

Proposta de Melhorias de um Ambiente Interativo para Reabilitação Física de Membros Inferiores Baseado em IoT

Title: Proposal for Improvements to an Interactive Environment for Lower Limb Physical Rehabilitation Based on IoT

Leonardo Cunha Gazen Manzke^{1,2}, Juan Rocha Stefani^{1,2},
Rafael Luz Melo^{1,2}, Maria Eduarda Maia Almeida^{1,2},
Erico Marcelo Hoff do Amaral^{1,2}, Julio Saraçol Domingues Júnior^{1,2}

¹ Grupo de Informática Médica e Microeletrônica (GIMM)

²Engenharia de Computação

Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé, RS – Brasil

{leonardomanzke, juanstefani, mariaema2, rafaelmelo}.aluno@unipampa.edu.br

{ericoamaral, juliodomingues}@unipampa.edu.br

Abstract. Objective: This work presents the *Victus Exergame*, an integrated IoT-based environment designed to support the physical rehabilitation of individuals who have undergone lower-limb amputation. **Methodology:** The solution combines a low-cost embedded system using a NodeMCU ESP32 for acquiring heart rate, electromyography, and speed data from a stationary bicycle, a serious game with gamification elements to increase engagement, and a Progressive Web App (PWA) for visualization and analysis of clinical data. The information is transmitted via Bluetooth and stored in the cloud, enabling monitoring of patient progress across sessions. The experimental validation involved three amputee patients and four physiotherapists. **Results:** The findings indicated increased engagement during sessions and improved performance consistency. The evaluation based on the Technology Acceptance Model (TAM) yielded averages above 4.0, demonstrating high perceived usefulness and ease of use. These results highlight the technical feasibility and clinical potential of the solution as a low-cost alternative for the gamification of rehabilitation.

Keywords Physical Rehabilitation, IoT, Serious Games, Lower Limbs.

Resumo. Objetivo: Este trabalho apresenta o *Victus Exergame*, um ambiente integrado baseado em IoT para apoiar a reabilitação física de indivíduos que sofreram amputação de membros inferiores. **Metodologia:** A solução combina um sistema embarcado de baixo custo com NodeMCU ESP32 para aquisição de frequência cardíaca, eletromiografia e velocidade em bicicleta ergométrica, um jogo sério com elementos de gamificação para aumento do engajamento e uma Progressive Web App (PWA) para visualização e análise dos dados clínicos. As informações são transmitidas via Bluetooth e armazenadas em nuvem, permitindo o acompanhamento da evolução entre sessões. A validação experimental envolveu três pacientes amputados e quatro

*fisioterapeutas. **Resultados:** Os resultados indicaram maior engajamento durante as sessões e melhora na consistência do desempenho. A avaliação baseada no Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) apresentou médias superiores a 4,0, evidenciando alta utilidade percebida e facilidade de uso. Os achados demonstram a viabilidade técnica e o potencial clínico da solução como alternativa de baixo custo para gamificação da reabilitação.*

Palavras-Chave Reabilitação Física, IoT, Jogos Sérios, Membros Inferiores.

1. Introdução

A quantidade de amputações traumáticas entre 1990 e 2021 aumentou de forma global; em contrapartida, a expectativa de vida para pessoas com amputação teve um aumento considerável, conforme relatado por Wei [Wei et al. 2025]. Esses dados mostram a crescente importância da reabilitação física, especialmente diante do aumento da sobrevivência de pessoas com amputação observado nas últimas décadas. Portanto, são necessárias abordagens modernas para auxiliar no tratamento e na reabilitação física de pessoas com amputação.

Ao tratar do processo de reabilitação de pessoas com amputação, é preciso destacar os diversos desafios que podem limitar o sucesso do tratamento [Melissa Catherine Day e Strike 2019]. Nesse sentido, é possível citar: Adaptação a próteses, o enfrentamento de dores fantasma, as mudanças na imagem corporal e a reintegração social e profissional do paciente. Neste contexto, a informática médica integrada com jogos sérios e dispositivos de internet das coisas (do inglês, *Internet-of-Things (IoT)*) entram como uma solução viável e eficaz no combate à evasão ao tratamento, tornando as sessões mais atrativas e instigantes. Isso permite que o paciente tenha mais vontade de prosseguir com o tratamento e que o profissional de saúde consiga acompanhar de maneira precisa a qualidade e eficácia da reabilitação.

O objetivo principal deste trabalho é propor melhorias em um sistema de fácil acesso e baixo custo, que visa aumentar o engajamento dos pacientes no tratamento e auxiliar os fisioterapeutas a mensurar sua evolução durante as sessões de reabilitação física em pessoas com amputação de membro inferior [Luz Melo et al. 2025]. Este objetivo é alcançado por meio do uso de um jogo sério, complementado pelo monitoramento e apresentação de métricas de desempenho e dados fisiológicos obtidos nas sessões de fisioterapia, com o auxílio de sistemas embarcados e dispositivos IoT para o monitoramento de dados vitais do paciente e uma interface gráfica amigável para a tradução dos dados coletados para o fisioterapeuta. O artigo organiza-se da seguinte maneira: a seção 2 apresenta o referencial teórico sobre o tema do projeto, assim como a seção 3 apresenta os trabalhos correlatos; a seção 4 descreve a solução proposta e sua arquitetura de construção e as melhorias propostas neste trabalho; a seção 5 expõe os resultados dos experimentos efetuados; finalmente, a seção 6 encerra as conclusões do trabalho e as referências bibliográficas.

2. Fundamentação Teórica

A amputação consiste em um procedimento cirúrgico de remoção periférica de um membro, sendo, em geral, uma intervenção de última instância para a preservação da vida do paciente [MATOS et al. 2020]. Trata-se de uma operação complexa, frequentemente

indicada devido à progressão de doenças sistêmicas ou traumas graves. Para além do desfecho cirúrgico, inicia-se um processo abrangente de reabilitação física, no qual o paciente deve adaptar-se à nova condição funcional e buscar a reintegração às suas atividades diárias. Este percurso demanda uma abordagem multidisciplinar para sustentar tanto a recuperação fisiológica quanto a psicológica, mitigando desafios significativos, como a baixa adesão ao tratamento, frequentemente decorrente da redução da autoestima e da perda da independência física.

No âmbito desta pesquisa, os sensores integrados desempenham duas funções basilares: (i) o monitoramento de parâmetros fisiológicos para a avaliação do progresso do paciente, empregando o Pulse Sensor Amped para a frequência cardíaca e o *MyoWare Muscle Sensor* para a aquisição de eletromiografia (EMG); e (ii) o controle em tempo real do ambiente de simulação por meio de um sensor de efeito Hall e um módulo *joystick*, favorecendo a gamificação no processo de reabilitação. O NodeMCU ESP32 DevKit V1 atua como a unidade central de processamento, integrando os nós sensores para aquisição, pré-processamento e transmissão de dados ao computador central via conexão Bluetooth de baixa latência.

3. Trabalhos Correlatos

Nos últimos anos, o interesse pelo uso de exergames (jogos sérios que promovem a atividade física) na reabilitação física tem crescido significativamente, especialmente no tratamento de pacientes com dificuldades motoras [VAN DIEST et al. 2013], incluindo aqueles com amputação. Essa abordagem busca tornar o processo de reabilitação mais envolvente, motivador e acessível, contribuindo para uma maior adesão dos pacientes ao tratamento. Além disso, os exergames possibilitam a personalização dos exercícios e o monitoramento do desempenho, favorecendo intervenções mais precisas e adaptadas às necessidades individuais.

Entre os trabalhos correlatos, destaca-se o *CicloExergame* [SOUZA et al. 2022], uma proposta de telerreabilitação baseada em um jogo do gênero *endless runner*. O sistema integra cicloergômetro, oxímetro, teclado numérico e Arduino para captar dados de pedalada, frequência cardíaca e saturação de oxigênio, promovendo maior interação entre paciente e fisioterapeuta durante as sessões. Um diferencial do trabalho é a presença do fisioterapeuta como segundo personagem no cenário, reforçando o potencial colaborativo dos jogos sérios na fisioterapia e oferecendo uma referência para adaptações futuras no *Victus Exergame*.

Outro estudo relevante é o de [Hashim et al. 2021], que emprega a pulseira *Myo Armband* para controlar jogos por meio de sinais de eletromiografia [Labs 2026]. A avaliação, realizada com dez participantes, indicou ganhos em força muscular, coordenação, motivação e engajamento. Esses resultados reforçam o potencial do uso de sensores biomédicos integrados a jogos sérios, além de apontarem a eletromiografia como possibilidade de expansão futura para o sistema proposto.

Em conjunto, esses trabalhos mostram que a integração entre tecnologia embarcada, sensoriamento e gamificação pode ampliar o engajamento dos pacientes e qualificar o acompanhamento terapêutico, consolidando os exergames como complemento viável aos métodos tradicionais de reabilitação.

4. Victus Exergame

O projeto *Victus Exergame* visa criar um sistema de baixo custo que integra um *exergame* a uma estrutura de monitoramento para sessões de fisioterapia com dispositivos IoT. A aplicação é voltada a pacientes com amputação de membros inferiores que realizam exercícios em bicicleta ergométrica. Seu desenvolvimento partiu de demandas identificadas por fisioterapeutas do Serviço de Reabilitação Física da cidade de Bagé - RS, especialmente a necessidade de acompanhar o progresso dos pacientes com menos empirismo e, ao mesmo tempo, tornar as sessões mais interativas. Com base em avaliações e experimentos iniciais de trabalhos anteriores [Luz Melo et al. 2025], foram definidas mudanças na arquitetura original, tanto pela substituição de elementos computacionais para tornar a solução mais IoT, quanto pela evolução da ferramenta de acompanhamento dos fisioterapeutas para uma *Progressive Web Application* (PWA). A seguir, são apresentados os principais elementos da solução em sua nova configuração.

4.1. Arquitetura

A primeira mudança necessária foi a substituição do microcontrolador utilizado anteriormente, Arduino MEGA 2560 [Luz Melo et al. 2025], por uma solução que utiliza um NodeMCU ESP32. Essa mudança foi necessária em função das características do dispositivo ESP32 tornando a solução mais barata, e com melhores alternativas de comunicação sem fio. Dessa forma, foi desenvolvido um novo sistema com sensores conectados ao NodeMCU ESP32 que processa os dados brutos coletados em um formato mais compreensível para o fisioterapeuta. Esses dados são então enviados via comunicação serial *Bluetooth* para um computador com acesso à internet que se comunica com uma base de dados online para o armazenamento das informações de forma estruturada.

As informações capturadas são acessadas por meio de um software desenvolvido para visualizar os dados capturados nas sessões, permitindo uma análise mais detalhada do desempenho do paciente durante o exercício nas diferentes sessões. Por fim, utilizando esse mesmo software, é possível gerar documentos (relatórios no formato PDF) contendo dados referentes ao histórico de sessões de um determinado paciente, incluindo dados parciais e gráficos. Para a etapa de desenvolvimento da arquitetura do *Victus Exergame*, foi necessário um sensor capaz de adaptar a bicicleta ergométrica para obter a velocidade alcançada em tempo real e analisar os dados fisiológicos dos pacientes. Da mesma forma, também foi necessário buscar conceitos essenciais para a criação de jogos e modelagem do software de gerenciamento de sessões, obtendo finalmente a arquitetura de solução cujo conceito é apresentado na Figura 1.

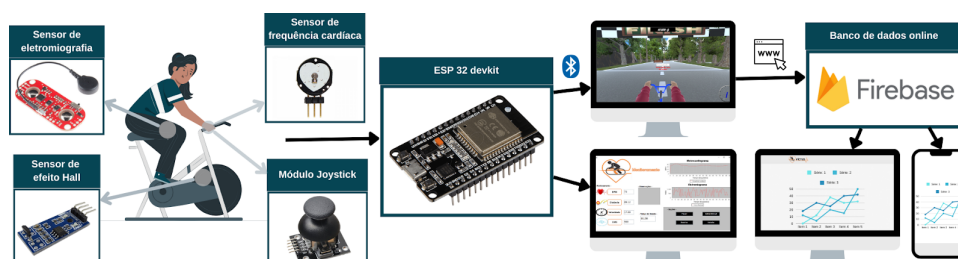


Figura 1. Diagrama conceitual do *Victus Exergame* atualizado.

Ao final das partidas realizadas no jogo sério, os dados obtidos são enviados para o banco de dados *online*, Firebase, o qual é utilizado para fornecer informações exibidas graficamente pelo sistema PWA. No contexto da arquitetura proposta, os sensores desempenham um papel tanto na coleta de sinais fisiológicos quanto no controle das interações no ambiente virtual. Cada dispositivo foi selecionado considerando não apenas seu baixo custo e viabilidade de integração, mas também sua contribuição no contexto da reabilitação.

4.2. Jogo Sério

O jogo desenvolvido na *game engine* Unity utiliza os dados dos sensores como controles, tornando as sessões mais interativas. Assim, o jogo não apenas serve como uma ferramenta de entretenimento, mas também como um meio de motivar o paciente a seguir com a fisioterapia. Contando com elementos de pontuação e *feedbacks* visuais para garantir que o paciente entre em um estado de *flow*.

Ao iniciar o jogo, o fisioterapeuta deve realizar a autenticação no sistema por meio de uma tela de login integrada ao *Firebase Authentication*. Esta interface utiliza o e-mail e a senha para permitir o acesso. Nessa etapa do projeto, o cadastro dessas credenciais deve ocorrer apenas por intermédio dos desenvolvedores da ferramenta. Portanto, o usuário não pode realizar o próprio cadastro, devendo solicitar o cadastro ao desenvolvedor. Após a autenticação, o jogo direciona o usuário para a tela de seleção de pacientes, onde são exibidos os pacientes previamente cadastrados na ferramenta *Victus Charts*.

O menu de configurações permite definir se o jogo será controlado pelos sensores ou pelo teclado, ativando o modo de depuração para fins de teste e ajuste. Na tela do jogo apresentada na Figura 2, é possível observar a localização e o tipo das informações apresentadas, destacados em cores diferentes, a frequência cardíaca, a velocidade alcançada pela bicicleta, a força aplicada pela musculatura do paciente (medida pelo sensor de eletromiografia), o tempo de sessão e a pontuação atingida até o momento. Além das informações dos sensores exibidas, também pode-se encontrar outros elementos, como uma linha de chegada, incluída para dar sensação de progresso ao paciente, e os obstáculos que devem ser desviados, a fim de aumentar a imersão do jogador.



Figura 2. Captura da tela de início da sessão.

O cenário 3D tem um percurso a ser cumprido pelo paciente. As funções de aceleração da bicicleta virtual são controladas pelo sensor de efeito Hall, que, juntamente

com um ímã posicionado na roda da bicicleta, permite calcular a velocidade do paciente no jogo, possibilitando informar a distância percorrida na bicicleta ergométrica. O módulo *joystick* permite um controle livre ao jogador, dando à sensação maior de liberdade e imersão comparada a uma bicicleta real.

Juntamente dos controles de direção, a fim de aprimorar elementos de gamificação, o jogo conta com funcionalidades específicas que garantem a jogabilidade contínua, evitando possíveis frustrações, levando em consideração as limitações dos pacientes, muitas vezes não familiarizados com a tecnologia. Consiste principalmente em um sistema de *waypoints* invisíveis ao usuário, visto na Figura 3, utilizados para guardar a posição do jogador na pista, quando o mesmo passa pelos determinados pontos na trajetória. São usados para retornar o jogador para a sua última posição quando é identificado que houve uma colisão com um obstáculo, a bicicleta saiu do trajeto da pista ou está indo para a direção contrária. Fazendo com que o jogador retorne ao último ponto de controle 2 segundos após a identificação do evento. Quando isso acontece, a bicicleta é transportada para o centro da pista. Dessa forma, os pacientes não ficam desmotivados durante a curva de aprendizado.

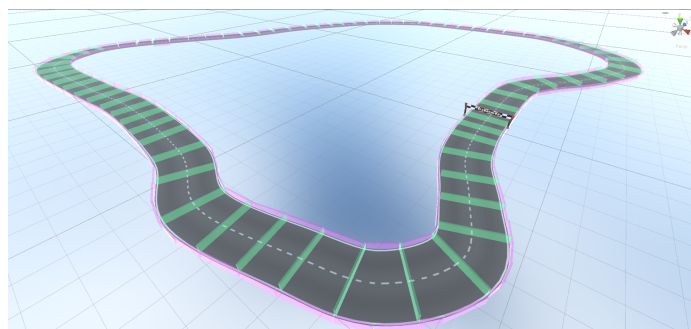


Figura 3. Barreira lateral e sistema de *waypoints* da pista 1.

Os desafios do jogo são gerados de forma aleatória a cada início de sessão com o auxílio dos *waypoints*. Esses desafios consistem em barreiras visíveis à frente na pista. A cada barreira evitada, o jogador acumula pontos proporcionalmente à sua velocidade, e em caso de colisão com as barreiras, além da velocidade reduzida pelo impacto, há uma subtração de 10 pontos no score da sessão. O jogo consta com dois trajetos distintos, uma das pistas ocorre em um cenário de floresta, enquanto a outra leva o jogador a pedalar à beira-mar, com clima ensolarado, um farol e o som das ondas quebrando. Ambas as pistas são projetadas com uma linha de chegada claramente definida, proporcionando um *feedback* visual instantâneo ao jogador sobre seu progresso. Após o término da partida, os dados coletados pelos sensores são enviados para o banco de dados online Firebase Firestore, uma base de dados NoSQL orientado a documentos, projetado para a sincronização de dados em escala global. Esses dados serão então acessíveis por meio de uma solução com a tecnologia PWA.

4.3. *Victus Charts*: ferramenta multiplataforma para relatórios das sessões

Para permitir que fisioterapeutas acessem, analisem e comparem os dados coletados durante as sessões de fisioterapia mediadas pelo *Victus Exergame*, foi desenvolvida uma aplicação web multiplataforma baseada na tecnologia PWA, a fim de aprimorar a ferramenta de monitoramento desenvolvida inicialmente. Essa abordagem visa tornar

a solução acessível diretamente via navegador, mas com instalação na tela inicial do dispositivo e responsividade a diferentes tamanhos de tela. A implementação do *Victus Charts* seguiu uma abordagem incremental (modelo espiral), iniciando pelas funcionalidades básicas de autenticação e visualização de dados, evoluindo posteriormente para funcionalidades mais complexas como comparação de sessões, cadastro, remoção e edição dos pacientes, além da geração de relatórios. A fase de prototipação do *Victus Charts* foi desenvolvida com foco na criação de interfaces intuitivas e responsivas, adaptadas tanto para uso em *desktop*, quanto em dispositivos móveis.

A interface de visualização de dados das sessões representa a funcionalidade principal do sistema (Figura 4). O protótipo prevê a exibição de gráficos interativos que permitem a comparação entre diferentes sessões de fisioterapia. Além da comparação e dos registros de dados, outras funcionalidades foram implementadas, como a filtragem de dados em períodos específicos, mensagens de erro quando há alguma função essencial em falta e a possibilidade de gerar relatórios únicos. Um dos diferenciais da versão PWA é a possibilidade de instalação como um *APP* nativo no *smartphone*, permitindo maior agilidade e acessibilidade aos fisioterapeutas em acessar informações sobre as sessões.

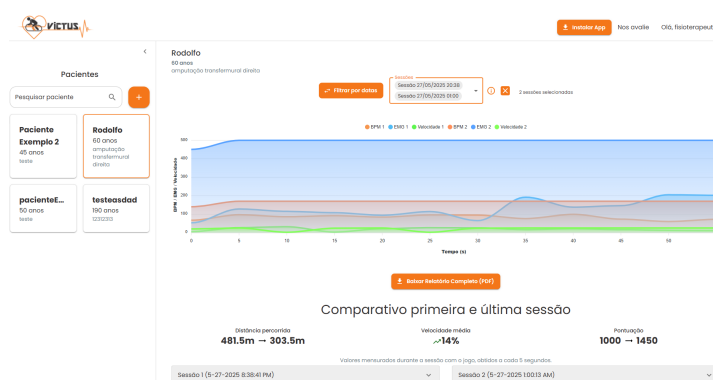


Figura 4. Versão *desktop* dos gráficos comparativos de sessões.

5. Resultados e Discussões

Para validar a viabilidade e aplicabilidade da nova versão do *Victus Exergame*, foram conduzidos testes em diferentes momentos do desenvolvimento. Focando na validação dos incrementos de jogabilidade e usabilidade do sistema, assim como na utilização da ferramenta PWA pelos profissionais de saúde.

5.1. Experimentos de usabilidade

Um experimento sobre a aplicabilidade da solução foi conduzido; esses testes visavam avaliar os elementos da ferramenta como o *joystick*, as pistas desenvolvidas, o sistema de obstáculos e *waypoints*. Os testes foram conduzidos com o acompanhamento total dos fisioterapeutas, os usuários que testaram foram informados sobre os riscos do exergame, e assinaram o termo de consentimento livre esclarecido (TCLE). O experimento contou com a participação de três voluntários, em que os testes consistiram no uso do jogo durante a sessão de fisioterapia, sendo que ambos os pacientes foram submetidos à amputação do membro inferior direito e participaram como voluntários no processo de

adaptação às próteses. Os pacientes possuíam as seguintes características descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Informações dos Pacientes no Experimento do *Victus Exergame*

Paciente	Sexo	Idade	Amputação
Paciente 1	Masculino	56 anos	Membro inferior direito (transfemoral)
Paciente 2	Masculino	59 anos	Membro inferior direito (transtibial)
Paciente 3	Masculino	55 anos	Membro inferior direito (transtibial)

Esses testes foram realizados com o objetivo de realizar uma primeira validação dos incrementos na jogabilidade e usabilidade do sistema. Foi utilizado a tela de um notebook para realizar os experimentos, o que levou a um apontamento por parte dos usuários. Futuros trabalhos preveem o uso de telas maiores para garantir uma melhor imersão do usuário. Ambos os pacientes demonstraram grande engajamento durante o uso do jogo, como apresentado na Figura 5, atendendo às expectativas de aplicação do *Victus Exergame* em sessões de reabilitação. Além disso, é possível notar que até os fisioterapeutas foram instigados a realizar uma experimentação da solução como apresentado abaixo.



Figura 5. Pacientes e Fisioterapeuta testando a ferramenta.

A facilidade com que o paciente se adaptou ao jogo e o engajamento retornaram bons indicativos e auxiliaram a definir os próximos incrementos. Os fisioterapeutas também se mostraram entusiasmados com a ferramenta. Esta etapa envolveu tanto a validação das melhorias implementadas no jogo quanto, principalmente, o teste da ferramenta PWA pelos fisioterapeutas. Os testes foram conduzidos com três pacientes, que utilizaram o jogo sério, e quatro fisioterapeutas, que avaliaram tanto o jogo quanto a ferramenta *Victus Charts*.

A coleta de dados foi estruturada em partidas de 5 minutos (sendo o tempo definido pelos fisioterapeutas), em que foram realizadas duas partidas por paciente conforme a disponibilidade de tempo durante as sessões de reabilitação. Ao término de cada partida, os dados capturados foram automaticamente enviados e armazenados na base de dados para posterior análise por meio do *Victus Charts*. A Figura 6 apresenta uma análise comparativa entre duas sessões consecutivas de um dos pacientes.



(a) Dados da primeira sessão com foco na velocidade.



(b) Dados da segunda sessão com foco na velocidade.

Figura 6. Comparação da evolução da velocidade entre sessões do paciente.

A análise comparativa dos dados de velocidade entre as sessões revelou uma evolução notável do paciente. Na primeira sessão, observou-se maior variabilidade na velocidade de pedalada, com oscilações mais frequentes e períodos de baixa atividade. Em contraste, a segunda sessão demonstrou um ritmo mais consistente e sustentado de velocidade, sugerindo maior confiança e adaptação do paciente aos controles do jogo. Mesmo com uma quantidade reduzida de dados é esperado resultados semelhantes em outros usuários da ferramenta, devido a curva de aprendizado do exergame entre as sessões de reabilitação.

5.2. Experimentos com PWA

Para avaliar a aceitação e usabilidade do *Victus Charts*, foi aplicado um questionário estruturado (disponível em [Manzke e Luz 2026]) baseado no Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) [Cruz et al. 2022]. Quatro fisioterapeutas participaram após testarem tanto o jogo sério quanto a ferramenta PWA. O instrumento de avaliação foi composto por questões fechadas utilizando escala Likert de 5 pontos (variando de “Discordo totalmente” a “Concordo totalmente”) e questões abertas para coleta de sugestões de melhorias. As questões foram organizadas considerando os 3 eixos de avaliação: Utilidade e Eficácia da Ferramenta, Usabilidade e Interface, Satisfação e Intenção de Uso. Além disso, também foram avaliadas questões abertas disponibilizadas para sugestões de melhorias. Os resultados obtidos por meio do questionário aplicado aos quatro fisioterapeutas demonstraram elevada aceitação do sistema *Victus Exergame* e da ferramenta *Victus Charts*, como demonstra a Figura 7. As sugestões coletadas nas questões abertas se concentraram em melhorias de dados sensoriais para o *Victus Charts*, como força muscular e amplitude de movimento. E de aprimoramento de controles e funcionalidades para o *Victus Exergame*, como um guidão real e estímulos sonoros. Todas as sugestões serão aplicadas em versões futuras.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o desenvolvimento do *Victus Exergame*, um sistema IoT integrado que combina sensoriamento de baixo custo, gamificação e monitoramento

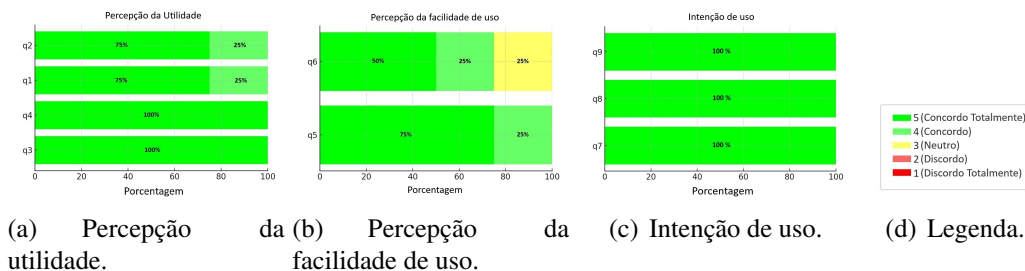


Figura 7. Resultados da avaliação do *Victus Charts* pelos fisioterapeutas.

de dados fisiológicos para reabilitação física de pacientes com amputação de membro inferior. O desenvolvimento da arquitetura do sistema utilizou o NodeMCU ESP32 como elemento central, permitindo a eliminação das conexões cabeadas por meio da comunicação *Bluetooth*. Esta melhoria arquitetural proporcionou maior praticidade na instalação e uso do sistema em ambiente clínico, conforme demonstrado nos testes realizados.

O desenvolvimento do *Victus Charts* como Progressive Web App representou melhoria na capacidade dos fisioterapeutas de analisar e acompanhar a evolução dos pacientes. A implementação de gráficos interativos, funcionalidades de comparação entre sessões e geração de relatórios em PDF proporciona uma ferramenta completa para análise dos dados obtidos nas sessões. A avaliação quantitativa por meio do questionário baseado no modelo TAM demonstrou aceitação positiva da ferramenta, com médias superiores a 4,0 em todas as dimensões avaliadas. Embora os experimentos tenham sido conduzidos com uma quantidade ainda reduzida de experimentos e participantes, os resultados já evidenciam uma primeira aprovação profissional do sistema, especialmente nos aspectos de facilidade de uso, utilidade e intenção de uso. Uma amostra com dados mais significativos é necessária para melhorar a validação da ferramenta. As sugestões qualitativas apresentadas pelos fisioterapeutas também contribuíram para identificar possibilidades concretas de aprimoramento, como a incorporação de sensores adicionais para captura de força muscular e ajustes nos controles físicos do jogo.

Assim, o *Victus Exergame* mostra-se uma solução promissora para a gamificação de sessões de reabilitação física, com potencial para desenvolvimento futuro mais robusto, ampliação das avaliações experimentais e consolidação como uma alternativa tecnológica de baixo custo para a reabilitação física de pessoas com amputação. A integração entre *hardware*, software e interface web estabelece, portanto, uma base consistente para a evolução e maturação da ferramenta.

7. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Serviço de Reabilitação Física de Bagé-RS juntamente com seus fisioterapeutas e voluntários pelo apoio e pela cooperação essenciais durante a fase experimental deste estudo. Este trabalho foi financiado em parte pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) — Brasil, Programa PET-Saúde: Informação e Saúde Digital.

Referências

- Cruz, M., Érica Mourão, Bernardini, F., Viterbo, J., e Trevisan, D. (2022). Uso do tam — technology acceptance model — no ciclo de design de aplicações computacionais. https://sol.sbc.org.br/index.php/ihc_estendido/article/view/22027.
- Hashim, N. A., Abd Razak, N. A., Gholizadeh, H., e Abu Osman, N. A. (2021). Video game-based rehabilitation approach for individuals who have undergone upper limb amputation: Case-control study. *JMIR Serious Games*, 9(1):e17017.
- Labs, T. (2026). Thalmic labs github organization. <https://github.com/thalmiclabs>. Repositório de código aberto com projetos da Thalmic Labs (p. ex., bindings, especificações, plugins).
- Luz Melo, R., Moreira, V. d. S., Amaral, É. M. H. d., e Domingues Júnior, J. S. (2025). Victus exergame: An approach to rehabilitation of amputees based in serious game. *Journal on Interactive Systems*, 16(1):137–147.
- Manzke, L. e Luz, R. (2026). Formulário de avaliação. https://figshare.com/articles/conference_contribution/Formul_rio_de_avaliao_do_Victus_Charts/31385092.
- MATOS, D. R., NAVES, J. F., e 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).
- Melissa Catherine Day, R. W. e Strike, S. (2019). Living with limb loss: everyday experiences of “good” and “bad” days in people with lower limb amputation. *Disability and Rehabilitation*, 41(20):2433–2442. PMID: 29693463.
- SOUZA, C. H. R., de Oliveira, D. M., do Nascimento, D. F., de Oliveira Berretta, L., e 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.
- VAN DIEST, M., Lamothe, C. J., Stegenga, J., Verkerke, G. J., e 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.
- Wei, B., Zhang, J., Cheng, Y., e Wu, H. (2025). Global, regional and national burden of traumatic amputations from 1990 to 2021: a systematic analysis of the global burden of disease study 2021. *Frontiers in Public Health*, 13.