

Ambiente de Monitoramento de Sessões de Reabilitação Física de Amputados a Partir de Técnicas de Gamificação

Rafael Luz Melo¹, Érico Marcelo Hoff do Amaral¹, Julio Saraçol Domingues Júnior¹

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

{rafaelmelo.aluno, ericoamaral, juliiodomingues}@unipampa.edu.br

Abstract. *This article describes the project to make the physical rehabilitation process more attractive for amputees, using a solution based on medical informatics and gamification. Considering the patient's difficulties during physiotherapy sessions, such as trauma, pain in the recovery process, and motivation, this work proposes a game using sensors and microcontrollers that allow for more engaging and challenging sessions. This relaxed approach is intended to lead the patient to a state of immersion in the treatment, resulting in greater effectiveness in physiotherapy. In addition, a tool was developed for the therapist to monitor the evolution of patients during this process.*

Resumo. *Este artigo descreve o projeto que almeja transformar o processo de reabilitação física para amputados mais atrativos, por 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 usando sensores e microcontroladores que permitem sessões mais envolventes e desafiadoras. Pretende-se com esta abordagem de forma descontraída levar o paciente a um estado de imersão no tratamento, resultando em uma maior efetividade na fisioterapia. Além de, uma ferramenta desenvolvida para o terapeuta acompanhar a evolução dos pacientes durante este processo.*

1. Introdução

Dentro do campo da reabilitação física de amputados, os pacientes necessitam superar diversos obstáculos para realizar um tratamento com sucesso. Devido a sua condição, que causa sua restrição motora, seja ela por um acidente ou enfermidade, é sempre arraigada de uma carga emocional. A proximidade em que a amputação ocorreu, as dores durante o processo de reabilitação, e até a falta de aceitação do ocorrido são alguns desafios enfrentados pelo paciente e, consequentemente, pelos profissionais da área no auxílio destes pacientes. Por mais que seja um momento de 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 através da gamificação.

Para avaliar o progresso do paciente durante a sessão de fisioterapia, no caso da abordagem com gamificação, além da pontuação obtida pelo mesmo em um jogo, também pode ser efetuado um acompanhamento por meio de sensores conectados ao corpo do paciente. Neste trabalho, o foco está na reabilitação de pacientes com amputação no

membro inferior, que passam por exercícios na bicicleta ergométrica, a fim de se adaptar com uma prótese, melhorar a força muscular, o equilíbrio e a coordenação motora, além de aumentar a resistência e sua capacidade cardiovascular. Consequentemente, visando o detalhamento da evolução do paciente, são utilizados nesta solução os seguintes sensores: sensor de batimento cardíaco, sensor de força muscular e sensor de efeito Hall (que junto a um ímã fixado na roda da bicicleta ergométrica, mensura a velocidade e o deslocamento durante a sessão).

Mesmo com o avanço da tecnologia, ainda existem poucas soluções de baixo custo para auxiliar a reabilitação física, uma vez que as principais soluções para esse tipo de fisioterapia envolvem dispositivos de *hardware* que possuem periféricos capazes de capturar os movimentos do jogador, como o exemplo de 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 H 2014]. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta um sistema para transformar as sessões de fisioterapia mais lúdicas e motivadoras por meio de um jogo, além de propor uma solução a partir de sensores, capazes de auxiliar o fisioterapeuta na avaliação da evolução do paciente entre as diferentes sessões.

Neste artigo, a estrutura está disposta 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 seguida pelas referências bibliográficas.

2. Referencial teórico

Nesta seção, são apresentados os principais conceitos, teorias e estudos relacionados ao tema da pesquisa, bem como apresenta os trabalhos com proposta semelhante na subseção 2.1. Com o objetivo de situar o leitor no contexto da pesquisa e oferecer uma revisão crítica e atualizada da literatura existente.

O primeiro conceito relevante é a respeito do processo de amputação, que se inicia no procedimento cirúrgico, que consiste na remoção total ou parcial de um membro, ou parte do corpo. Geralmente, a amputação é realizada em casos de lesões graves, doenças vasculares, diabetes ou câncer, quando não há outra opção para salvar a vida do paciente ou melhorar sua qualidade de vida. Contudo, não apenas se trata da remoção do membro, pois, após a amputação, o paciente começa o processo de reabilitação física para aprender a lidar com sua nova condição e readaptar-se às atividades diárias [MATOS et al. 2020].

A partir disso, esta atividade envolve diversos profissionais da área da saúde, como fisioterapeutas, terapeutas ocupacionais e psicólogos, para recuperar a mobilidade, a independência e a autoestima. O processo passa pela adaptação ao uso de próteses, exercícios para fortalecer os músculos e melhorar a mobilidade e, 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 através de dispositivos de sensoriamento que podem coletar dados de pacientes em tempo real e enviar informações

para sistemas médicos de monitoramento, para uma análise mais precisa. Os sistemas embarcados, como os que são destinados para sensoriamento, são amplamente utilizados na medicina, como por exemplo, monitores de sinais vitais, dispositivos de diagnósticos (como eletrocardiograma, eletroencefalograma e tomografia) e dispositivos de suporte a vida, para controlar as funções vitais do paciente, como ventilação mecânica, administração de medicamentos e para monitoramento de oxigenação do sangue, garantindo a sobrevivência do paciente em emergências [JAFARI et al. 2007].

O uso de recursos computacionais na área da medicina, como o uso de sensores e jogos virtuais 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 SOCKOLOV 2016].

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]. Este 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 no contexto deste trabalho, na área da saúde. A combinação da gamificação na reabilitação física visa tornar as atividades de fisioterapia mais atraentes e motivadoras para os pacientes. Esta abordagem almeja estimular a participação dos pacientes via pontuação ou recompensas para essas atividades, e tornar o ambiente de tratamento mais agradável, além de possibilitar a monitoração do progresso de cada um deles.

2.1. Trabalhos correlatos

Neste contexto, a gamificação tem se mostrado uma ferramenta eficaz e inovadora, visando tornar o processo de reabilitação mais atraente e engajador. Nesta seção, serão apresentados dois projetos que se assemelham ao tema do presente trabalho. Desta forma foram selecionados dois trabalhos, porém, é preciso salientar que os objetivos destes projetos se diferem em relação aos propostos por este trabalho.

O *exergame* (jogos que promovem a atividade física) Cybercycle tem como proposta estimular a prática de atividades físicas e cognição para idosos [ANDERSON-HANLEY et al. 2012]. Este jogo funciona fixado a uma bicicleta ergométrica e utiliza os pedais para controlar uma bicicleta virtual apresentada em uma tela acoplada a frente do guidom da bicicleta estacionária. No *exergame* é possível competir contra outros jogadores ou contra seus próprios recordes pessoais. O jogo inclui vários níveis de dificuldades que podem ser ajustados consoante as habilidades e aptidão física do jogador. O objetivo é coletar moedas virtuais enquanto se pedala pela paisagem virtual. À medida que o jogador pedala, o jogo também desafia a memória e a capacidade cognitiva do jogador com tarefas como lembrar de padrões de cores e formas.

Os resultados dos estudos, quando comparado ao mesmo exercício sem o *exergame*, apontam que o CyberCycle pode melhorar a aptidão física e a cognição, melhorando a qualidade de vida dos idosos. A comparação foi possível por meio dos dados de distância e velocidade durante as atividades de ambos os grupos.

Já a ferramenta de Prahm et al. 2017 também utiliza jogos para a reabilitação física, neste caso em específico para a adaptação de próteses mioelétricas, dispositivos protéticos controlados pelos músculos do usuário via sensores de eletromiografia (EMG), com o foco em pessoas com amputação transradial (abaixo do cotovelo) ou transumeral (abaixo do ombro) do membro superior. Com este trabalho foram desenvolvidos três jogos, o SuperTuxKart de corrida, Step Mania 5 que é um jogo de ritmo e o Pospos que é um jogo 2D onde deve-se percorrer um caminho para atingir o objetivo. No jogo de corrida SuperTuxKart o jogador deve correr contra o tempo e adversários controlados pelo computador. Os controles de direção são enviados via sensor EMG e o freio/aceleração do carro virtual fica a cargo da outra mão por dois botões. Quanto ao jogo de ritmo (gênero semelhante a jogos como Guitar Hero e Just Dance) há duas opções de controle, esquerda e direita, que também são ativadas via sensores EMG fixados nos músculos onde se deseja aperfeiçoar. O objetivo deste jogo é ativar as “notas” na ordem e no momento correto, fazendo com que o personagem virtual realize uma dança sem erros. E por fim o Pospos é um jogo 2D onde através de controles também por EMG é possível percorrer com o personagem um labirinto, por meio de quatro controles: cima, baixo, esquerda e direita, aguçando a consciência muscular do paciente [PRAHM et al. 2017].

Os resultados do estudo mostraram que os indivíduos que usaram os jogos de computador tiveram um melhor desempenho em testes de controle da prótese mioelétrica em comparação com aqueles que receberam apenas o treinamento tradicional de reabilitação. Além disso, os participantes relataram que o jogo era mais divertido e envolvente do que o exercício clássico.

Em resumo, os estudos demonstram bons resultados acerca do uso de jogos de computador nas atividades de reabilitação física após amputação, tanto na melhora do controle de próteses mioelétricas, quanto para descontrair atividades físicas utilizadas nas sessões de fisioterapia, oferecendo maior engajamento, feedback imediato e afastando a monotonia durante a recuperação. Porém, a primeira solução (CyberCycle) necessita de uma bicicleta ergométrica adaptada, elevando o custo da aplicação e a segunda, apesar de poder ser adaptada para diversas áreas da fisioterapia, não é adaptável de maneira útil, pacientes com amputação no membro inferior.

3. Ambiente de monitoramento de sessões de reabilitação física de amputados a partir de técnicas de gamificação

A proposta deste projeto é a criação de um sistema de baixo custo para gamificação e monitoramento das sessões de fisioterapia em pacientes com amputação em membros inferiores, por meio de uma sessão de fisioterapia na bicicleta ergométrica. Portanto, o presente 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 a pista do ambiente virtual.

O sistema de monitoramento surgiu em virtude da demanda identificada pelos profissionais de fisioterapia, atuantes no serviço de [omitted for blind review]. 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, é desenvolvido um sistema com nó sensores conectados a um microcontrolador que converte os dados coletados para um formato mais compreensível do fisioterapeuta e executa os cálculos necessários, como a definição de tempo para a captação do batimento cardíaco e o cálculo de deslocamento/velocidade atingida pela bicicleta ergométrica. Estes dados são então enviados via comunicação serial para um computador onde há a 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 em PDF) contendo dados referentes ao histórico de sessões de um determinado paciente, incluindo dados de parciais e gráficos.

A abordagem com gamificação da solução, deriva dos testes realizados da primeira parte apenas com a captação de dados e emissão de relatórios. Notou-se também a carência de ferramentas que solucionem a baixa motivação em pacientes amputados durante as sessões de reabilitação física.

Delimitado então este problema, inicia-se a criação de um jogo que adapta as informações obtidas pelos sensores e enviadas ao *software* de acompanhamento do fisioterapeuta, para um jogo 3D desenvolvido em Unity com o viés de simular um percurso 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 e os dados obtidos de batimentos por minuto (BPM), eletromiografia e velocidade atual são exibidos na tela a fim de dar uma percepção visual para o esforço empenhado pelo paciente durante a atividade.

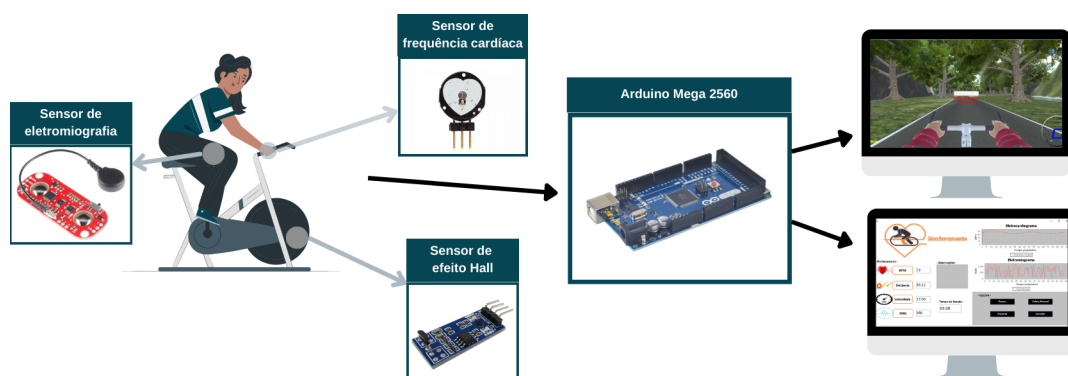


Figura 1. Diagrama Conceitual da Ferramenta e Posicionamento dos Sensores

3.1. Modelagem da solução

Para a implementação do sistema que captura todas as informações acerca do exercício de reabilitação, já elucidados anteriormente, foi necessário buscar sensores tanto para adaptar a bicicleta estacionária com a finalidade de obter a velocidade e distância percorrida, 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.

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 três tipos de sensores utilizados na monitoração da atividade física intermediados pela plataforma de prototipagem de *hardware* Arduino Mega 2560, durante o exercício da bicicleta ergométrica: o sensor amped, o sensor efeito hall e o sensor de eletromiografia.

3.2.1. Sensor de Pulso Amped

O sensor de Pulso Amped é um equipamento eletrônico para microcontrolador capaz de mensurar a taxa de batimentos cardíacos por meio da tecnologia de fotopletismografia (*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.

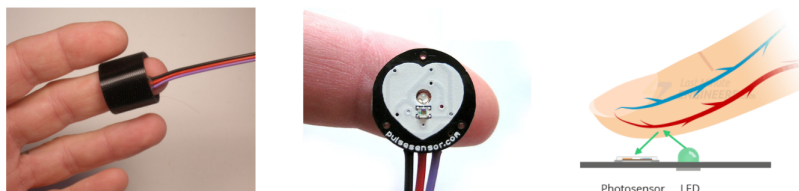


Figura 2. Sensor de Pulso Amped, posicionamento e seu funcionamento

3.2.2. Sensor de Efeito Hall

O sensor de Efeito Hall 3144e é um dispositivo eletrônico que detecta a presença e força de um campo magnético. Como o próprio nome expõe, este sensor utiliza o princípio do Efeito Hall, que afirma 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 do material, tal como um semicondutor, 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.

Em especial, 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, conforme demonstrado na Figura 3. A partir disso, a rotação por minuto da roda do equipamento, calculada pela placa Arduino, pode ser usada para determinar a velocidade e distância que o paciente percorreu durante o exercício. Estes dados são enviados via comunicação serial ao computador que executa o jogo, servindo de parâmetro para acelerar ou desacelerar a bicicleta virtual.

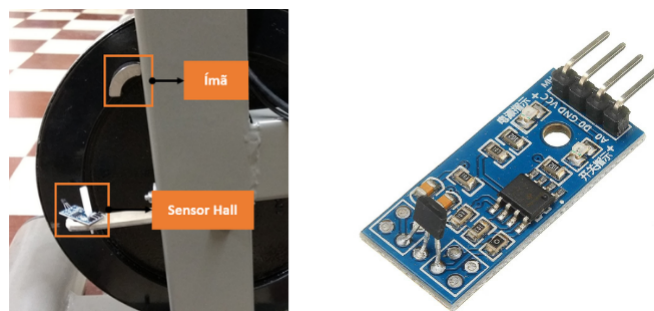


Figura 3. Sensor de Efeito Hall

3.2.3. Sensor de Eletromiografia

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 (EMG), como é apresentado na Figura 4.

Este sensor usa 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 ou sinal digital que pode ser captado por um microcontrolador [TECHNOLOGIES 2015].

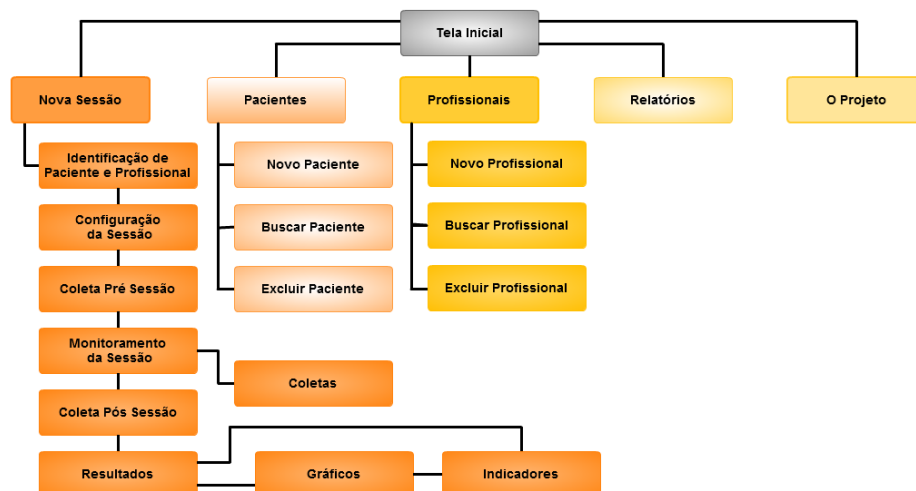


Figura 4. Sensor EMG e seu posicionamento na extensão muscular

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 o computador. Onde através dos dados recebidos é apresentado um *software* que exibe os dados de forma mais agradável por meio de uma interface gráfica desenvolvida na linguagem Java, organizada conforme demonstra o diagrama presente na Figura 5(a).

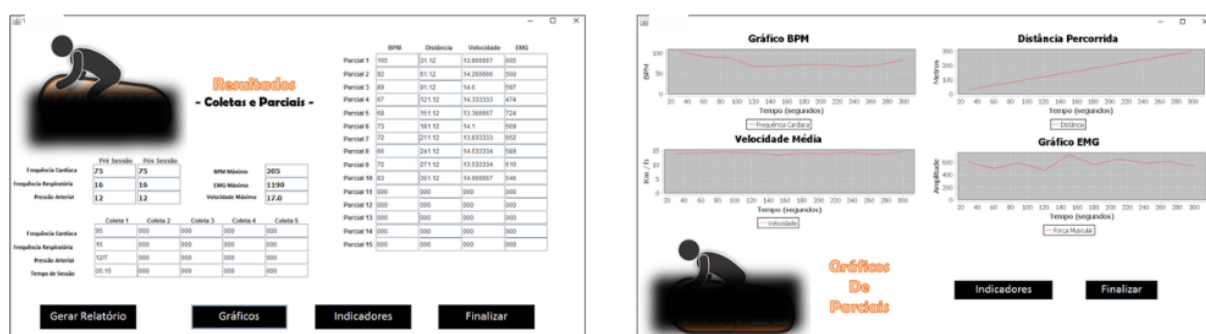
Na Figura 5(b) é possível observar que os dados obtidos em tempo real são apresentados na tela de monitoramento, tanto de forma numérica com dados presentes de BPMs, distância percorrida, velocidade e a força realizada em milivolt (correspondente a 1/1000 de volt ou mV, obtido através da EMG), quanto em gráfico que demonstra a variação dos valores no decorrer do tempo de sessão.



(a) Organização das telas da interface do fisioterapeuta



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



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

Figura 5. Ferramenta de monitoramento e suas visões.

Ao finalizar a sessão, o fisioterapeuta possui algumas opções acerca do que fazer com os dados obtidos, como demonstra a Figura 5(c). 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.

3.4. Gamificação

Além do sensoriamento monitorado para os fisioterapeutas, a proposta também se utiliza da gamificação como método para mitigar, os já mencionados, problemas relacionados à desmotivação do paciente, tentando promover o estado de *Flow* durante as sessões. A teoria do *Flow*, proposta pelo psicólogo Mihaly Csikszentmihalyi, visa entender o estado mental que acontece quando uma pessoa realiza uma atividade e se sente totalmente absorvida em uma sensação de energia, prazer e foco total no que está fazendo. Em síntese, o *Flow* é caracterizado pela imersão completa no que se faz, e por uma consequente perda do sentido de espaço e tempo [MIHALY CSIKSZENTMIHALYI 1990].

O jogo utiliza todos os sensores citados anteriormente como parâmetro para controle da aplicação, que é projetada ao paciente, tornando assim as sessões mais lúdicas (Figura 1). 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 um trajeto a ser cumprido pelo paciente ao longo de uma pista, 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 e o deslocamento do paciente no jogo, o que viabiliza informar a distância percorrida na bicicleta ergométrica. Os desafios no jogo vão se moldando conforme a evolução do paciente, sendo estes desafios pontos visíveis a frente na pista a serem alcançados pelo jogador (no estilo corrida contra o tempo). Na tela do jogo também é possível acompanhar a frequência cardíaca, a velocidade em que a bicicleta está atingindo além da força efetuada pela musculatura do paciente (mensurada pelo sensor de eletromiografia).



Figura 6. Tela do jogo projetado para o paciente

4. Testes e Resultados

Na etapa atual da pesquisa, foram realizados experimentos iniciais nas sessões de fisioterapia, por meio de uma parceria com o Serviço de [omitted for blind review] da cidade de [omitted for blind review], que auxiliou tanto acrescentando ao projeto conhecimentos da área de fisioterapia, como também disponibilizando as instalações adequadas para a realização dos testes.

Além dos testes de software que perduraram durante todo o desenvolvimento das aplicações, 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 e para o sensor Hall, os valores de distância e velocidade foram comparados com o display da bicicleta ergométrica, que apresenta informações de distância percorrida, velocidade e tempo de sessão. 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 correto e a capacidade de realizar múltiplas coletas em tempo real, como demonstra a Tabela 1 que compara as médias de precisão por minuto dos valores mensurados por cada equipamento.

Tabela 1. Precisão do nó sensor

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%

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 alguns pacientes selecionados pelos profissionais do [omitted for blind review]. Foram realizados testes com três pacientes, que participaram dos exercícios na bicicleta ergométrica monitorados pelo sistema [omitted for blind review], conforme demonstrado na Figura 7. Após o uso da ferramenta foi realizado um questionário de múltipla escolha destinado aos fisioterapeutas para obter o feedback sobre a utilização do sistema integrado e verificar se atende os requisitos definidos. Esta etapa retornou bons indicativos acerca do uso da ferramenta, além de possíveis melhoramentos.

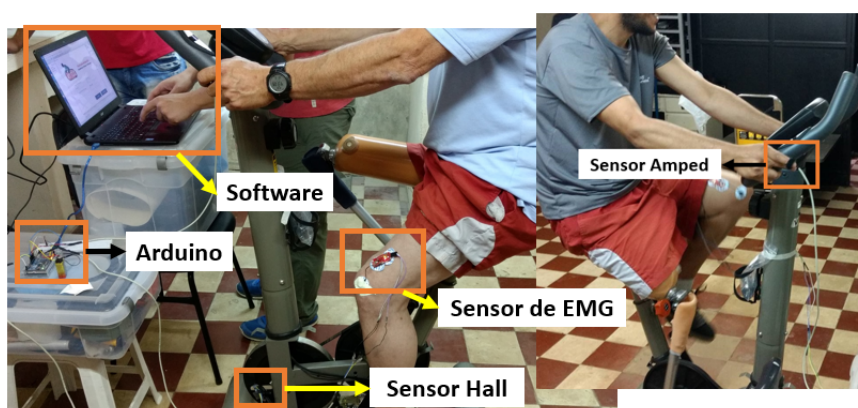
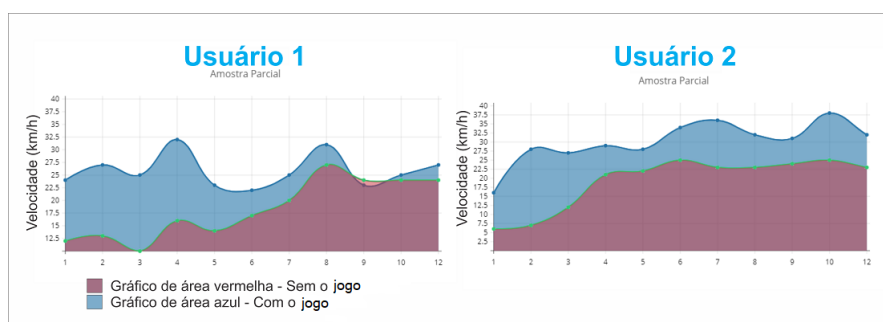


Figura 7. Realização de testes com pacientes

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 na bicicleta estacionária, retratado na Figura 8(a). Neste experimento houve também um questionário para avaliar as impressões que, desta vez, foi direcionado tanto para o fisioterapeuta quanto para o paciente a fim de avaliar o potencial motivacional do jogo pela perspectiva de ambos. Que retornaram ótimos indicativos sobre a eficiência da ferramenta. A velocidade parcial obtida com o uso da ferramenta durante as sessões foi comparada com a velocidade parcial obtida sem seu uso, neste sentido, é possível observar um aumento significativo na velocidade, o que demonstra a efetividade da solução. A Figura 8(b) apresenta o gráfico do comparativo das velocidades das sessões.



(a) Registro dos testes



(b) Gráfico de amostras parciais de velocidade

Figura 8. Resultados dos testes com pacientes

Neste sentido, este trabalho ainda almeja uma série de melhorias na solução, como, por exemplo: demonstração gráfica no relatório gerado em PDF, a atribuição de controles de direção ao jogo, criação de novas pistas, pois o VictusVR possui apenas uma pista finalizada até o momento e 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 [omitted for blind review], sido registrado na Plataforma Brasil sob o número CAAE [omitted for blind review].

5. Conclusões

Este trabalho propõe um sistema de monitoramento para sessões de fisioterapia no cicloergômetro para amputados baseada em gamificação. Foi implementado um nó sensor ca-

paz 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 que é 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. A proposta do jogo denominado [omitted for blind review] propõe uma maior imersão e diversidade no ambiente da fisioterapia, aprimorando a proposta da ferramenta, tornando mais efetiva no auxílio de sessões de reabilitação física. Como trabalhos futuros, é importante destacar o desenvolvimento de uma forma de controle da direção da bicicleta no jogo, além da execução de experimentos com uma população maior de pacientes.

Referências

- ANDERSON-HANLEY, C., ARCIERO, P. J., BRICKMAN, A. M., NIMON, J. P., OKUMA, N., WESTEN, S. C., MERZ, M. E., PENCE, B. D., WOODS, J. A., KRAMER, A. F., and ZIMMERMAN, E. A. (2012). Exergaming and older adult cognition: A cluster randomized clinical trial. *American Journal of Preventive Medicine*, 42(2):109–119.
- BERTRAN, F. A. (2014). The revolution of fun: a study of applied games and fun in non-entertainment contexts. *master's thesis*.
- 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.
- JAFARI, R., GHIASI, S., and SARRAFZADEH, M. (2007). *Medical embedded systems*. Springer.
- LLC., W. F. E. (2015). *PulseSensor*. [online; acesso em 26-fevereiro-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 26-fevereiro-2023].
- MIHALY CSIKSZENTMIHALYI, HARPER, R. (1990). *FLOW: The Psychology of Optimal Experience*. Global Learning Communities.
- MOUSAVI HONDORI H, K. M. A. (2014). A review on technical and clinical impact of microsoft kinect on physical therapy and rehabilitation. *Journal of Medical Engineering & Technology*.
- PRAHM, C., VUJAKLIJA, I., KAYALI, F., PURGATHOFER, P., and ASZMANN, O. C. (2017). Game-based rehabilitation for myoelectric prosthesis control. *JMIR Serious Games*, 5(1):e3.
- TECHNOLOGIES, A. (2015). *3-lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications*. [online; acesso em 26-fevereiro-2023].