

# **Desenvolvimento de Uma Solução Computacional Aplicada no Acompanhamento do Processo de Reabilitação Física em Pacientes Amputados de Membros Inferiores**

**Abstract.** *The purpose of this article is to present a solution based on sensor integration, Arduino hardware prototyping platform and software, which monitors sessions of physical exercises performed by patients amputated on an exercise bike. Thus, as a result, it is expected that the system can assist the physiotherapists in assessing the progress of the patient throughout the treatment, in an efficient manner.*

**Resumo.** *O objetivo deste artigo é apresentar uma solução baseada na integração de sensores, da plataforma de prototipagem hardware Arduino e de um software, que monitora sessões de exercícios físicos realizados por pacientes amputados em uma bicicleta ergométrica. Assim sendo, como resultado, espera-se que o sistema possa auxiliar os fisioterapeutas na avaliação do progresso do paciente ao longo do tratamento, de maneira eficiente.*

## **1. Introdução**

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 medicinal é a readaptação de pessoas que passaram por amputações mais especificamente, amputações de membros inferiores.

Avaliando 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].

Levando em consideração a conjuntura apresentada, este trabalho se propõe a apresentar uma solução computacional aplicada no processo de reabilitação física de pacientes amputados de membros inferiores. Assim sendo, além da presente introdução, o documento está estruturado a partir das seguintes seções: referencial teórico na seção 2; o projeto na seção 3; na seção 4 a metodologia adotada; o desenvolvimento da solução na seção 5; na seção 6 os testes e resultados alcançados; por fim, na seção as conclusões.

## **2. Referencial Teórico**

Nesta seção serão abordados alguns conceitos acerca dos temas que envolvem o desenvolvimento deste trabalho. Assim, será apresentada uma fundamentação teórica sobre: amputação e protetização, o processo de reabilitação física e a informática médica.

### **2.1. Amputação e Protetização**

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. Nesse sentido, é necessário apontar que 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, segundo Le Blanc (2008), em 2008 a população mundial era de aproximadamente 6,7 bilhões, onde estima-se um número de aproximadamente 10 milhões de amputados na população mundial [LeBlanc 2008].

As cirurgias para amputações mais frequentes são aquelas que definem um nível de amputação 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. Já a amputação Transfemural refere-se a toda amputação realizada entre a articulação do joelho e quadril [RA 2006].

Entretanto, nem todos os indivíduos 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 transfemorais. 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 and O'Sullivan 2010].

### **2.2. Processo de Reabilitação Física**

Chang et al.(2012) explicam que os programas convencionais de reabilitação física, normalmente, apresentam uma abordagem que fornece uma medição limitada do desempenho e progresso do paciente, e em muitos casos, não possuem conteúdo envolvente para motivar os indivíduos durante o programa de reabilitação. 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 [Chamlan et al. 2016].

Avaliando em um contexto mais objetivo, 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]. Outra análise importante que deve ser avaliada na reabilitação física de pacientes amputados é o acompanhamento da frequência cardíaca [Ornelas 2016]. Além disto, a análise da distância percorrida e da velocidade média alcançada por um paciente amputado, durante um exercício de marcha ou em um cicloergômetro, é muito relevante [Bona 2011].

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 [Hadjidj et al. 2013].

### **2.3. Informática Médica**

Marin e Sigulem (2009) explicam que nas últimas décadas a informática médica foi ampliando seu escopo para além da medicina, atrelando-se à necessidade de organização do conhecimento e da pesquisa em ciências da saúde. Mais que isso, seu escopo inclui a ideia de otimizar processos relacionados às práticas dessas ciências, por meio das tecnologias da informação e comunicação, fomentando projetos multidisciplinares envolvendo informática e ciências da saúde. Assim, tais fatos justificaram denominá-la informática médica [Marin HF 2009].

Fang et al. (2016) apresentam que o rápido crescimento de novas tecnologias levou a descobertas medicinais utilizando ferramentas, tais como aplicativos móveis, dispositivos para captura de movimentos e de imagens, novos sensores e tecnologia *wearable* (termo que significa tecnologias para vestir). Neste contexto, dentre algumas das principais possibilidades de utilização da informática em saúde, destacam-se os Sistemas Especialistas, a Internet das Coisas (do inglês, *Internet of Things* - IOT) e a Realidade Virtual (RV), amplamente utilizada em tratamentos de reabilitação [Fang et al. 2016].

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, avaliando o amplo espectro de possíveis aplicações.

## **3. O Projeto**

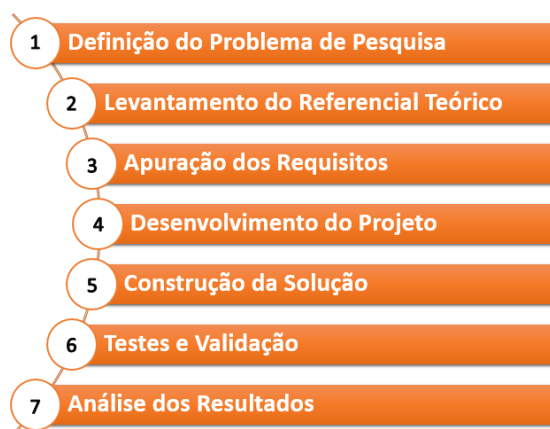
Ao se avaliar os benefícios de novas soluções computacionais, que possam ser aplicadas no tratamento de reabilitação física de indivíduos amputados de membros inferiores, foi criado um projeto interdisciplinar com esta finalidade. Para a realização deste projeto foi firmada uma parceria com Serviço de 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.

Avaliando mais especificamente alguns dos conceitos apresentados no referencial teórico, definiu-se que o projeto deverá concentrar-se na análise da distância percorrida, força muscular, frequência cardíaca e velocidade. Assim, esses são os dados que serão coletados e monitorados pela solução proposta. Além da coleta dos dados, foram definidos indicadores que correlacionam as informações coletadas e, assim, acrescentam mais uma gama de resultados numéricos que podem auxiliar na avaliação do progresso do paciente. Por fim, é preciso apontar que o projeto conta ainda com o apoio da Unimed Região da Campanha, operadora de serviços de saúde que apoia o projeto desde o seu princípio.

#### 4. 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 é baseada a partir de um conjunto de abordagens técnicas e processos científicos. Assim, este fluxo de tarefas pode ser observado na representação da Figura 1.



**Figura 1. Metodologia de Desenvolvimento da Solução**

A proposta consiste na construção de 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. A construção da solução, ou seja, a implementação do sistema será efetuada 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. 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 em um banco de dados, para consultas futuras.

Já os experimentos e o universo da pesquisa, serão definidos em conjunto com os usuários da solução, ou seja, os profissionais do SRF, a partir de critérios específicos de aptidão e concepção. Os testes serão efetuados em um ambiente controlado e com o acompanhamento dos fisioterapeutas.

#### 5. Desenvolvimento

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento do sistema proposto. Desta forma, serão retratados os componentes que compõem o nó sensor, bem como o seu funcionamento

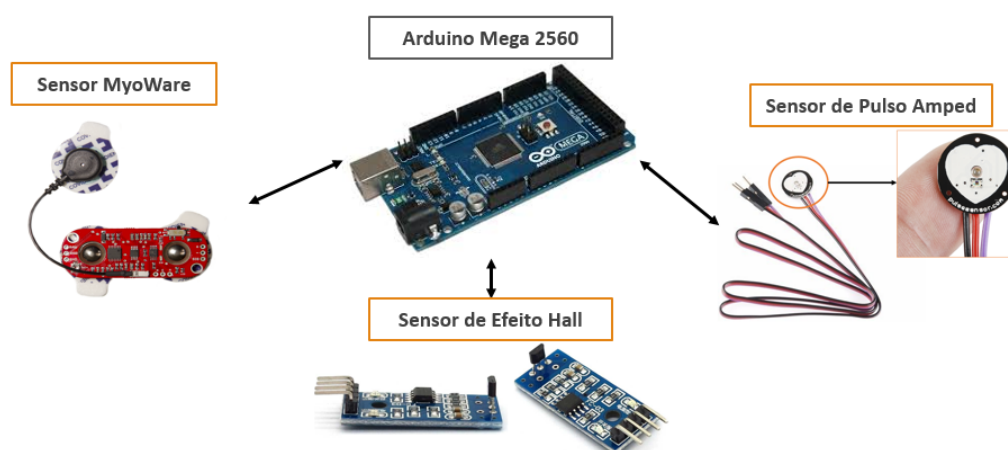
lógico, também será apresentada a implementação do software e do banco de dados utilizado.

### 5.1. Nó Sensor

Para a construção da solução foram selecionados os seguintes componentes de hardware: 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. Sendo assim, a Figura 4 apresenta a composição do nó sensor a partir dos componentes utilizados. A placa Arduino Mega 2560 foi escolhida pois oferece uma maior quantidade de pinos de entrada e saída, assim como uma maior capacidade de armazenamento assim, se adequando a proposta do sistema. 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.

Já 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. No sistema proposto 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, espera-se que desta maneira seja possível determinar a distância e a velocidade obtidas durante o exercício.

Outro sensor utilizado é o sensor de pulso Amped, o qual 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. Por fim, o último componente utilizado é o sensor de EMG MyoWare Muscle Sensor. Este sensor atua medindo o sinal filtrado e retificado de um músculo, fornecendo uma tensão que depende da atividade no músculo selecionado, isto a partir da leitura do sinal através alguns eletrodos.



**Figura 2. Composição do Nó Sensor**

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.

Assim, por meio da coleta de dados pelo nó sensor, 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. Portanto, desta forma, fica a cargo do software receber estas informações e, apresentá-las ao usuário e também armazenar os dados para consultas futuras.

## 5.2. Aplicação e Armazenamento de Dados

A implementação do software foi realizada em linguagem de programação Java. Como apontado na seção anterior, foi utilizada comunicação serial entre hardware e software e, assim, que os dados que são recebidos através de uma única string, são separados individualmente para que sejam utilizados durante o processo da ferramenta. Esta aplicação apresenta funcionalidades que permitem ao usuário o cadastro de pacientes e profissionais, o monitoramento de uma nova sessão de exercícios e a geração de relatórios.

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 6 demonstra a tela de monitoramento da sessão de exercícios desenvolvida na ferramenta.

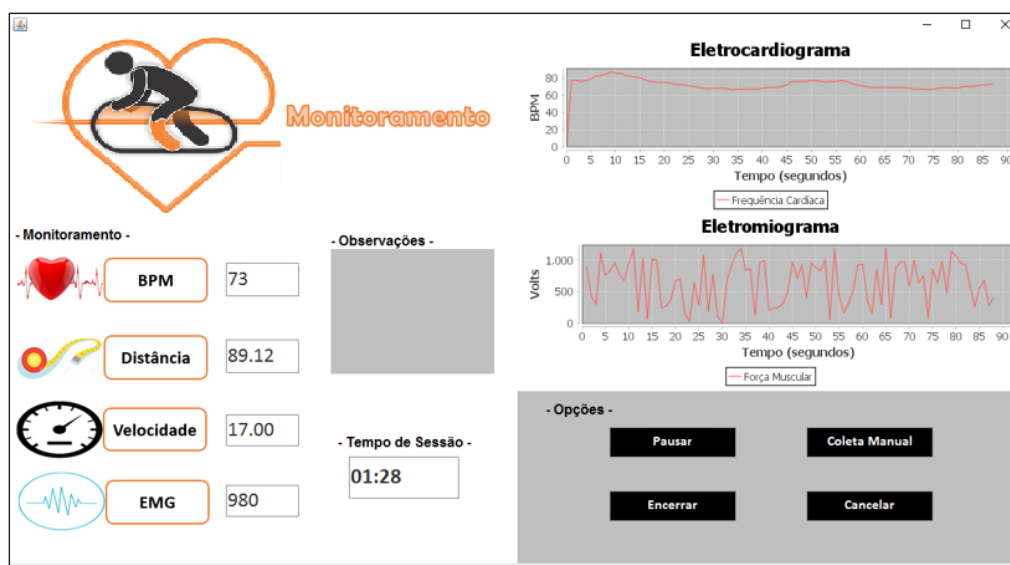


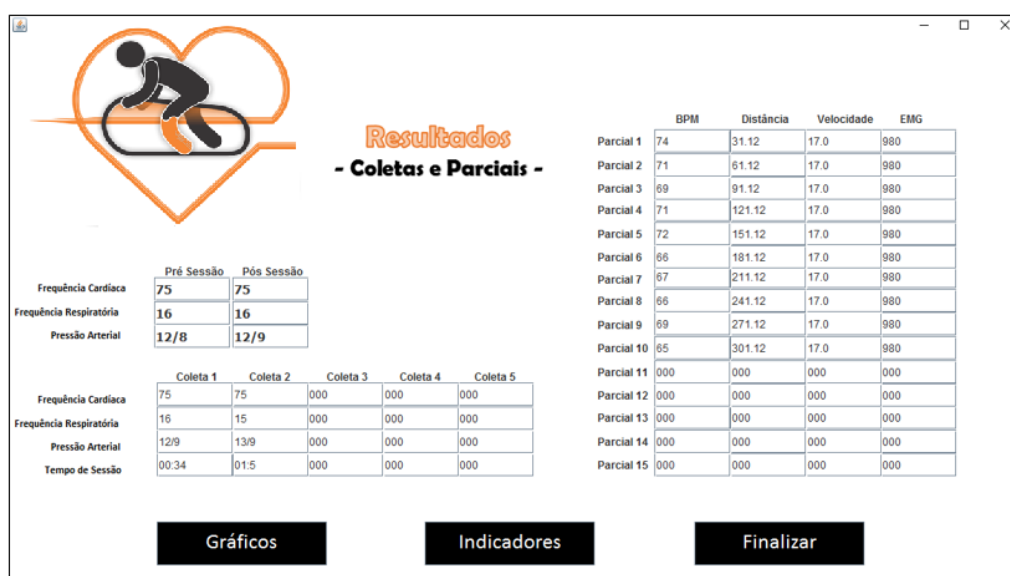
Figura 3. Tela Inicial do Sistema

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.

Após o termino de uma sessão de exercícios são apresentadas três telas com resultados referentes ao desempenho do paciente durante o exercício. A primeira interface 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 durante a sessão.

Posteriormente, são apresentados gráficos referentes as parciais obtidas, isto individualmente para as informações de frequência cardíaca, eletromiografia, distância percorrida e velocidade. Por fim, é apresentada uma interface gráfica que apresenta os resultados alcançados para os indicadores isto, também, através de gráficos. Desta forma, a Figura 7 apresenta uma captura de tela da interface gráfica que apresenta os resultados parciais da sessão de exercícios do paciente.



**Figura 4. Tela de Resultados de Uma Sessão**

Os dados coletados com o sistema e os cadastros de pacientes e profissionais são armazenados em um banco de dados, para consultas futuras e para geração de relatórios. Assim sendo, para o armazenamento das informações foi criado um banco de dados MySQL, escolhido por sua facilidade de uso, confiabilidade e seu desempenho. Desta forma, 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. Portanto, em cada tabela são armazenadas as informações pertinentes e, assim, um histórico das sessões do paciente pode ser avaliado quando necessário.

## 6. Testes e Validação

Nesta seção serão apresentados os testes e a validação do sistema. Assim, primeiramente será apresentada a avaliação da precisão do sistema desenvolvido e, posteriormente, a realização de testes com pacientes.

## 6.1. Avaliação de Precisão do Sistema

Foram realizados testes sobre o módulo de coleta de dados, 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 consistiu na análise e monitoramento de seis sessões de exercícios na bicicleta ergométrica. Estas sessões foram realizadas por três indivíduos, por um tempo determinado de cinco minutos de duração. Como métricas de base foram utilizadas um oxímetro e, também, o *display* digital da bicicleta ergométrica, que apresenta informações de distância percorrida, velocidade e tempo de sessão.

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 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.

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. É necessário apontar, que neste experimento não foi avaliada a precisão do sensor de EMG, uma vez que não foi possível utilizar uma métrica base precisa. Portanto, a Tabela 1 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 1. Precisão do Sistema de Coleta de Dados**

Tempo	BPM	Distância	Velocidade
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%
total	82,96%	96,65%	96,45%

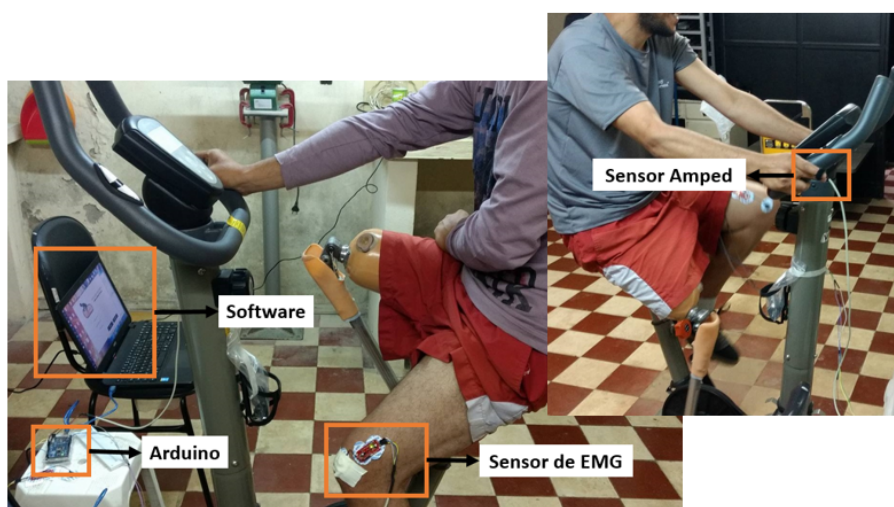
Como pode ser observado na Tabela 1 a precisão do sensor Amped no primeiro minuto apresentou um resultado baixo, porém, isto é explicado por dois fatores: O primeiro pode ser explicado pela própria documentação do sensor, onde é apontado que o mesmo demora um tempo para estabilizar a leitura do sinal 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%.



## 6.2. Experimentação com Pacientes

Posteriormente aos testes realizados para avaliar a precisão da coleta de dados pelo sistema desenvolvido, foram iniciados testes com pacientes amputados de membros inferiores. Estes experimentos tem como objetivo coletar dados das sessões de exercícios do indivíduos para, assim, avaliar seu progresso ao longo do tratamento. Além disto, é de fundamental importância analisar a opinião dos pacientes sobre a utilização da ferramenta e, também dos fisioterapeutas.

Assim sendo, os experimentos foram realizados nas instalações do SRF e contaram com acompanhamento integral dos profissionais. Desta forma, a Figura 9 demonstra a realização dos experimentos, dando destaque a utilização dos elementos que compõem o sistema.



**Figura 5. Experimentos com Pacientes**

Portanto, a partir da realização dos experimentos, foi obtido dos pacientes uma resposta muito positiva sobre a utilização do sistema. Além disto, os profissionais, utilizadores da solução, também apontaram os benefícios trazidos pela ferramenta desenvolvida. Assim sendo, com o decorrer das sessões de exercícios dos pacientes será possível acompanhar o seu progresso ao longo do tratamento e, assim, buscar alternativas para que suas reabilitações sejam mais proveitosas.

## 7. Conclusão

É relevante apontar que a proposta da solução desenvolvida pode ser fundamental na avaliação do progresso de um paciente amputado durante o processo de reabilitação física, e assim, será efetivamente um dos pontos de maior relevância no tratamento do indivíduo. Ainda, é necessário avaliar o caráter social da proposta e a relevância do tema não apenas na área do desenvolvimento de pesquisa acadêmica, visto que a sistema proposto tem como objetivo propiciar um melhor tratamento e acompanhamento de pacientes.

Outra consideração importante é a de que através das pesquisas realizadas e do levantamento do referencial teórico foi possível se alcançar uma maior familiaridade com os aspectos referentes aos conceitos envolvidos na reabilitação física de indivíduos amputados. Assim, avaliar o caráter social da proposta e a relevância do tema não apenas na

área do desenvolvimento de pesquisa acadêmica, visto que a sistema proposto tem como objetivo propiciar um melhor tratamento para os pacientes.

Por fim, após a comprovação da eficiência da solução proposta, e a realização de testes com indivíduos amputados serão realizadas possíveis melhorias e adaptações que sejam necessárias ao sistema. Sendo assim, a equipe de profissionais do SRF continuará utilizando a solução, selecionando novos pacientes e, assim, acompanhando o tratamento de indivíduos com diferentes níveis de amputação.

## Referências

- Bona, R. L. (2011). Efeitos da velocidade nos parâmetros mecânicos e energéticos da locomoção de amputados transfemorais.
- Chamlan, T. R., dos Santos, J. K., de Faria, C. C., Pirrelo, M. S., and Leal, C. P. (2016). Dor relacionada à amputação e funcionalidade em indivíduos com amputações de membros inferiores. *Acta fisiátrica*, 21(3):113–116.
- Fang, R., Pouyanfar, S., Yang, Y., Chen, S.-C., and Iyengar, S. (2016). Computational health informatics in the big data age: a survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 49(1):12.
- Hadjadj, A., Souil, M., Bouabdallah, A., Challal, Y., and Owen, H. (2013). Wireless sensor networks for rehabilitation applications: Challenges and opportunities. *Journal of Network and Computer Applications*, 36(1):1–15.
- LeBlanc, M. (2008). Give hope—give a hand. *The LN-4 Prosthetic Hand*, 2014.
- Marin HF, S. D. (2009). Informática em saúde: oportunidade em busca de melhor qualidade em saúde. *Journal of Health Informatics*. 2009, 1(1):4–5.
- Matos, N., Santos, A., and Vasconcelos, A. (2014). Kinteract: a multi-sensor physical rehabilitation solution based on interactive games. In *Proceedings of the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, pages 350–353. ICST.
- Nogueira, K. L. et al. (2014). *Um framework de realidade virtual e aumentada para apoio a sistemas de reabilitação*. PhD thesis, Universidade Federal de Uberlândia.
- Oliveira, D. C. S. d., Rezende, P. A. M. d. S., Silva, M. R. d., Lizardo, F. B., Sousa, G. d. C., Santos, L. A. d., Guimarães, É. A., Chacur, E. P., et al. (2012). Análise eletromiográfica de músculos do membro inferior em exercícios proprioceptivos realizados com olhos abertos e fechados. *Rev. bras. med. esporte*, 18(4):261–266.
- Ornelas, D. C. (2016). Variabilidade da frequência cardíaca de amputados transfemorais ativos antes e após teste de esforço físico máximo.
- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., and Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1):21.
- RA, V.-S. (2006). Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametria computadorizada. *Rev. bras. fisioter*, 10(1):83–90.
- Susan, B. and O’Sullivan, T. J. (2010). Schmitz. fisioterapia avaliação e tratamento.