

# Gamificação na Reabilitação Física de Amputados: Uma Abordagem Baseada em Jogo SériO

Rafael Luz Melo<sup>1</sup>, Douglas Aquino T. Mendes<sup>1</sup>,  
Érico Marcelo Hoff do Amaral<sup>1</sup>, Julio Saraçol Domingues Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engenharia de Computação — Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)  
96460-000 – Bagé – RS – Brasil

{rafaelmelo.aluno, douglasteixeira.aluno}@unipampa.edu.br

{ericoamaral, juliomingues}@unipampa.edu.br

**Abstract.** *This article describes a solution that aims to make the process of physical rehabilitation more attractive for amputees through a solution based on medical informatics and gamification. Considering the patient's difficulties during physiotherapy sessions (such as trauma, the pain recovery process, and motivation), this work proposes a serious game using sensors and microcontrollers that allow more engaging and challenging sessions. This relaxed approach is intended to direct the patient to a state of immersion in treatment, resulting in greater effectiveness in physiotherapy, and provide a tool for the therapist to monitor the evolution of patients during this process. Some initial experiments were performed, and the results showed that the tool is promising in proposing a more playful and motivating physical rehabilitation environment.*

**Resumo.** *Este artigo descreve uma solução que almeja tornar o processo de reabilitação física mais atrativo para amputados, por meio de uma solução baseada em informática médica e gamificação. Considerando as dificuldades do paciente durante as sessões de fisioterapia (como traumas, dores do processo de recuperação e a motivação), este trabalho propõe um jogo sério usando sensores e microcontroladores que permitem sessões mais envolventes e desafiadoras. Pretende-se com esta abordagem descontraída, direcionar o paciente a um estado de imersão no tratamento, resultando em uma maior efetividade na fisioterapia, além de fornecer uma ferramenta para o terapeuta acompanhar a evolução dos pacientes durante este processo. Alguns experimentos iniciais foram efetuados e os resultados demonstraram que a ferramenta é promissora na proposta de um ambiente de reabilitação física mais lúdico e motivador.*

## 1. Introdução

De acordo com Cieza et al. (2020) existem 180 milhões de pessoas ao redor do mundo que possuem algum tipo de amputação, seja causada por malformação congênita, traumas, doenças vasculares, câncer, infecções graves ou complicações de doenças crônicas. A amputação é responsável por 52% dos anos vividos com incapacidade em todo o mundo. Embora a taxa de mortalidade por amputação tenha decrescido, a prevalência da condição aumentou em 36% entre 1990 e 2019. Esses dados destacam a importância da reabilitação física para melhorar a qualidade de vida das pessoas com amputação e reduzir seu impacto na carga global de doenças [CIEZA et al. 2020].

Dentro do campo da reabilitação física de amputados, os pacientes necessitam superar diversos obstáculos para realizar um tratamento com sucesso. A proximidade em que a amputação ocorreu, as dores durante o processo de reabilitação, a falta de aceitação do ocorrido e até dores fantasmas do membro amputado são alguns desafios enfrentados pelo paciente e, conseqüentemente, pelos profissionais da área no auxílio destes pacientes. Por mais que seja um momento para contornar as dificuldades do enfermo, nem sempre é uma tarefa fácil mantê-lo motivado a se envolver com o tratamento adaptativo [MATOS et al. 2014]. Nesse sentido, a tecnologia tem se mostrado uma grande aliada no auxílio a esse processo, especialmente por meio da gamificação.

Mesmo com o avanço da tecnologia, ainda existem poucas soluções de baixo custo para auxiliar a reabilitação física. Por outro lado, as principais soluções para tornar o processo de fisioterapia mais atrativo, envolvem dispositivos de hardware que possuem periféricos capazes de capturar informações e movimentos do usuário, como, por exemplo, consoles de vídeo game. Porém, por meio desses dispositivos não é possível efetuar uma análise baseada nos sinais vitais do paciente. Por conta dessa carência de dados, a análise do fisioterapeuta em relação à evolução apresentada pelo enfermo acaba sendo muitas vezes subjetiva, por ser amparada em observação humana e descrições do paciente [MOUSAVI HONDORI and KHADEMI 2014].

Nesse contexto, este artigo apresenta a proposta de um sistema para transformar as sessões de reabilitação física em uma atividade mais lúdica e motivadora por meio de um jogo sério. Tendo em foco os pacientes com amputação no membro inferior, que passam por exercícios em uma bicicleta ergométrica, a fim de adaptar-se a sua prótese. Devido à demanda observada pelo Serviço de Reabilitação Física de Bagé (SRF), a atividade é monitorada por meio de sensores para captar dados fisiológicos, trazendo um maior detalhamento da evolução do paciente a partir do auxílio na sua avaliação pelo fisioterapeuta nas diferentes sessões. São utilizados nesta solução os seguintes sensores: sensor de batimento cardíaco, sensor de força muscular e sensor de efeito Hall (que em conjunto com um ímã fixado na roda da bicicleta ergométrica, permite mensurar a velocidade e o deslocamento durante a sessão). O presente trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2 é fornecida a base teórica sobre o assunto do projeto; na Seção 3 é descrita a exploração do espaço do projeto e apresentada a solução desenvolvida; na Seção 4 são apresentados os resultados dos experimentos realizados; finalmente, a Seção 5 contém as conclusões do trabalho e as referências bibliográficas.

## **2. Referencial teórico**

O processo de amputação é necessário em casos de acidente ou enfermidade, em que não há opção para salvar ou melhorar a qualidade de vida do paciente [MATOS et al. 2020]. A amputação não apenas se trata da remoção do membro, pois, após o procedimento cirúrgico, o paciente dá início ao processo de reabilitação física para aprender a lidar com sua nova condição e readaptar-se às atividades diárias. Esse processo envolve diversos profissionais da área da saúde (como fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais e psicólogos) para recuperar a mobilidade, a independência e a autoestima do paciente. O processo passa pela adaptação ao uso de próteses, melhorando o equilíbrio e a coordenação motora, além de exercícios para fortalecer os músculos e melhorar a mobilidade. Por fim, a pós-amputação envolve cuidados psicológicos e emocionais, por meio de terapia [MATOS et al. 2020].

O processo de reabilitação física pode ser otimizado por meio de dispositivos de sensoriamento que coletam dados de pacientes em tempo real e enviam informações para sistemas médicos de monitoramento. Os sistemas embarcados, como os que são destinados para sensoriamento, são amplamente utilizados na medicina, como no uso de monitores de sinais vitais, dispositivos de diagnósticos (como eletrocardiograma, eletroencefalograma e tomografia) e dispositivos de suporte a vida. Estes dispositivos são usados para controlar as funções vitais do paciente, como por exemplo ventilação mecânica, administração de medicamentos e para monitoramento de oxigenação do sangue, garantindo a sobrevivência do paciente em emergências [ARANDIA et al. 2022]. O uso de recursos computacionais na área da medicina, como o uso de sensores e jogos virtuais como o da solução aqui descrita, pertencem à Informática Médica. Em linhas gerais, na perspectiva da ciência da computação, este é o campo de estudos que vai desde a coleta, tratamento e apresentação dos dados para o profissional da saúde, até ferramentas mais voltadas ao hardware, como no desenvolvimento de instrumentos de medição, próteses robóticas, entre outros [GRAY and SOCKOLOW 2016].

Os sensores neste sistema possuem duas finalidades: monitoramento de dados fisiológicos para uma maior compreensão do estado de evolução do paciente, e controle do jogo de simulação para descontrair a atividade por meio da gamificação, que apesar de ser um conceito separado, está presente neste contexto. A gamificação é uma técnica que utiliza elementos de jogos em ambientes não lúdicos, com o propósito de melhorar o envolvimento na resolução de determinado problema [BERTRAN 2014]. Esse uso da mecânica de jogos, que não foca somente no entretenimento, deriva outra denominação, os “jogos sérios”. Esses jogos são relacionados a diversas áreas, como, por exemplo, na educação, nos negócios, em treinamentos técnicos e como neste contexto, na área da saúde [ALVAREZ 2015]. Esta abordagem almeja estimular a participação dos pacientes através do uso recursos como pontuações e recompensas para essas atividades e tornar o ambiente de tratamento mais agradável, além de possibilitar uma visualização do progresso de cada um deles.

## 2.1. Trabalhos correlatos

Nos últimos anos, o interesse pelo uso de *exergames* (jogos sérios que promovem a atividade física) na reabilitação física tem crescido, particularmente para pacientes com dificuldades motoras [VAN DIEST et al. 2013]. Tal como em pacientes amputados, visando tornar a reabilitação mais envolvente.

Souza et al. apresenta uma solução relevante na área de reabilitação física para pacientes com dificuldades motoras. O trabalho apresenta uma abordagem inovadora na assistência em sessões de telerreabilitação (sessões de reabilitação física domésticas, onde paciente e fisioterapeuta estão em ambientes diferentes e a interação é mediada por tecnologias de comunicação). É demonstrado o *exergame* “CicloExergame”, jogo do gênero *endless runner* (estilo semelhante ao jogo *Subway Surfers*) que possui como objetivo manter-se o maior tempo possível evitando obstáculos e coletando moedas para somar na pontuação. O sistema é composto por um cicloergômetro, um oxímetro, um teclado numérico (para controles de movimentação lateral do personagem no jogo) e um Arduino para realizar a conexão e análise dos dados obtidos no cicloergômetro (número de pedaladas) e pelo oxímetro (batimentos cardíacos por minuto — BPM — e saturação sanguínea — spO2) [SOUZA et al. 2022].

Já a ferramenta de Prahm et al. (2017) também utiliza um *exergame*, neste caso para a adaptação de próteses mioelétricas (próteses controladas por sinais elétricos musculares) em pessoas com amputação abaixo do ombro. Foram apresentados três jogos, o *SuperTuxKart* de corrida contra o tempo e adversários controlados pelo computador, o *Step Mania 5* que é um jogo de ritmo (gênero semelhante a jogos como *Guitar Hero* e *Just Dance*) cujo objetivo é ativar as “notas” na ordem e no momento correto, fazendo com que o personagem virtual realize uma dança sem erros. Por fim, o *Pospos* que é um jogo 2D onde deve-se percorrer um labirinto para atingir o objetivo. Os resultados do estudo mostram que os indivíduos que usaram os jogos mencionados tiveram um melhor desempenho em testes de controle da prótese mioelétrica em comparação com aqueles que receberam apenas o treinamento tradicional de reabilitação. Apesar de próteses mioelétricas não serem o foco do presente trabalho, os participantes da ferramenta supracitada relataram que o jogo era mais divertido e envolvente do que o exercício clássico.

Também voltado jogos que promovem atividades físicas em pacientes durante o processo de telereabilitação. O *exergame* “*ExerCam*” é um jogo sério que utiliza da tecnologia de “*Human Pose Estimation*” para detectar a posição do corpo do jogador via uma câmera comum traçando linhas destacando as articulações — cujo resultado se assemelha a um desenho de um boneco de palito. Com o uso de uma câmera comum, o jogador realiza interações com a ferramenta e é capaz de se visualizar na tela, e realizar os desafios propostos pelos 4 jogos disponíveis no sistema. Para contabilizar uma maior pontuação aspectos como precisão e a velocidade dos movimentos são importantes [ROSIQUE et al. 2021]. Os jogos presentes nesta aplicação possuem níveis variados proporcionando diferentes desafios a depender do estágio onde o paciente se encontra, um aspecto interessante para se basear e trazer para o presente trabalho tendo em vista que os pacientes amputados reagem de maneiras bem diferentes ao processo de reabilitação física, desafios variados são essencialmente importantes neste contexto.

Em resumo, os estudos demonstram bons resultados acerca do uso de jogos de sérios nas atividades de reabilitação física em pacientes com dificuldades motoras, tanto na melhora do controle de próteses mioelétricas como no segundo trabalho, quanto para descontrair atividades físicas em sessões de fisioterapias a distância (sessões de telereabilitação), oferecendo maior engajamento, *feedback* imediato e afastando a monotonia durante a recuperação. Porém, apesar das aplicações apresentadas serem de baixo custo, estes trabalhos buscam atingir um público alvo diferente do sistema aqui descrito (pessoas que passam pelo processo de amputação).

### **3. Descrição da ferramenta**

O projeto proposto visa a criação de um sistema de baixo custo que une um *exergame* a uma estrutura de monitoramento para sessões de fisioterapia. Os pacientes alvos dessa aplicação são aqueles com amputação em membros inferiores que realizam exercícios na bicicleta ergométrica. Portanto, este trabalho pode ser dividido em duas partes, uma delas contendo a interface do fisioterapeuta com dados dos pacientes obtidos pelos sensores e emissão de relatórios para cada sessão. E outra que utiliza dos mesmos sensores, porém seus dados atuam como controle da bicicleta no jogo de simulação, onde o paciente deve percorrer e esquivar de obstáculos na pista do ambiente virtual.

O sistema de monitoramento surgiu em virtude da demanda identificada pelos

profissionais de fisioterapia, atuantes no Serviço de Reabilitação Física de Bagé/RS. Foi reconhecida, devido à análise empírica do progresso dos pacientes, a necessidade de ferramentas que auxiliem no diagnóstico do profissional, para que esse tratamento possa ser monitorado e o progresso do paciente registrado e avaliado.

A partir disso, foi desenvolvido um sistema com nó sensores conectados a um microcontrolador que processa os dados coletados para um formato mais compreensível ao fisioterapeuta e executa os cálculos necessários, para a captação do batimento cardíaco e o cálculo de velocidade atingida pela bicicleta ergométrica. Estes dados são então enviados via comunicação serial para um computador que possui uma base de dados para o armazenamento das informações de forma estruturada. Essas informações são acessadas por meio da execução de um software desenvolvido para elaborar gráficos em relação ao tempo de sessão, para uma análise mais minuciosa do desempenho do paciente durante o exercício. Por fim, por meio deste mesmo software, é possível gerar documentos (relatórios no formato PDF) contendo dados referentes ao histórico de sessões de um determinado paciente, incluindo dados de parciais e gráficos. A abordagem com o jogo sério da solução, deriva dos testes realizados da primeira parte do projeto apenas com a captação de dados e emissão de relatórios. Notou-se a carência de ferramentas que solucionem a baixa motivação em pacientes amputados durante as sessões de reabilitação física.

Delimitado então este problema, este jogo adapta as informações obtidas e enviadas pelos sensores ao software de acompanhamento do fisioterapeuta, para um jogo 3D desenvolvido em Unity com o viés de simular um percurso de bicicleta a ser realizado pelo paciente, viabilizando um momento mais descontraído e envolvente. Utiliza-se então da velocidade da bicicleta ergométrica para controlar a velocidade do jogo, exibida na tela juntamente aos dados obtidos de batimentos por minuto (BPM) e eletromiografia (EMG) a fim de dar uma percepção visual para o esforço empenhado pelo paciente durante a atividade.

### 3.1. Modelagem da solução

Para a implementação do sistema que captura informações acerca do exercício de reabilitação, já elucidados, foi necessário buscar sensores tanto para adaptar a bicicleta estacionária para obter a velocidade atingida em tempo real, quanto para analisar dados fisiológicos dos pacientes. Da mesma forma, também foi necessário buscar conceitos importantes para a criação de jogos e para a modelagem do software de gerência das sessões, por fim obtendo-se como resultado uma solução conforme o esquemático demonstrado na Figura 1.

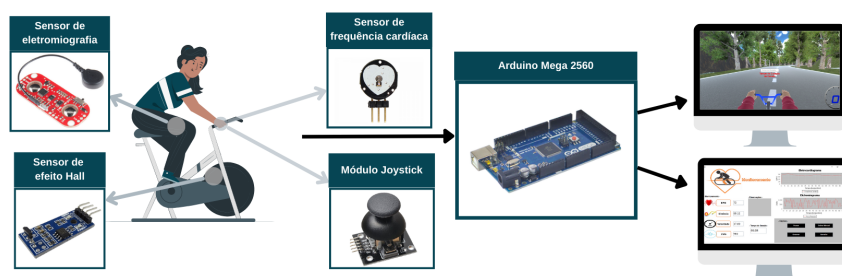


Figura 1. Diagrama Conceitual da Ferramenta e Posicionamento dos Sensores.

### 3.2. Modelagem do nó sensor

A modelagem do nó sensor é uma das etapas fundamentais no desenvolvimento de dispositivos eletrônicos para monitoramento de sinais fisiológicos em ambientes clínicos e esportivos. Nessa sub-seção, serão apresentados os quatro tipos de sensores utilizados na monitoração e no controle do jogo durante o exercício de reabilitação. Estes são intermediados pela plataforma de prototipagem de hardware Arduino Mega 2560, anexados ao corpo do paciente e na bicicleta ergométrica: o sensor Amped, o sensor efeito hall, o sensor de eletromiografia e o módulo *joystick*.

O sensor de Pulso Amped é um equipamento eletrônico para microcontrolador capaz de mensurar a taxa de batimentos cardíacos por meio da tecnologia de fotopleti-mografia (do inglês *photoplethysmography* ou PPG) [LLC. 2015]. Basicamente consiste em um pequeno módulo anexado ao dedo que emite luz e mensura a quantidade de luz refletida para determinar mudanças no fluxo sanguíneo, como demonstrado na Figura 2.



**Figura 2. Sensor de Pulso Amped, posicionamento e seu funcionamento.**

O MyoWare Muscle Sensor, escolhido para monitorar a força muscular, mensura os sinais elétricos através da superfície da pele que o músculo emite quando contrai ou relaxa através da eletromiografia. Tanto o sensor, quanto sua disposição na área a ser avaliada e seu modo de funcionamento é apresentado na Figura 3.



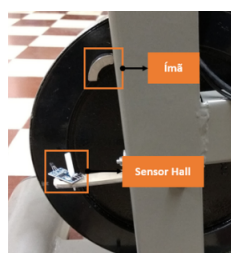
**Figura 3. Sensor EMG, seu posicionamento na extensão muscular e funcionamento.**

Este sensor utiliza dois eletrodos de prata para captar os sinais elétricos gerados pelo músculo e outro para servir como aterramento que deve ser anexado longe do músculo em que se planeja analisar. Esses sinais são então amplificados e filtrados para remover ruídos indesejados, e o sinal resultante é emitido como uma tensão analógica que pode ser captado pelo microcontrolador [TECHNOLOGIES 2015].

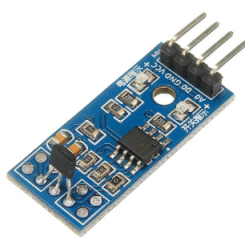
O sensor de Efeito Hall 3144e é um dispositivo eletrônico que detecta a presença e força de um campo magnético através do princípio do Efeito Hall, que define que quando um condutor que transporta uma corrente é colocado em um campo magnético, uma tensão é gerada perpendicularmente à corrente e ao campo magnético [MICROSYSTEMS 2022]. Consiste em um módulo que contém uma tira fina de material semiconductor, o qual é sensível a mudanças em campos magnéticos. A força dessa corrente é proporcional a força do campo magnético, que pode ser mensurada e exibida

por uma placa Arduino conectada ao computador, por exemplo. Este sensor não mensura sinais fisiológicos do paciente, mas sim a quantidade de vezes em que um ímã anexado na roda da bicicleta ergométrica passa pelo sensor retornando a rotação por minuto da roda do equipamento calculada no Arduino para uso no software de gerência de sessão e para o jogo, conforme demonstrado na Figura 4(a).

O módulo *joystick* KY-023 é um dispositivo eletrônico que funciona com dois potenciômetros conectados perpendicularmente, um para movimentos horizontais e outro para movimentos verticais, além de um botão de pressão posicionado ao centro dos eixos conforme ilustrado na Figura 4(b) [JOY-IT 2017].



(a) Sensor de Efeito Hall 3144e.



(b) Módulo *joystick* KY-023.

**Figura 4. Sensores do Victus Game**

### 3.3. Modelagem do Software de gerência de sessões

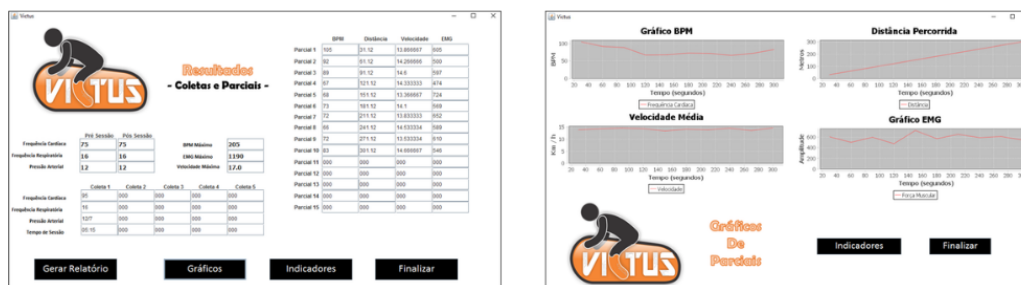
Todos os sensores são conectados ao Arduino Mega 2650, responsável por coletar os dados, tratar e enviá-los por comunicação serial para uma base de dados no computador. Os dados recebidos da sessão podem ser visualizados por meio de um software que exibe as informações por meio de uma interface gráfica desenvolvida na linguagem Java. Na Figura 5(a) é possível observar que os dados obtidos em tempo real são apresentados na tela de monitoramento, tanto de forma numérica com dados presentes de BPMs, distância percorrida, velocidade e a força realizada em milivolt (correspondente a 1/1000 de volt ou mV, obtido através da EMG), quanto em gráfico que demonstra a variação dos valores no decorrer do tempo de sessão.

Ao finalizar a sessão, o fisioterapeuta possui algumas opções acerca do que fazer com os dados obtidos, como demonstra a Figura 5(b). Pode haver uma análise mais detalhada dos resultados parciais obtidos durante a sessão, uma análise gráfica das informações obtidas ou gerar um relatório contendo todos os dados parciais e com a adição dos dados fisiológicos obtidos antes da sessão, auxiliando na tomada de decisões do profissional sobre o avanço do paciente.





(a) Tela inicial e tela de monitoramento durante a sessão



(b) Tela de resultados com valores parciais e tela com plotagem de gráficos

Figura 5. Ferramenta de monitoramento e suas visões.

### 3.4. Jogo sério

O jogo utiliza todos os sensores citados anteriormente como parâmetro para controle da aplicação, a qual é projetada ao paciente, tornando assim as sessões mais lúdicas. Desse modo, além da ferramenta de acompanhamento das informações monitoradas no exercício, um jogo foi desenvolvido por meio do ambiente do software Unity.

Em suma, a ferramenta conta com um cenário 3D que possui obstáculos visíveis a serem evitados em um trajeto a ser cumprido pelo paciente, conforme o tempo definido pelo fisioterapeuta, como apresenta a tela do jogo na Figura 6. As funções de acelerar a bicicleta virtual ficam a cargo do sensor de efeito Hall, que juntamente com um ímã posicionado na roda da bicicleta, permite calcular a velocidade do paciente no jogo, o que viabiliza informar a distância percorrida na bicicleta ergométrica. No caso do paciente ir para o lado errado na pista ou fugir do percurso, o jogo possui um sistema de *waypoints* para evitar o trajeto incorreto e barreiras ao redor da pista para identificar colisões, fazendo com que o jogador retorne para o último *waypoint* após 5 segundos do desvio.



Figura 6. Tela do jogo projetado para o paciente.

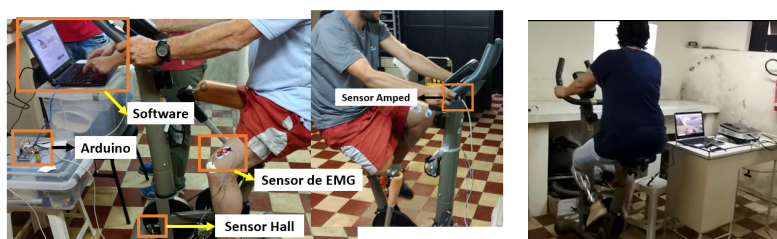


Os desafios no jogo vão se moldando conforme a evolução do paciente, sendo estes desafios barreiras visíveis a frente na pista a serem evitadas através do módulo *joystick* fixado no guidom da bicicleta. A cada barreira contornada, o jogador soma pontos proporcionalmente a sua velocidade e no caso colidir com as barreiras os pontos não serão computados. Ao fim do jogo os pontos acumulados daquela sessão e das anteriores serão apresentados na tela para que se compare as diferentes sessões realizadas por aquele paciente. Na tela do jogo também é possível acompanhar a frequência cardíaca, a velocidade na qual a bicicleta está atingindo além da força efetuada pela musculatura do paciente (mensurada pelo sensor de eletromiografia).

#### 4. Resultados e Discussões

Na etapa atual da pesquisa, foram realizados experimentos iniciais nas sessões de fisioterapia, por meio de uma parceria com o Serviço de Reabilitação Física (SRF) da cidade de Bagé-RS, que acrescentou ao projeto conhecimento da área de fisioterapia, como também disponibilizou as instalações adequadas para a realização dos testes. Os experimentos foram divididos em três etapas, tendo em vista que a ferramenta conta com dois softwares independentes. Sendo a primeira etapa a avaliação da precisão do nó sensor, que se deu pela comparação de cada componente de hardware com a captação de dados manuais. No caso do sensor de pulso Amped os valores captados foram comparados com as leituras de um oxímetro digital. Para o sensor Hall, os valores de velocidade obtidos foram comparados com a velocidade exibida no display da bicicleta ergométrica. Nesta etapa dos experimentos sensor de EMG MyoWare não foi testado, pois não havia um sistema de base para a avaliação da acurácia do sensor. Estes testes individuais dos sensores apresentaram um funcionamento equivalente aos dispositivos referencias e a capacidade de realizar múltiplas coletas em tempo real. Nota-se que no primeiro minuto houve uma baixa precisão do sensor Amped, que pode ser explicado pela sua demora para estabilizar a leitura do sinal de luminosidade, exposta pela própria documentação do sensor.

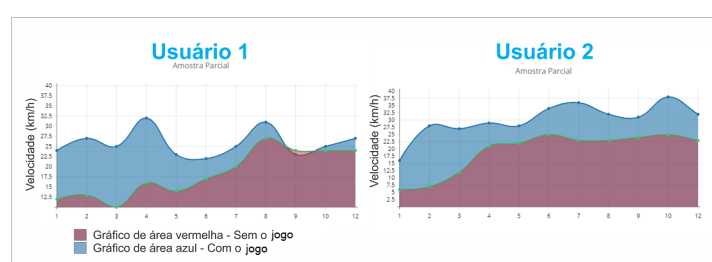
Na segunda etapa foram efetuados testes acerca da integração dos sensores com a aplicação de monitoramento e gerência de sessões, já aplicada nas sessões de fisioterapia. Para esta etapa os experimentos contam com a participação de três pacientes selecionados pelos profissionais do SRF, que participaram dos exercícios na bicicleta ergométrica monitorados pelo sistema, conforme demonstrado na Figura 7(a). Após o uso da ferramenta foi realizado um questionário de múltipla escolha destinado aos fisioterapeutas para obter o feedback sobre a usabilidade do sistema. Esta etapa retornou bons indicativos acerca do uso da ferramenta, além de ideias para possíveis melhoramentos.



(a) Teste com paciente sistema e nó sensor (b) Teste com paciente com o jogo

**Figura 7. Realização de testes com pacientes.**

Os últimos testes foram direcionados a testar o impacto do jogo durante as atividades de reabilitação física. Neste caso houveram dois pacientes voluntários, e consistiu no uso do jogo durante a sessão de fisioterapia, retratado na Figura 7(b). Neste experimento houve também um questionário que, desta vez, foi direcionado tanto para o fisioterapeuta quanto para o paciente baseado na escala *likert* a fim de avaliar o potencial motivacional do jogo pela perspectiva de ambos. Os resultados sobre a eficiência e a aplicabilidade da ferramenta no ambiente real, retornaram uma média de resultados próximos ao máximo (nota 5). Além disso, foram comparadas as velocidades parciais obtidas com e sem o uso do jogo. Com isso, foi possível observar um aumento significativo da velocidade ao utilizar o jogo, demonstrando maior envolvimento do paciente na reabilitação. A Figura 8 apresenta o gráfico do comparativo das velocidades das sessões.



**Figura 8. Gráfico de amostras parciais de velocidade.**

Apesar dos resultados promissores obtidos, é importante ressaltar que este trabalho ainda almeja uma série de melhorias. Sendo alguns deles: a demonstração gráfica no relatório gerado em formato PDF, a atribuição de controles de direção adaptando o guidom da bicicleta ergométrica, criação de novos cenários e principalmente a expansão dos experimentos com as ferramentas funcionando em paralelo (software de monitoramento + jogo 3D) em um grupo maior de pacientes a fim de refinar a aplicação. É importante salientar que o projeto desenvolvido foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), sido registrado na Plataforma Brasil sob o número CAAE 51777521.5.0000.5323.

## 5. Conclusões

Este trabalho propõe um sistema de monitoramento para sessões de fisioterapia na bicicleta ergométrica para amputados baseada em gamificação. Foi implementado um nó sensor capaz de mensurar dados fisiológicos e dados do exercício a fim de acompanhar o avanço dos pacientes no decorrer do tratamento. Diversos experimentos foram realizados e os resultados demonstraram ser possível obter um maior comprometimento dos pacientes com as sessões de reabilitação, diminuindo assim o tempo de adaptação e a desmotivação nesta etapa da fisioterapia. Como trabalhos futuros, almeja-se o desenvolvimento de diferentes níveis de dificuldades no jogo, uma nova forma de controle da direção da bicicleta virtual usando um guidom controlável a fim de aumentar a imersão do jogador, além da execução de experimentos com uma população maior de pacientes.

## Agradecimentos

Os autores do trabalho agradecem o apoio financeiro da FAPERGS (Edital 01/2022 - PROBIC).

## Referências

- ALVAREZ, J. (2015). From videogame to serious game: the concept of serious diverting and serious modding. *GameDev Days, Tallinn, Estonia*, pages 8–9.
- ARANDIA, N., Garate, J. I., and Mabe, J. (2022). Embedded sensor systems in medical devices: Requisites and challenges ahead. *Sensors*, 22(24):9917.
- BERTRAN, F. A. (2014). The revolution of fun: a study of applied games and fun in non-entertainment contexts. *master's thesis*.
- CIEZA, A., CAUSEY, K., KAMENOV, K., HANSON, S. W., CHATTERJU, S., and VOS, T. (2020). Global estimates of the need for rehabilitation based on the global burden of disease study 2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019. *The Lancet*, 396(10267):2006–2017.
- GRAY, K. and SOCKOLOW, P. (2016). Conceptual models in health informatics research: A literature review and suggestions for development. *JMIR Med Inform*, 4(1):e7.
- JOY-IT (2017). *KY-023 Joystick module (XY-Axis)*. [online; acesso em 18-Junho-2023].
- LLC., W. F. E. (2015). *PulseSensor*. [online; acesso em 18-Junho-2023].
- MATOS, D. R., NAVES, J. F., and ARAUJO, T. C. C. F. D. (2020). Quality of life of patients with lower limb amputation with prostheses. *Estudos de Psicologia (Campinas)*, 37(Estud. psicol. (Campinas), 2020 37).
- MATOS, N., SANTOS, A., and VASCONCELOS, A. (2014). Kinteract: A multi-sensor physical rehabilitation solution based on interactive games. *ICST*.
- MICROSYSTEMS, A. (2022). *Low-Noise Linear Hall-Effect Sensor ICs with Analog Output*. [online; acesso em 18-Junho-2023].
- MOUSAVI HONDORI, H. and KHADEMI, M. (2014). A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. *Journal of medical engineering*, 2014.
- ROSIQUE, F., Losilla, F., and Navarro, P. J. (2021). Applying vision-based pose estimation in a telerehabilitation application. *Applied Sciences*, 11(19):9132.
- SOUZA, C. H. R., de Oliveira, D. M., do Nascimento, D. F., de Oliveira Berretta, L., and de Carvalho, S. T. (2022). A serious games and game elements based approach for patient telerehabilitation contexts. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):179–191.
- TECHNOLOGIES, A. (2015). *3-lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications*. [online; acesso em 18-Junho-2023].
- VAN DIEST, M., Lamoth, C. J., Stegenga, J., Verkerke, G. J., and Postema, K. (2013). Exergaming for balance training of elderly: state of the art and future developments. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10(1):1–12.