

Physio Games - Um Ambiente de Jogos Sérios para Reabilitação Física de Amputados

**Vitor da S. Moreira¹, Luís Felipe C. Maccalli¹, Douglas Aquino T. Mendes,
Erico M. Hoff do Amaral¹, Julio Saraçol Domingues Júnior¹**

¹Engenharia de Computação – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
Bagé – RS – Brazil

{vitormoreira, luismaccalli}.aluno@unipampa.edu.br,

{douglas.mendes1}@estudante.ufla.br,

{ericoamaral, juliodomingues}@unipampa.edu.br

Abstract. This article proposes a computational solution based on a serious game, incorporating both hardware and software, to assist physiotherapists in rehabilitation sessions for patients with amputations. The approach employs a sensor node to capture patient movements, process the data, and transmit it via Bluetooth to an integrated environment developed using the Godot game engine, chosen for its capability to operate across multiple platforms. Additionally, the solution includes a WebApp designed for patient data visualization and physiotherapy session tracking. Beyond supporting physiotherapists, the game aims to enhance patient engagement. Initial evaluations conducted with physiotherapists yielded promising results regarding the solution's applicability.

Resumo. Este artigo propõe uma solução computacional, baseada em jogo sério, utilizando hardware e software, para auxiliar fisioterapeutas nas sessões de reabilitação de pacientes com amputação. A abordagem utiliza um nó sensor para capturar movimentos do paciente, processar e enviá-los, via bluetooth, para o ambiente integrado que foi desenvolvido utilizando o motor de jogos Godot, escolhido por sua capacidade de operar em múltiplas plataformas. Além disso, a solução também implementa uma proposta de Webapp para a visualização dos dados do paciente e acompanhamento das sessões de fisioterapia. O objetivo do jogo, além de auxiliar o fisioterapeuta, é promover o engajamento do paciente. Avaliações iniciais foram realizadas com os fisioterapeutas e os resultados se mostraram promissores quanto a aplicabilidade da solução.

1. Introdução

O sistema de saúde pública é um tema de extrema importância para qualidade de vida de uma população. No caso do Brasil, essa cobertura é disponibilizada para a sua população por intermédio do Sistema Único de Saúde (SUS). Segundo dados do serviço PenseSUS, são realizados cerca de 2,8 bilhões de atendimentos por ano no SUS, onde é possível estimar que 70% da população brasileira depende de algum tipo de serviço. Um dado que ilustra o tamanho do desafio e da importância da saúde pública é a média diária de amputações, que segundo a Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular (SBACV), em 2021 foi de 79,2 pacientes, em 2022 foram realizadas 31.190 amputações.

A amputação é um procedimento delicado, do qual pode ser causado por inúmeros fatores, doenças, acidentes e ocasionalidades que o ser humano está sujeito a enfrentar. Embora seja um procedimento que pode salvar a vida do paciente, em muitos casos a amputação traz consigo inúmeros impactos físicos e psicológicos. O processo de amputação exige uma adaptação do paciente a sua nova condição física, tornando a fisioterapia nessa fase uma ferramenta de suma importância. A fisioterapia, por sua vez, permite a reabilitação física do paciente, etapa essencial da recuperação. Entretanto, realizar a etapa de reabilitação física de pacientes amputados não é uma tarefa fácil, visto que pelo trauma os pacientes não se sentem estimulados a dar continuidade nas sessões. Essa etapa envolve a adaptação de novas limitações, o aprendizado do uso de próteses (quando aplicável) e a recuperação da força e da mobilidade. Em resumo, muitos pacientes enfrentam desafios que vão além da dor física, como a falta de motivação, o desânimo e a dificuldade em enxergar progressos significativos a curto prazo. Neste contexto, a computação pode ser uma ferramenta importante para o desenvolvimento de soluções que impactem positivamente o processo de reabilitação física.

Dentro da computação a área de Informática Médica abrange uma grande gama de atuação, desde o monitoramento de sensores até o desenvolvimento de sistemas integrados de auxílio ao profissional da saúde. Uma das formas encontradas para manter o paciente estimulado e auxiliar o fisioterapeuta é o desenvolvimento de jogos sérios. Esses jogos visam objetivos que vão além do entretenimento, focando em resultados terapêuticos, educacionais ou de treinamento. Na área de fisioterapia, os jogos sérios tem se mostrado uma ferramenta valiosa para manter os pacientes engajados e motivados durante o processo de reabilitação ao mesmo tempo em que auxiliam os fisioterapeutas no monitoramento e personalização do tratamento. Além disso, outra área que pode auxiliar é a de sistemas embarcados, que, ao serem combinadas com jogos sérios, podem proporcionar soluções baratas e eficazes para reabilitação física. No entanto, ainda existem lacunas e oportunidades de pesquisa para soluções computacionais que auxiliem os fisioterapeutas, principalmente no contexto de amputados. Entre essas lacunas, destacam-se a necessidade de personalização da reabilitação com base nas necessidades individuais dos pacientes, o monitoramento preciso e eficiente da evolução dos pacientes, e o desenvolvimento de técnicas de estimulação sensorial e motora mais eficazes.

Este trabalho apresenta uma proposta de sistema integrado que combina jogos sérios, sistemas embarcados e uma interface de apoio ao fisioterapeuta para auxiliar na reabilitação de pacientes amputados. O ambiente integrado foi desenvolvido utilizando o motor de jogos Godot, escolhido por sua capacidade de operar em múltiplas plataformas, incluindo *single-board computers*, o que permite uma solução acessível e versátil. O trabalho apresenta melhorias no sistema proposto anteriormente, incluindo a atualização do nó sensor, reconstrução da interface de jogo, melhorias na ferramenta desenvolvida para os fisioterapeutas e otimizações na comunicação. A proposta visa não apenas manter os pacientes engajados e motivados durante as sessões de fisioterapia, mas também fornecer aos fisioterapeutas ferramentas para monitorar e personalizar o tratamento de forma mais eficiente. Ao final, este trabalho busca contribuir para a área de reabilitação física, oferecendo uma solução tecnológica que pode ser adaptada às necessidades específicas de cada paciente, promovendo uma recuperação mais rápida e eficaz.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os principais

conceitos para o melhor entendimento do projeto e os trabalhos correlatos. A Seção 3 descreve a modelagem da solução proposta e as modificações arquiteturais do sistema em relação à versão anterior. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as avaliações iniciais realizadas e a validação com os *stakeholders* do projeto, bem como na Seção 5 são apresentadas as conclusões do trabalho e perspectivas futuras.

2. Referencial Teórico

A amputação é definida como a remoção total ou parcial de um membro do corpo, seja por meio de cirurgia, trauma ou doença. É um procedimento delicado que pode ter um impacto significativo tanto no bem-estar físico quanto psicológico do paciente. A decisão sobre o nível de amputação é crucial, pois busca maximizar a reabilitação, qualidade de vida e futura protetização do paciente [Diretoria de Saúde do Trabalhador 2017], [Boccolini 2001], [Duarte et al. 2006] e [Ferreira et al. 2017].

Diante desse desafio, a reabilitação física desempenha um papel fundamental no processo de recuperação dos amputados. O objetivo principal da reabilitação é auxiliar indivíduos que sofreram algum tipo de trauma, doença ou deficiência a recuperarem sua capacidade funcional, melhorando a qualidade de vida, a independência e a autonomia. No caso de amputados, a fisioterapia visa readquirir a independência funcional e adaptar-se às limitações impostas pela amputação, por meio de exercícios terapêuticos, treinamento de marcha, uso de próteses e órteses, além de técnicas de controle da dor e mobilização precoce. Além disso, busca minimizar os efeitos do desuso e do encurtamento muscular, promovendo a reeducação neuromuscular e o fortalecimento dos músculos remanescentes [Lisboa 2017, de Saúde Fisioterapia Oeiras 2023, Lambert 2023, Pastre et al. 2005].

Com os avanços tecnológicos, a informática médica tem se tornado uma aliada essencial na reabilitação física. Essa área interdisciplinar utiliza tecnologia da informação para melhorar os processos de saúde, incluindo diagnóstico, tratamento, monitoramento e gestão de pacientes. A informática médica permite o acesso rápido a informações atualizadas, facilita o compartilhamento de dados entre instituições e possibilita a análise de grandes volumes de informações clínicas. Na fisioterapia, contribui para a prescrição de exercícios personalizados, o monitoramento da evolução do tratamento e a comunicação entre profissionais de saúde. Entre as inovações tecnológicas na reabilitação, os jogos sérios têm se destacado como uma abordagem eficaz e motivadora para a recuperação de amputados. Esses jogos eletrônicos são desenvolvidos com propósitos educacionais, terapêuticos ou de treinamento e podem incorporar exercícios específicos de fisioterapia, como fortalecimento muscular, equilíbrio, coordenação motora e treinamento proprioceptivo. A combinação do estado de *flow* com esses jogos pode aumentar a motivação e o engajamento, maximizando os resultados terapêuticos [Burgada 2022]. Para aprimorar ainda mais a eficácia da reabilitação, os sistemas embarcados vêm sendo integrados aos jogos sérios e outros métodos terapêuticos. Esses sistemas computacionais combinam hardware e software para realizar tarefas específicas em tempo real, coletando dados dos movimentos dos pacientes por meio de sensores.

Os trabalhos correlatos analisados para o desenvolvimento do Physio Games abordam diferentes aspectos relevantes para a criação de um sistema de reabilitação física eficaz e envolvente. O trabalho de [Cavalcanti 2019] propõe um método para avaliar a usabilidade de sistemas interativos de realidade aumentada voltados para a reabilitação

motora. Esse estudo enfatiza a importância da usabilidade para garantir que o sistema seja intuitivo, fácil de usar e eficiente para os pacientes, também apresenta uma série de perguntas que auxiliam no desenvolvimento de novas tecnologias de reabilitação, abordando questões sobre *feedback* de áudio, imagem e texto.

O estudo de [Pillon 2015] propõe um *checklist* para auxiliar no desenvolvimento e avaliação de jogos digitais em realidade virtual para a reabilitação virtual de idosos. Este *checklist* aborda aspectos terapêuticos, de motivação, interação e segurança, oferecendo um guia sistemático para a criação de jogos eficazes e adequados às necessidades dos usuários. Já o trabalho de [Moura 2021] desenvolveu uma plataforma gamificada para auxiliar pacientes em exercícios de reabilitação em casa. Essa plataforma visa aumentar o engajamento e a motivação dos pacientes, e os resultados e métodos de avaliação desse projeto podem ser úteis para o desenvolvimento do Physio Games.

Por fim, [Pinheiro 2021] desenvolveu o sistema Tennis Game Physio como um simulador de tênis de mesa para auxiliar na reabilitação de amputados. Este trabalho serviu como base para o desenvolvimento da primeira versão do Physio Games, e algumas questões de lógica, organização das telas e requisitos do sistema foram mantidas na versão desenvolvida por [Mendes 2023].

3. Physio Games e os Aprimoramentos Propostos

A proposta deste trabalho é apresentar o aprimoramento do protótipo desenvolvido anteriormente, visando uma utilização em sessões de fisioterapia de amputados. O trabalho inicial, desenvolvido por [Mendes 2023], apresentava um aplicativo móvel desenvolvido em Flutter, que capturava as informações de movimentação do smartphone e as enviava via Bluetooth para um nó sensor. Esse nó sensor, por sua vez, processava os dados de movimentação e os enviava por meio de comunicação serial para um jogo desenvolvido na engine Unity. A arquitetura inicial do sistema é ilustrada na Figura 1.



Figura 1. Arquitetura inicial

Após testes e *feedbacks* dos *stakeholders* do projeto e da comunidade científica, foi possível identificar que a arquitetura utilizando o dispositivo *smartphone* poderia ser otimizada com a construção de um nó sensor específico, tornando o fluxo de funcionamento mais simples e de baixo custo. Assim, uma nova versão foi implementada, remodelando todo o *workflow*, introduzindo uma integração com uma base de dados e uma solução *WebApp*, além da migração do jogo para a engine Godot, de código aberto. A seguir a arquitetura da nova solução é apresentada.

3.1. Physio Games 2.0

A nova abordagem se inicia com a captura dos dados de movimentação do paciente por meio de um módulo giroscópio e acelerômetro. Esses dados são processados por um NodeMCU ESP32, que os envia via Bluetooth para o dispositivo que está executando o jogo (seja um *desktop* ou um dispositivo *single-board*). O dispositivo, por sua vez, interpreta os dados coletados e os utiliza para controlar o jogador dentro do jogo desenvolvido na engine Godot. A nova arquitetura proposta pode ser vista na Figura 2.

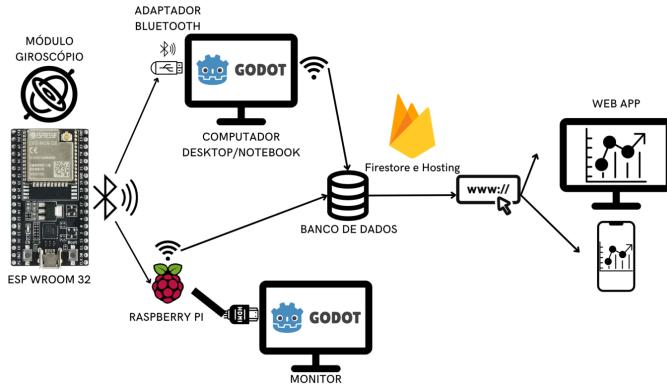
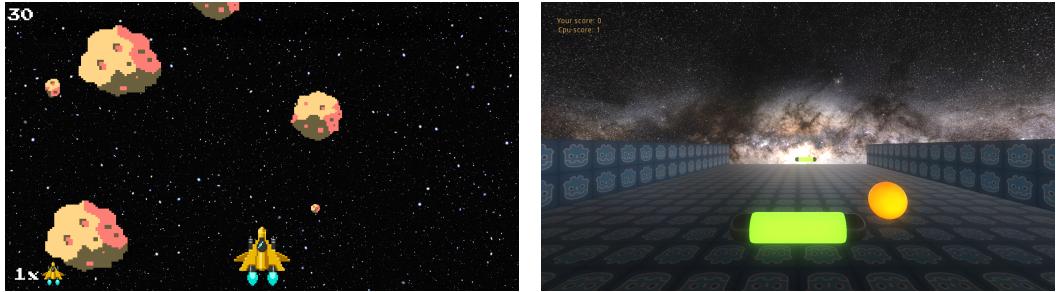


Figura 2. Arquitetura proposta

A mudança para a *engine* Godot se deu por ser mais intuitiva e de fácil utilização, permitindo a geração de soluções para diferentes arquiteturas (inclusive a arquitetura ARM64 das *singles-boards* como o Raspberry Pi). O sistema construído permite a escolha entre dois jogos: AsteroidTerapia e PongTerapia. Ambos os jogos utilizam a movimentação horizontal do jogador, capturada pelo nó sensor composto por um NodeMCU ESP32 e um sensor MPU6050, para controlar as ações no jogo, proporcionando uma experiência interativa e imersiva. Ao final de cada sessão, os dados coletados (pontuação, tempo de duração e quantidade de movimentos) são enviados para uma base de dados, permitindo o armazenamento dos dados para a análise do progresso do paciente por meio do *WebApp*. A plataforma oferece gráficos interativos que auxiliam na visualização da evolução do paciente, facilitando a tomada de decisões pelos fisioterapeutas.

O nó sensor proposto foi projetado para ser portátil e de fácil utilização, permitindo que o paciente realize os movimentos necessários para a reabilitação sem a necessidade de fios ou conexões físicas. O NodeMCU ESP32 foi escolhido por sua capacidade de comunicação Bluetooth Low Energy (BLE), que consome menos energia em comparação com o Bluetooth clássico, garantindo maior autonomia ao dispositivo. O sensor MPU6050 foi escolhido para o nó sensor devido à sua capacidade de medir movimentos com precisão, combinando um acelerômetro e um giroscópio em um único módulo. Ele é capaz de capturar movimentos em três eixos (X, Y e Z), fornecendo dados precisos sobre a aceleração e a rotação do membro do paciente durante as sessões de fisioterapia. Essa funcionalidade é essencial para traduzir os movimentos do paciente em comandos no jogo, permitindo uma experiência interativa e imersiva. A integração do MPU6050 com o ESP32 permite que os dados de movimentação sejam enviados em tempo real via Bluetooth. Essa combinação de hardware torna o processo de reabilitação mais confortável e eficiente.



(a) Cena do jogo AsteroidTerapia

(b) Cena do jogo PongTerapia

Figura 3. Cenas dos Jogos Propostos

Assim como a proposta do novo nó sensor, também foi proposto um novo jogo, projetado para ser algo fácil de se utilizar e de portar para diferentes arquiteturas. Após os processos de login, temos a cena de selecionar o jogo, a movimentação do *player* em cada jogo é sempre na horizontal, oferecendo uma vasta gama de movimentos para o paciente exercitar, movimentos dos quais são capturados pelo sensor giroscópio e acelerômetro. Os jogos AsteroidTerapia e PongTerapia foram desenvolvidos com o objetivo de instigar o paciente e induzir o estado de *flow*, um conceito psicológico que descreve um estado de imersão e foco total na atividade realizada. Para alcançar esse estado, os jogos incorporam elementos como músicas envolventes, efeitos sonoros, pontuação e *feedback* visual imediato. No AsteroidTerapia, o paciente controla uma nave espacial que deve desviar e destruir asteróides em movimento. A movimentação horizontal da nave é controlada pelos movimentos do paciente, capturados pelo sensor MPU6050, e os tiros são automáticos. A cada asteróide destruído, o paciente ganha pontos. A trilha sonora e os efeitos sonoros são projetados para manter o paciente engajado e motivado. O PongTerapia, foi baseado na versão disponível em [AdilsonThiago 2022] com pequenas modificações. Nesse caso, o paciente controla uma raquete que deve rebater uma bola em movimento. Assim como no jogo anterior, a movimentação da raquete é controlada pelos movimentos do paciente. O jogo também oferece um sistema de pontuação que aumenta conforme o paciente consegue rebater a bola, além de efeitos sonoros e visuais que reforçam a sensação de progresso e conquista.

Ambos os jogos foram projetados para que possuam uma curva de aprendizado suave que permite ao paciente se familiarizar rapidamente com os controles. A combinação de elementos como música, pontuação e *feedback* visual busca criar uma experiência imersiva que não apenas auxilia na reabilitação física, mas também promove o engajamento e a motivação do paciente, elementos essenciais para o sucesso do tratamento. Após o fim da partida, a sessão é encerrada e os dados coletados são enviados para a base de dados.

Atualmente, são capturados três tipos de dados essenciais para a análise e o acompanhamento do progresso do paciente:

- **Pontuação:** Reflete o desempenho do paciente durante a sessão de fisioterapia. Este dado é de suma importância, pois é um dos indicadores do estado de *flow* do paciente e comparado a outras sessões, pode-se perceber a evolução do paciente.
- **Tempo:** Registra a duração total da sessão, desde o início até a conclusão. Esse dado pode monitorar a adesão do paciente ao tratamento e também sendo um

indicador do estado de *flow*.

- **Movimentos:** Captura a quantidade de movimentos realizados pelo paciente durante a sessão. Esse dado ajuda a avaliar a frequência e a consistência dos exercícios, fornecendo *insights* sobre o esforço físico aplicado e a progressão do paciente em relação aos objetivos terapêuticos.

Esses dados, quando analisados em conjunto, permitem aos fisioterapeutas acompanhar de perto a evolução dos pacientes, personalizar o tratamento de acordo com as necessidades individuais e identificar possíveis ajustes para otimizar a reabilitação.

3.2. Ferramenta WebApp para Apoio dos Fisioterapeutas

Para complementar o sistema proposto, foi desenvolvido uma nova ferramenta de auxílio para os fisioterapeutas por meio de um *WebApp* que serve como interface de acompanhamento para os fisioterapeutas. Essa ferramenta tem como objetivo principal, facilitar o monitoramento e a análise dos dados coletados durante as sessões de fisioterapia, permitindo uma visão detalhada e personalizada, do progresso de cada paciente. O *WebApp* foi projetado para ser intuitivo e de fácil utilização, garantindo que profissionais da saúde possam acessar as informações de forma rápida e eficiente, tanto em dispositivos *desktop*, quanto em dispositivos móveis.

Na página de listagem de pacientes, o menu lateral oferece opções para gerenciar os registros, seguindo os princípios do CRUD (Create, Read, Update, Delete). Ao selecionar um paciente da lista, o fisioterapeuta é direcionado para uma página detalhada, onde são exibidas todas as sessões de fisioterapia realizadas por esse paciente. A Figura 4 apresenta a interface Web da solução. Para cada sessão, é possível visualizar os dados coletados, como pontuação, tempo de duração e quantidade de movimentos. Além disso, o sistema oferece a funcionalidade de gerar gráficos interativos para cada tipo de dado, permitindo uma análise visual do progresso do paciente ao longo do tempo. Os gráficos são gerados de forma dinâmica, com base nos dados armazenados, para facilitar a identificação de tendências e padrões. Essa visualização gráfica permite ao fisioterapeuta avaliar a evolução do tratamento e tomar decisões sobre ajustes no plano de reabilitação.

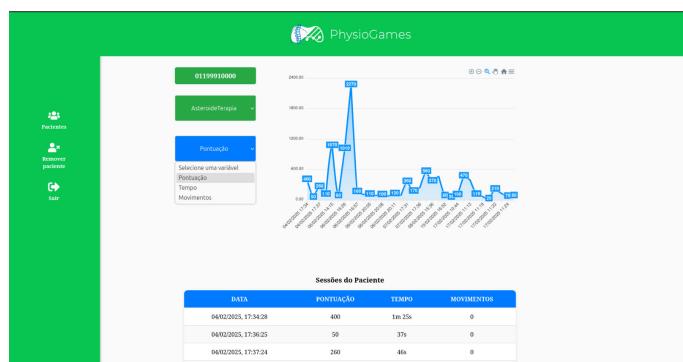


Figura 4. Gráfico gerado utilizando as sessões realizadas

O *WebApp* visa garantir uma experiência de uso consistente e eficiente. Essa flexibilidade permite que os fisioterapeutas acessem as informações e gerenciem os dados de seus pacientes de qualquer lugar, aumentando a praticidade e a eficiência do sistema como um todo.

4. Resultados e Discussão

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com a implementação e a avaliação do sistema proposto, bem como as discussões derivadas da análise desses resultados. O sistema, composto pelo jogo sério, o nó sensor, a comunicação com a base dados e o *WebApp*, foi testado em um ambiente controlado, com o objetivo de validar sua funcionalidade no auxílio à reabilitação de pacientes amputados. Os dados coletados durante os testes foram analisados para avaliar o desempenho do sistema em termos de usabilidade, precisão na coleta de dados. Esses experimentos foram executados em dois momentos, o primeiro em laboratório considerando os aspectos funcionais e o segundo em campo com os fisioterapeutas envolvidos no projeto.

4.1. Experimentos Funcionais em Laboratório

O desenvolvimento da plataforma Physio Games utilizando o motor de jogos Godot apresentou uma série de desafios técnicos, principalmente relacionados à leitura de dados seriais para integração com o NodeMCU ESP32. Inicialmente, foi identificado que a Godot 3.6 não oferece suporte nativo para leitura serial, o que limitou a comunicação com o ESP32 a conexões cabeadas e apenas ao sistemas Windows. Essa limitação representou um obstáculo significativo, uma vez que a proposta do sistema exigia compatibilidade multiplataforma e uma solução mais robusta para a leitura dos dados.

Após uma análise detalhada da documentação do Godot, foi descoberta a função `OS.execute()`, que permite a execução de comandos por terminal. Com base nessa funcionalidade, foi possível desenvolver scripts Python para realizar a leitura da porta serial. A execução de um script Python a cada leitura de dado ocasionou um atraso (*delay*) considerável, impactando a fluidez do jogo. Para mitigar esse problema, foram realizados ajustes no *baudrate* da comunicação serial e implementadas funções para limpar o buffer antes de cada leitura. Essas medidas reduziram o *delay*, mas não o eliminaram completamente. Diante disso, a abordagem foi modificada: em vez de executar um script Python a cada leitura, optou-se por manter um script Python rodando em segundo plano, responsável por ler os dados da porta serial e gravá-los em um arquivo `.txt`. O Godot, por sua vez, oferece suporte para leitura de arquivos, então é realizado a leitura desse arquivo para atualizar a movimentação do jogador. Após alguns ajustes a nova solução funcionou perfeitamente e permitiu que a fluidez do jogo não fosse afetada.

Outra preocupação foi garantir a mobilidade do paciente durante o uso do sistema. Para isso, foi desenvolvido um protótipo do nó sensor que não depende de alimentação energética por cabo. O NodeMCU ESP32, responsável pela leitura do sensor e transmissão dos dados, foi conectado a uma bateria de lítio 18650 e a um driver USB para recarga. Essa configuração permitiu que o dispositivo funcionasse de forma autônoma, sem a necessidade de fios ou conexões físicas. Para validar a autonomia do protótipo, foram realizados testes em laboratório, nos quais o NodeMCU ESP32 realizava leituras contínuas do sensor e enviava dados aleatórios via Bluetooth para um computador. Os resultados demonstraram que uma carga completa da bateria proporciona até três dias de funcionamento contínuo. A mobilidade do protótipo é um aspecto fundamental do projeto, pois permite que o paciente realize os exercícios de reabilitação com liberdade de movimento, sem a restrição de cabos ou a preocupação constante com a recarga do dispositivo. Além disso, a autonomia de três dias garante que o sistema possa ser utilizado em

diferentes contextos. Essa flexibilidade reforça a viabilidade e a praticidade da solução proposta. A Figura 5 apresenta o nó sensor construído (5(a)) e seu diagrama de ligações (5(b)).

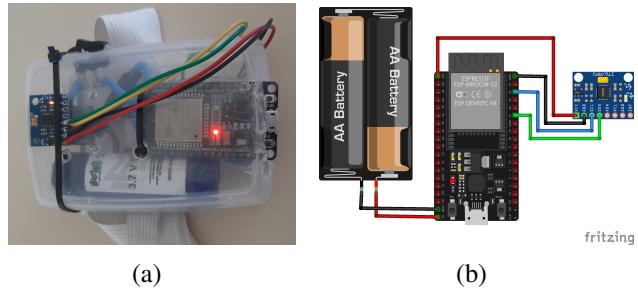


Figura 5. Nó sensor com NodeMCU ESP32, bateria e sensor MPU6050

Por fim, o desenvolvimento do *WebApp* foi guiado por duas preocupações principais: atender aos requisitos CRUD (Create, Read, Update, Delete) e garantir uma integração consistente e eficiente com a base de dados remota. Esses requisitos foram essenciais para permitir que os fisioterapeutas gerenciem os dados dos pacientes e das sessões de forma intuitiva e eficaz. Além disso, foi priorizada a criação de uma interface de usuário simples e intuitiva, garantindo que profissionais da saúde, mesmo sem familiaridade com tecnologia, possam utilizar o sistema sem dificuldades. Após os testes funcionais foi possível passar a etapa de validação da solução com os *stakeholders* do projeto, os fisioterapeutas.

4.2. Validação dos Fisioterapeutas

Para validar a proposta do sistema, foi realizada uma visita ao Serviço de Reabilitação Física (SRF) de Bagé-RS, onde a plataforma foi apresentada a quatro fisioterapeutas, que possuem experiência na validação de outras ferramentas anteriores propostas pelo grupo. Durante a visita, foram realizadas demonstrações completas do sistema, incluindo o uso do nó sensor, a interação com os jogos sérios (*AteroidTerapia* e *PongTerapia*) e a utilização do *WebApp* para monitoramento e análise dos dados. Após as demonstrações, as fisioterapeutas responderam a um questionário detalhado, cujos resultados são analisados a seguir. As Figuras 6(a) e 6(b) apresentam essa etapa de validação, assim como o questionário aplicado pode ser acessado em [Autores 2025].

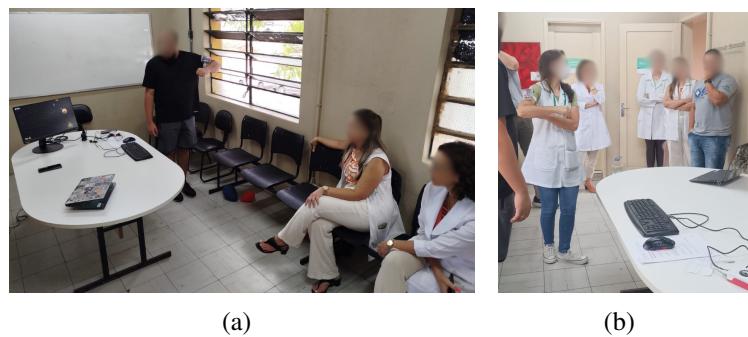


Figura 6. Apresentação e Testes da ferramenta para fisioterapeutas.

Com as respostas do questionário os resultados foram analisados por meio da método TAM (Método de Aceitação de Tecnologia), considerando três eixos principais: percepção de utilidade, percepção de facilidade de uso e intenção de uso. No eixo 1, as perguntas foram elaboradas para avaliar a percepção da utilidade da ferramenta, ou seja, se os usuários acreditam que a plataforma pode melhorar o desempenho no processo de reabilitação. No eixo 2, as questões focaram na percepção de facilidade de uso, buscando entender se a interface e a navegação da plataforma são intuitivas e acessíveis. Por fim, no eixo 3, as perguntas foram direcionadas para medir a intenção de uso, avaliando a disposição dos usuários em adotar a tecnologia no futuro. Essa estrutura, baseada no modelo TAM, permite uma análise robusta da aceitação da plataforma, fornecendo *insights* sobre sua viabilidade e potencial de adoção no contexto clínico.

A maioria das fisioterapeutas avaliou a ferramenta como de fácil uso e intuitiva. No eixo 1 (percepção de utilidade), as respostas (Figura 7(a)) foram altamente positivas, indicando que a plataforma é considerada útil para o estudo do desenvolvimento do paciente e para a realização das sessões de fisioterapia. Isso reforça que o sistema atende às necessidades práticas dos profissionais de reabilitação. No eixo 2 (percepção de facilidade de uso), as avaliações (Figura 7(b)) destacaram a navegabilidade e a intuitividade da interface, com notas máximas em quesitos como clareza dos menus e organização lógica das informações. No entanto, uma das fisioterapeutas mencionou que poderia precisar de suporte técnico para utilizar o sistema, sugerindo que, embora a ferramenta seja intuitiva, um guia rápido ou treinamento inicial pode ser útil para garantir que todos os usuários se sintam confortáveis com a plataforma.

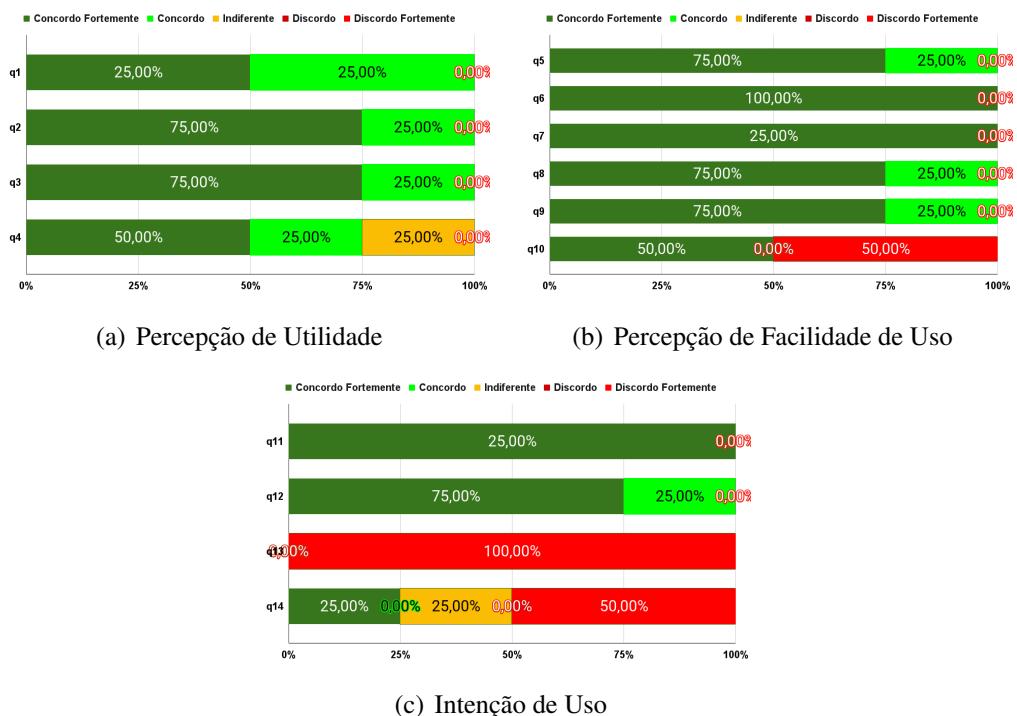


Figura 7. Gráficos das respostas dos Fisioterapeutas por eixo do Modelo TAM.

As fisioterapeutas demonstraram grande interesse na utilização da ferramenta, com notas altas no eixo 3 (intenção de uso), indicando uma forte disposição em adotar a

plataforma no futuro (Figura 7(c)). Isso reforça o potencial de aceitação da tecnologia no contexto clínico. Os jogos sérios (*AsteroidTerapia* e *PongTerapia*) foram bem recebidos, com a maioria das fisioterapeutas afirmando que gostariam de utilizá-los frequentemente. No entanto, houveram algumas críticas pontuais, como a percepção de que os jogos poderiam ser mais desafiadores.

As fisioterapeutas também utilizaram o espaço para sugestões de melhorias. Uma das principais recomendações foi a adaptação dos jogos para utilização em membros inferiores, o que ampliaria o escopo de aplicação da ferramenta. Além disso, houveram sugestões para melhorar a clareza das ilustrações e a disposição dos textos na interface, garantindo que todas as informações sejam facilmente compreendidas. De modo geral, a validação com as fisioterapeutas do SRF de Bagé foi extremamente positiva. A ferramenta foi considerada fácil de usar, intuitiva e adequada para o contexto de reabilitação física. Os jogos sérios foram bem avaliados, com destaque para sua acessibilidade e capacidade de engajamento. As sugestões de melhorias, como a adaptação para membros inferiores e o aprimoramento das ilustrações, serão consideradas em futuras versões do sistema.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou a evolução do ambiente Physio Games, uma solução computacional integrada que combina jogos sérios, sistemas embarcados e uma interface *Web* para auxiliar fisioterapeutas na reabilitação física de pacientes amputados. A proposta inicial foi aprimorada com a substituição por um nó sensor baseado em ESP32 e MPU6050, proporcionando uma solução mais acessível e eficiente. A migração do motor de jogos para o Godot, aliada à integração com a base de dados Firebase e ao desenvolvimento de um *Webapp*, permitiu a criação de uma plataforma robusta e multiplataforma, capaz de oferecer uma experiência interativa e imersiva para os pacientes, além de ferramentas de monitoramento e análise para os profissionais de saúde.

Os resultados obtidos com a validação do sistema junto aos fisioterapeutas do Serviço de Reabilitação Física de Bagé foram bastante positivos. Embora essa etapa de validação tenha sido efetuada apenas com os *stakeholders* do projeto, e a ferramenta ainda não tenha sido avaliada com pacientes, a plataforma foi considerada intuitiva, de fácil uso e adequada ao contexto de reabilitação física. Os jogos sérios desenvolvidos, *AsteroidTerapia* e *PongTerapia*, demonstraram potencial para engajar os pacientes e induzir o estado de *flow*, contribuindo para a motivação e adesão ao tratamento. Além disso, a capacidade de armazenar e visualizar dados das sessões por meio do *WebApp* foi destacada como uma funcionalidade valiosa para o acompanhamento personalizado do progresso dos pacientes. As sugestões das fisioterapeutas, como a adaptação dos jogos para membros inferiores e o aprimoramento das ilustrações, serão consideradas em trabalhos futuros, visando ampliar o escopo de aplicação da plataforma e melhorar a experiência do usuário, iniciar os testes de uso em pacientes e aumentar a quantidade de jogos presentes. Em conclusão, o Physio Games representa uma contribuição significativa para a área de reabilitação física, oferecendo uma solução tecnológica inovadora e acessível que pode ser adaptada às necessidades específicas de cada paciente. Futuros trabalhos incluem a realização de testes clínicos com pacientes amputados, a expansão da plataforma para outras modalidades de reabilitação e a integração de novas tecnologias, como realidade virtual e inteligência artificial, para aprimorar ainda mais a eficácia do sistema. Para a etapa de experimentos com pacientes a proposta está sendo analisada e

ajustada com o conselho de ética em pesquisa e devidamente cadastrado na plataforma Brasil com o número CAAE: 83409524.7.0000.5323.

Referências

- AdilsonThiago (2022). Ping-pong. <https://github.com/AdilsonThiago/Ping-Pong>.
- Autores (2025). Formulario de validação da proposta. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.28516541>.
- Boccolini, F. (2001). *Reabilitação: amputados, amputações e próteses*. Robe Livraria e Editora, São Paulo.
- Burgada, B. B. (2022). ‘estado de flow’: el estado mental de máxima motivación, ¿cómo puedes alcanzarlo?
- Cavalcanti, V. C. (2019). Proposta de avaliação de usabilidade para sistemas interativos de realidade aumentada na prática de reabilitação motora.
- de Saúde Fisioterapia Oeiras, S. (2023). Reabilitação física.
- Diretoria de Saúde do Trabalhador (2017). *Manual sobre Prescrição de Órteses, Próteses Ortopédicas não Implantáveis e Meios Auxiliares de Locomoção*. Instituto Nacional do Seguro Social, Brasília. Disponível em <<https://extra268.files.wordpress.com/2017/10/rs611presinssmanual1.pdf>>. Visitado em Maio, 2023.
- Duarte, B. M. A., M., S. H., T., C. R. S., S., M., D., C.-S. C., and A., V.-S. R. (2006). Avaliação do equilíbrio estático em indivíduos amputados de membros inferiores através da biofotogrametria computadorizada. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 10(1).
- Ferreira, G. G., de Souza Ferreira, L. A., and Calazans, M. C. L. R. (2017). Identificação das causas de amputação de membros nas estratégias de saúde da família do município de santa fé do sul-sp. *UNIFUNEC CIÊNCIAS DA SAÚDE E BIOLÓGICAS*, 1(1):65–71.
- Lambert, C. (2023). Conheça as diferenças entre reabilitação e fisioterapia.
- Lisboa, C. F. (2017). Reabilitação física fisioterapia.
- Mendes, D. A. T. (2023). Physio games: Ambiente de integração de jogos sérios para reabilitação física de amputados. Acesso em: 11 fev. 2025.
- Moura, M. Â. B. (2021). Proposta de uma plataforma ludificada para a reabilitação e condicionamento físicos.
- Pastre, C. M., Salioni, J. F., Oliveira, B. A., Micheletto, M., and Júnior, J. N. (2005). Fisioterapia e amputação transtibial. *Arq Ciênc Saúde*, 12(2):120–4.
- Pillon, C. B. (2015). Requisitos para o desenvolvimento de jogos digitais utilizando a interface natural a partir da perspectiva dos usuários idosos caidores. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.
- Pinheiro, A. N. L. (2021). Proposta de solução no apoio de sessões de fisioterapia para amputados baseada em gamificação.