios físicos;
- Definição do universo/público alvo para participação nos testes da pesquisa;
- Validação e testes da solução desenvolvida;
- Discussão e análise dos resultados.

### **1.3 Estrutura do Documento**

O documento está estruturado em seis capítulos e, além destes, possui ainda uma seção de referências bibliográficas e quatro documentos adicionados como apêndices. Além do capítulo de Introdução contendo o problema de pesquisa e os objetivos, o documento apresenta os seguintes capítulos: Referencial Teórico no capítulo 2; Metodologia no capítulo 3; no capítulo 4 a descrição do Projeto; Testes e Resultados no capítulo 5; Por fim, no capítulo 6 as Conclusões.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste capítulo serão abordados alguns conceitos relevantes acerca dos temas que envolvem o desenvolvimento deste trabalho. Assim sendo, será apresentada uma fundamentação teórica sobre: procedimentos de amputação e de protetização, fundamentos do processo de reabilitação física, computação aplicada na área da saúde, utilização de microcontroladores, plataforma de prototipagem de hardware Arduino, sensores e por fim, um estudo de trabalhos correlatos.

### **2.1 Procedimentos de Amputação e de Protetização**

Para o entendimento desta solução é conveniente reconhecer alguns conceitos básicos relacionados a área de reabilitação física de indivíduos amputados, como: características do processo de amputação, os diferentes níveis de amputação e também abordagens aplicadas na fase de protetização.

#### **2.1.1 Amputação: Definição e Causas**

De acordo com o Ministério da Saúde (MS) amputação é o termo utilizado para definir a retirada total ou parcial de um membro, sendo este um método de tratamento para diversas doenças. É importante salientar que a amputação deve ser sempre encarada dentro de um contexto geral de tratamento e não como a sua única parte, cujo intuito é prover uma melhora da qualidade de vida do paciente.

Existe uma grande dificuldade na aferição de números precisos que indiquem uma relação de indivíduos amputados no planeta, isto devido principalmente ao pequeno número de informações sobre o tema em países menos desenvolvidos. Entretanto, em 2008 a população mundial era de aproximadamente 6,7 bilhões, onde estima-se que a incidência de amputações era de 1,5 por 1000 pessoas. Nesse cenário avalia-se um número de aproximadamente 10 milhões de amputados na população mundial (LEBLANC, 2008).

Já no Brasil, estima-se que as amputações do membro inferior correspondam a 85% de todas as amputações de membros, apesar de não haver informações totalmente precisas sobre este assunto no contexto nacional. Em 2011, cerca de 94% das amputações realizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS) foram em membros inferiores (MS, 2013).

Ao encontro desta realidade, O'Sullivan et al., (2010) apontam que aproximadamente 80% das amputações de membros inferiores são realizadas em pacientes com doença vascular periférica e/ou diabetes. As amputações por causas traumáticas prevalecem em acidentes de trânsito e ferimentos por arma de fogo, sendo essa a segunda maior causa. Entre as amputações não eletivas, o trauma é responsável por cerca de 20% das amputações de membros inferiores, sendo 75% dessas no sexo masculino. Assim, na Tabela 1 estão apresentadas a frequência de causas de amputação registradas pelo SUS em 2011, segundo dados do Ministério da Saúde (2013).

Tabela 1: Frequência de Causas de Amputação Registradas pelo SUS em 2011

	<b>Causas</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
1	Causas externas	16.294	33,1
2	Algumas doenças infecciosas e parasitárias	8.808	17,9
3	Algumas doenças do aparelho circulatório	7.905	16,1
4	Diabetes	6.672	13,6
5	Gangrena (não classificada em outra parte)	5.136	10,4
6	Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo	2.961	6,0
7	Neoplasias	957	1,9
8	Doenças da pele e do tecido subcutâneo	230	0,5
9	Malformações congênitas e anomalias cromossômicas	202	0,4
	<b>total</b>	<b>49.165</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado de SIHSUS (2011).<sup>1</sup>

### 2.1.2 Níveis de Amputação

Ao se realizar uma amputação, deve-se ter cuidadosa consideração à escolha do nível. O intuito da definição do nível de amputação é preservar tanto comprimento quanto possível do membro, assim, deve ser escolhido um nível que assegurará boa cicatrização, com adequada cobertura da pele e sensibilidade preservada (DE, 2002).

Um nível será tanto mais adequado quanto melhor se prestar a adaptação a uma prótese funcional, uma vez tendo sido satisfeitas as exigências relativas à sua escolha de acordo com a idade, com a etiologia<sup>2</sup> e a necessidade da amputação (LIANZA, 1995). Desta forma, os níveis de amputação podem ser classificados da seguinte maneira:

- **Níveis de Amputação do Membro Superior:** (i) Desarticulação de Ombro; (ii) Transumeral; (iii) Desarticulação do Cotovelo; (iv) Transradial; (v) Desarticulação do Punho; (vi) Transcarpiana.

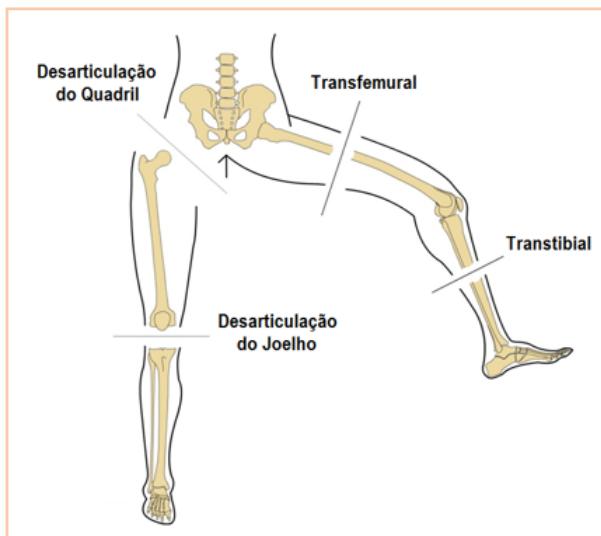
<sup>1</sup>Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes\\_atencao\\_pessoa\\_amputada.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf)>

<sup>2</sup>Etiologia: na linguagem médica, significa o estudo das causas e fatores de uma doença.

- **Níveis de Amputação do Membro Inferior:** (i) Hemipelvectomia; (ii) Desarticulação do Quadril; (iii) Transfemural; (iv) Desarticulação do Joelho; (v) Transtibial; (vi) Desarticulação do Tornozelo; (vii) Syme; (viii) Parcial do Pé.

Especialmente no contexto dos membros inferiores, a Figura 1 demonstra de maneira ilustrativa a representação dos principais níveis de amputação de membros inferiores.

Figura 1 – Principais Níveis de Amputação de Membros Inferiores



Fonte: Adaptado de Damian Rispoli (2010).<sup>3</sup>

Dentre os níveis de amputação, as cirurgias mais frequentes são as de tipo Transtibial e Transfemural, avaliando que as amputações de membros inferiores ocorrem em maior número do que as amputações de membros superiores. A amputação Transtibial é definida como a retirada total ou parcial de um membro. Esse tipo de amputação, apesar de acarretar transtornos físicos e psicológicos ao paciente, é considerado como sendo de bom nível posicional, principalmente, para reabilitação e indicação de próteses (PASTRE et al., 2005). Já a amputação Transfemural refere-se a toda amputação realizada entre a articulação do joelho e quadril (RA, 2006).

### 2.1.3 Protetização

Após a amputação, deve ser iniciado o enfaixamento compressivo do coto para reduzir e evitar o aumento do edema residual, estimular o metabolismo do coto e modelar e preparar o coto para futura protetização (MS, 2013). Neste sentido, nem todos os indiví-

<sup>3</sup>Disponível em: <<http://fisioblog.blogs.sapo.pt/amputacao-causas-e-tipos-9095>>

duos amputados, independente do desejo pessoal, serão candidatos a protetização, devido ao fato de não possuírem condições fisiológicas para a deambulação com a prótese, principalmente, nos níveis transfemurais. O processo de aceitação da prótese também é uma das fases importantes para a protetização, pois através dela o paciente poderá ter muitas de suas atividades de vida diária retomada (SUSAN; O'SULLIVAN, 2010).

É importante orientar o indivíduo a calçar e retirar a prótese e, no caso das próteses de membros inferiores, indicar como realizar a transferência de peso para o membro protetizado, subir e descer escadas e rampas, sentar e levantar, desviar de obstáculos e andar em terrenos irregulares (MS, 2013). Quanto as próteses especificamente, Vilagra e seus colegas (2011) apontam que hoje em dia diferentes materiais são utilizados para a constituição das mesmas, onde a procura é extensa por materiais mais leves e resistentes para facilitar sua utilização e proporcionar maior adaptação ao paciente.

As próteses podem ser divididas em dois tipos, as convencionais e modulares. As próteses convencionais são caracterizadas por terem uma estrutura rígida, confeccionadas em resina, madeira ou plástico. Apresentam a vantagem de serem mais resistentes e não precisarem de muita manutenção, entretanto, desfavorecem o lado estético. As próteses modulares apresentam características opostas às anteriormente citadas, onde sua estrutura interna é tubular com componentes mecânicos de aço, titânio, fibra de carbono ou alumínio (VILAGRA et al., 2011). Desta forma, a Figura 2 apresenta dois exemplos de próteses, uma do tipo Transtibial e outra Transfemural.

Figura 2 – Exemplos de Próteses Transtibial e Transfemural



Fonte: Adaptado de Ethnos (2017).<sup>4</sup>

Assim, o tipo de prótese também é de suma importância para recuperação do indivíduo. Portanto, à medida que um paciente já foi submetido a cirurgia para amputação

<sup>4</sup>Disponível em: <<http://ethnos.com.br/proteses>>

de um membro, e também, já passou pela fase de protetização, a próxima atividade a ser realizada é a reabilitação física.

## **2.2 Processo de Reabilitação Física**

Esta seção é dedicada a apresentação de conceitos referentes ao processo de reabilitação física, especificamente, os fundamentos da terapia convencional de fisioterapia e as especificações para o tratamento em indivíduos amputados.

### **2.2.1 Terapia Convencional**

Tradicionalmente, uma grande parcela de terapia fisioterapêutica e avaliação de reabilitação de pacientes é baseada na observação e julgamento de um terapeuta. Os métodos de avaliação dependem fortemente da avaliação visual dos terapeutas de como o doente está executando uma tarefa padrão. Este processo necessita de um fisioterapeuta treinado, assim, este profissional irá, por determinado período, realizar o acompanhamento do progresso do paciente ao longo do tratamento (HONDORI; KHADEMI, 2014).

DeLisa et al., (2005) explicam que tal como acontece com os ramos da medicina, o fundamento principal da medicina de reabilitação é uma avaliação meticulosa do progresso do paciente. A intervenção terapêutica deve basear-se na avaliação adequada do indivíduo. Entretanto, a deficiência não pode ser isolada de problemas médicos pré-existentes e concorrentes. Assim, a avaliação da reabilitação exige uma perspectiva mais ampla.

Objetivamente, a reabilitação tem dois objetivos principais, o aumento da capacidade funcional do indivíduo, e a obtenção de uma maior participação do mesmo na vida da comunidade. No que diz respeito ao processo de reabilitação física, o foco é melhorar as funções motoras de várias junções e membros, para desta maneira melhorar a vida diária do paciente (GIESER et al., 2014).

Chang et al., (2012) explicam que os programas convencionais de reabilitação física, normalmente, envolvem extensos exercícios repetitivos de amplitude de movimento e coordenação. Estas ações requerem terapeutas profissionais para supervisionar os movimentos dos pacientes e avaliar o seu progresso. No entanto, esta abordagem fornece uma medição limitada do desempenho e progresso do paciente, e em muitos casos, não

tem conteúdo envolvente para motivar os indivíduos durante o programa de reabilitação.

### **2.2.2 Tratamento em Amputados**

As amputações dos membros inferiores acarretam declínio funcional que pode afetar a qualidade de vida dos pacientes. Os programas de reabilitação física para este grupo de indivíduos visam recuperar a autonomia para locomoção, se possível com prótese, e para as atividades da vida diária, sem deixar de cuidar dos aspectos cognitivos, emocionais e sociais (CHAMLIAN et al., 2016).

Ainda de acordo com Chamlan et al., (2016), um desafio que se impõe à equipe de fisioterapia é o grande número de doenças associadas que os pacientes podem apresentar, tais como, diabetes, hipertensão arterial, insuficiência renal crônica, entre outras, além da dor relacionada à amputação. A presença de dor persistente, seja no coto de amputação, dor fantasma ou no membro contralateral, pode interferir negativamente no progresso do tratamento do paciente amputado.

Aliado a esta realidade, Anwar e Alkhayer (2016) indicam que a perda de um membro inferior pode ser emocionalmente devastadora para os indivíduos, o que pode afetar a motivação do mesmo em todo o processo de reabilitação física. A experiência de perder um membro pode diferir entre as pessoas. Da mesma forma, a melhoria funcional após receber um membro inferior protético pode ser diferente para cada indivíduo, dependendo do nível de atividade física, *hobbies* e estilo de vida.

A medida que o processo de reabilitação física entra em progresso, é importante que o paciente se adapte à sua amputação e ao membro protético, para atingir seus objetivos de mobilidade, funcionamento e melhoria da qualidade de vida. Um indivíduo amputado de membro inferior apresenta um gasto energético maior para a deambulação e este gasto aumenta em relação ao nível da amputação. A partir disto, tais pacientes podem apresentar perda da capacidade funcional e da força muscular no membro amputado, o que pode resultar em déficit de equilíbrio (SILVEIRA et al., 2015).

A fim de promover uma melhora na avaliação muscular dos pacientes protetizados, fica clara a necessidade de se entender as forças que o corpo deve gerar para locomover-se adequadamente, e buscar uma redução do esforço necessário para a execução de um movimento (VOINESCU et al., 2012). Nesse sentido, a utilização de instrumentos como a eletromiografia (EMG), que permite o estudo da função muscular por meio da captação do sinal elétrico que emana do músculo, tem apresentado sucesso para a avaliação da

atividade muscular durante o processo de reabilitação física (OLIVEIRA et al., 2012).

Nesse contexto, outra análise importante que deve ser avaliada na reabilitação física de pacientes amputados é o acompanhamento da frequência cardíaca. A avaliação cardiovascular é necessária em indivíduos amputados, pois permite detectar riscos que podem estar presentes devido a sua própria amputação, possibilitando desta forma, uma intervenção precoce quando necessário (ORNELAS, 2016).

A análise da velocidade alcançada por um paciente amputado, durante um exercício de marcha ou em um cicloergômetro, é muito relevante. Isso devido ao fato de indivíduos que são portadores de restrições físicas, como os amputados, apresentarem um maior dispêndio energético quando comparados a indivíduos sem restrições físicas na mesma velocidade (BONA, 2011).

Com finalidade de suprimir estas necessidades, os centros de reabilitação especializados em pacientes amputados procuram otimizar o bem-estar físico, psicológico e social do paciente. Entretanto, o resultado de qualquer programa de reabilitação, inclusive em pacientes amputados, é dependente da participação ativa do paciente, que por sua vez é muito influenciada pela atitude e motivação do indivíduo para a abordagem de reabilitação física a qual ele está sendo exposto (ANWAR; ALKHAYER, 2016).

A partir dessa realidade, Hadjidj et al., (2013) apontam para a necessidade do desenvolvimento de sistemas para a supervisão da reabilitação física que sejam eficazes, de baixo custo, de fácil uso e que possam ser adequados para ambientes ambulatoriais ou residenciais. Sendo assim, uma alternativa de solução para esta demanda é o desenvolvimento de sistemas computacionais que possam ser aplicados nas diversas áreas da saúde.

### **2.3 Computação Aplicada à Saúde**

Conforme o exposto da seção anterior, a computação precisa estar cada vez mais presente nas diversas áreas do conhecimento, servindo como uma ferramenta de grande importância na coleta, armazenamento e análise de dados. Na saúde isso também é uma realidade e, tem sido mais frequente o uso de sistemas computacionais para o apoio na tomada de decisões. Assim sendo, torna-se imprescindível a discussão e apresentação de propostas que visem a utilização de recursos computacionais neste ambiente da sociedade (CARDOSO, 2016).

Corroborando a este pensamento, Tibes *et al.* (2014) indicam que a utilização de

ferramentas computacionais na área da saúde está em crescente expansão, pois esse tipo de suporte pode proporcionar aos médicos, enfermeiros e demais profissionais da área a alcançarem mais precisão e agilidade em suas atividades médicas. No que diz respeito a medicina no Brasil, a adoção de recursos tecnológicos é um fato crescente desde a década 60, com a fundamentação científica da profissão.

O estudo da informática tem sido cada vez mais fundamental para as práticas da medicina e da prestação de cuidados de saúde. Entretanto, ao invés de novos medicamentos, máquinas de raios-x ou novos instrumentos cirúrgicos, as ferramentas de computacionais são mais propensas a serem utilizadas como diretrizes clínicas, sistemas de apoio à tomada de decisão, registros eletrônicos ou sistemas de comunicação. Estas ferramentas, no entanto, são apenas um meio para um fim, que é a entrega dos melhores cuidados de saúde possíveis (COIERA, 2015).

Além disto, Coeira (2015) explica que há três questões principais que devem ser avaliadas para o desenvolvimento de uma nova solução computacional aplicada na área da saúde, são elas: (i) qual é o problema que se está tentando resolver? (ii) como saber quando o problema foi resolvido? (iii) a tecnologia é a melhor solução, ou existem alternativas mais simples?

Analizando por outra perspectiva, Fang et al., (2016) apresentam que o rápido crescimento de novas tecnologias levou a um aumento significativo da "saúde digital" nos últimos anos. Em outras palavras, as descobertas medicinais e as novas tecnologias, tais como aplicativos móveis, dispositivos para captura de movimentos e de imagens, novos sensores e tecnologia *wearable* (termo que significa tecnologias para vestir) contribuíram para a construção de fontes de dados adicionais. Assim, a indústria de cuidados médicos produz uma quantidade crescente de soluções digitais.

Dentre algumas das principais possibilidades de utilização da informática em saúde, destacam-se os Sistemas Especialistas, os quais são sistemas de computação que realizam funções semelhantes àquelas normalmente executadas por um especialista humano. Este tipo de sistema pode ser um importante aliado na prática educacional, e na assistência do profissional em saúde, contribuindo no processo de organização e planejamento da assistência (CARDOSO, 2016).

A ReferralMD (2017) aponta que outra vertente importante de aplicação da computação na área da saúde é a Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things - IOT*). Avaliada como uma interconexão de dispositivos físicos, veículos, prédios e outros, incorporados à eletrônica, à softwares, à sensores, à atuadores e conectividade de rede, a

qual permite que esses objetos coletem, transmitam e troquem dados. Por exemplo, os hospitais aproveitam a tecnologia para aplicação em serviços de localização em tempo real, neste caso, através de crachás que podem rastrear pacientes, funcionários e dispositivos médicos.

Outra tecnologia que tem sido bastante aplicada na área da saúde é a Realidade Virtual (RV), sendo definida como uma abordagem entre o usuário e uma interface computadorizada, que envolve a simulação em tempo real de um determinado ambiente, cenário ou atividade, e oferece interação ao usuário através de múltiplos canais sensoriais. Esta tecnologia apresenta novas possibilidades para criação, modelagem, visualização, interação e simulação tridimensional de imagens, proporcionando interfaces avançadas capazes de gerar a imersão do usuário em ambientes com os quais podem interagir e explorar (FERNANDES et al., 2016).

O crescimento da utilização da RV se deve à popularização dos consoles, os quais unem aos jogos digitais a interação por meio de gestos motores, como o sensor de reconhecimento de gestos Kinect (BRANDÃO et al., 2014). O Kinect é um sensor de movimentos desenvolvido pela Microsoft, ele permite que os jogadores interajam livremente com os jogos de videogame, sem ter a necessidade de possuir o controle em mãos, ou seja, apenas através dos movimentos do próprio corpo. A Figura 3 apresenta uma aplicação de RV utilizada na reabilitação física de um paciente.

Figura 3 – Exemplo de RV Aplicada no Processo de Reabilitação Física



Fonte: Fisioterapia.com (2017).<sup>5</sup>

Neste contexto, é possível observar que existem tecnologias que proporcionam uma maior precisão nos diagnósticos a partir de um melhor monitoramento dos pacientes.

<sup>5</sup>Disponível em: <<http://fisioterapia.com/realidade-virtual/>>

Além disso, o uso dessas tecnologias tendem a maximizar a participação dos indivíduos no processo de tratamento e recuperação, auxiliando assim no desenvolvimento de sistemas de saúde mais eficientes e dinâmicos (PATEL et al., 2012). Outra consideração importante, é a constatação que Microcontroladores e Sensores podem ser tecnologias largamente utilizadas na construção de ferramentas computacionais aplicadas à área da saúde.

## 2.4 Microcontroladores

Martins (2015) explica que para uma melhor eficiência no processamento de dados, na década de setenta começaram a ser utilizados microprocessadores em computadores. O microprocessador Intel foi um dos precursores, e a partir de seu desenvolvimento, houve uma preocupação em melhorar cada vez mais o sistema de processamento de dados por meio desses componentes. Com base na arquitetura de um microprocessador e seus periféricos, foi criado um componente para comportar um sistema equivalente a um microprocessador e seus periféricos, e assim surgiu o microcontrolador.

Com o passar dos anos e com os avanços da tecnologia, os microcontroladores tornaram-se uma das melhores relações custo/benefício em se tratando de soluções que demandam processamento, baixo custo de hardware e pequena necessidade de espaço físico (MARTINS, 2005). Sucintamente, um microcontrolador consiste basicamente em um pedaço de plástico, metal e areia purificada, que sem qualquer software, não faz nada. Entretanto, quando um software controla um microcontrolador, ele tem aplicações quase ilimitadas (GARDNER, 2002).

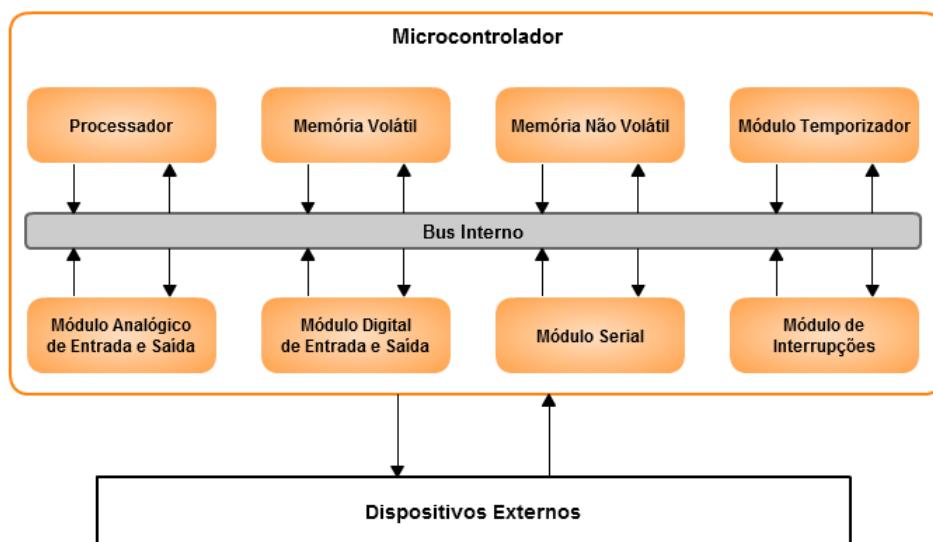
De acordo com Monk (2011) um microcontrolador é um pequeno computador em um chip os quais, tradicionalmente, possuem um processador, um kilobyte ou dois de memória de acesso aleatório (do inglês, *Random Memory Acess-RAM*) para armazenar dados, alguns kilobytes de memória programável de leitura (do inglês, *Erasable Programmable Read-Only Memory-EPROM*) apagável ou memória flash para armazenar seus programas, além de pinos de entrada e saída.

Esses pinos de entrada e saída ligam o microcontrolador ao resto de sua eletrônica, onde podem ser elementos que enviam informações tanto de maneira digital quanto de forma analógica. Estas características permitem a integração de diferentes sensores como por exemplo, sensores de de luz, temperatura, som e muito mais (MONK, 2011).

Desta maneira, a Figura 4 ilustra a arquitetura interna de um microcontrolador

básico, constituído de um processador, uma memória volátil, uma memória não-volátil, um módulo temporizador, um módulo analógico de entrada e saída, um módulo digital de entrada e saída, um módulo serial e um módulo de interrupções.

Figura 4 – Estrutura Básica de um Microcontrolador



Fonte: Próprio autor.

Os microcontroladores são utilizados em diversas aplicações como, impressoras a laser, *smartphones*, monitores, sistemas de posicionamento global, dispositivos inteligentes, aplicações militares, aplicações veiculares, entre outras aplicações possíveis (NA-EEM et al., 2014). Outro conceito interessante apresentado por Naeem e seus colegas (2014) é a de que existem muitas diferenças significativas entre um microcontrolador e um microprocessador.

Um microcontrolador pode executar muitas tarefas (propósito geral) e usar circuitos diferentes para estas operações. Por outro lado, um microprocessador é projetado para executar tarefa específica e todas as funções estão disponíveis em um único chip.

Uma das principais vantagens da utilização de microcontroladores é a disponibilidade de diversas e elaboradas capacidades de interface. Pode-se interagir com diversos dispositivos, utilizando diferentes tipos de soluções. Dentro deste contexto, atualmente, existem no mercado muitos tipos de microcontroladores aplicados em plataformas de prototipagem de hardware. Entre estas plataformas se destacam as plataformas Arduino<sup>6</sup>, Raspberry Pi<sup>7</sup> e BeagleBone<sup>8</sup>.

O Arduino tem um ambiente de desenvolvimento fácil de usar e uma ávida base de usuários, já o Raspberry Pi pode ser considerado como um desktop muito barato e o Be-

<sup>6</sup><https://www.arduino.cc>

<sup>7</sup><https://www.raspberrypi.org>

<sup>8</sup><http://beagleboard.org/bone>

agleBone, talvez uma plataforma menos conhecida, é uma poderosa plataforma baseada em Linux. As plataformas Arduino e Raspberry Pi são consideravelmente mais baratas do que a plataforma BeagleBone, e também, possuem além de uma comunidade de usuários ativa, uma vasta documentação disponível (Meike, Roger, 2012). A Figura 5 apresenta um exemplo de cada uma das três plataformas citadas.

Figura 5 – Exemplos de Plataformas de Prototipagem de Hardware



Fonte: Adaptado de Makezine.com (2012).<sup>9</sup>

Desta maneira, para este projeto se optou pela utilização da plataforma Arduino, avaliando o seu valor de mercado, a grande quantidade de material disponível, além das muitas possibilidades de integração com diferentes tipos de sensores. Assim, na próxima seção serão apresentados conceitos referentes exclusivamente a plataforma Arduino e a sua utilização.

## 2.5 Arduino

A plataforma Arduino foi desenvolvida no ano de 2005 na Itália com o intuito de ser aplicada em projetos escolares. Atualmente, existem vários fabricantes de placas similares ao Arduino, como: Blackboard, Garagino e placas desenvolvidas pela Texas Instruments (kits de prototipagem *launchpad*), dentre outros (SANTOS et al., 2015).

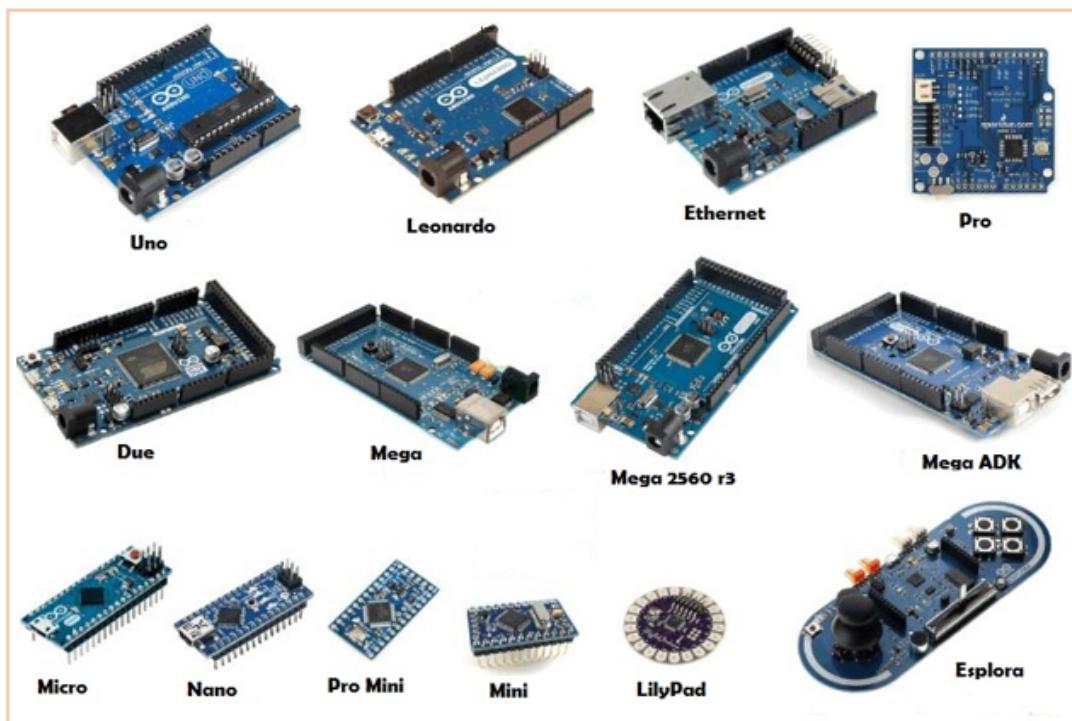
O Arduino é uma plataforma de computação física de código aberto baseada em uma placa de microcontrolador simples e um ambiente de desenvolvimento que implementa a linguagem de processamento. Originalmente, foi concebido para artistas e designers para criar protótipos eletrônicos. Eles seriam capazes de criar esses desenhos facilmente com um pouco de conhecimento de programação e eletrônica (GALADIMA, 2014).

Um dos principais pontos positivos da plataforma Arduino é a larga documentação

<sup>9</sup>Disponível em: <<http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi>>

sobre aplicações e de troca de experiências entre usuários, outro ponto positivo, é que atualmente podemos encontrar diferentes versões da placa Arduino com custo relativamente baixo. Por outro lado, também é possível encontrar instruções de montagem a partir dos componentes eletrônicos básicos, o que pode atender o interesse de professores e alunos com maior capacitação em eletrônica (SOUZA et al., 2011). Assim, a Figura 6 apresenta algumas das diferentes versões da plataforma Arduino, entre elas se destacam as versões mais utilizadas, o Arduino Uno e o Arduino Mega.

Figura 6 – Diferentes Versões da Plataforma Arduino



Fonte: Adaptado de Arduino (2017).<sup>10</sup>

A plataforma Uno possui processador ATMEGA328, 14 portas digitais, sendo que 6 delas podem ser usadas como saídas PWM (do inglês, *Pulse Width Modulation*, é uma técnica utilizada por sistemas digitais para variação do valor médio de uma forma de onda periódica), e 6 portas analógicas. Por outro lado, a plataforma Mega é uma versão mais complexa da placa Arduino, com Microcontrolador ATMEGA2560 e 54 portas digitais, das quais 15 podem ser usadas como PWM, além de 15 portas analógicas, sendo o ideal para projetos mais elaborados que exijam grande número de entradas e saídas (Thomsen, Adilson, 2014)

Uma das grandes vantagens da utilização da plataforma Arduino é a possibilidade de integração com diversos tipos de sensores. Essa possibilidade permite a concepção e realização de projetos aplicáveis a diversas realidades. Desta forma a próxima seção irá

<sup>10</sup>Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/products>>

apresentar conceitos referentes a sensores e, também, sua utilização junto com a plataforma Arduino.

## 2.6 Sensores

De acordo com Karvinen (2014) os sensores são componentes que estão presentes nas mais diversas aplicações do cotidiano. Desde sensores infravermelhos passivos em detectores de movimento, detectores de  $CO_2$  em sistemas de ar condicionado, acelerômetros, módulos GPS, câmeras de *smartphones* e sensores em *tablets*. É seguro assumir que, se um dispositivo eletrônico é considerado "inteligente", ele possuirá uma vasta gama de sensores.

Nesse contexto, graças ao aumento no número e variedades de dispositivos inteligentes, especialmente telefones celulares, o preço dos sensores tem sido impulsionado pela acessibilidade. Não só é economicamente viável adicionar sensores avançados em diferentes projetos, mas também é possível expandir amplamente os tipos de projetos.

Os sensores são componentes elétricos que funcionam como dispositivos de entrada. Nem todas as entradas são explicitamente sensores, mas quase todas as entradas utilizam sensores. Com exemplo, analisando um mouse de um computador, um teclado ou até mesmo uma *webcam*; Estes não são sensores, mas definitivamente usam sensores em seu design. É possível enquadrar os sensores como um componente para medir um estímulo que é externo ao sistema principal(KARVINEN; KARVINEN, 2014).

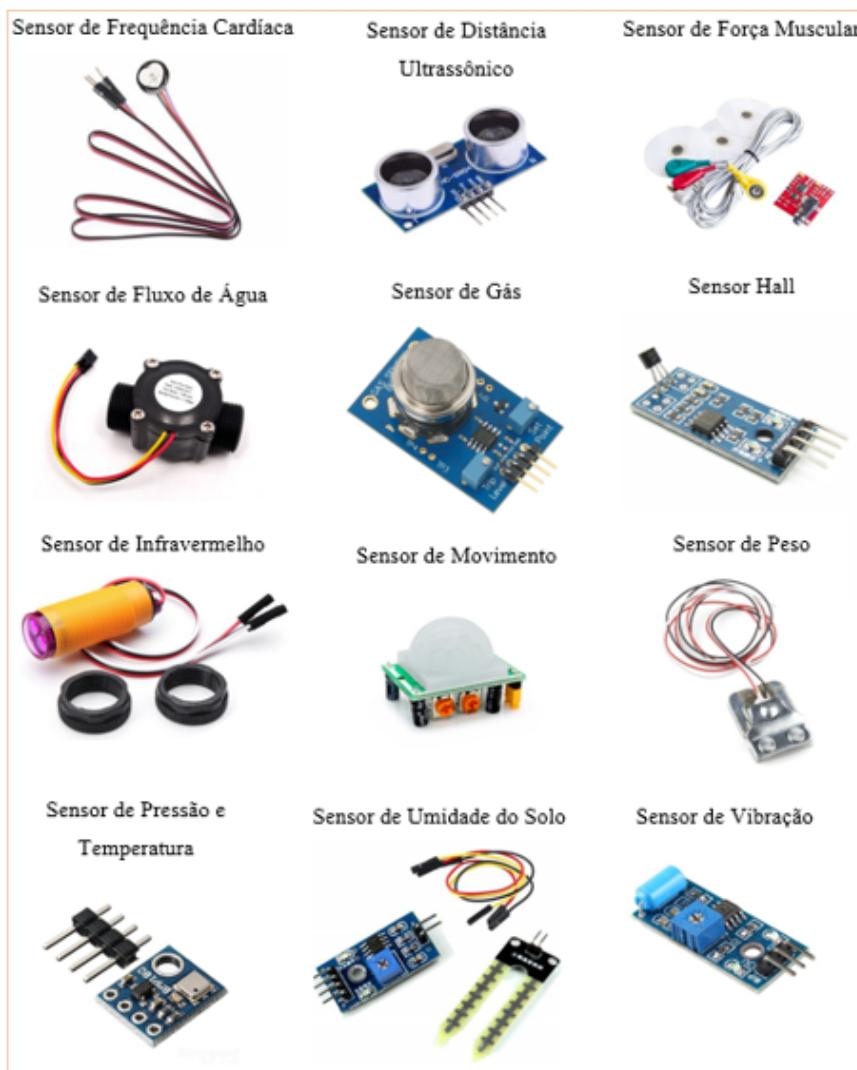
Em sistemas baseados em sensores, um indivíduo utiliza nós sensores capazes de avaliar o movimento humano, sem interferir em seus comportamentos naturais. Os nós sensores formam uma rede que recolhe discretamente informações, como por exemplo: posição, movimento, direção e estado fisiológico. Um nó sensor é composto geralmente por vários sensores para a coleta de dados, um microcontrolador com memória para processamento de dados, um transmissor-receptor para transmissão de dados e possivelmente uma bateria para alimentar todos os circuitos do dispositivo (HADJIDJ et al., 2013).

No contexto da utilização de sensores, pode se destacar uma grande variedade de sensores que podem ser utilizados em conjunto com a plataforma Arduino. Desde sensores que mensuram a temperatura e pressão, até sensores que avaliam a frequência cardíaca de um indivíduo.

Essa combinação permite a possibilidade da construção de diversos projetos aplicados nas mais diversas áreas. Na Figura 7 estão demonstrados alguns dos sensores que

podem ser utilizados em conjunto com a plataforma Arduino, além destes sensores ainda existem muitos outros disponíveis no mercado.

Figura 7 – Exemplos de Sensores Utilizados com o Arduino



Fonte: Adaptado de Arduino (2017).<sup>11</sup>

A utilização de sensores se destaca também através de sua aplicação na área da saúde. Estes são utilizado por exemplo, para coletar dados fisiológicos e de movimento, permitindo assim o monitoramento regular do estado clínico do paciente.

Os sensores podem ser instalados de acordo com a aplicação clínica que se necessita. Uma de suas possíveis aplicações é no monitoramento de sinais vitais, dentre eles, se destacam: frequência cardíaca e respiratória, o qual pode auxiliar no monitoramento de pacientes com insuficiência cardíaca (PATEL et al., 2012).

<sup>11</sup>Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/products>>

## 2.7 Trabalhos Correlatos

Nesta seção serão apresentados projetos que se correlacionam com a proposta do presente trabalho, em alguns aspectos, visto que não foram encontrados trabalhos que assemelhem consideravelmente com a proposta do presente trabalho. Assim, foram selecionados três trabalhos, porém, é preciso apontar que os objetivos destes projetos se diferem em relação aos propostos por este trabalho. Além disso, ao final da seção, serão elaboradas algumas considerações acerca das familiaridades e contrapontos do trabalhos apresentados em relação ao sistema proposto.

### 2.7.1 W3D3

Lee et al., (2015), propõe um sistema de monitoramento 3D sem fio, o W3DM, para pacientes em reabilitação física. Um paciente em reabilitação física pode utilizar ou anexar um ou mais módulos W3DM em uma parte específica de seu corpo enquanto ele realiza um exercício físico.

O módulo W3DM consiste em um acelerômetro de três eixos, o qual rastreia os movimentos em 3 dimensões (3D) do exercício do paciente e um transceptor Bluetooth, o qual envia os dados 3D coletados para uma estação de monitoramento próxima. O transceptor, também é responsável pela recepção de avisos e os sinais reguladores respondidos pela estação de monitoramento. Na Figura 8 é possível observar um exemplo da utilização do sistema de monitoramento W3DM.

Figura 8 – Exemplo de Utilização do Sistema de Monitoramento W3DM



Fonte: *A Novel Wireless 3D Monitoring System for Physical Rehabilitation* (2015).

A estação de monitoramento armazena os dados 3D recebidos em um banco de dados, para a análise posterior por um médico ou fisioterapeuta. Dessa forma, para que seja possível efetuar a avaliação sobre o progresso do paciente, os dados podem ser enviados para exibição em um telefone ou computador inteligente de monitoramento remoto. Desta forma, os autores avaliam que o sistema proposto não só permite maior liberdade aos fisioterapeutas, mas também ajuda a descobrir condições insensíveis do paciente e, assim, permite a configuração do exercício correto para cada paciente (LEE et al., 2015).

### **2.7.2 Running Wheel**

Nunes (2014) propõe em seu trabalho um *exergame* (jogos eletrônicos que captam e virtualizam os movimentos reais dos usuários) de caminhada ou corrida em esteira ergométrica. O jogo captura a velocidade e o ritmo cardíaco do paciente, a exibição é efetuada em um monitor instalado à frente da esteira. O autor caracteriza seu trabalho como um sistema motivacional, que estimula seus participantes a suportar uma carga maior de esforço físico, servindo também como uma fonte de diversão para sua atividade física.

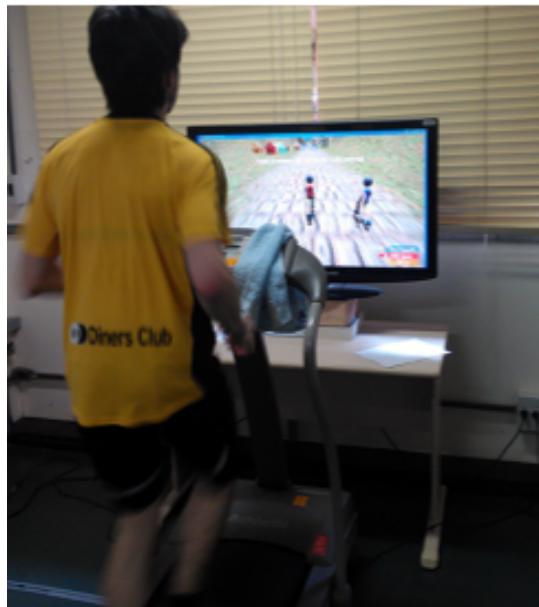
Conceitualmente, o sistema proposto é constituído por dois módulos principais: um módulo de monitoramento e captura de dados, e outro de controle e apresentação. O módulo de captura de dados agrupa as informações de sensores, realizando a filtragem e transmissão para o módulo de controle e visualização.

Para comunicação com os sensores, foi escolhida a placa de prototipação Arduino, a qual se comunica com os sensores através de seus pinos de entrada e saída. A comunicação do Arduino utiliza a conexão USB para receber e transmitir os dados a um desktop, que por sua vez, comunica-se através de sockets UDP com o processo de controle (NUNES, 2014).

A captura da velocidade é realizada por meio de um sensor de efeito Hall, que registra a passagem de um ímã fixado na cinta da esteira ergométrica. Sabendo-se o tamanho da cinta e o intervalo de tempo é calculada a velocidade. Já a captura da frequência cardíaca, foi implementada através de um circuito comercial denominado *Polar Heart Rate Monitor*, que funciona em conjunto com o Arduino.

Esse dispositivo realiza o pareamento e leitura de monitores cardíacos sem fio. Para isso, basta o usuário vestir uma cinta elástica com o módulo transmissor, sobre o peito, na altura do coração (NUNES, 2014). A Figura 9 apresenta um exemplo de experimentação da ferramenta *Running Wheel*.

Figura 9 – Exemplo de Utilização da Ferramenta Running Wheel



Fonte: Running Wheel: proposta de um exergame motivacional para corrida (2014).

Por fim, as informações pessoais dos usuários são gravadas em um banco de dados, bem como as configurações individuais de cada sessão de exercícios e também os dados coletados (NUNES, 2014). Assim, a cada nova sessão é possível buscar informações já armazenadas para cada indivíduo.

### **2.7.3 Cybercycle**

O trabalho de Anderson-Hanley et al., (2012) buscou investigar o impacto da adoção de tecnologias em um grupo de idosos, na prevenção de doenças relacionadas à demência. Os autores propõem um *exergame*, denominado Cybercycle, o qual consiste em um simulador de ciclismo, concebido para ser utilizado com uma bicicleta ergométrica.

O sistema realiza o monitoramento do ritmo cardíaco do usuário, velocidade e distância percorrida. A Figura 10 apresenta a utilização da solução Cybercycle por alguns dos pacientes utilizadores da mesma.

Figura 10 – Exemplo de Utilização da Solução Cybercycle



Fonte: *Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial* (2012).

Os resultados do trabalho apontaram que aqueles indivíduos que utilizaram o Cybercycle, obtiveram um desempenho superior em relação aqueles que usaram somente a bicicleta ergométrica desprovida de um sistema de apoio. Os dados de distância e velocidade demonstraram um significativo aumento na média de distância percorrida combinada com uma velocidade de pico mais alta (ANDERSON-HANLEY et al., 2012).

#### **2.7.4 Análise Comparativa**

A partir do estudo dos trabalhos correlatos, foi possível avaliar que existe uma temática de aplicação diferente entre eles. O trabalho de Lee et al., (2015) é aplicado na reabilitação física de pacientes, sem distinção de enfermidade. Por outro lado, o trabalho de Nunes (2014), é dedicado a um contexto de motivar as pessoas durante seus exercícios físicos. E em outro espectro, o trabalho de Anderson-Hanley et al., (2012) é aplicado na tentativa de prevenção de doenças em idosos.

Neste sentido, para uma melhor análise comparativa, a Tabela 2 apresenta uma avaliação acerca de alguns dos conceitos de concepção das soluções de Lee et al., Nunes (2014), Anderson-Hanley et al., e da solução Victus, proposta nesse trabalho.

Tabela 2: Comparaçāo entre a Solução Victus e as Ferramentas Relacionadas

	<b>Grupo de Aplicação</b>
<b>W3DM</b>	Pacientes em Reabilitação Física
<b>Running Wheel</b>	Indivíduos Praticando Exercícios Recreativos
<b>Cybercycle</b>	Grupo de Idosos sob Avaliação Cognitiva
<b>Solução Proposta</b>	Pacientes Amputados em Reabilitação Física
	<b>Intenção de Acompanhamento Médico</b>
<b>W3DM</b>	SIM
<b>Running Wheel</b>	NÃO
<b>Cybercycle</b>	SIM
<b>Solução Proposta</b>	SIM
	<b>Interface de Usuário</b>
<b>W3DM</b>	Aplicação <i>Mobile</i>
<b>Running Wheel</b>	Aplicação em RV
<b>Cybercycle</b>	Aplicação em RV
<b>Solução Proposta</b>	Software
	<b>Armazenamento dos Dados</b>
<b>W3DM</b>	Banco de Dados
<b>Running Wheel</b>	Banco de Dados
<b>Cybercycle</b>	Não Há
<b>Solução Proposta</b>	Banco de Dados
	<b>Informações Coletadas</b>
<b>W3DM</b>	Movimentação Corporal
<b>Running Wheel</b>	Distância, Velocidade e Frequência Cardíaca
<b>Cybercycle</b>	Distância, Velocidade e Frequência Cardíaca
<b>Solução Proposta</b>	Distância, Velocidade, Frequência Cardíaca e Força Muscular
	<b>Tipo de Exercício</b>
<b>W3DM</b>	Exercícios de Movimentação
<b>Running Wheel</b>	Exercícios em uma Esteira Ergométrica
<b>Cybercycle</b>	Exercícios em uma Bicicleta Ergométrica
<b>Solução Proposta</b>	Exercícios em uma Bicicleta Ergométrica

Fonte: Próprio autor.

Desta maneira, pode se analisar que os três trabalhos diferem da proposta do presente trabalho, o qual apresenta uma solução aplicada na reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores. Por outro lado, é possível se observar que os trabalhos de Lee et al., (2015) e Anderson-Hanley et al., (2012), assim como a solução proposta neste trabalho, possuem como princípio o acompanhamento profissional, seja de médicos ou fisioterapeutas, enquanto que a ferramenta de Nunes (2014) não apresenta este fundamento.

Outra similaridade identificada com os trabalhos de Lee et al., (2015) e Nunes (2014), é a proposta de armazenar os dados coletados em um banco de dados, para possíveis consultas futuras. Porém, a aplicação de Anderson-Hanley et al., (2012) não possui

esta preocupação.

Por fim, é possível analisar ainda que os trabalhos de Nunes (2014) e de Anderson-Hanley et al., (2012) apresentam aos usuários da ferramenta em tempo real os dados de distância percorrida, velocidade e frequência cardíaca que estão sendo coletados, assim, essa função também será atribuída a solução proposta nesse trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Avaliando a necessidade de determinar uma sequência de atividades bem definida e coesa, para realização do trabalho, foi estabelecida, então, uma metodologia de pesquisa. Essa metodologia será seguida durante a execução do projeto e tem seu início a partir da definição do problema de pesquisa.

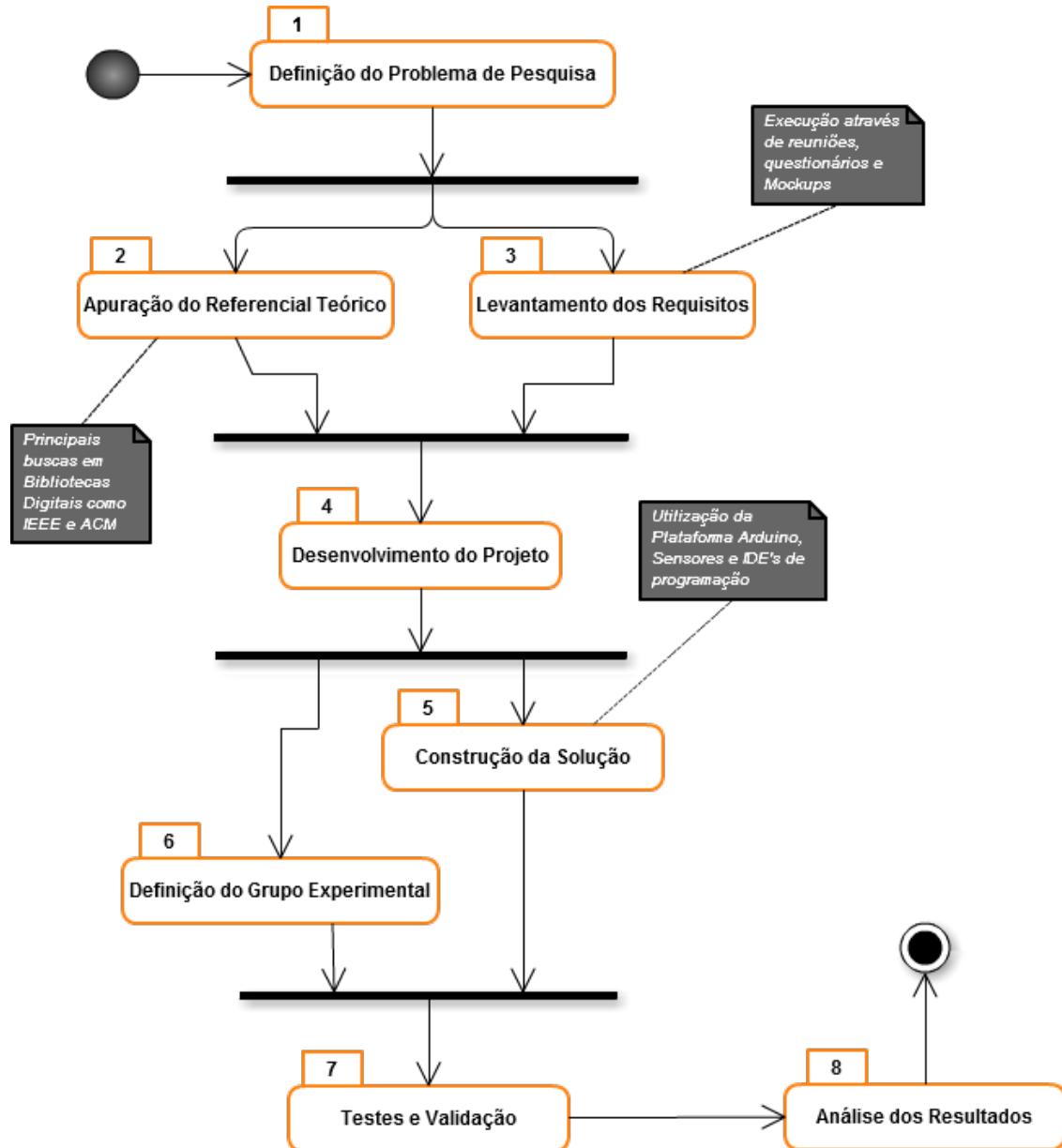
Sendo assim, nesse capítulo serão apresentadas as etapas adotadas e também a indicação das categorias em que a pesquisa desenvolvida se enquadra. Assim, serão apontadas as características da pesquisa quanto à natureza, à forma de abordagem do problema, com relação aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos.

Primeiramente, a pesquisa pode ser classificada como aplicada, considerando pesquisa aplicada como aquela que visa gerar conhecimento útil e aplicável, com o intuito de solucionar um problema específico (SILVA; MENEZES, 2001). Quanto à forma de abordagem do problema, a pesquisa pode ser classificada como quali-quantitativa, analisando que, neste tipo de pesquisa, alguns elementos podem ser traduzidos em números e requerem o uso de recursos estatísticos, enquanto outros aspectos possuem uma avaliação subjetiva (CRESWELL, 2010).

Com relação aos objetivos, a pesquisa pode ser considerada como exploratória, devido ao fato de visar maior familiaridade com um tema específico (SEVERINO, 2014). Por fim, em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser definida como bibliográfica e também de levantamento, já que a elaboração será realizada a partir de materiais documentados e também a partir de entrevistas com pessoas familiarizadas com o problema (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Desta forma, a sequência de etapas definida para realização deste trabalho pode ser descrita como um fluxo de atividades construídas a partir de um conjunto de abordagens técnicas e processos científicos. Esta sequência de etapas pode ser observada na Figura 11, onde a mesma está representada em uma diagrama de atividades. Ainda é possível se analisar que esta metodologia foi planejada a partir dos objetivos que se almeja alcançar no desenvolvimento da pesquisa e na solução final que se deseja obter.

Figura 11 – Metodologia Representada em um Diagrama de Atividades

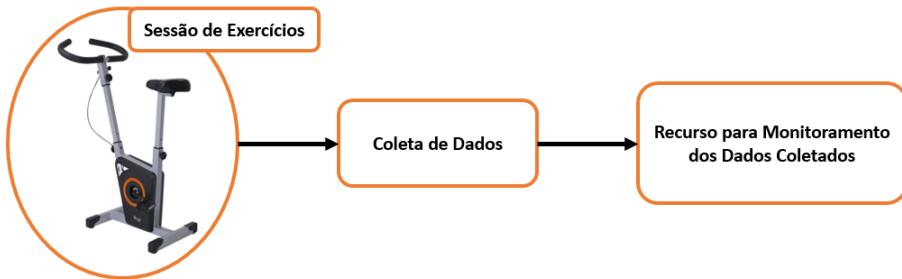


Fonte: Próprio autor.

A etapa inicial consistiu na definição do problema de pesquisa. Esta definição partiu de uma análise acerca da necessidade de soluções computacionais que auxiliem e otimizem o processo de reabilitação física em pacientes amputados.

A proposta inicial é construir uma solução que colete dados de uma sessão de exercícios físicos, em uma bicicleta ergométrica, de pacientes amputados de membro inferior, e que disponibilize aos profissionais de fisioterapia um recurso para o monitoramento e avaliação dos dados coletados. Desta forma, na Figura 12 pode ser observada de maneira ilustrativa uma representação conceitual da ideia proposta.

Figura 12 – Representação Conceitual da Solução Proposta



Fonte: Próprio autor.

A segunda etapa consiste no levantamento de um referencial teórico, ou seja, a realização de uma pesquisa bibliográfica. As bibliotecas digitais das organizações IEEE<sup>1</sup> e ACM<sup>2</sup> serão as principais, mas não as únicas, fontes de consulta à estudos que possam ser relacionados aos elementos que envolvem a construção da pesquisa proposta.

Em um terceiro momento será efetuado o levantamento dos requisitos, onde estes requisitos serão apontados pelos usuários da solução, através da realização de reuniões e entrevistas com os mesmos. Assim, os requisitos funcionais e não-funcionais definidos deverão ser utilizados como referência para as ações tomadas durante a implementação da solução, e também, deverão ser cobertos pela solução final desenvolvida.

Posteriormente à realização da terceira etapa, na quarta etapa será desenvolvido um modelo projeto, isto é, uma abordagem de documentação de sistema com base em padrões e modelos de engenharia de software que abrangerá como, quando e porque cada uma das atividades que constituem a fase de construção da solução serão realizadas. Também nesta etapa, será realizado um estudo acerca de possíveis formas de implementação para a solução. Este estudo será efetuado, principalmente, a partir de possíveis trabalhos correlacionados que possam ter sido encontrados durante a execução da segunda etapa.

A quinta etapa da metodologia será a construção da solução, ou seja, a implementação do sistema será efetuada a partir do projeto definido na quarta etapa. A solução consistirá em um sistema construído sobre a integração de hardware e software.

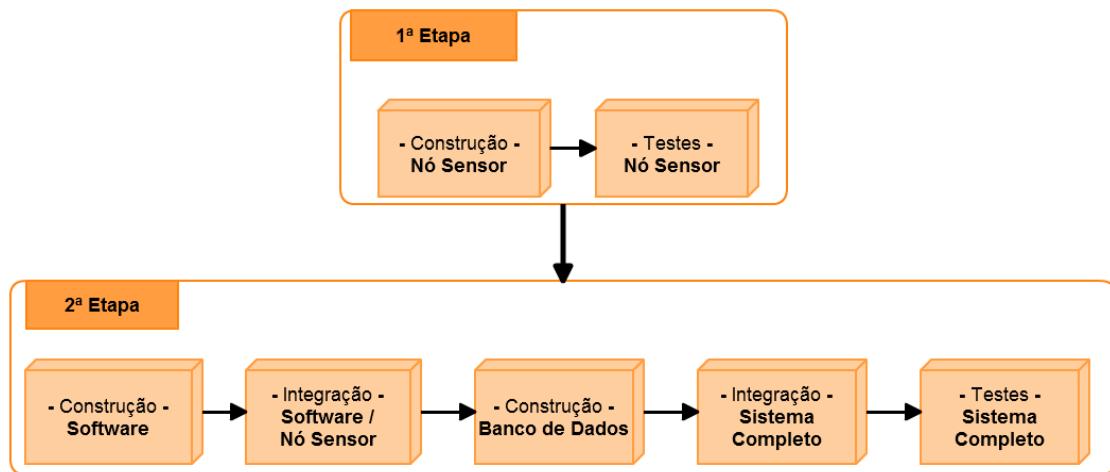
O hardware será utilizado na etapa da coleta de dados e em conjunto a isto será desenvolvido um software que irá receber, apresentar e analisar os dados coletados e, também, será elaborado um banco de dados para armazenar os dados. A coleta de dados será realizada a partir de sensores e da plataforma de prototipagem eletrônica de hardware Arduino. Esses dados deverão ser transmitidos ao software, onde serão apresentados ao usuário e, também, armazenados no banco de dados, para consultas futuras.

<sup>1</sup><http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home>

<sup>2</sup><https://dl.acm.org/>

Conforme apresentado na Figura 13, a construção da solução será dividida em duas etapas principais, a primeira será a construção do nó sensor, ou seja, o módulo de coleta de dados composto por uma placa Arduino e sensores. Onde ao final desta etapa, serão realizados testes e a validação do nó sensor desenvolvido. Posteriormente, a segunda etapa da fase de construção da solução consistirá no desenvolvimento do software e na criação do banco de dados e, logo após, sua integração com o nó sensor.

Figura 13 – Diagrama Representado as Etapas de Construção da Solução



Fonte: Próprio autor.

Na sexta etapa serão definidos os experimentos e o universo da pesquisa, o qual deverá contemplar, um grupo de pacientes aptos a participarem dos testes aplicados sobre o sistema. A seleção dos pacientes para compor este grupo será efetuada pelos usuários da solução, a partir de critérios referentes principalmente ao nível de amputação.

Durante a sétima etapa serão realizados os testes, com base em padrões específicos para testes de software e hardware. A realização destes experimentos servirá como ferramenta para validação da solução. Os testes serão efetuados em um ambiente controlado e com o acompanhamento de profissionais.

Logo após, os resultados obtidos na fase de testes serão analisados e avaliados na oitava etapa, com a intenção de avaliar o funcionamento do protótipo desenvolvido. Além do funcionamento da solução como um todo, será analisado o desempenho específico de cada componente que a compõe para, a partir dessa análise detalhada, tornar mais fácil um possível aperfeiçoamento do protótipo desenvolvido.

## 4 PROJETO VICTUS

Neste capítulo serão apresentados os conceitos que envolvem a idealização, construção e o desenvolvimento do projeto. Desta forma, serão retratados os seguintes itens: a descrição conceitual do projeto, os indicadores elaborados para o projeto, a modelagem do sistema e por fim, o desenvolvimento da solução.

### 4.1 Projeto

A partir dos conceitos discutidos nos capítulos 1 e 2 chegou-se a definição de que existe a necessidade da criação de uma solução computacional que possa ser aplicada no tratamento de reabilitação física de indivíduos amputados de membros inferiores, para que esse tratamento possa ser monitorado e o progresso do paciente avaliado.

Sendo assim, a partir da percepção dessa demanda, foi então criado um projeto intitulado de Victus, que em latim significa superar, como proposta de solução ao problema apresentado. A Figura 14 apresenta identidade visual criada para o sistema Victus.

Figura 14 – Identidade Visual do Projeto Victus



Fonte: Próprio autor.

Para a realização do projeto foi firmada uma parceria com Serviço de Reabilitação Física (SRF) da cidade de Bagé-RS. Essa parceria acrescenta ao projeto o conhecimento de profissionais da área de fisioterapia e, também, a demanda de pacientes necessária para a validação do projeto, bem como as instalações adequadas para a realização de testes.

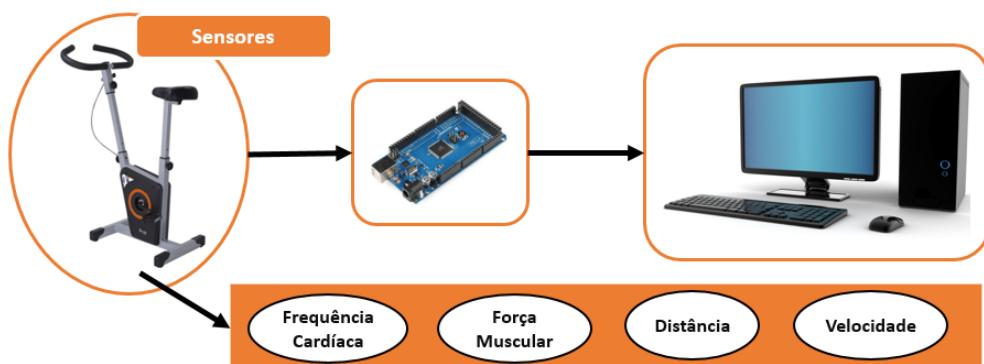
O cenário atual do tratamento de indivíduos amputados de membros inferiores no SRF não apresenta nenhum tipo de análise estatística do progresso dos pacientes ao longo do processo de reabilitação física. Desta forma, uma solução, como a proposta nesse projeto, que possibilite aos fisioterapeutas um sistema de monitoramento automatizado do paciente no tratamento, acrescenta uma perspectiva de grande ganho não apenas na avaliação realizada pelos profissionais, mas também na readaptação social de cada um

dos pacientes.

Assim sendo, os fisioterapeutas do SRF serão responsáveis por selecionar os pacientes aptos a participarem dos experimentos realizados sobre a solução desenvolvida, assim como pelo acompanhamento do processo de execução destes testes, e também, do processo de avaliação de desempenho do sistema Victus. Além da parceria com o SRF, o projeto ainda conta com o apoio da Unimed Região da Campanha.

Avaliando mais especificamente alguns dos conceitos apresentados na subseção 2.2.2, definiu-se que o projeto deverá concentrar-se na análise da distância percorrida, força muscular, frequência cardíaca e velocidade. Sendo assim, esses são os dados que serão coletados e monitorados pela solução proposta. A Figura 15 ilustra a obtenção das informações alvo através de um diagrama do sistema computacional Victus, onde é possível observar a utilização de um conjunto de sensores, de uma plataforma de hardware e uma interface de monitoramento para o usuário.

Figura 15 – Diagrama Representando a Obtenção das Informações



Fonte: Próprio autor.

Por fim, visto que esta pesquisa possui aplicação na área da saúde e que inclui experimentos que envolvem seres humanos, é preciso apontar que a mesma faz parte de um projeto institucional com registro no Comitê de Ética e Pesquisa, sobre o CAAE (Certificado de Apresentação para Apreciação Ética ) de número 60663016.5.0000.5323.

## 4.2 Indicadores

De acordo com Dias (2007) são várias as definições de Indicador na área de saúde. Porém, segundo os autores, em termos gerais, os indicadores em saúde são medidas sumárias que refletem a relação entre informações relevantes sobre diferentes atributos e fatores que as determinam. Em outras palavras, os indicadores são traduções de fenômenos que se quer conhecer e acompanhar. Com muita frequência, são variáveis quantitati-

vas, quando a natureza das informações e a tecnologia disponível permitem (DIAS et al., 2007).

Desta forma, com o objetivo de acrescentar mais possibilidades de avaliação, do progresso de um paciente, aos fisioterapeutas foram elaborados três indicadores. Estes indicadores correlacionam as informações coletadas pelo sistema e, assim, possibilitam uma nova análise numérica e quantitativa das sessões de exercícios dos indivíduos.

O primeiro indicador, denominado IBV, correlaciona a frequência cardíaca com a velocidade obtida durante o exercício. Assim, o princípio é acompanhar a relação entre o aumento da velocidade durante o exercício com a variação da frequência cardíaca. Este cálculo é realizado a partir da diferença percentual das parciais de frequência cardíaca, em relação a diferença percentual das parciais de velocidade. Desta forma, a Equação 1 apresenta o indicador IBV.

$$IBV = \frac{BPM(parcial[i+1]) - BPM(parcial[i])\%}{VEL(parcial[i+1]) - VEL(parcial[i])\%} \quad (1)$$

Analogamente, o segundo indicador, denominado IEV, correlaciona os dados de EMG com a velocidade obtida durante o exercício. Assim, o princípio é acompanhar a relação entre o aumento da velocidade durante o exercício com a variação da força muscular. O cálculo é realizado a partir da diferença percentual das parciais de EMG, em relação a diferença percentual das parciais de velocidade. Portanto, a Equação 2 apresenta o indicador IEV.

$$IEV = \frac{EMG(parcial[i+1]) - EMG(parcial[i])\%}{VEL(parcial[i+1]) - VEL(parcial[i])\%} \quad (2)$$

Já o terceiro indicador, denominado IEB, relaciona a frequência cardíaca com a força muscular. Assim, o princípio é acompanhar a relação entre o aumento da força muscular com a variação da frequência cardíaca. Desta forma, a Equação 3 apresenta o cálculo do indicador IEB.

$$IEB = \frac{EMG(parcial[i+1]) - EMG(parcial[i])\%}{BPM(parcial[i+1]) - BPM(parcial[i])\%} \quad (3)$$

Por fim, estes indicadores se embasam no conceito de que para ser eficaz e eficiente, o sistema cardíaco deve ser capaz de responder ao aumento da atividade muscular. Assim, à medida que a taxa de trabalho aumenta, a frequência cardíaca aumenta de forma quase linear para atender a crescente demanda de oxigênio, mas somente até o ponto em que atinge sua capacidade máxima (BROOKS et al., 1996).

### 4.3 Modelagem do Sistema

Para a implementação do Sistema Victus adotou-se o modelo padrão de desenvolvimento de software, baseado nas etapas de elicitação de requisitos, projeto/documentação, desenvolvimento e testes. O levantamento de requisitos foi realizado através de reuniões com os profissionais do SRF, e com a utilização de questionários.

Logo após, foi utilizada uma técnica denominada *Mockups*, a qual simula através de imagens a execução do sistema para o usuário. Neste sentido, foi efetuada uma nova reunião com os possíveis usuários do sistema, os quais validaram a ideia através desta técnica.

Desta forma, foram obtidos os requisitos funcionais e não funcionais do sistema (Apêndice A), estes requisitos foram divididos em essenciais e desejáveis. Um requisito essencial é aquele que é obrigatório na construção do sistema, enquanto um requisito desejável é aquele que se implementado no sistema será de grande valor, mas sua implementação não é imperativa para o sistema. A Tabela 3 apresenta os requisitos funcionais do sistema.

Tabela 3: Requisitos Funcionais do Sistema

Requisitos Funcionais	Essencial	Desejável
Coletar Dados	X	
Enviar Dados	X	
Manipular Dados	X	
Iniciar Sessão	X	
Monitorar Sessão	X	
Gerar Alertas		X
Apresentar Dados Durante a Sessão	X	
Apresentar Dados Após a Sessão	X	
Gravar Dados Pré Sessão	X	
Gravar Dados Pós Sessão	X	
Cadastrar Paciente	X	
Buscar Cadastro	X	
Editar Cadastro		X
Excluir Cadastro		X
Gerar Relatórios	X	

Fonte: Próprio autor.

É possível observar que são essenciais para a implementação da solução funcionalidades como: iniciar e monitorar uma sessão de exercícios, apresentar dados após e durante uma sessão, cadastrar um paciente e gerar relatórios. Por outro lado, gerar alertas, editar e excluir cadastros são funcionalidades classificadas como desejáveis, mas que não são de obrigatoriedade.

Os requisitos não funcionais do sistema podem ser observados na Tabela 4, expondo que é essencial que o sistema apresente um desempenho eficiente e também seja confiável, além de possuir uma interface que seja agradável ao usuário e de fácil uso. Ainda é desejável que o sistema seja flexível, ou seja, que permita que alterações sejam realizadas, se necessário, de maneira que a compreensão da implementação do sistema não seja uma barreira.

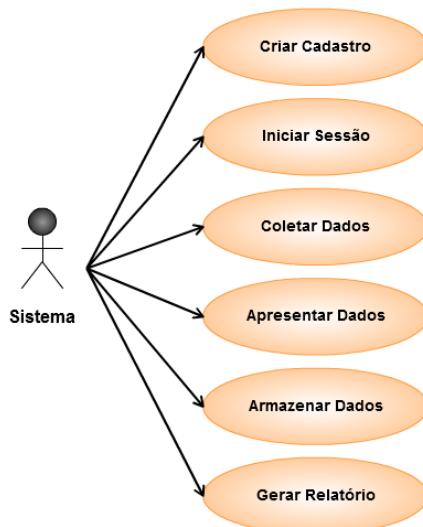
Tabela 4: Requisitos Não Funcionais do Sistema

Requisitos Não Funcionais	Essencial	Desejável
Interface Agradável ao Usuário	X	
Confiabilidade	X	
Desempenho	X	
Facilidade na Utilização	X	
Flexibilidade		X

Fonte: Próprio autor.

A partir da definição dos requisitos do sistema recorreu-se a linguagem de modelagem unificada<sup>1</sup>(UML, do inglês *Unified Modeling Language*) para elaboração de diagramas de casos de uso. Desta forma, a Figura 16 apresenta o casos de uso do sistema, ou seja utilizando o sistema como o ator, onde se apresenta uma visão mais ampla da construção da solução

Figura 16 – Diagrama de Casos de Uso do Sistema



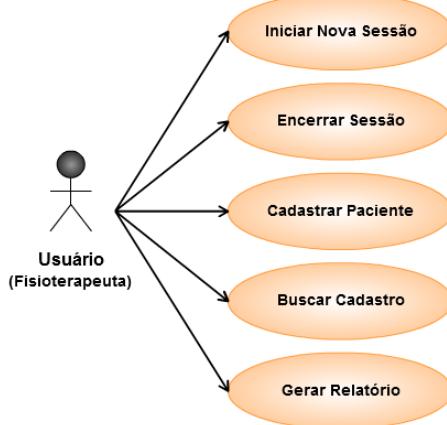
Fonte: Próprio autor.

Partindo para uma visão mais específica, a Figura 17 apresenta o casos de uso tendo o usuário da solução como o ator, ou seja, um fisioterapeuta utilizando a solução

<sup>1</sup><http://www.uml.org>

construída. Assim, pode se observar que o usuário tem a possibilidade de iniciar e encerrar uma nova sessão de exercícios, além de poder cadastrar um novo paciente e buscar um cadastro já existente e, também, gerar relatórios de dados referentes a sessões já realizadas.

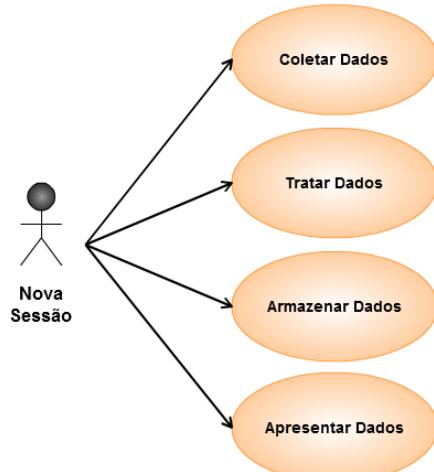
Figura 17 – Diagrama de Casos de Uso do Usuário



Fonte: Próprio autor.

Neste contexto, na Figura 18 está exposto um diagrama de casos de uso tendo uma nova sessão de exercícios físicos, na bicicleta ergométrica, como ator. Assim, em uma nova sessão de exercícios são efetuadas as atividades de coleta, tratamento, apresentação e armazenamento de dados, referentes ao cicloergômetro em questão. Ainda é possível apontar que como apresentado na definição dos requisitos funcionais, gerar alertas é uma funcionalidade desejável, e se implementada a mesma deve ocorrer durante a realização de uma sessão de exercícios.

Figura 18 – Diagrama de Casos de Uso de uma Nova Sessão

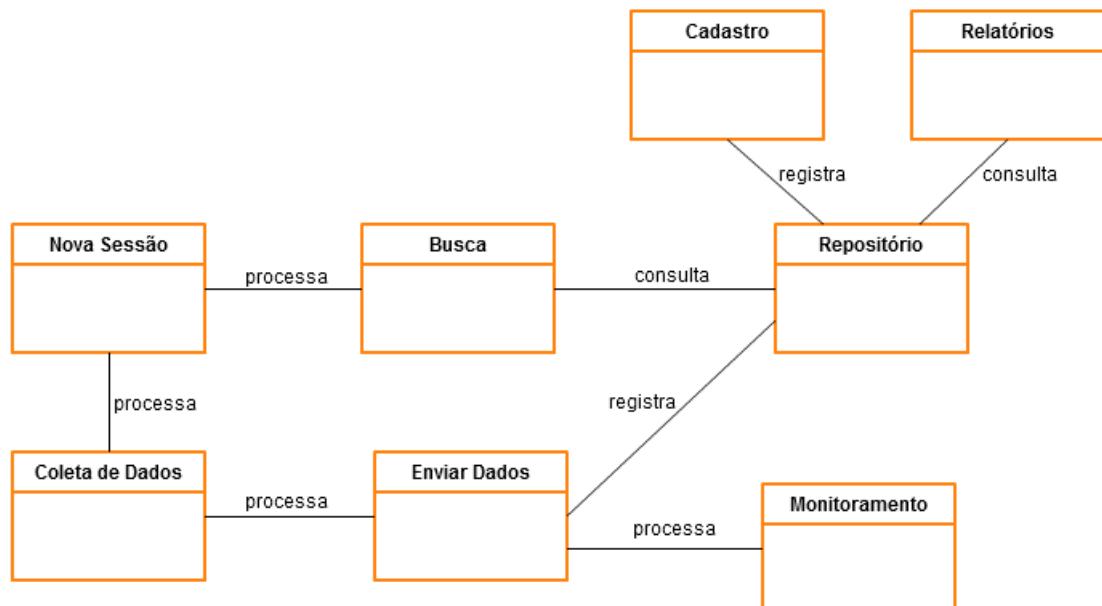


Fonte: Próprio autor.

Além da modelagem dos casos de uso foi elaborado um diagrama de classes conceitual, assim, esse diagrama apresenta classes conceituais de uma situação real, não classes de software. A finalidade deste recurso é apresentar conceitos importantes no domínio do sistema, bem como possíveis associações entre esses conceitos, isto independentemente da solução física que será adotada, ou seja, sem a definição de classes de interface gráfica ou da inclusão de banco de dados.

Assim sendo, a Figura 19 apresenta o diagrama de classes conceitual projetado para o sistema Victus, tendo como base os requisitos definidos e os casos de uso elaborados. É possível observar no diagrama, como principais classes conceituais no domínio do sistema, as classes de: nova sessão, cadastro, busca e relatórios.

Figura 19 – Diagrama de Classes Conceitual da Solução



Fonte: Próprio autor.

Portanto, a definição dos requisitos e a modelagem do sistema, a partir dos diagramas de caso de uso e de classes conceitual, serão utilizadas como diretrizes fundamentais no desenvolvimento da solução. Assim sendo, a próxima seção irá apresentar os elementos aplicados no desenvolvimento do sistema Victus.

#### 4.4 Desenvolvimento

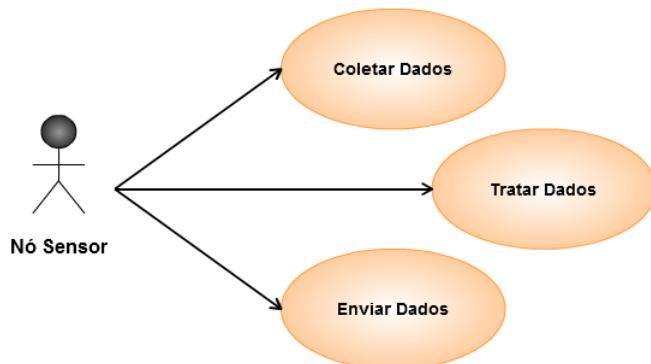
A implementação da solução, como apresentado no capítulo 3, será realizado em duas etapas. Sendo assim, neste item serão apresentados o desenvolvimento do nó sensor, do software e, também, o banco de dados desenvolvido para o sistema.

#### 4.4.1 Nô Sensor

Para o desenvolvimento do nô sensor, primeiramente, foi elaborado um diagrama de casos de uso onde o nô sensor é o ator das ações. Dessa forma, é possível observar que as ações que o nô sensor pode efetuar são: coletar, tratar e enviar dados.

Cada vez que uma nova sessão for inicializada pelo usuário do sistema, o nô sensor irá realizar a coleta dos dados, a partir dos sensores e da plataforma de hardware. Posteriormente, os dados coletados serão tratados, se necessário, e por fim poderão ser enviados. O diagrama de casos de uso do nô sensor pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 – Diagrama de Casos de Uso do Nô Sensor



Fonte: Próprio autor.

Os dados que serão manipulados pelo sistema referem-se as informações de distância percorrida, frequência cardíaca, força muscular e velocidade, ou seja, as informações necessárias para avaliação da sessão de exercícios do paciente. Desta maneira, para a construção da solução foram escolhidos os seguintes equipamentos: uma plataforma de prototipagem de hardware Arduino Mega 2560, um sensor de efeito hall 3144e, um sensor de pulso Amped e um sensor de força muscular MyoWare.

Na Figura 21 pode-se observar a placa Arduino Mega 2560 utilizada no projeto. A mesma foi escolhida pois oferece uma maior quantidade de pinos de entrada e saída, assim como uma maior capacidade de armazenamento.

Figura 21 – Plataforma Arduino Mega 2560 Utilizada no Projeto

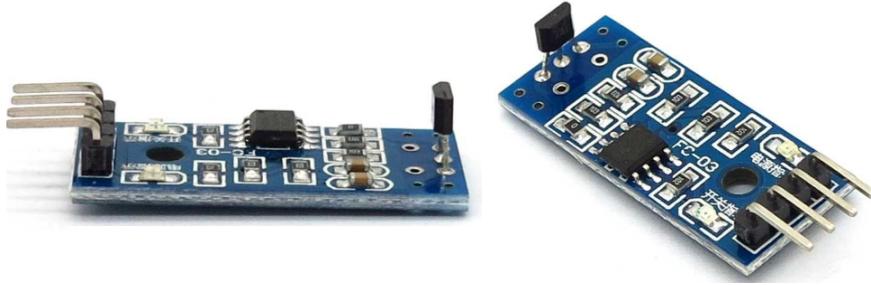


Fonte: Próprio autor.

Como já apresentado na seção 2.5 o microcontrolador utilizado no Arduino MEGA 2560 é o ATmega2560, um microcontrolador de 8 bits de arquitetura RISC avançada. Esse microcontrolador possui mais recursos comparado ao ATmega328 da plataforma UNO. Ele conta com 256 KB de Flash, 8 KB de memória de acesso aleatório (RAM, do inglês *Random Access Memory*) e 4 KB de EEPROM(do inglês *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) e chega a 16 MIPS(do inglês *Millions of Instructions Per Second*), operando em 16 MHz. Ainda pode-se destacar os quatro canais de comunicação serial, 16 entradas analógicas e 15 saídas PWM além de possuir 54 pinos de entradas e saídas digitais.

No que diz respeito aos sensores utilizados na construção da solução, o sensor de efeito hall 3144e é capaz de determinar campos magnéticos, podendo assim ser utilizado para a obtenção de informações como distância percorrida e velocidade. Na solução proposta o sensor de efeito hall será utilizado para detectar o campo magnético gerado por um ímã posicionado na estrutura de rotação da bicicleta ergométrica. Assim, o sensor de efeito hall 3144e utilizado na solução pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Sensor de Efeito Hall



Fonte: MSS Eletrônica (2017).<sup>2</sup>

Outro sensor utilizado é o sensor de pulso Amped, ele funciona respondendo a alterações relativas na intensidade da luz. Assim, se a quantidade de luz incidente sobre o sensor se mantém constante, o valor do sinal permanecerá o mesmo, mas a partir da intensificação da luminosidade o sinal aumenta e, com menos incidência de luz o valor do sinal diminui. A luz do LED fixado no sensor é refletida de volta para que essas mudanças na leitura do sensor ocorram durante cada pulso. A Figura 23 demonstra o sensor de pulso Amped utilizado na solução.

Figura 23 – Sensor de Pulso Amped



Fonte: Adaptado de Arduino Brasil (2017).<sup>3</sup>

Além dos sensores já apresentados, também foi selecionado na implementação do módulo de coleta de dados, o MyoWare Muscle Sensor. Este sensor de EMG atua medindo o sinal filtrado e retificado de um músculo, fornecendo uma tensão que depende da atividade no músculo selecionado. Este processo ocorre a partir da leitura do sinal através três eletrodos de superfície auto-adesivos.

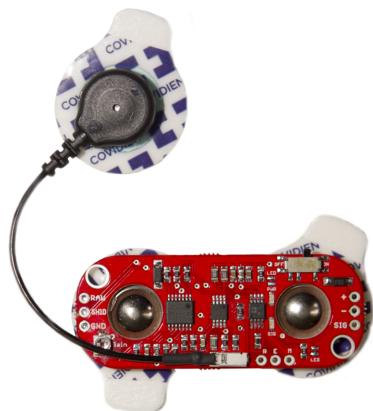
Estes eletrodos devem ser utilizados uma única vez e são muito práticos, uma vez que já são feitos com gel condutor. Cada eletrodo adere muito bem à pele e o conector de

<sup>2</sup>Disponível em: <<http://www.msseletronica.com>>.

<sup>3</sup>Disponível em: <<http://www.arduinodobrasil.com.br/blog>>.

encaixe pode ser encaixado ou removido do eletrodo sem problema. Assim, o sensor atua estabelecendo uma variação de amplitude de sinal de 0 a 1200, apenas como intensidade, também pode ser utilizada uma normalização do sinal em Volts. Desta forma, a Figura 24 apresenta o MyoWare Muscle Sensor utilizado no projeto.

Figura 24 – MyoWare Muscle Sensor



Fonte: Retirado de Advancer Technologies (2017).<sup>4</sup>

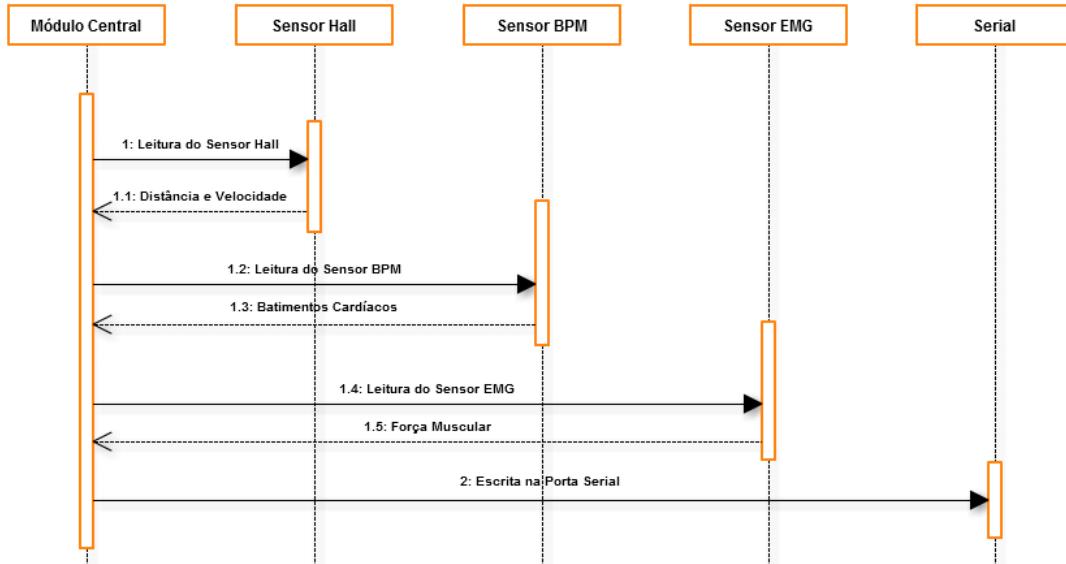
Desta forma, a partir da escolha dos equipamentos, foi elaborada uma lógica de funcionamento para o nó sensor. O ponto de partida para a coleta de dados foi definido como a leitura do sensor de efeito hall, assim, como o mesmo funciona de maneira booleana sendo acionado apenas quando ocorre a detecção do campo magnético, toda vez que o sensor for acionado ocorrerão chamadas para a leitura dos sensores de batimentos cardíacos e de EMG.

A partir da leitura dos sensores, são calculadas as informações referentes a distância percorrida, velocidade, frequência cardíaca e força muscular. Posteriormente, com todos dados já aferidos será realizada uma escrita dos mesmos na porta serial da máquina conectada ao Arduino.

Todas estas ações são realizadas a partir de um módulo central, ou seja, um código escrito em linguagem de programação C e desenvolvido através do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, do inglês *Integrated Development Environment*) da plataforma Arduino. Sendo assim, a Figura 25 apresenta a lógica de execução do nó sensor através de um diagrama de sequência, onde pode se observar o fluxo das ações durante o processo de coleta de dados.

<sup>4</sup>Disponível em: <<http://www.advancertechnologies.com/p/myoware.html>>.

Figura 25 – Diagrama de Sequência Representando a Coleta de Dados



Fonte: Próprio autor.

De forma mais detalhada, a escrita dos dados na porta serial ocorre de maneira sequencial, com o envio dos dados de frequência cardíaca, distância percorrida, velocidade e força muscular, nesta ordem, a partir do momento que ocorrer uma nova leitura dos sensores. Portanto, desta forma fica a cargo do software receber estas informações enviadas do nó sensor e, posteriormente, apresenta-las ao usuário e também armazenar os dados para consultas futuras. Assim sendo, a subseção 4.3.2 irá apresentar a elaboração do software implementado.

#### 4.4.2 Software

Para a solução foi desenvolvido um software implementado em linguagem de programação Java. Primeiramente, como apontado na subseção 4.3.1, foi utilizada comunicação serial entre hardware e software e, assim, foi implementada na aplicação uma lógica de leitura da porta serial. Assim, os dados que são recebidos através de uma única *string*, são separados individualmente para que sejam utilizados durante o processo da ferramenta.

Como necessário, esta aplicação apresenta funcionalidades que correspondem aos requisitos anteriormente definidos, permitindo então, ao usuário o cadastro de pacientes e profissionais, o monitoramento de uma nova sessão de exercícios e a geração de relatórios. Desta forma, a Figura 26 apresenta uma captura de tela da interface inicial do software, onde estão apresentadas ao usuário todas as macro opções da ferramenta.

Figura 26 – Tela Inicial do Sistema Victus



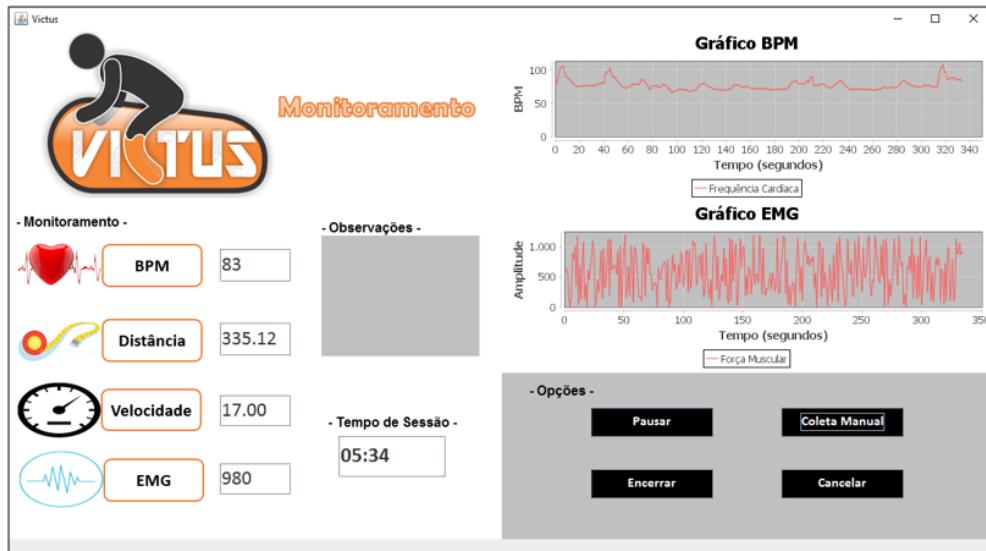
Fonte: próprio autor.

Nas opções de cadastros de pacientes é possível adicionar informações referentes a documentação, altura, idade, peso, sexo, altura, contatos de telefone e e-mail e, também, os dados referentes ao tipo, nível e lado da amputação do paciente. No cadastro do profissionais são adicionadas também informações de documentação, contato e a especialidade do fisioterapeuta. Já na funcionalidade de relatórios, é possível gerar documentos contendo dados referentes ao histórico de sessões de um determinado paciente, contendo dados de parciais e gráficos.

No que diz respeito a uma nova sessão de exercícios é possível monitorar os dados coletados pelo nó sensor em tempo real na tela e, ainda, visualizar gráficos referentes a frequência cardíaca e a força muscular. Além destas informações são apresentados na interface o tempo decorrido da sessão e uma caixa de texto para que o fisioterapeuta responsável consiga apontar observações pertinentes referentes ao exercício do paciente. A Figura 27 demonstra a tela de monitoramento da sessão de exercícios desenvolvida na ferramenta.

Além da interface de monitoramento o software também disponibiliza ao usuário telas para adição de dados pré e pós a sessão de exercícios do paciente. Desta forma, o fisioterapeuta coleta informações de pressão arterial, frequência respiratória e cardíaca de maneira manual, através dos devidos instrumentos técnicos e, assim, insere as aferições na ferramenta. Também é possível realizar este tipo de coleta durante o decorrer de uma sessão, ficando a critério do profissional responsável a necessidade deste procedimento.

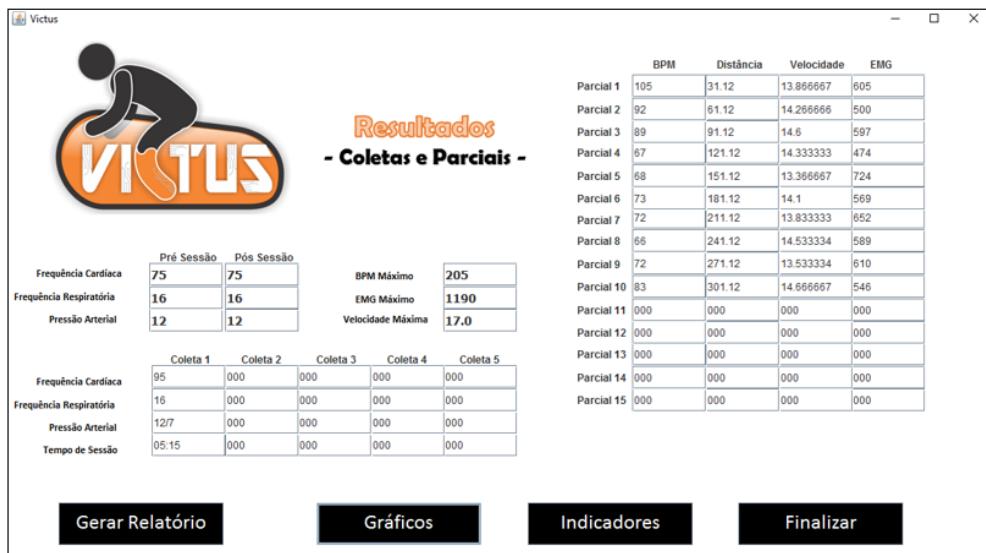
Figura 27 – Tela de Monitoramento de Sessão do Sistema Victus



Fonte: próprio autor.

Após o término de uma sessão de exercícios são apresentadas três telas com resultados referentes ao desempenho do paciente durante o exercício. A primeira interface, apresentada na Figura 28, demonstra os resultados das parciais, calculadas a cada trinta segundos durante a sessão, para cada um dos dados coletados e, ainda, são apresentadas as aferições manuais realizadas pré, pós e durante a sessão.

Figura 28 – Tela de Resultados da Sessão do Sistema Victus



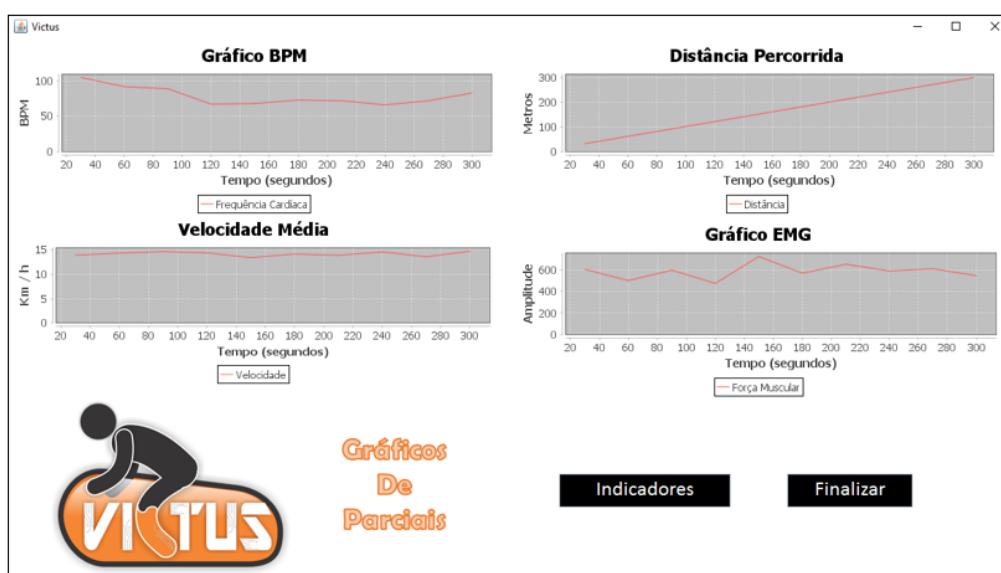
Fonte: próprio autor.

Na interface gráfica, que demonstra os resultados parciais da sessão e as coletas manuais, ainda é apresentada a velocidade máxima que o paciente alcançou durante o exercício e, também, a frequência cardíaca e força muscular máximas obtidas a partir da sessão do indivíduo. Além disto, é permitido ao fisioterapeuta gerar um relatório em PDF com os dados da sessão realizada pelo paciente.

Ainda é preciso apontar que quando a sessão tem uma duração maior que dez minutos é automaticamente habilitado na tela um botão que leva a uma nova interface gráfica que apresenta todos os resultados parciais obtidos durante o exercício. Essa ação foi implementada porque, permite que a primeira tela de resultadas não seja muito poluída e com uma quantidade exagerada de informações.

Posteriormente, são apresentados gráficos referentes as parciais obtidas, isto individualmente para as informações de frequência cardíaca, eletromiografia, distância percorrida e velocidade. Assim, a Figura 29 apresenta uma captura de tela da interface que apresenta os gráficos da sessão do paciente. Por fim, é apresentada uma interface gráfica que apresenta os resultados alcançados para os indicadores isto, também, através de gráficos.

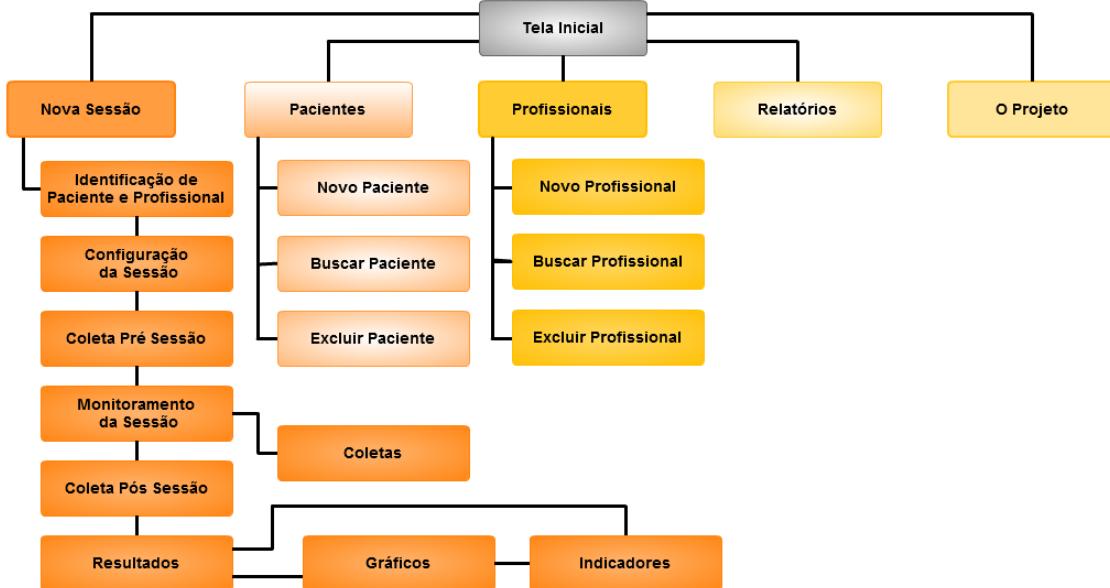
Figura 29 – Tela de Gráficos da Sessão do Sistema Victus



Fonte: próprio autor.

Como forma de apresentar as funcionalidades da aplicação como um todo, foi elaborado uma adaptação de um diagrama de navegação. Este esquema apresenta a navegação através das interfaces gráficas do software, ou seja, as possibilidades de utilização do sistema pelo usuário. Desta forma, a Figura 30 apresenta o diagrama de navegação, entre as telas do software, elaborado para a aplicação.

Figura 30 – Diagrama de Navegação do Sistema Victus



Fonte: próprio autor.

Avaliando a necessidade de armazenar as informações referentes as sessões de exercícios dos pacientes, para consultas futuras e para geração de relatórios, além do armazenamento dos dados de cadastros, foi elaborado um banco de dados que será apresentado na subseção 4.3.3. Assim sendo, foram implementados no software métodos de acesso ao banco de dados, para inserção e consulta de informações.

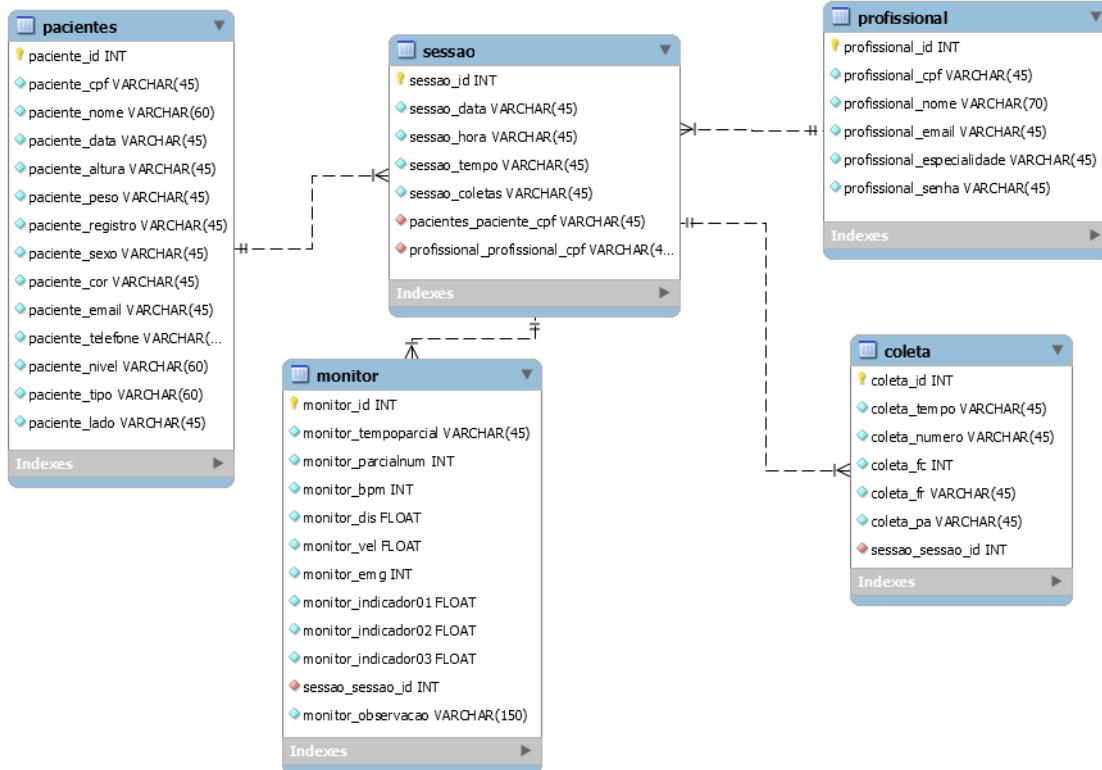
#### 4.4.3 Banco de Dados

Para o armazenamento das informações referentes ao sistema Victus foi criado um banco de dados MySQL. O MySQL foi escolhido por sua facilidade de uso, confiabilidade e seu desempenho, sendo atualmente um dos banco de dados de código aberto mais utilizados no mundo.

A ferramenta MySQL Workbench versão 6.3 CE foi utilizada para o gerenciamento do banco de dados criado. Esta é uma ferramenta que auxilia o processo de modelagem e com ela foi criado o Modelo Entidade Relacionamento (MER) do banco de dados, gerando o modelo lógico e físico. Desta forma, para o modelo físico, foram gerados *scripts* em *SQL* diretamente a partir da ferramenta.

Assim sendo, foram criadas cinco tabelas de dados, sendo elas: (i) tabela de pacientes; (ii) tabela de profissionais; (iii) tabela de sessão; (iv) tabela de coletas; (v) tabela monitor. A Figura 31 apresenta o MER do banco de dados implementado para a solução.

Figura 31 – Modelo Entidade de Relacionamento do Sistema Victus



Fonte: próprio autor.

A tabela de pacientes é onde são armazenadas as informações pessoais de cada um dos pacientes cadastrados no sistema. Analogamente, a tabela de profissionais guarda os dados referentes aos cadastros de cada profissional usuário da solução. Já a tabela sessão é onde são depositadas as configurações de cada uma das sessões de exercícios realizadas, contendo as informações da data, hora, duração e número de coletas manuais. A relação entre as tabelas pacientes e profissionais para a tabela sessão é de 1 para  $N$ , ou seja, um paciente e um profissional podem ter  $N$  sessões de exercícios realizadas.

Os dados parciais e os indicadores coletados durante as sessões são armazenados na tabela monitor e as aferições manuais realizadas são depositadas na tabela de coletas. Sendo assim, a relação entre a tabela de sessão e as tabelas monitor e de coletas é de 1 para  $N$ , ou seja, uma sessão de exercícios podem ter  $N$  dados coletados e aferições manuais realizadas.

## 5 TESTES E RESULTADOS PARCIAIS

Este capítulo apresenta a descrição dos conceitos envolvidos na elaboração, construção e execução de testes. Assim, serão apresentadas as informações referentes a concepção dos testes e também considerações sobre os resultados obtidos.

### 5.1 Etapa 1 - Avaliação de Precisão do Sistema

Esta seção apresenta a concepção e os resultados dos testes referentes a primeira etapa de construção da solução, ou seja, o módulo de coleta de dados. Assim, o objetivo destes experimentos é avaliar a precisão da coleta de dados através do sistema implementado.

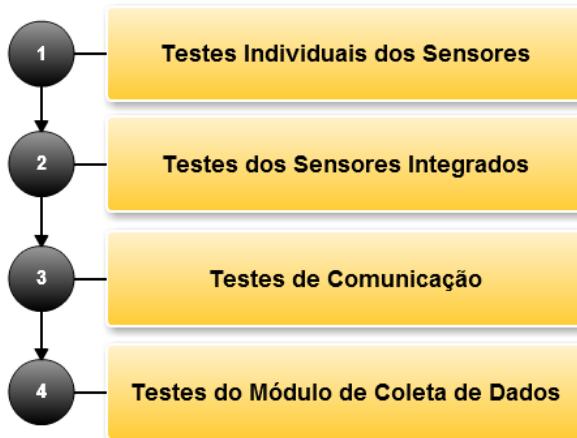
#### 5.1.1 Concepção dos Testes

Inicialmente, para a validação da solução desenvolvida foram elaborados testes que abordam desde o funcionamento específico de um determinado componente de hardware, quanto a avaliação do módulo de coleta de dados completo. As especificações e elaboração completa dos experimentos pode ser observada no Apêndice B, onde é apresentado o documento de plano de testes desenvolvido.

De maneira ilustrativa a Figura 32 apresenta a divisão dos testes desta etapa, desde a realização de experimentos individuais com cada um dos sensores, em um próximo momento a execução de avaliações sobre os sensores integrados em um único sistema, posteriormente testes de comunicação e, por fim, os testes sobre o sistema do módulo de coleta de dados implementado.

Nos testes realizados individualmente, em cada um dos sensores que compõem a construção do nó sensor, os sensores de efeito Hall, de frequência cardíaca Amped e MyoWare apresentaram um funcionamento correto. Desta forma, foi possível realizar a leitura dos sinais emitidos pelos mesmos e, também, gerar as informações de distância, velocidade e frequência cardíaca e eletromiografia.

Figura 32 – Sistemática dos Testes Realizados na Etapa 1



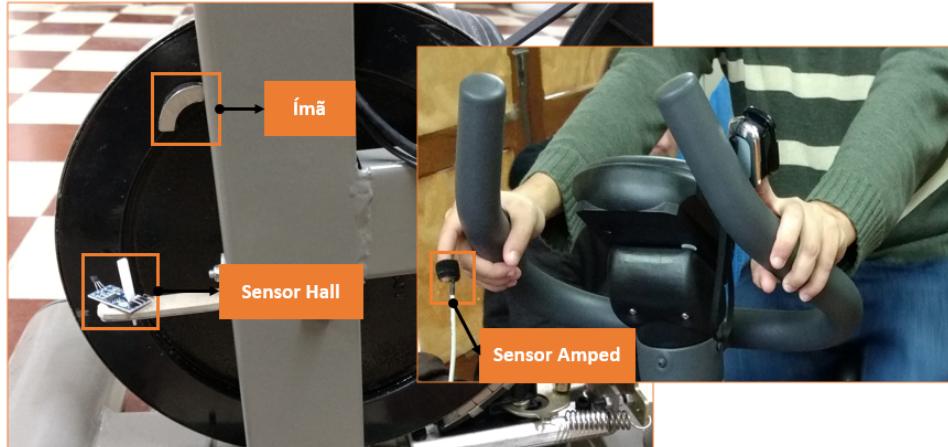
Fonte: Próprio autor.

Na etapa de testes realizados sobre o funcionamento dos sensores integrados em uma mesma aplicação, os resultados obtidos foram satisfatórios, demonstrando a capacidade de se realizar a leitura dos sensores de maneira sequencial. Já na aplicação dos testes que envolviam a comunicação entre o nó sensor e o software, foi alcançado um comportamento ideal que permitiu o estabelecimento de uma comunicação que coleta e envia os dados de maneira precisa e em tempo real.

Posteriormente foram realizados testes sobre o módulo de coleta de dados completo, ou seja, a capacidade da solução de, a partir de uma sessão de exercícios físicos em uma bicicleta ergométrica, coletar os dados com precisão. A concepção deste experimento sobre o módulo de coleta de dados, consistiu na análise e monitoramento de seis sessões de exercícios na bicicleta ergométrica.

Estas sessões foram realizadas por três indivíduos, onde cada um realizou duas sessões, por um tempo determinado de cinco minutos de duração. Desta forma, a Figura 33 apresenta o posicionamento adotado na instalação do sensor Hall, monitorando o campo magnético gerado por um ímã posicionado no eixo de rotação da bicicleta ergométrica, e também, do sensor de batimentos cardíacos Amped fixado no dedo indicador direito do indivíduo realizando o exercício.

Figura 33 – Posicionamento dos Sensores Hall e Amped



Fonte: Próprio autor.

Os testes foram realizados na instalações do SRF e contaram com o acompanhamento de fisioterapeutas durante a realização das sessões de exercícios. Como métricas de base foram utilizadas um oxímetro<sup>1</sup> e também o *display* digital da bicicleta ergométrica, que apresenta informações de distância percorrida, velocidade e tempo de sessão. Desta maneira, a Figura 34 ilustra o cenário de execução dos experimentos, apresentando os elementos que constituíram a aplicação dos testes.

Figura 34 – Realização do Teste de Validação do Módulo de Coleta de Dados



Fonte: Próprio autor.

Para analisar a precisão da coleta dos dados realizada pelo sistema em relação as métricas base, foram calculadas médias aritméticas entre as sessões de exercícios físicos

<sup>1</sup>Dispositivo médico que analisa a quantidade de oxigênio no sangue de um indivíduo, permitindo que fisioterapeutas possam ver a oxigenação em relação ao tempo.

realizadas, onde realizou-se o cálculo de médias a cada cinco ou dez segundos e, posteriormente, foram calculadas médias destas parciais a cada minuto das sessões de exercício. Assim, de maneira prática, se o valor obtido com o oxímetro de pulso em um determinado instante foi de 98 batimentos por minuto (BPM) e o obtido com o sensor Amped foi de 90 BPM, a precisão da coleta do sensor é dada por 90 multiplicado por 100% e esse resultado dividido por 98, resultando assim em um percentual de precisão do Sensor Amped em relação ao oxímetro de pulso.

É necessário apontar que neste experimento não foi avaliado o sensor de EMG MyoWare, uma vez que não foi obtida um sistema de base para avaliação da precisão do sensor. Neste contexto, a subseção 5.1.2 irá apresentar os resultados dos testes realizados sobre o módulo de coleta de dados. E assim, serão realizadas avaliações e discussões sobre o comportamento do sistema desenvolvido perante as métricas bases adotadas e também de maneira geral.

### **5.1.2 Resultados e Discussões**

Como apontado na subseção 5.1.1, para a avaliação de precisão da coleta da frequência cardíaca, através do sensor Amped, foi adotado como instrumento base um oxímetro digital e, também, foi realizada uma análise sobre a frequência cardíaca apontada pelo sistema da bicicleta ergométrica onde os experimentos foram realizados. Já na validação da distância percorrida e da velocidade média, alcançada durante o exercício, o *display* digital da bicicleta foi utilizado como métrica base.

Desta forma, como resultado da análise inicial observou-se que a frequência cardíaca apresentada pelo sistema da bicicleta ergométrica se manteve muito distante do valores obtidos com o oxímetro e com o sensor de batimentos Amped. Assim, o sistema de monitoramento de frequência cardíaca da bicicleta não foi utilizado como métrica de comparação ou análise dos dados coletados pelo sensor Amped.

Para analisar a precisão da coleta dos dados realizada pelo sistema em relação às métricas base, foram calculadas médias aritméticas entre as sessões de exercícios físicos realizadas, onde realizou-se o cálculo de médias a cada cinco ou dez segundos e, posteriormente, foram calculadas médias destas parciais a cada minuto das sessões de exercício. Assim, de maneira prática, se o valor obtido com o oxímetro de pulso em um determinado instante foi de 98 batimentos por minuto (BPM) e o obtido com o sensor Amped foi de 90 BPM, a precisão da coleta do sensor é dada por 90 multiplicado por 100% e esse re-

sultado divido por 98, resultando assim em um percentual de precisão do Sensor Amped em relação ao oxímetro de pulso.

Assim sendo, o mesmo procedimento foi utilizado na avaliação da precisão da distância percorrida e da velocidade, tendo como base os valores apresentados pelo sistema da bicicleta ergométrica. Portanto, a Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no cálculo de precisão de cada uma das informações avaliadas, em uma análise referente a cada minuto de sessão realizado.

Tabela 5: Precisão do Módulo de Coleta de Dados

<b>Tempo</b>	<b>BPM</b>	<b>Distância</b>	<b>Velocidade</b>
1º Minuto	46,97%	98,60%	93,55%
2º Minuto	84,18%	96,89%	96,16%
3º Minuto	91,28%	96,21%	97,56%
4º Minuto	96,57%	94,72%	97,29%
5º Minuto	95,84%	96,84%	97,72%
<b>Total</b>	<b>82,96%</b>	<b>96,65%</b>	<b>96,45%</b>

Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado na Tabela 5 a precisão do sensor Amped no primeiro minuto apresentou um resultado baixo, porém, isto é explicado por dois fatores: O primeiro pode ser explicado pela própria documentação do sensor, onde é apontado que o mesmo demora um tempo para estabilizar a leitura do sinal de luminosidade. Outro fator de análise é que durante a realização dos experimentos, por alguns instantes, no início das sessões a estrutura de posicionamento do Arduino acabava ficando instável, por conta de movimentações próximas ao mesmo, resultando assim em uma instabilidade na leitura do sensor Amped.

De um modo geral a exatidão obtida pelo módulo de coleta de dados, através dos sensores, se mostrou bastante satisfatória, uma vez que na maioria dos casos foi alcançada uma precisão acima de 90%. Na análise da distância, é preciso levar em consideração que o sistema da bicicleta ergométrica não apresenta uma análise dos centímetros, ou seja, décimos. Assim, este é um fator que afeta a análise de precisão da distância percorrida, uma vez que o sistema desenvolvido apresenta a distância com duas casas decimais.

Portanto, analisando os resultados obtidos nos testes, foi possível indicar um índice de precisão do módulo de coleta de dados desenvolvido, e também, avaliar medidas que podem ser tomadas para melhorar a precisão do sistema. Outro ponto importante de análise, é que foi possível demonstrar a viabilidade da realização de uma análise comparativa entre os dados de um determinado indivíduo ao longo de diferentes sessões de exercícios, o que se torna relevante na avaliação do progresso de um paciente em reabilitação física.

## 5.2 Etapa 2 - Validação do Sistema Victus e Testes Com Pacientes

Nesta seção serão apresentados os experimentos realizados com pacientes, utilizando o sistema Victus, durante sessões de exercícios físicos na bicicleta ergométrica. Sendo assim, será explicada a seleção do grupo experimental, a descrição dos experimentos, a metodologia de avaliação da utilização do sistema e os resultados alcançados nesta avaliação.

### 5.2.1 Grupo Experimental e Descrição dos Experimentos

Como o objetivo central da solução é auxiliar os fisioterapeutas na avaliação do tratamento de reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores, para realizar uma avaliação das utilização do sistema Victus como um todo, foram selecionados alguns pacientes para participarem de testes. Estes indivíduos foram selecionados pelos profissionais do SRF, de acordo com sua aptidão física, doenças congênitas e a capacidade de participar de exercícios em uma bicicleta ergométrica.

Portanto, foram selecionados 3 pacientes, que participaram de sessões de exercícios utilizando o sistema Victus, com o acompanhamento dos fisioterapeutas. Assim, a Tabela 6 apresenta as características destes pacientes, onde são apresentadas as informações de sexo, idade e as diretrizes referentes a amputação, ou seja, nível, lado e causa.

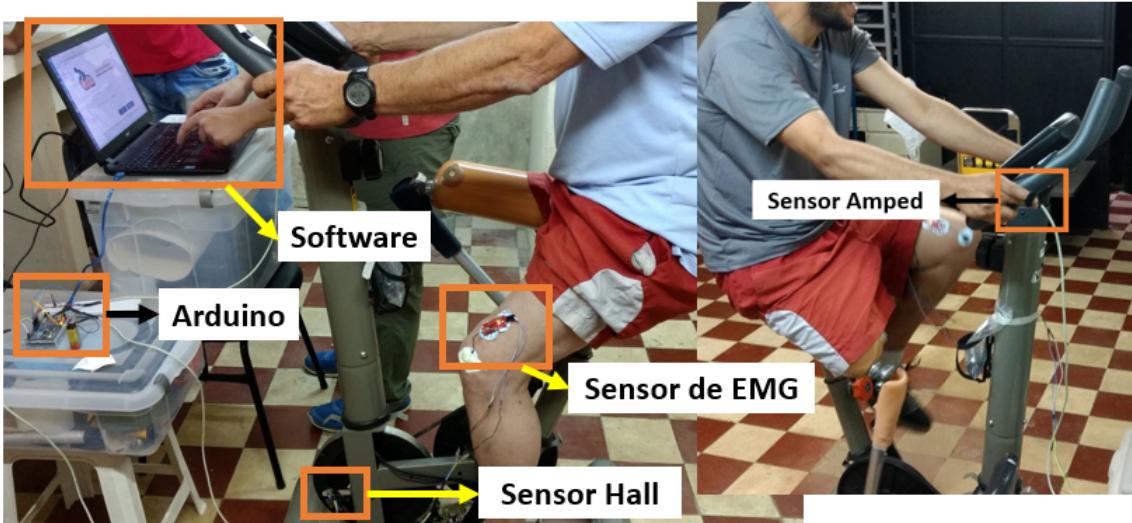
Tabela 6: Pacientes Selecionados para Participação nos Experimentos

	<b>Paciente 1</b>	<b>Paciente 2</b>	<b>Paciente 3</b>
Sexo	Homem	Homem	Homem
Idade	34 Anos	78 anos	52 anos
Nível de Amputação	Transfemural	Transfemural	Transfemural
Lado da Amputação	Direito	Direito	Direito
Causa da Amputação	Traumática	Doença Vascular	Poliomielite

Fonte: próprio Autor.

Desta forma, a Figura 35 apresenta a realização dos testes em dois dos pacientes do grupo experimental. Na figura é possível observar a disposição dos sensores e, também, o posicionamento do indivíduo na bicicleta durante o exercício. Estes experimentos foram realizados nas instalações do SRF e com acompanhamento e direção dos fisioterapeutas.

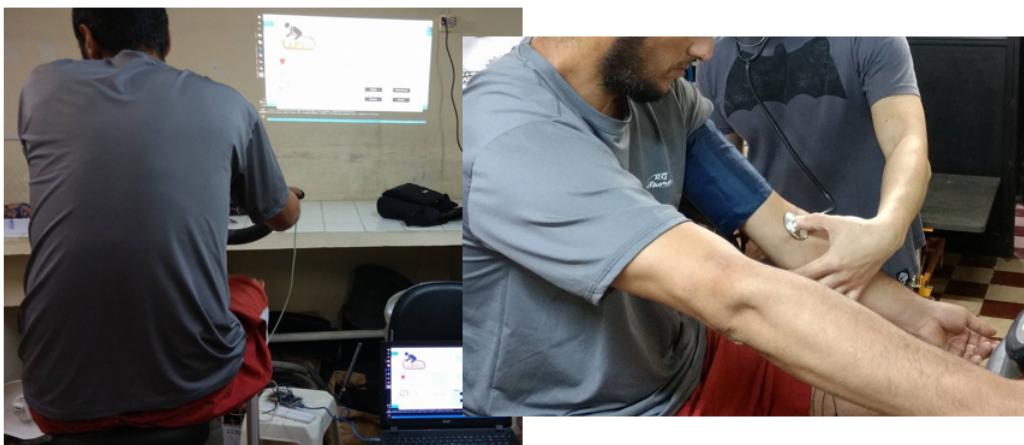
Figura 35 – Realização de Testes com Pacientes



Fonte: Próprio autor.

Já na Figura 36 é possível observar a visão do paciente em relação ao monitoramento de sua sessão pelo software e, também, a coleta manual pré sessão realizada pelo fisioterapeuta. Assim, é relevante apontar que, em todas as sessões realizadas com os pacientes foram feitas as coletas manuais pré e pós sessão, pelos fisioterapeutas e, além disso, foi sempre disponibilizado um recurso para o paciente acompanhar o monitoramento de sua sessão pelo software, através de projetor ou de um monitor.

Figura 36 – Coletas e Monitoramento dos Testes com Pacientes



Fonte: Próprio autor.

Desta forma, com o objetivo de avaliar a utilização do sistema Victus foi elaborado um questionário destinado aos fisioterapeutas. A intenção é a partir desse questionário obter o *feedback* dos fisioterapeutas sobre a utilização dos sistema como um todo e como ele atende aos requisitos definidos. Assim, a elaboração do questionário, tem como base os conceitos de Afonso et al., (2009) e algumas ideias do modelo Keller (1983).

Em seu trabalho, Afonso et al., (2009) indicam que a avaliação da usabilidade de um sistema computacional tem como principais objetivos avaliar a funcionalidade do sistema e a satisfação do utilizador relativamente ao uso da interface (AFONSO et al., 2009). Já o modelo de Keller (1983), o IMMS, apresenta ideias voltadas para a avaliação de um paciente ou profissional da área da saúde a determinado sistema ou rotina. Segundo o autor é preciso levar em consideração quatro fundamentos, sendo eles: atenção, relevância, confiança, e satisfação (KELLER, 1983)

Sendo assim, foi elaborado um questionário com oito questões de múltipla escolha e duas questões dissertativas, totalizando dez questões no questionário. Como modelo de respostas para as questões de múltipla escolha foi adota o conceito de Escala Likert. De acordo com Amaro et al., (2005) o modelo de avaliação da Escala Likert apresenta cinco respostas e uma deve ser selecionada, onde a representação pode ser "concorda totalmente", "concorda", "sem opinião", "discorda" e "discorda totalmente" ou utilizar pontuações de 1 a 5 (AMARO et al., 2005). Desta forma, para esta avaliação foi adotada a representação de pontuações de 1 a 5, onde 1 é a pior avaliação possível e 5 a melhor avaliação possível.

Portanto, na subseção 5.2.2 serão apresentados os resultados das avaliações dos fisioterapeutas, a partir do questionário elaborado. Além disso, será discutido as implicações do resultado geral da avaliação dos profissionais e, também, explanações a respeito do comportamento dos pacientes diante da solução desenvolvida. Por fim, o questionário elaborado e aplicado com os fisioterapeutas pode ser observado por completo no Apêndice D.

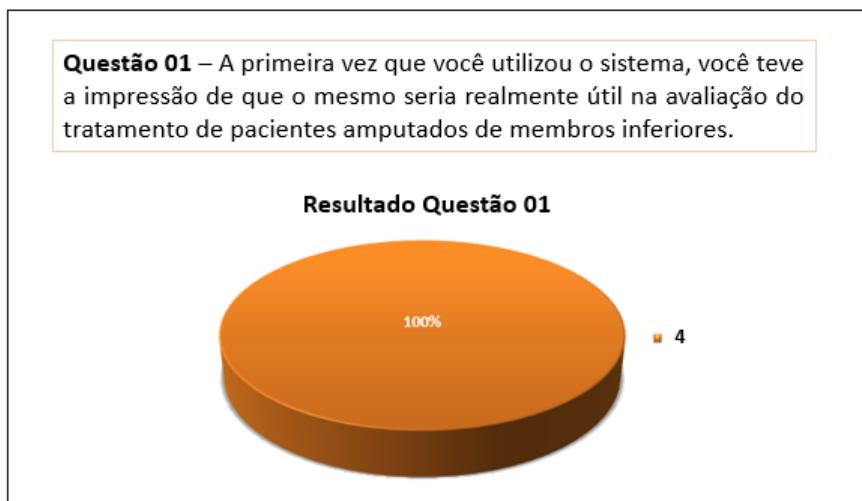
### **5.2.2 Avaliação da Solução**

Como apontado anteriormente, os fisioterapeutas utilizaram o sistema Victus durante as sessões de exercícios realizadas com os pacientes. Posteriormente a realização do conjunto de sessões, os fisioterapeutas responderam ao questionário, realizando assim sua avaliação sobre a utilização dos sistemas. Desta forma, as respostas dos fisioterapeutas para as questões de 1 a 8 foram analisadas a partir da porcentagem que cada indicação da Escala Likert foi escolhida na avaliação do profissional.

Inicialmente, a questão 1 tem como intuito avaliar a impressão do profissional ao utilizar o sistema pela primeira vez. Sendo assim, como apresentado na Figura 37, de maneira gráfica, 100% dos fisioterapeutas pontuaram valor 4 para a primeira questão. Isso

indica, que os fisioterapeutas em seu primeiro contato com o sistema tiveram uma impressão positiva, de que a solução poderia ajudar na avaliação do tratamento de pacientes amputados de membros inferiores.

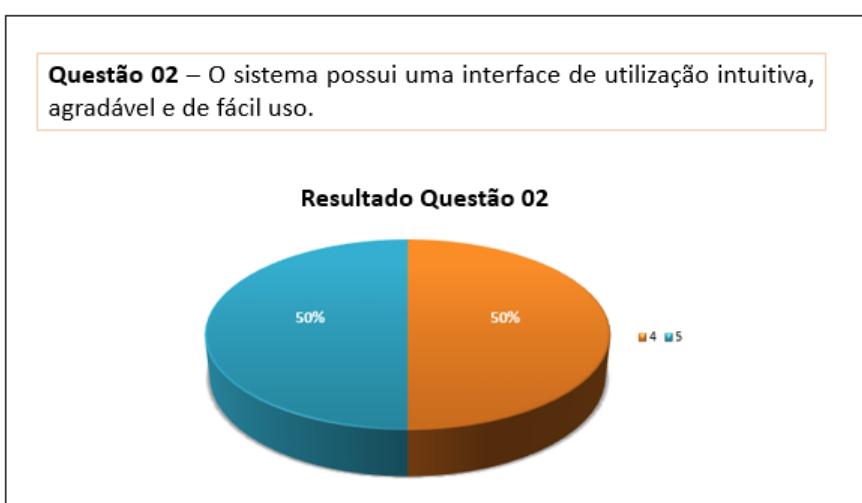
Figura 37 – Avaliação da Questão 1



Fonte: Próprio autor.

Já na avaliação do segundo questionamento, 50% dos fisioterapeutas pontuaram valor 4 e outros 50% valor 5, como apresentado na Figura 38. Essa questão tinha como objetivo avaliar a reação do profissional em relação a interface do software. Assim, é possível analisar que para os fisioterapeutas a interface do sistema é satisfatória, sendo de intuitiva, agradável e de fácil uso.

Figura 38 – Avaliação da Questão 2

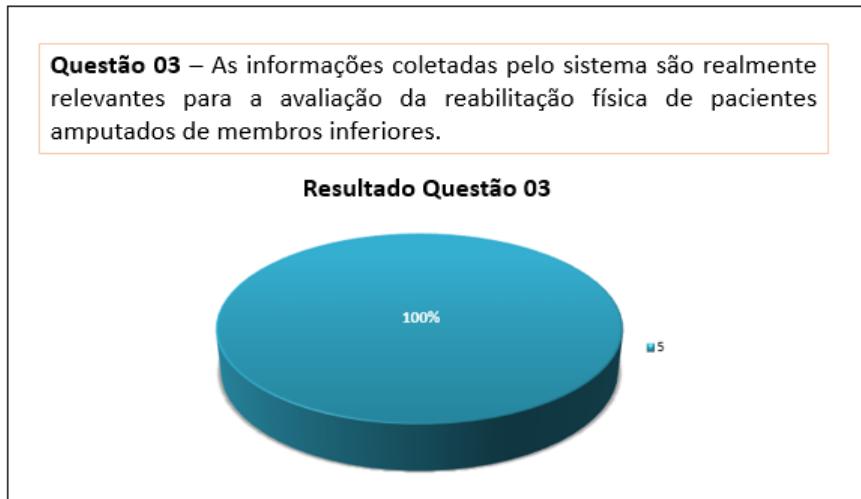


Fonte: Próprio autor.

A questão 3 diz respeito aos dados coletados pelo sistema durante a realização do exercício do paciente. Nessa avaliação, 100% dos fisioterapeutas pontuaram valor 5 para a questão, como demonstra a Figura 39. Assim, fica claro que os dados que são coletados

pelo sistema são de extrema importante na avaliação do tratamento de reabilitação física dos pacientes.

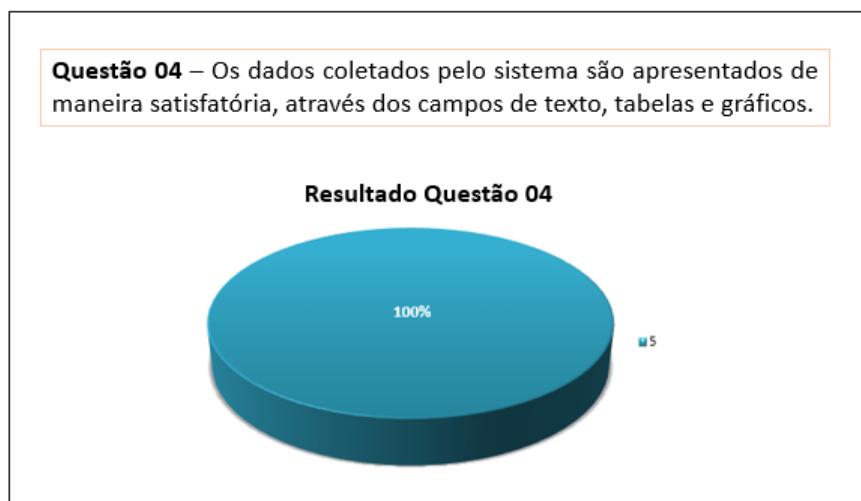
Figura 39 – Avaliação da Questão 3



Fonte: Próprio autor.

Seguindo a intenção do questionamento anterior, a questão 4 tem como objetivo avaliar a reação dos profissionais a apresentação dos dados coletados nas telas do software. Desta forma, 100% dos fisioterapeutas deram pontuação 5 em sua avaliação da questão 4, como apresenta a Figura 40. Portanto, pode se avaliar que os fisioterapeutas ficaram completamente satisfeitos com a apresentação das informações coletadas no sistema.

Figura 40 – Avaliação da Questão 4

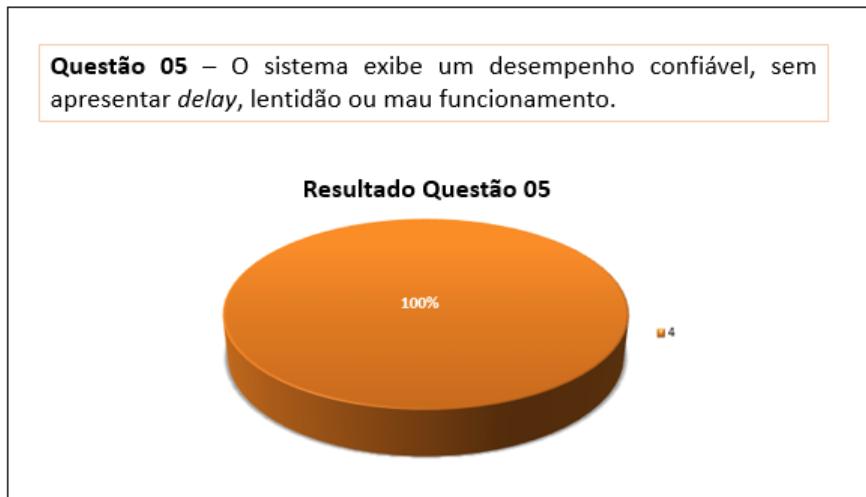


Fonte: Próprio autor.

A questão número 5 tem o intuito de analisar o desempenho do sistema. Assim, como apresentado na Figura 41, 100% dos profissionais pontuaram a questão com valor

4. Pode ser observar assim, que o desempenho do sistema é eficiente e não acarreta em complicações na execução das sessões dos pacientes nem na leitura dos dados coletados.

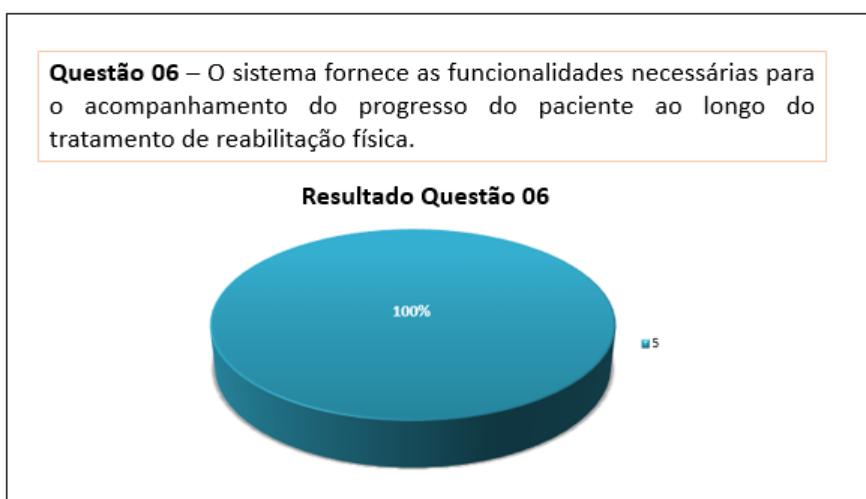
Figura 41 – Avaliação da Questão 5



Fonte: Próprio autor.

A questão 6 está diretamente relacionada aos requisitos definidos assim, o objetivo é saber dos fisioterapeutas se o sistema apresenta as funcionalidades necessárias para o acompanhamento do progresso do paciente ao longo do tratamento. Desta forma, a Figura 42 apresenta o resultado obtido, onde pode se observar que 100% dos profissionais deram pontuação 5 para a questão. Sendo assim, é possível entender que o sistema está de acordo as necessidades definidas para auxiliar o acompanhamento do tratamento dos pacientes.

Figura 42 – Avaliação da Questão 6

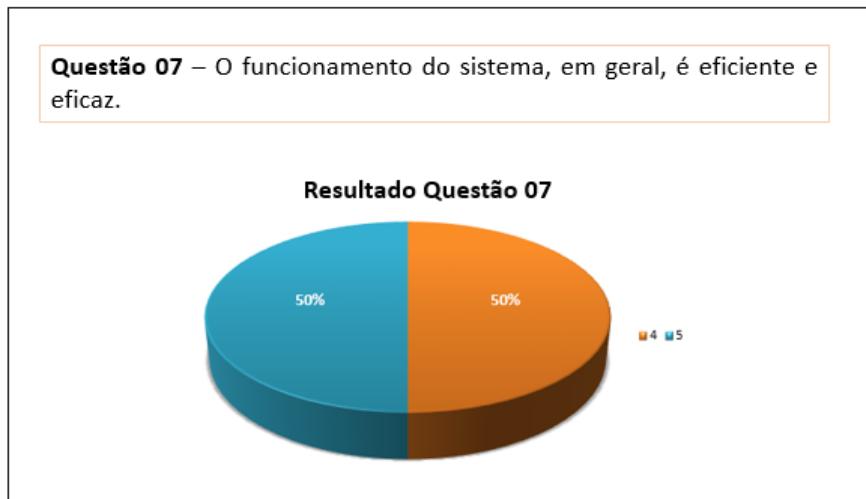


Fonte: Próprio autor.

Já a sétima questão é uma avaliação da eficiência e eficacia do sistema de maneira geral. Assim, como resultado se obteve que 50% dos fisioterapeutas pontuaram valor 4 e outros 50% dos profissionais indicaram pontuação 5 para a questão, como apresentado

na Figura 43. Portanto, na avaliação dos fisioterapeutas o sistema, de maneira geral, apresenta uma boa eficiência e eficácia.

Figura 43 – Avaliação da Questão 7



Fonte: Próprio autor.

Por fim, a oitava questão tem por intuito uma avaliação direta do fisioterapeuta sobre o quanto o mesmo apreciou utilizar o sistema. Desta forma, se obteve o resultado de que 50% dos fisioterapeutas pontuaram valor 4 e outros 50% dos profissionais indicaram pontuação 5 para a questão, como demonstrado na Figura 44. Assim, fica claro que os fisioterapeutas gostaram de utilizar a ferramenta, o que é de suma importância para o desenvolvimento das atividades com o sistema.

Figura 44 – Avaliação da Questão 8



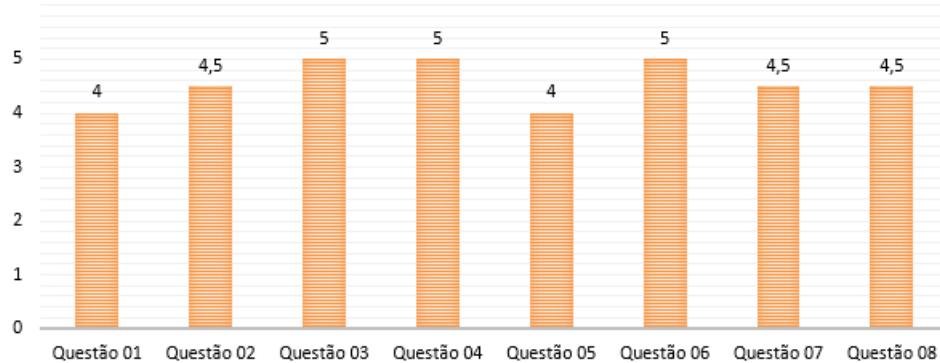
Fonte: Próprio autor.

Desta forma, a Figura 45 apresenta um gráfico de barras que traz os resultados médios obtidos para as questões de 1 a 8. Assim, por exemplo, no caso da avaliação da oitava questão, como 50% dos fisioterapeutas pontuaram valor 5 e outros 50% dos valor

4, foi realizada uma média que tem como resultado uma pontuação geral para a questão de 4,5.

Figura 45 – Resultado Médio do Questionário Para as Questões de 1 a 8

## RESULTADO QUESTIONÁRIO



Fonte: Próprio autor.

Já na avaliação das questões dissertativas, os fisioterapeutas apontaram, entre outras explanações, que a ferramenta é muito útil na avaliação do paciente durante toda as etapas do tratamento. Outro ponto levantado pelos profissionais, é que esse processo de reabilitação é inovador e irá proporcionar um leque de opções para serem aferidos no decorrer de todo o processo de tratamento, essencialmente na fase de recuperação do indivíduo.

Portanto, avaliando os resultados obtidos com o questionário é possível notar que para os fisioterapeutas a solução elaborada pode claramente auxiliar no tratamento de reabilitação física dos pacientes. E, ainda, as questões técnicas que envolvem a utilização do sistema foram bem avaliadas pelos fisioterapeutas, o que demonstra que o desenvolvimento da solução foi realizado de maneira eficiente.

Ainda, é possível descrever que a reação dos pacientes ao utilizarem o sistema foi extremamente positiva. Os mesmos se sentiram motivados utilizando a solução, principalmente pela mudança na rotina do tratamento. Também, segundo os pacientes não houve desconforto gerado pela utilização dos sensores ou pelo exercício na bicicleta.

E com o decorrer das sessões foi possível observar que para cada paciente o progresso no tratamento ocorre de maneira distinta. Por exemplo, o paciente 2, que possui uma maior idade em relação aos pacientes 1 e 3, realizou sessões com menor tempo de duração em comparação aos demais pacientes e, também, desenvolvia uma menor velocidade no exercício ao decorrer dos exercícios, como pode ser observado através do sistema, seja pelo monitoramento em tempo real das sessões ou pela geração de relatórios.

## 6 CONCLUSÃO

Com a solução já implementada e validada é possível refletir sobre os objetivos traçados ao inicio da pesquisa e como os mesmos foram alcançados. Inicialmente, a busca pela fundamentação teórica levou a uma maior familiaridade com os temas envolvidos na pesquisa e, assim, os trabalhos encontrados foram de total valia no embasamento de todo o projeto.

Em um mesmo sentido, a definição dos requisitos juntamente aos fisioterapeutas do SRF foi realizada de maneira eficaz, através de reuniões, elaboração de questionários e *mockups*. E, assim, os requisitos definidos serviram como base para a implementação das funcionalidades do sistema. Também a partir dos requisitos foi possível estabelecer uma modelagem para o projeto, baseada em padrões e técnicas de engenharia de software.

Analizando a construção da solução, foi possível realizar o desenvolvimento em etapas, o que permitiu um maior controle do processo, realização de testes e aperfeiçoamentos necessários. Inicialmente, avaliando a primeira etapa de construção da solução, foi possível demonstrar a precisão do módulo de coleta de dados, desenvolvido o módulo a partir da integração dos sensores utilizados e da plataforma Arduino.

Já em relação a segunda etapa de construção da solução, foi desenvolvido o software em java, implementando todas as funcionalidades definidas a partir dos requisitos, com ênfase na capacidade de monitoramento em tempo real das sessões de exercícios dos pacientes. Assim, foi realizado com sucesso a integração do software com o nó sensor e, também, com o banco de dados desenvolvido para armazenar as informações referentes ao sistema Victus.

Portanto, a partir da construção da solução, foi viável selecionar um grupo de pacientes aptos a participarem de exercícios na bicicleta ergométrica utilizando o sistema Victus. E, assim, foi realizada a validação da solução a partir da avaliação dos fisioterapeutas sobre a utilização do sistema, considerando a experiência que os mesmos tiveram na interação com o sistema durante a execução dos experimentos com os pacientes.

Avaliando em um contexto mais amplo, foi definido como objeto geral do projeto a construção de uma solução computacional, que auxilie os profissionais de fisioterapia no acompanhamento do progresso no tratamento de reabilitação física de pacientes com algum tipo de amputação de membro inferior. Assim, após a realização dos experimentos é possível avaliar que, de acordo com a avaliação dos fisioterapeutas, a solução desenvolvida alcança o objetivo traçado.

É preciso destacar que o desenvolvimento de uma solução computacional que se utiliza de técnicas e tecnologias variadas é desafiador, mas acarreta, quando bem executado, em uma solução de alto nível. Assim, desenvolver o sistema a partir da utilização de um nó sensor composto de diferentes sensores e da plataforma Arduino, um software de monitoramento em tempo real e um banco de dados para o armazenamento das informações, resultou em um grande período de descobertas e busca por novos conhecimentos e conceitos.

Além da análise técnica do desenvolvimento da solução, a realização do projeto de forma multidisciplinar, envolvendo conceitos da área da computação com conceitos da área médica, levou também, ao apanhado de novos entendimentos. Assim sendo, fica demonstrado que a solução desenvolvida pode ser útil e ajudar não apenas no processo de reabilitação física de indivíduos amputados de membros inferiores, mas também no cotidiano dos mesmos e na sua readequação a nova condição de vida.

Por fim, será dada continuidade no projeto Victus, onde serão realizados outros experimentos com os pacientes já cadastrados no sistema e, também, com novos pacientes selecionados pelos fisioterapeutas. Além disso, como trabalhos futuros se vislumbra a adição de sensores ao sistema, para a obtenção de novas informação do tratamento do paciente e, também, o desenvolvimento de uma solução em RV voltada para os pacientes, com o intuito de auxiliar no tratamentos dos mesmos, a partir do acréscimo de motivação decorrido da utilização do ambiente virtual.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, A. P. et al. A avaliação da usabilidade de um sistema médico inteligente: Bcct. core. In: **4ª Conferência Ibérica de Sistemas E Tecnologia de Informação, Póvoa de Varzim.** [S.l.: s.n.], 2009.
- AMARO, A.; PÓVOA, A.; MACEDO, L. A arte de fazer questionários. **Porto, Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto**, 2005.
- ANDERSON-HANLEY, C. et al. Exergaming and older adult cognition: a cluster randomized clinical trial. **American journal of preventive medicine**, Elsevier, v. 42, n. 2, p. 109–119, 2012.
- ANWAR, F.; ALKHAYER, A. Perceptions of prosthetic limb among lower limb amputees. **International Journal of Therapies and Rehabilitation Research**, v. 5, n. 4, p. 175–179, 2016.
- BONA, R. L. Efeitos da velocidade nos parâmetros mecânicos e energéticos da locomoção de amputados transfemurais. 2011.
- BRANDÃO, A. F. et al. Realidade virtual e reconhecimento de gestos aplicada as áreas de saúde. **Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada**, v. 1, n. 4, p. 33–48, 2014.
- BROOKS, G.; FAHEY, T.; WHITE, T. Physiologic responses and long-term adaptations to exercise. **Exercise physiology: human bioenergetics and its applications. 2nd ed.** Mountain View (CA): Mayfield Publishing Co, p. 61–77, 1996.
- CALLEJAS-CUERVO, M.; ALVAREZ, J.; ALVAREZ, D. Capture and analysis of biomechanical signals with inertial and magnetic sensors as support in physical rehabilitation processes. In: IEEE. **Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2016 IEEE 13th International Conference on.** [S.l.], 2016. p. 119–123.
- CARDOSO, J. P. O uso de sistemas especialistas para apoio à sistematização em exames ortopédicos do quadril, joelho e tornozelo. **Saúde. com**, v. 1, n. 1, 2016.
- CHAMLIAN, T. R. et al. Dor relacionada à amputação e funcionalidade em indivíduos com amputações de membros inferiores. **Acta fisiátrica**, v. 21, n. 3, p. 113–116, 2016.
- COIERA, E. **Guide to health informatics.** [S.l.]: CRC press, 2015.
- CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. In: **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto.** [S.l.]: Artmed, 2010.
- DE, L. **JA Tratado de Medicina de Reabilitação: Princípios e Práticas.** [S.l.]: Editora Manole, São Paulo, 2002.
- DIAS, C. M.; FREITAS, M.; BRIZ, T. Indicadores de saúde: uma visão de saúde pública, com interesse em medicina geral e familiar. **Revista Portuguesa de Medicina Geral e Familiar**, v. 23, n. 4, p. 439–50, 2007.

- FERNANDES, F. G. et al. Grab the life: Serious game to support physical rehabilitation using virtual reality and wearable myo. In: IEEE. **Virtual and Augmented Reality (SVR), 2016 XVIII Symposium on.** [S.I.], 2016. p. 145–149.
- GALADIMA, A. A. Arduino as a learning tool. In: IEEE. **Electronics, Computer and Computation (ICECCO), 2014 11th International Conference on.** [S.I.], 2014. p. 1–4.
- GARDNER, N. **PICmicro MCU C: An Introduction to Programming the Microchip PIC in CCS C.** [S.I.]: Custom Computer Services, 2002.
- GIESER, S. N.; METSIS, V.; MAKEDON, F. Quantitative evaluation of the kinect skeleton tracker for physical rehabilitation exercises. In: ACM. **Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments.** [S.I.], 2014. p. 48.
- HADJIDJ, A. et al. Wireless sensor networks for rehabilitation applications: Challenges and opportunities. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 1–15, 2013.
- HONDORI, H. M.; KHADEMI, M. A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. **Journal of Medical Engineering**, Hindawi Publishing Corporation, v. 2014, 2014.
- KARVINEN, K.; KARVINEN, T. **Getting Started with Sensors: Measure the World with Electronics, Arduino, and Raspberry Pi.** [S.I.]: Maker Media, Inc., 2014.
- KELLER, J. M. Motivational design of instruction. **Instructional design theories and models: An overview of their current status**, v. 1, n. 1983, p. 383–434, 1983.
- LEBLANC, M. Give hope—give a hand. **The LN-4 Prosthetic Hand**, v. 2014, 2008.
- LEE, H.-C. G. et al. A novel wireless 3d monitoring system for physical rehabilitation. In: IEEE. **RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), 2015 IEEE MTT-S 2015 International Microwave Workshop Series on.** [S.I.], 2015. p. 49–50.
- LIANZA, S. **Medicina de reabilitação.** [S.I.]: Guanabara Koogan, 1995.
- MARTINS, N. A. Sistemas microcontrolados. **Uma abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84.** Editora Novatec Ltda, 1<sup>a</sup> edição, 2005.
- MATOS, N.; SANTOS, A.; VASCONCELOS, A. Kinteract: a multi-sensor physical rehabilitation solution based on interactive games. In: ICST (INSTITUTE FOR COMPUTER SCIENCES, SOCIAL-INFORMATICS AND TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING). **Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare.** [S.I.], 2014. p. 350–353.
- Meike, Roger. **Arduino Uno vs BeagleBone vs Raspberry Pi.** [S.I.], 2012. Disponível em: <http://makezine.com/2013/04/15/arduino-uno-vs-beaglebone-vs-raspberry-pi>.
- MONK, S. Programming arduino: Getting started with sketches (2011). **ISBN-13**, p. 978–0071784221, 2011.

- MS. **Diretrizes de Atenção a Pessoa Amputada.** [S.I.], 2013. Disponível em:<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizesatencapessoamputada.pdf>.
- NAEEM, M.; ARSHAD, S.; ASHRAF, M. W. Embedded trainer board. **International Journal of Technology and Research**, Technology and Research Publications, v. 2, n. 3, p. 98, 2014.
- NOGUEIRA, K. L. et al. **Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação.** Thesis (PhD) — Universidade Federal de Uberlândia, 2014.
- NUNES, M. B. **Running Wheel: proposta e análise de um exergame motivacional para corrida.** Thesis (PhD) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2014.
- OLIVEIRA, D. C. S. d. et al. Análise eletromiográfica de músculos do membro inferior em exercícios proprioceptivos realizados com olhos abertos e fechados. **Rev. bras. med. esporte**, v. 18, n. 4, p. 261–266, 2012.
- ORNELAS, D. C. Variabilidade da frequência cardíaca de amputados transfemorais ativos antes e após teste de esforço físico máximo. 2016.
- PASTRE, C. M. et al. Fisioterapia e amputação transtibial. **Arq Ciênc Saúde**, v. 12, n. 2, p. 120–4, 2005.
- PATEL, S. et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. **Journal of neuroengineering and rehabilitation**, BioMed Central, v. 9, n. 1, p. 21, 2012.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2<sup>a</sup> Edição.** [S.I.]: Editora Feevale, 2013.
- RA, V.-S. Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametria computadorizada. **Rev. bras. fisioter.**, SciELO Brasil, v. 10, n. 1, p. 83–90, 2006.
- SANTOS, J. A. d. et al. Instrumentação eletrônica com o arduino aplicada ao ensino de física. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.
- SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico.** [S.I.]: Cortez editora, 2014.
- SILVA, E. L. d.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 3. ed. rev. atual, 2001.
- SILVEIRA, J. F. et al. Avaliação da capacidade funcional, força muscular e função pulmonar de pacientes amputados e protetizados ao nível transfemural: estudo piloto. **Cinergis**, v. 16, n. 1, 2015.
- SOUZA, A. R. de et al. A placa arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo pc. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 2011.
- SUSAN, B.; O'SULLIVAN, T. J. Schmitz. **Fisioterapia avaliação e tratamento.** [S.I.]: Barueri: Manole, 2010.

Thomsen, Adilson. **Qual Arduino Comprar? Conheça os Tipos de Arduino.** [S.I.], 2014. Disponível em: <http://blog.filipeflop.com/arduino/tipos-de-arduino-qual-comprar.html>.

VILAGRA, J. M.; SGANZERLA, C. M.; WALCKER, L. P. Próteses transtibiais: Itens de conforto e segurança. **Revista Thêma et Scientia–Vol**, v. 1, n. 2, p. 107, 2011.

VOINESCU, M. et al. Estimation of the forces generated by the thigh muscles for transtibial amputee gait. **Journal of biomechanics**, Elsevier, v. 45, n. 6, p. 972–977, 2012.

**APÊNDICE A — DOCUMENTO DE REQUISITOS E CASOS DE USO**

---

---

**Projeto Victus**

**Documento de Requisitos e Casos de Uso**

**Versão 1.0**

## Histórico

Data	Versão	Autor	Revisão
21/04/2017	1.0	Maurício de Souza Realan Arrieira	Érico Marcelo Hoff do Amaral Julio Saraçol Domingues Junior

## Requisitos

### 1. Finalidade

A finalidade deste documento de requisitos é especificar os requisitos funcionais e não funcionais que envolvem o desenvolvimento do Projeto Victus. Além dos requisitos este documento também apresenta diagramas de casos de uso que são elaborados a partir da definição dos requisitos funcionais. Sendo assim, este documento fornece informações essenciais para a implementação do sistema e para a elaboração de testes no sistema.

### 2. Métodos de Obtenção

O levantamento dos requisitos foi realizado através de reuniões com os profissionais do Serviço de Reabilitação Física e também pela apresentação de questionários e de *mockups* a estes fisioterapeutas.

### 3. Estrutura de Descrição

Os requisitos serão apresentadas de maneira numerada e descreverão as seguintes definições: *(i)* a descrição do requisito; *(ii)* o nível de prioridade do requisito, podendo ser desejável ou essencial; *(iii)* as condições que envolvem o requisito.

### 4. Requisitos Funcionais

Requisito Funcional 01	Coletar Dados
Prioridade:	Essencial
Descrição:	O sistema deve ser capaz de, a cada nova sessão de exercícios, coletar dados através dos sensores.
Condições:	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada para que os dados sejam coletados.

Requisito Funcional 02	Enviar Dados
Prioridade:	Essencial
Descrição:	O sistema deve ser capaz de, a cada nova sessão de exercícios, enviar os dados coletados para o software de acompanhamento.
Condições:	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada para que os dados sejam coletados e assim, enviados ao software.

# Documento de Requisitos e Casos de Uso – Projeto Victus | 2017

Requisito Funcional 03	Manipular Dados
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de tratar os dados coletados, para apresentá-los e gravá-los de maneira mais desejável.
<b>Condições:</b>	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada para que os dados sejam coletados e assim, possam ser manipulados com objetivo de alcançar a precisão e forma desejável.

Requisito Funcional 04	Iniciar Sessão
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de iniciar o monitoramento de uma nova sessão de exercícios toda vez que for necessário.
<b>Condições:</b>	É preciso que o sistema esteja pronto para ser executado, para que a coleta e o envio de dados possa ser realizada.

Requisito Funcional 05	Monitor Sessão
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de, a cada nova sessão de exercícios, permitir ao fisioterapeuta monitorar o desempenho do paciente, através da demonstração dos dados coletados via interface gráfica.
<b>Condições:</b>	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada.

Requisito Funcional 06	Gerar Alertas
<b>Prioridade:</b>	Desejável
<b>Descrição:</b>	É desejável que o sistema seja capaz de gerar um alerta toda vez que os batimentos cardíacos do paciente realizando uma sessão de exercícios ultrapasse o limite pré estabelecido.
<b>Condições:</b>	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada para que os dados sejam coletados e assim, enviados ao software.

Requisito Funcional 07	Apresentar Dados Durante uma Sessão de Exercícios
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de, a partir do monitoramento da sessão, apresentar os dados de batimentos cardíacos, distância percorrida, velocidade e força muscular.
<b>Condições:</b>	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja iniciada para que os dados sejam coletados e assim, enviados ao software onde serão apresentados na interface gráfica.

Requisito Funcional 08	Apresentar Dados Após uma Sessão de Exercícios
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de, ao fim de uma sessão de exercícios, apresentar ao fisioterapeuta parciais obtidas através dos dados coletados durante a sessão.
<b>Condições:</b>	É preciso que sessão de exercícios tenha pelo menos trinta segundos de duração para que uma parcial possa ser apresentada ao fim da sessão.

# Documento de Requisitos e Casos de Uso – Projeto Victus | 2017

Requisito Funcional 09	Gravar Dados Pré Sessão de Exercícios
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de, antes do início de uma sessão de exercícios, permitir ao fisioterapeuta adicionar informações relevantes, referentes ao paciente.
<b>Condições:</b>	É preciso que uma nova sessão de exercícios seja começada, para que seja possível a adição destas informações.

Requisito Funcional 10	Gravar Dados Pós Sessão de Exercícios
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de, ao fim de uma sessão de exercícios, gravar as parciais obtidas através dos dados coletados durante a sessão.
<b>Condições:</b>	É preciso que sessão de exercícios tenha pelo menos trinta segundos de duração para que uma parcial possa ser apresentada ao fim da sessão.

Requisito Funcional 11	Cadastrar Paciente
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de cadastrar um novo paciente toda vez que for necessário.
<b>Condições:</b>	Para adicionar um novo paciente é preciso apenas que este paciente já não seja cadastrado no sistema.

Requisito Funcional 12	Buscar Cadastro
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser capaz de permitir ao fisioterapeuta buscar o cadastro de um paciente já registrado no sistema.
<b>Condições:</b>	Para a busca de um novo cadastro é preciso apenas que o paciente já esteja registrado no sistema.

Requisito Funcional 13	Editar Cadastro
<b>Prioridade:</b>	Desejável
<b>Descrição:</b>	É desejável que o fisioterapeuta possa editar o cadastro de um paciente já registrado no sistema toda vez que for necessário.
<b>Condições:</b>	Para a edição de um cadastro é preciso apenas que o paciente já esteja registrado no sistema.

Requisito Funcional 14	Excluir Cadastro
<b>Prioridade:</b>	Desejável
<b>Descrição:</b>	É desejável que o fisioterapeuta possa excluir um cadastro de um paciente já registrado no sistema toda vez que for necessário.
<b>Condições:</b>	Para a exclusão de um cadastro é preciso apenas que o paciente já esteja registrado no sistema.

Requisito Funcional 15	Gerar Relatórios
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema precisa ser capaz de quando solicitado apresentar ao fisioterapeuta um relatório com dados referentes as sessões de exercícios de um determinado paciente.
<b>Condições:</b>	Para a geração de um relatório de dados é preciso que o paciente já esteja registrado no sistema e que já tenha realizado alguma sessão de exercícios.

## 5. Requisitos Não Funcionais

Requisito Não Funcional 01	Interface Agradável ao Usuário
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve apresentar ao usuário uma interface de interação que seja agradável visualmente e intuitiva.

Requisito Não Funcional 02	Confiabilidade
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser confiável, mantendo sempre a integridade na coleta, apresentação e armazenamento dos dados, bem como seu funcionamento em linhas gerais.

Requisito Não Funcional 03	Desempenho
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve apresentar um desempenho que não acarrete em delay no sistema, congelamento das telas ou qualquer tipo de falha que desencadeie uma perda de funcionalidade.

Requisito Não Funcional 04	Facilidade de Utilização
<b>Prioridade:</b>	Essencial
<b>Descrição:</b>	O sistema deve ser de fácil utilização para o usuário, permitindo assim que o fisioterapeuta possa em pouco tempo ficar totalmente adaptado as funcionalidades do sistema.

Requisito Não Funcional 05	Flexibilidade
<b>Prioridade:</b>	Desejável
<b>Descrição:</b>	É desejável que o sistema seja implementável de maneira que seja possível em um momento futuro flexibilizar suas funcionalidades e até mesmo que novas funções sejam adicionados.

## 6. Casos de Uso

### Caso de Uso 01 – Sistema

**Descrição:** Engloba de maneira mais geral os casos de uso possíveis para todo o sistema.

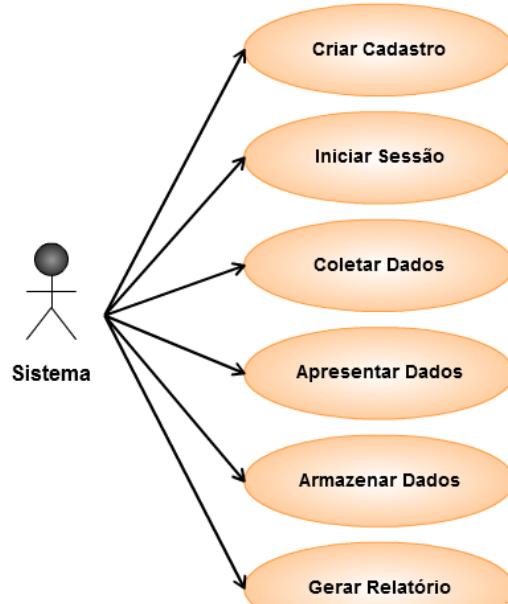


Figura 1. Casos de Uso do Sistema.

### Caso de Uso 02 – Usuário

**Descrição:** Apresenta os casos de uso possíveis para a interação do usuário com o sistema.

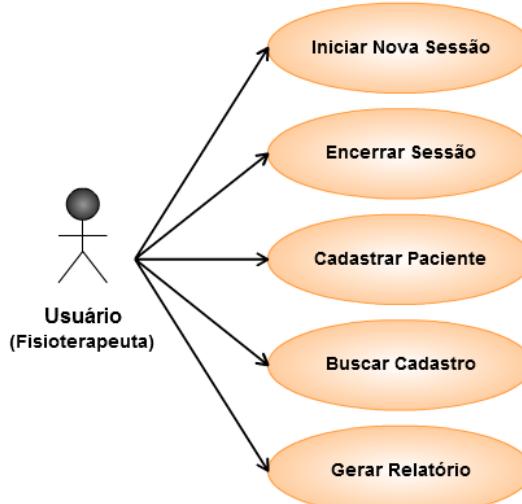


Figura 2. Casos de Uso do Usuário.

### Caso de Uso 03 – Nova Sessão

**Descrição:** Apresenta os casos de uso possíveis em uma nova sessão de exercícios.

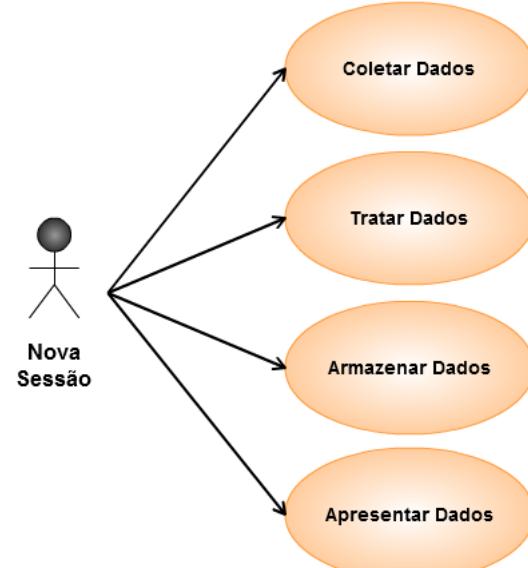


Figura 3. Casos de Uso de Uma Nova Sessão.

### Caso de Uso 04 – Nô Sensor

**Descrição:** Apresenta os casos de uso possíveis para o nó sensor.

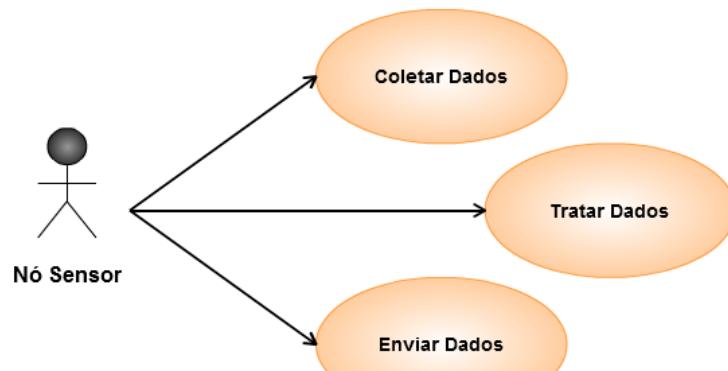


Figura 4. Casos de Uso do Nô Sensor.

**APÊNDICE B — DOCUMENTO DE PLANO DE TESTES**

---

---

**Projeto Victus**

**Documento de Plano de Testes**

**Versão 2.0**

## Histórico

Data	Versão	Autor	Revisão
07/10/2017	2.0	Maurício de Souza Realan Arrieira	Érico Marcelo Hoff do Amaral Julio Saraçol Domingues Junior

## Plano de Testes

### 1. Finalidades

A finalidade deste documento de Plano de Testes é reunir as informações necessárias para planejar e controlar os testes referentes a uma ação específica ou da solução por completo. Ele descreve a abordagem dada nos testes e é o plano gerado para coordenar a execução dos testes.

Assim, este documento de Plano de Testes refere-se a primeira ao planejamento da primeira versão de testes aplicados ao Projeto Victus, suportando os casos de uso referentes ao módulo de coleta de dados e ao seu software de validação, em suas avaliações individuais e também em seu sistema integrado.

Além disto, este documento também apresenta aos testes elaborados para a segunda etapa de experimentos, ou seja, os testes de software. Assim, serão apresentados os testes que avaliam o funcionamento do software a partir de suas funcionalidades.

### 2. Ferramentas de Sistema

Os testes serão realizados em uma máquina com processador Intel Pentium Quad Core N3700, com memória de 4GB e 500GB de HD rodando um sistema operacional Windows 10. Assim, para realização dos testes não é necessária a conexão com a internet ou outro tipo de rede externa ao sistema desenvolvido.

### 3. Estrutura do Plano de Testes

O planejamento dos testes é elaborado a partir das seguintes definições: (i) o objetivo que espera alcançar com teste; (ii) a explicação do caso de teste; (iii) o detalhamento do procedimento aplicado no teste; (iv) o resultado esperado ao final do teste. Além disto, os testes estão numerados de acordo com a ordem cronológica com que se planejou a realização de cada um.

### 4. Descrição do Plano de Testes

<b>Nº do Teste:</b>	01
<b>Objeto de Teste:</b>	Operações referentes à leitura de campo magnético
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento do sensor hall</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciada a aplicação que contém o script de leitura do sensor Hall. Posteriormente será aberto o ambiente monitor serial, para o acompanhamento da leitura do sensor. Em seguida um ímã será aproximado do sensor.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o sensor seja capaz de detectar o campo magnético gerado pelo ímã e que isso possa ser comprovado pela exibição de um valor “true” no monitor serial e do acionamento do <i>led</i> no sensor.

# Plano de Testes – Projeto Victus | 2017

---

<b>Nº do Teste:</b>	<b>02</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar a capacidade e precisão de se calcular distância e velocidade a partir da detecção do campo magnético gerado por um ímã
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar cálculo de distância e velocidade com o sensor hall</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciada a aplicação que contém o script de leitura do sensor Hall, esse script possui uma função que a cada acionamento do sensor faz um incremento do valor de distância percorrida e também a partir do tempo de execução da aplicação calcula a velocidade. Posteriormente será aberto o ambiente monitor serial, para o acompanhamento da leitura do sensor e dos valores gerados para distância e velocidade. Por fim, um ímã será aproximado e afastado do sensor hall por algumas vezes.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que a aplicação ao detectar a leitura do campo magnético gerado pelo ímã seja capaz de calcular a distância e a velocidade de maneira correta, em função do tempo de execução da aplicação e da taxa de incremento da distância a cada vez que o sensor for acionado.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>03</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar a capacidade de avaliação do índice de luminosidade e assim o cálculo preciso dos batimentos cardíacos através da leitura do sensor
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento do sensor de batimentos cardíacos</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciada a aplicação que contém o script de leitura do sensor de batimentos cardíacos, esse script possui uma função que calcula o batimento cardíaco a partir de um índice que envolve a análise dos últimos batimentos em um determinado período. Posteriormente será aberto o ambiente monitor serial, para o acompanhamento da leitura do sensor e dos valores gerados para os batimentos cardíacos. Por fim, o sensor será colocado em contato com o dedo indicador direito de um indivíduo.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que a aplicação realize a leitura do sensor e que calcule e apresente de maneira correta os batimentos cardíacos do indivíduo que está utilizando o sensor.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>04</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar a capacidade de leitura dos impulsos elétricos que representam a aplicação de força muscular pelo indivíduo utilizando o sensor.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento do sensor de força muscular.</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciada a aplicação que contém o script de leitura do sensor de força muscular, esse script possui uma função que calcula a voltagem que está sendo aplicada no músculo. Posteriormente será aberto o ambiente monitor serial, para o acompanhamento da leitura do sensor e dos valores gerados. Por fim, o sensor será colocado em contato com um região muscular do braço do indivíduo e o mesmo fará movimentos de contração e relaxamento.
<b>Resultado Esperado:</b>	Pelas informações passadas pelo empresa revendedora do sensor, é esperado que a aplicação realize a leitura do sensor e que calcule e apresente de maneira correta um índice de voltagem entre 4 e 5 volts.

# Plano de Testes – Projeto Victus | 2017

---

<b>Nº do Teste:</b>	<b>05</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar a capacidade de leitura dos impulsos elétricos que representam a aplicação de força muscular pelo indivíduo utilizando o sensor.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento do sensor de força muscular.</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciada a aplicação que contém o script de leitura do sensor de força muscular, esse script possui uma função que calcula a voltagem que está sendo aplicada no músculo. Posteriormente será aberto o ambiente monitor serial, para o acompanhamento da leitura do sensor e dos valores gerados. Por fim, o sensor será colocado em contato com um região muscular do braço do indivíduo e o mesmo fará movimentos de contração e relaxamento.
<b>Resultado Esperado:</b>	Pelas informações passadas pelo empresa revendedora do sensor, é esperado que a aplicação realize a leitura do sensor e que calcule e apresente de maneira correta um índice de voltagem entre 4 e 5 volts.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>06</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar o funcionamento de todos os sensores funcionando de maneira integrada em um único sistema.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento dos sensores integrados em um sistema.</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciado a aplicação que contém o script de controle central que executa a leitura dos sensores. Posteriormente será aberto o ambiente monitor serial, para o acompanhamento da leitura dos sensores e dos valores gerados. Por fim, os sensores serão colocados em suas posições corretas, e seus devidos procedimentos de acionamento serão executados.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que os sensores realizem a coleta dos dados de maneira precisa e que o módulo de controle central execute os cálculos necessários e apresente as informações corretas no monitor serial.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>07</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar o funcionamento da comunicação via porta serial entre o módulo de coleta de dados e o software.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento da comunicação serial.</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciado a aplicação que contém o script de controle central que executa a leitura dos sensores, faz o tratamento da informações e grava na porta serial os dados precisos. Posteriormente será executado o software que realiza apenas a leitura do serial e apresenta esses dados em uma interface gráfica. Para isso, os sensores serão colocados em suas posições corretas, e seus devidos procedimentos de acionamento serão executados.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que os sensores realizem a coleta dos dados de maneira precisa e que o módulo de controle central execute os cálculos necessários e apresente as informações corretas no monitor serial.

# Plano de Testes – Projeto Victus | 2017

---

<b>Nº do Teste:</b>	<b>08</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar a funcionalidade do software, enquanto recebe os dados do módulo de coleta de dados via serial, de escrever arquivos que armazenam estas informações.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar a escrita de arquivos de dados.</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente será iniciado a aplicação que contém o script de controle central que executa a leitura dos sensores, faz o tratamento da informações e grava na porta serial os dados precisos. Posteriormente será executado o software que realiza a leitura do serial, apresenta esses dados em uma interface gráfica e ao mesmo tempo grava estes dados em arquivos .csv e .txt. Para isso, os sensores serão colocados em suas posições corretas, e seus devidos procedimentos de acionamento serão executados.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o software realize a leitura dos dados e que gere arquivos onde estes dados serão gravados, enquanto a apresentação dos dados está ocorrendo na interface gráfica.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>09</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar o nível de precisão da coleta dos dados através dos sensores, bem com a capacidade do software de, enquanto recebe os dados do módulo de coleta de dados via serial, escrever arquivos que armazenam estas informações e apresentar ao usuário via interface gráfica.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o sistema integrado de software e módulo de coleta de dados.</b>
<b>Procedimento:</b>	Serão realizadas seis sessões de exercícios, com cinco minutos de duração cada, isso com a prática de três indivíduos diferentes, onde cada um participará de duas sessões contabilizando assim o total de seis sessões. Como método de comparação, serão utilizados um oxímetro de pulso e o display de informações da bicicleta ergométrica, para posteriormente serem realizadas comparações com os dados coletados pelos sensores. Desta forma, será iniciado a aplicação que contém o script de controle central que executa a leitura dos sensores, faz o tratamento da informações e grava na porta serial os dados precisos. Em conjunto, será executado o software que realiza a leitura do serial, apresenta esses dados em uma interface gráfica e ao mesmo tempo grava estes dados em arquivos .csv e .txt. Para isso, os sensores serão colocados em suas posições corretas, e seus devidos procedimentos de acionamento serão executados.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o sistema integrado de software e módulo de coleta de dados funcione corretamente, como apontado nos testes anteriores, e que os dados coletados apresentem um nível de precisão satisfatório em comparação com as informações obtidas pelo oxímetro de pulso e pelo display de informações da bicicleta ergométrica.

# Plano de Testes – Projeto Victus | 2017

<b>Nº do Teste:</b>	<b>10</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Operações referentes ao cadastro de pacientes
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento do cadastro de pacientes</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente, será realizado o cadastro de um paciente através do software. Posteriormente, será buscado pelo cadastro no software.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o software seja capaz de armazenar o novo cadastro no banco de dados e quando solicitada a busca, retorne o cadastro correto para o usuário.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>11</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Operações referentes ao cadastro de profissionais
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento do cadastro de profissionais</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente, será realizado o cadastro de um profissional através do software. Posteriormente, será buscado pelo cadastro no software.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o software seja capaz de armazenar o novo cadastro no banco de dados e quando solicitada a busca, retorne o cadastro correto para o usuário.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>12</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Avaliar a capacidade do software de respeitar a configuração adotada para uma determinada sessão de exercícios.
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o funcionamento da configuração de uma sessão de exercícios</b>
<b>Procedimento:</b>	Primeiramente, na interface de definição da configuração de sessão, será definido pelo usuário o tempo de sessão e o número de coletas manuais realizas durante o exercício.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o software seja capaz de armazenar a configuração da sessão no banco de dados e, assim, respeitar os valores de tempo e coletas definidos pelo usuário durante o monitoramento do exercício.

<b>Nº do Teste:</b>	<b>13</b>
<b>Objeto de Teste:</b>	Operações referentes ao monitoramento de uma sessão
<b>Caso de Teste:</b>	<b>Testar o monitoramento de uma sessão de exercícios</b>
<b>Procedimento:</b>	Será iniciado todo o processo que corresponde a uma nova sessão de exercícios, começando pela definição do paciente e do profissional, depois é definida a configuração da sessão, posteriormente a coleta pré sessão. Assim, posteriormente, começara o processo de leitura das informações correspondentes a sessão do paciente.
<b>Resultado Esperado:</b>	É esperado que o software seja capaz de receber do módulo de coleta de dados todos as informações necessárias e, assim, apresentar ao usuário essas informações sem atraso e com precisão.

**APÊNDICE C — DOCUMENTO DE SOFTWARE**

---

---

# **Victus**

## **Documento de Software**

**Versão 1.0**

## Histórico

Data	Versão	Autor	Revisão
09/11/2017	1.0	Maurício de Souza Realan Arrieira	Érico Marcelo Hoff do Amaral Julio Saraçol Domingues Junior

## **Sumário**

- 1. Problema de Negócio**
- 2. Modelo de Processo de Software**
- 3. Requisitos**
- 4. Implementação do Software**
- 5. Diagramas**
- 6. Testes de Software**

## 1. PROBLEMA DE NEGÓCIO

O Sistema Victus é uma solução computacional aplicada na reabilitação física de indivíduos amputados de membros inferiores. A solução é composta pela integração de hardware e software e, assim, neste documento será retratada a documentação referente ao software desenvolvido.

Sendo assim, o software Victus tem como objetivo realizar o monitoramento de sessões de exercícios físicos de pacientes amputados em uma bicicleta ergométrica e, desta forma, apresentar estas informações em tempo real para os fisioterapeutas responsáveis. Além disso, o software ainda detém como funcionalidades realizar o cadastro de pacientes e profissionais e, também, gerar relatórios baseados no histórico de sessões dos pacientes.

## 2. MODELO DE PROCESSO DE SOFTWARE

Como modelo de processo de software foi adotado o modelo incremental. Esse modelo foi escolhido pois ele aplica sequências de desenvolvimento de forma escalonada, à medida que o tempo de desenvolvimento do sistema for avançando, como demonstra a Figura 1.

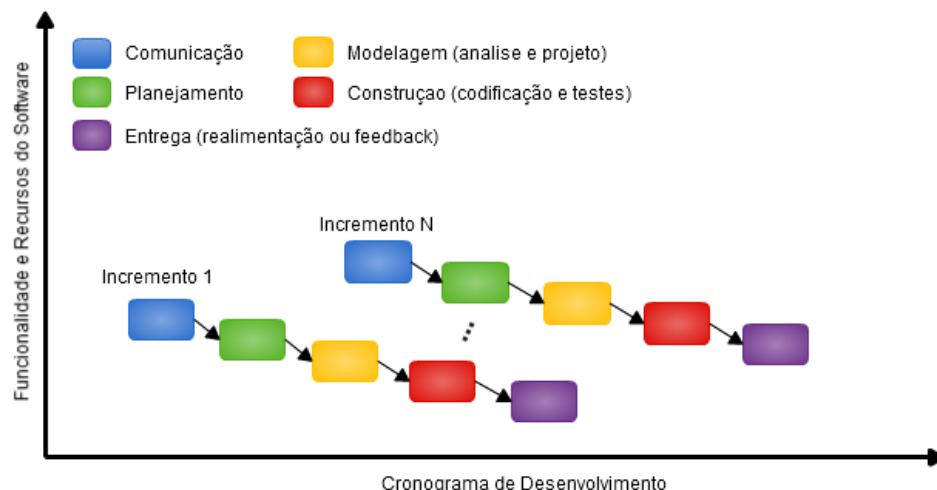


Figura 1. Modelo de Processo de Software Incremental.

Desta forma, foi possível implementar o sistema levando como o base o desenvolvimento das funcionalidades de maneira individual para, posteriormente, desenvolver a configuração em conjunto. Assim, se utilizando de um processo de software incremental foram desenvolvidas as funcionalidades da aplicação.

## 3. REQUISITOS

Os requisitos funcionais do sistema e os não funcionais foram estabelecidos em conjunto com os usuários alvo do software, através de reuniões, questionários e mockups. Todo o levantamento e definição dos requisitos pode ser encontrado no Documento de Requisitos e Casos de Uso.

#### **4. IMPLEMENTAÇÃO DO SOFTWARE**

O software foi implementado em linguagem de programação Java. A escolha por essa linguagem de programação foi sua maleabilidade e portabilidade, além de apresentar uma vasta documentação de pesquisa disponível. Além disto, o desenvolvimento da aplicação com o Java atende a todas as necessidades de implementação do software.

## 5. DIAGRAMAS

Foram elaborados diagramas baseados no padrão de modelagem UML. Assim, o primeiro modelo apresentado é o diagrama de classes do software, demonstrado na Figura 2. Esse diagrama apresenta as classes do software, bem como seus respectivos métodos e atributos. Desta forma, pode ser observado que o software é composto por um total de 32 classes.

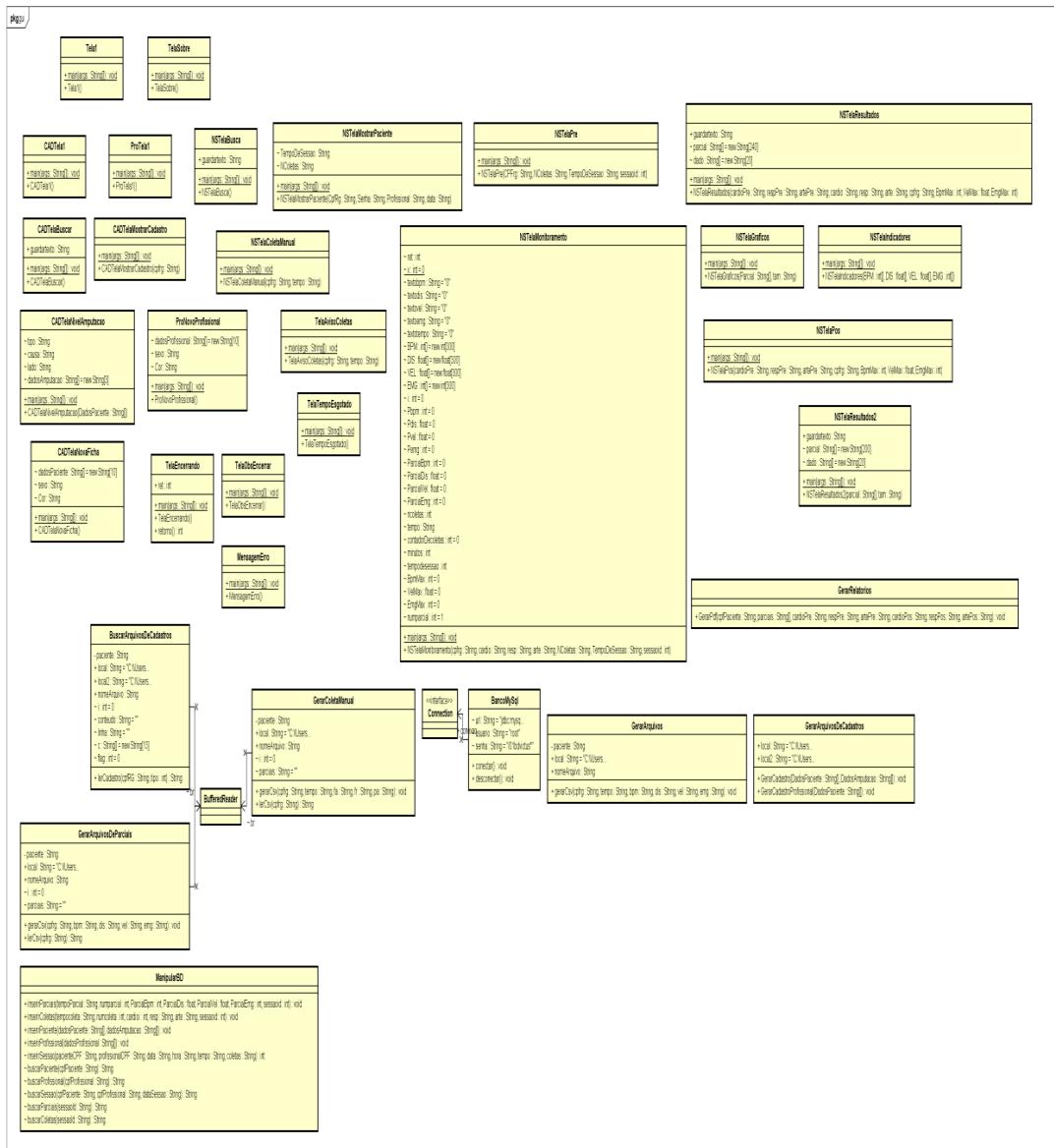


Figura 2. Diagrama de Classes do Software.

Além disto, na Figura 3 pode ser observado um diagrama de navegação. Este diagrama apresenta as possibilidades de navegação do usuário dentro do software. É preciso apontar que as interfaces gráficas em conjunto correspondem as funcionalidade do software.

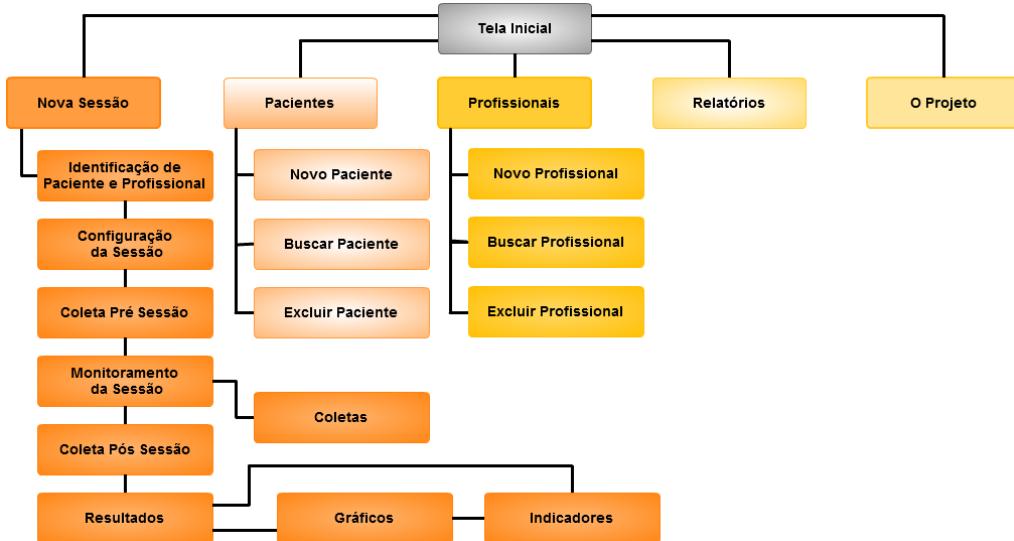


Figura 3. Diagrama de Navegação do Software.

## 6. TESTES DE SOFTWARE

Os testes de software foram elaborados com objetivo de apresentar a eficiência do software a partir das funcionalidades implementadas. Desta forma, os teste de software, podem ser observados no Documento de Plano de testes.

**APÊNDICE D — QUESTIONÁRIO - PROFISSIONAIS**



## Questionário de Avaliação do Sistema Victus

- Fisioterapeutas -

---

Responda o questionário de acordo com a sua avaliação da utilização do sistema Victus. A indicação de sua resposta pode variar de 1 a 5, onde 1 significa a pior avaliação e 5 a melhor avaliação possível. Suas respostas são muito importantes para nossa pesquisa e, também, para melhorias no projeto. Muito Obrigado!

---

01 – A primeira vez que você utilizou o sistema, você teve a impressão de que o mesmo seria realmente útil na avaliação do tratamento de pacientes amputados de membros inferiores.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

02 – O sistema possui uma interface de utilização intuitiva, agradável e de fácil uso.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

03 – As informações coletadas pelo sistema são realmente relevantes para a avaliação da reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

04 – Os dados coletados pelo sistema são apresentados de maneira satisfatória, através dos campos de texto, tabelas e gráficos.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

05 – O sistema exibe um desempenho confiável, sem apresentar delay, lentidão ou mau funcionamento.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

06 – O sistema fornece as funcionalidades necessárias para o acompanhamento do progresso do paciente ao longo do tratamento de reabilitação física.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

07 – O funcionamento do sistema, em geral, é eficiente e eficaz.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

08 – Avaliando todo o contexto, você gostou de utilizar o sistema.

**1[ ] 2[ ] 3[ ] 4[ ] 5[ ]**

09 – Descreva textualmente a sua opinião sobre a utilização do sistema e os possíveis benefícios do sistema.

10 – Acrescente sugestões de melhorias e alterações necessárias no sistema.

