

Exergame Distribuído com Cicloergômetro para a Reabilitação de Pacientes e Geração de Engajamento em Contextos de Telerreabilitação

Carlos Henrique Rorato Souza¹,
Luciana de Oliveira Berretta¹, Sérgio Teixeira de Carvalho¹

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Caixa Postal 131 – 74.001-970 – Goiânia – GO – Brazil

¹{carlossouza, luciana, sergio}@inf.ufg.br

Abstract. *There are many factors that influence functional rehabilitation, such as patient involvement and the active role of the physiotherapist. However, difficulties in accessing therapy have led to telerehabilitation initiatives, meaning rehabilitation sessions through communication technologies. This approach limits the therapist's participation and exercises can become repetitive and uninteresting, hindering patient involvement and motivation. For this reason, this study aims to evaluate if an exergame built from a distributed architecture is effective for telerehabilitation sessions involving the cycle ergometer. A prototype of the exergame was built, evaluated by 16 physiotherapists from the Hospital das Clínicas of UFG and tested with 12 volunteers. The evaluation of the specialists showed that 88.8% of them consider the exergame suitable for telerehabilitation sessions. The evaluation of the volunteers showed that 75% of them classified the experience as "very satisfactory" and 25% as "satisfactory". Therefore, the results support the hypothesis that the exergame is effective and satisfactory for telerehabilitation sessions. This research contributes with the development and application of several concepts in the construction of the prototype, as well as with a Systematic Literature Review and the conclusions arising from the evaluation.*

Resumo. *Existem muitos fatores que influenciam na reabilitação funcional, como o envolvimento do paciente e a atuação ativa do fisioterapeuta. No entanto, dificuldades de acesso à terapia têm levado a iniciativas de telerreabilitação, ou seja, sessões de reabilitação através de tecnologias de comunicação. Essa abordagem limita a participação do terapeuta e os exercícios podem se tornar repetitivos e desinteressantes, prejudicando o envolvimento e a motivação do paciente. Por esse motivo, este trabalho visa avaliar se um exergame construído a partir de uma arquitetura distribuída é eficaz para as sessões de telerreabilitação envolvendo o aparelho cicloergômetro. Foi construído um protótipo do exergame, avaliado por 16 fisioterapeutas do Hospital das Clínicas da UFG e testado com 12 voluntários. A avaliação dos especialistas mostrou que 88,8% deles consideram o exergame adequado para as sessões de telerreabilitação. Já a avaliação dos voluntários mostrou que 75% deles classificaram a experiência como "muito satisfatória" e 25% como "satisfatória". Portanto, os resultados suportam a hipótese de que o exergame é eficaz e satisfatório para as sessões de telerreabilitação. São contribuições desta pesquisa o desenvolvimento e a aplicação de diversos conceitos na construção do protótipo, bem como uma Revisão Sistemática da Literatura realizada e ainda as conclusões advindas da avaliação.*

1. Introdução

A reabilitação de pacientes envolve muitas variáveis para sua eficácia, incluindo a disponibilidade do tratamento, a participação ativa do fisioterapeuta e a motivação do paciente ao fazer os exercícios [Subtil et al. 2011]. Muitas vezes, as atividades podem ser repetitivas e enfadonhas, fazendo com que o paciente não se dedique aos exercícios ou os faça de forma inadequada. Sem envolvimento, a reabilitação não pode alcançar os resultados desejados.

A situação se complica ainda mais na reabilitação a distância ou telerreabilitação, onde o paciente e o fisioterapeuta estão em ambientes separados e as sessões são mediadas por tecnologias de comunicação. Falta de participação ativa do fisioterapeuta, dificuldades de monitoramento e falta de motivação e envolvimento do paciente tornam-se obstáculos para o sucesso da sessão e a obtenção de resultados eficazes.

Em reabilitação com aparelhos, como o cicloergômetro¹, artefatos computacionais estão surgindo como alternativas e/ou suporte aos métodos tradicionais. Soluções baseadas em jogos estão entre elas, pois conseguem despertar o envolvimento e motivação do paciente, tornando as atividades mais divertidas e menos cansativas.

No entanto, algumas limitações são notadas. Questões sobre a presença ativa do fisioterapeuta, sua influência na sessão e a possibilidade de acompanhamento dos exercícios são desafios [Cerf 2020]. Além disso, no caso do cicloergômetro, a captura dos movimentos do paciente pode ser incômoda e custosa, além de exigir sensores e *joysticks* de alto custo disponíveis no mercado.

Diante deste cenário, este trabalho pretende validar a hipótese de que um *exergame*² pode ser uma alternativa e/ou suporte eficaz para a telerreabilitação, tornando as atividades mais divertidas e engajadoras para o paciente. Um protótipo foi criado para o projeto, incluindo um *exergame* e dispositivos de *hardware* que se conectam ao cicloergômetro. Esta abordagem é uma evolução do projeto de Battisti [Battisti 2020], separando o ambiente de telerreabilitação em dois atores. O sistema foi completamente remodelado e reimplementado com duas interfaces distintas, uma para o paciente e outra para o fisioterapeuta, e novos desafios surgiram, como a troca de dados, questões de tempo real e mudanças na interação entre os atores e o jogo.

1.1. Objetivos

Este projeto tem por objetivo geral de pesquisa demonstrar a eficácia da utilização de um *exergame* distribuído como um suporte e/ou uma alternativa engajadora para a telerreabilitação de pacientes que, em seus procedimentos de terapia, utilizam o cicloergômetro como aparelho.

Considerando-se este cenário, são objetivos específicos:

- Explorar, identificar e analisar os projetos de jogos digitais existentes que propõem-se a engajar o paciente na realização das sessões de fisioterapia (reabilitação e/ou telerreabilitação);

¹O cicloergômetro é uma bicicleta de cabeceira que permite aos pacientes exercitar seus membros superiores e inferiores, especialmente em casos de disfunções musculares relacionadas à inatividade física [Needham et al. 2009].

²Trata-se de um jogo sério com o objetivo de incentivar a realização de exercícios físicos [Oh and Yang 2010].

- Aprimorar a interação entre o paciente e o *exergame* por meio de controles, sensores e de adaptações realizadas no cicloergômetro;
- Levantar possibilidades para a intensificação do engajamento do paciente ao realizar as atividades do tratamento, por meio de elementos de jogos;
- Projetar e desenvolver o protótipo de um *exergame* (jogo, dispositivos de *hardware* e demais artefatos de *software*) que, por meio do uso de sistemas de tempo real, possibilite a realização de sessões de telerreabilitação;
- Avaliar a eficácia da solução desenvolvida, por meio de processos de coleta de dados, validação e teste com fisioterapeutas e com voluntários.

1.2. Metodologia

O processo metodológico deste estudo foi organizado em três fases. A primeira incluiu a realização de estudos iniciais, como uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), uma análise detalhada do trabalho de Battisti [Battisti 2020] – que é a base deste projeto – e a investigação de outros trabalhos relacionados ao assunto. A segunda fase envolveu o desenvolvimento do protótipo do jogo, que abordou questões sobre a interação entre o paciente, o jogo e o fisioterapeuta. Neste momento, o *exergame* foi construído usando um motor de jogos e os dispositivos de *hardware* e *software* complementares foram desenvolvidos. Finalmente, a terceira etapa teve como objetivo testar e avaliar o *exergame*. Este processo foi dividido em duas partes: por primeiro, uma avaliação pelo Método Delphi [Bloor et al. 2015], que consistiu na aplicação de duas rodadas de questionários a especialistas em Fisioterapia Hospitalar para avaliar os conceitos usados na construção da solução e obter uma opinião sobre as funcionalidades implementadas no *exergame*, buscando observar a formação de um consenso entre os especialistas ao longo das rodadas. Em seguida, testes de Experiência de Jogador (*Player Experience - PX* [da Costa and Nakamura 2015]) foram realizados com voluntários, que usaram a ferramenta por uma pequena sessão, registrada por vídeo, precedida e sucedida pela aplicação de questionários. A análise da resposta dos voluntários e das gravações permitiu obter os resultados dos testes. Com a eficácia do *exergame* evidenciada pelos resultados, a hipótese também foi verificada.

2. O Exergame

O jogo, que segue o estilo de corrida infinita, foi desenvolvido na Unreal Engine 4 e apresenta ao paciente um personagem em uma bicicleta, controlado pelos pedais do cicloergômetro (adaptado com sensores integrados a uma placa Arduino UNO) e pelo uso de um controle adicional para outros movimentos. Os dados vitais e outras informações são exibidos na tela. O objetivo é coletar o máximo de moedas que surgem ao longo da corrida, evitando obstáculos, dentro do tempo estipulado pelo fisioterapeuta. Os dados são transmitidos em tempo real na interface do profissional de saúde por meio de tecnologias de sistemas de tempo real dado que o jogo foi construído de maneira distribuída, com uma arquitetura *multiplayer* (paciente e fisioterapeuta são abordados como “*players*”, ainda que tenham papéis distintos). Além disso, a solução permite a interação entre os dois atores através de recursos de videoconferência (WebRTC). A Figura 1 mostra as telas do jogo em funcionamento.

Em relação à interação entre paciente e fisioterapeuta, o *exergame* foi projetado para permitir que o fisioterapeuta acompanhe os dados dos sensores em tempo real, gere

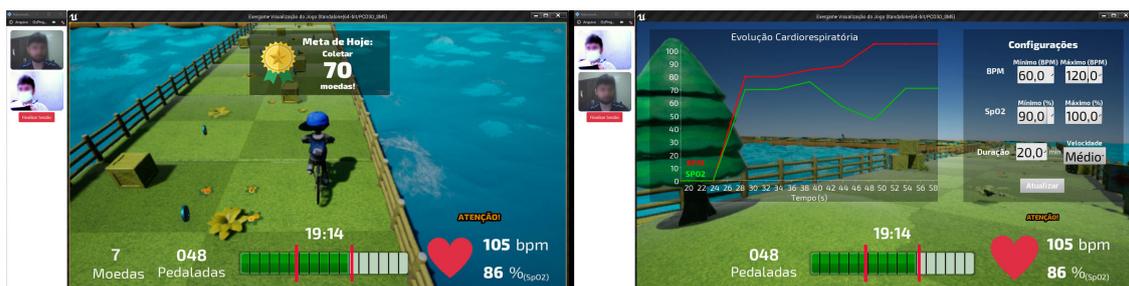


Figura 1. Telas do jogo em funcionamento: Paciente e Fisioterapeuta.

relatórios de acompanhamento e configure a atividade dinamicamente, além de interagir no ambiente do jogo juntamente com o paciente. Se o profissional de saúde desejar, ele pode ter seu próprio avatar e pedalar junto ao paciente usando o teclado. Dessa forma, ambos “correm” lado a lado. Isto permite que o fisioterapeuta controle a atividade de maneiras mais amigáveis, e não apenas configurando limites. Se ele quiser que o paciente reduza a velocidade, por exemplo, ele pode mover seu próprio avatar mais lentamente e pedir ao paciente que siga. Essa participação busca aumentar ainda mais o vínculo e a motivação do paciente com a atividade e com o tratamento.

3. Resultados Obtidos

Com base nos processos de avaliação e testagem realizados, pôde-se estabelecer conclusões sobre a validade da hipótese de pesquisa. Para isso, foram conjugados os diversos resultados obtidos, uma vez que eles são complementares.

As duas rodadas de Avaliação Delphi validaram aspectos específicos e práticos do protótipo do *exergame* desenvolvido. Além disso, trazem segurança quanto à afirmação de que ele é eficaz como suporte ou alternativa para os processos de telerreabilitação. A avaliação também indicou o potencial engajador do jogo e apontou para a validade da hipótese. Aproximadamente 88,8% dos especialistas, após as duas rodadas de avaliação, acreditam que o *exergame* é adequado para as sessões de telerreabilitação.

O experimento de Experiência de Jogador, por sua vez, permitiu observar, na prática, a maioria dos conceitos já validados e a reação dos voluntários ao *exergame*. A análise dos dados indicou uma avaliação positiva do jogo, que foi descrito pelos participantes como uma ferramenta lúdica e engajadora (Figura 2). Dos voluntários, 75% avaliaram a experiência como “muito satisfatória” e os 25% restantes a classificaram como “satisfatória”.

Os resultados das duas etapas de Avaliação Delphi e do experimento de Experiência de Jogador indicaram melhorias e sugestões para a proposta deste trabalho. Neste contexto, o fato de terem sido envolvidos 16 especialistas atuantes na área de Fisioterapia e 12 voluntários confere respaldo aos resultados e conclusões.

Por fim, a combinação dos resultados permitiu concluir que o protótipo é um *exergame* distribuído eficaz como suporte e/ou alternativa engajadora para a telerreabilitação de pacientes que utilizam o cicloergômetro em suas atividades de terapia. A hipótese de pesquisa foi validada a partir da avaliação do protótipo, que é o objetivo geral deste trabalho.

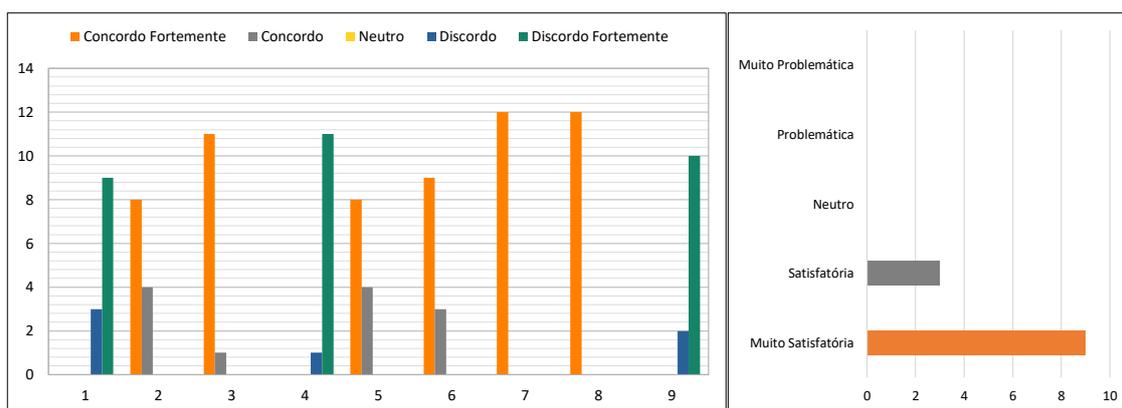


Figura 2. Respostas às questões fechadas do Questionário Final do experimento de PX.

4. Contribuições do Trabalho e Perspectivas

O projeto teve contribuições significativas relacionadas aos objetivos propostos, tanto o objetivo geral - hipótese de pesquisa validada - quanto os objetivos específicos. Ele visa contribuir para o cenário da Computação Aplicada à Saúde e a construção de Sistemas de Computação, considerando as nuances e especificidades do projeto. A solução, incluindo o processo de criação, estudos preliminares e avaliação, traz contribuições não somente para a Computação, mas também fortalece a relação dialética entre Computação e Saúde, especialmente no contexto da telerreabilitação. Dentre as principais contribuições, destacam-se:

- A realização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) resultou em uma exploração acerca de projetos de jogos digitais utilizados em fisioterapia para incentivar o engajamento do paciente, trazendo uma ampla compreensão da área [Souza et al. 2021b].
- Através da RSL, também foi possível identificar a ligação entre os elementos dos jogos e o grau de engajamento, fornecendo uma base para melhorias e ampliações no *exergame* com o objetivo de aumentar o envolvimento do paciente [Souza et al. 2021b, Souza et al. 2021c].
- As adaptações realizadas no cicloergômetro e a adição de um controle auxiliar melhoraram a interação do paciente com o *exergame*, fato evidenciado pelas respostas positivas tanto dos especialistas quanto dos voluntários envolvidos [Souza et al. 2021c]. Ademais, o *exergame* foi registrado junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial), sob o registro BR512022001849-7, como CicloExergame.
- A construção do protótipo do *exergame* distribuído, combinando conceitos de jogos *multiplayer* e sistemas de tempo real, além dos procedimentos de avaliação (Avaliação Delphi e experimento de Experiência de Jogador) são contribuições significativas desta pesquisa [Souza et al. 2020, Souza et al. 2021a, Souza et al. 2022].

Podem ser elencadas ainda as produções científicas originadas desta dissertação [Souza et al. 2021c, Souza et al. 2021a, Souza et al. 2021b, Souza et al. 2020,

Souza et al. 2022] e ainda a realização de dois planos de trabalho de Iniciação à Pesquisa (IC-PIBIC), entre os anos de 2020 e 2022.

Este projeto busca impactar positivamente a vida de pessoas com dificuldades de acesso e participação na terapia. Como solução, propõe-se uma alternativa para viabilizar atendimentos e sessões de reabilitação, melhorando a qualidade de vida dos pacientes. A utilização de jogos como ferramenta pode ser um fator de destaque na qualidade dos resultados obtidos no tratamento, tornando as sessões mais atrativas e menos monótonas. O objetivo é alcançar implicações significativas e, assim, contribuir para o cenário da telerreabilitação na realidade brasileira.

Referências

- Battisti, D. (2020). Exergame com cicloergômetro para a reabilitação de pacientes. Master's thesis, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- Bloor, M., Sampson, H., Baker, S., and Dahlgren, K. (2015). Useful but no oracle: reflections on the use of a delphi group in a multi-methods policy research study. *Qualitative Research*, 15(1):57–70.
- Cerf, V. G. (2020). On the internet of medical things. *Commun. ACM*, 63(8):5.
- da Costa, A. F. and Nakamura, R. (2015). Experiência de usuário e experiência de jogador: discussão sobre os conceitos e sua avaliação no projeto de jogos digitais. In *Anais do SBGames 2015*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Needham, D. M., Truong, A. D., and Fan, E. (2009). Technology to enhance physical rehabilitation of critically ill patients. *Crit Care Med*, 37(10):436–441.
- Oh, Y. and Yang, S. (2010). Defining exergames & exergaming. In *Proceedings of Meaningful Play 2010*, pages 1–17. SBC.
- Souza, C., Oliveira, D., Berreta, L., and Carvalho, S. (2021a). A distributed exergame for telerehabilitation: An engaging alternative to improve patients' quality of life. In *Proceedings of the 1st Life Improvement in Quality by Ubiquitous Experiences Workshop*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Souza, C. H. R., Battisti, D., Berretta, L., and de Carvalho, S. T. (2020). Exergame com cicloergômetro para a reabilitação de pacientes em tempos de covid-19. In *Anais Principais do XX Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, D. M., Berretta, L., and de Carvalho, S. T. (2021b). Jogos digitais e engajamento na reabilitação de pacientes: Uma revisão sistemática da literatura. In *Anais Principais do XXI Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, D. M., de Oliveira Berretta, L., and de Carvalho, S. T. (2021c). Jogos sérios e elementos de jogos na promoção de engajamento em contextos de telerreabilitação de pacientes. In *Proceedings of SBGames 2021*, Gramado, RS, Brasil. SBC.
- Souza, C. H. R., de Oliveira, D. M., do Nascimento, D. F., Berretta, L. d. O., and de Carvalho, S. T. (2022). A serious games and game elements based approach for patient telerehabilitation contexts. *Journal on Interactive Systems*, 13(1):179–191.
- Subtil, M. M. L., Goes, D. C., Gomes, T. C., and Souza, M. L. d. (2011). O relacionamento interpessoal e a adesão na fisioterapia. *Fisioterapia em Movimento*, 24:745 – 753.