

Jogo SériO Baseado em Realidade Virtual Associado ao Processamento de Sinal EMG e Feedback Sensorial para Treinamento de Prótese de Membro Superior

Reidner Santos Cavalcante¹, Edgard Lamounier¹, Alcimar Soares¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG - Brazil

reidnersc@outlook.com, {lamounier,alcimar}@ufu.br

Abstract. *This work proposes a system that uses Immersive Virtual Reality (iVR) and EMG signals to create a training environment for amputees who will use myoelectric prostheses. The system uses the Vive Pro and the Vive Tracker to simulate movements in a virtual prosthesis, controlled by EMG signals, it also has a sensory feedback via vibrational motors using Myo armband. The results indicate that tactile feedback significantly improves training, especially for myoelectric control, and elements of serious games provide an interactive and specific environment, enhancing the effectiveness and realism of the training protocol.*

Resumo. *Este trabalho propõe um sistema que emprega RV Imersiva e sinais EMG para criar um ambiente de treinamento para amputados que usarão próteses mioelétricas. O sistema usa o Vive Pro e o Vive Tracker para espelhar movimentos em uma prótese virtual, controlada por sinais EMG e possui feedback sensorial via motores vibracionais utilizando a braçadeira Myo. Os resultados indicam que o feedback tátil melhora significativamente o treinamento, especialmente para controle mioelétrico, e elementos de Jogos sérios oferecem um ambiente interativo e específico, aumentando a eficácia e o realismo do protocolo de treinamento.*

1. Introdução

A amputação de um membro é um evento traumático, capaz de promover grandes mudanças em todas as áreas da vida de um indivíduo (Glaván & Amiralian, 2009). Normalmente, após a amputação, um procedimento cirúrgico é realizado a fim de criar perspectivas de função para a parte remanescente do membro amputado (referido como coto). A adaptação final à prótese, juntamente com as etapas terapêuticas e de treinamento exigidas, podem levar muitos meses para serem concluídas, exigindo um esforço significativo por parte do amputado (Johnson e Mansfield, 2014). Nos últimos anos, a Realidade Virtual (RV) tem sido considerada uma abordagem aderente ao treinamento protético (Sun et. al, 2021). Um fator importante é a falta de feedback sensorial. Pode-se ainda ponderar que mecanismos de feedback baseados apenas em feedback visual limitem a experiência imersiva para fins de treinamento da prótese, pois exigem um grande esforço de visão espacial para que os usuários alcancem e manipulem vários objetos durante o treinamento auxiliado por computador.

A motivação central desta pesquisa fundamenta-se na busca de uma solução que possa auxiliar o treinamento de usuários de próteses de membros superiores, a partir do

desenvolvimento de um ambiente virtual imersivo que utilize de elementos de Jogos Sérios, equipado com feedback sensorial visual e tátil, com o intuito de diminuir as limitações acima mencionadas. Perante as potencialidades da área de Realidade Virtual, aplicadas ao treinamento de usuários de próteses mioelétricas, esta pesquisa orienta-se com base na seguinte hipótese: “A integração da Realidade Virtual Imersiva e Jogos Sérios com uso de feedback tátil-visual propicia um ambiente mais natural e interativo durante o processo de treinamento de usuários de próteses mioelétricas de membro superior. Tal ambiente contribui para uma maior motivação e aderência do usuário ao treinamento, contribuindo para maior eficiência do mesmo”. Portanto, este trabalho tem como objetivo central investigar técnicas computacionais que proporcionem um melhor ambiente de treinamento para usuários de próteses de membros superiores mioelétricas.

2. Trabalhos relacionados

Para realização da revisão bibliográfica, as seguintes bases de bibliotecas digitais foram consultadas: IEEE Xplorer Digital Library, ACM Digital Library, Science Direct, Scopus e Web of science. Foram selecionados trabalhos do ano de 2017 até Fevereiro de 2022, e foram utilizadas as seguintes expressões principais: virtual reality, rehabilitation, upper limbs/amputees, training. A leitura e identificação dos trabalhos (PERRY et al, 2018; NAKAMURA et al, 2017; NISSLER et al, 2019; HASHIM et al, 2021; PRAHM et al, 2017; DHAWAN et al, 2019; CAVALCANTE et al, 2018; SUN et al, 2021; LI et al, 2018) que mais se aproximam da proposta desta tese foram realizadas com foco no uso de Realidade Virtual Imersiva com feedback tátil e a presença de elementos que caracterizem como um Jogo Sério.

Considerando os trabalhos mencionados anteriormente, é possível notar a importância de se desenvolver um ambiente de Realidade Virtual com estas características. De tal forma, é possível identificar atributos que favoreçam a experiência e aprendizado durante o uso da Realidade Virtual no contexto da reabilitação para amputados, sendo eles: Jogo Sério- verifica se o trabalho possui elementos presentes em Jogos Sérios; Ambiente imersivo: que se refere ao quão natural um determinado sistema fornece ao usuário a ilusão de uma realidade diferente daquela em que ele se encontra; Feedback tátil - que busca identificar se o sistema possui algum outro tipo de feedback que não seja visual ou auditivo.

Mesmo apresentando escopos similares no âmbito de treinamento de próteses para membros superiores, nota-se nos trabalhos analisados a importância de desenvolver um ambiente virtual imersivo equipado com feedback sensorial, atributos estes que expandem a percepção do usuário quanto a seu corpo e proporcionam uma experiência mais intuitiva. Tal combinação de atributos não foi encontrada nos trabalhos descritos anteriormente.

3. Metodologia

Este estudo foi conduzido em duas fases distintas. Na primeira fase, foram realizados testes com oito voluntários do sexo masculino, não amputados, e com idades entre 20 e 40 anos; tendo como o objetivo de avaliar o funcionamento do sistema em busca de correção de erros. Nesta fase foram realizados quatro ensaios usando o ambiente Box and Blocks (B&B) desenvolvido tendo um grupo experimental recebendo feedback tátil e outro grupo com nenhum feedback tátil.

Na segunda fase, os testes foram conduzidos com voluntários amputados, visando avaliar o seu desempenho e a usabilidade do sistema. Os testes foram conduzidos especificamente com dois voluntários com amputação transradial onde realizaram, de forma alternada, oito ensaios no ambiente de B&B sem feedback vibracional e oito ensaios com feedback vibracional. Nesta fase, o bracelete Myo, desenvolvido pela Thalmic Labs, foi utilizado para realizar a captura dos sinais mioelétricos e fornecer o feedback vibracional. Essa abordagem permitiu avaliar a usabilidade do sistema em um contexto mais realista, considerando as necessidades e desafios específicos enfrentados por esses voluntários. Foram aplicados o questionário SUS para avaliar a usabilidade do sistema, e o NASA-TLX para avaliar a carga de trabalho; além dos dados coletados pelo sistema.

4. Resultados

Na primeira fase, foi coletado o tempo médio para finalizar as tentativas realizadas pelos voluntários não amputados nos grupos G1 (com feedback tátil) e G2 (sem feedback tátil). No início, ambos os grupos enfrentaram maior dificuldade, levando mais tempo para concluir as tarefas enquanto se adaptavam ao controle da prótese virtual por meio de sinais mioelétricos. À medida que os ensaios progrediam, especialmente para os voluntários do G1, o tempo de conclusão diminuía de forma constante. Embora o G1 tenha começado com um valor médio consideravelmente maior do que o G2, devido principalmente ao tempo gasto pelo G1-V3 (Voluntário 3) na primeira tentativa, o grupo que recebeu feedback vibracional tátil mostrou um melhor desempenho geral. Em média, o G2 demorou 2,3 vezes mais para concluir a tarefa na quarta tentativa.

Na segunda fase do estudo, foram coletados dados sobre a quantidade de objetos movidos para o lado oposto da caixa com sucesso. A Figura 1, apresenta esses dados, separando os ensaios em ensaios realizados com feedback tátil e sem feedback tátil. Inicialmente, os voluntários apresentaram pontuações relativamente baixas, refletindo suas dificuldades iniciais. Notou-se um aumento significativo na pontuação de acertos ao longo dos ensaios em ambos os casos. Entretanto, nos ensaios com feedback tátil, os voluntários obtiveram uma pontuação maior em 87,5% dos casos. Isso sugere que o feedback tátil foi capaz de auxiliar o voluntário a melhorar seu desempenho nas tarefas realizadas e a obter um controle mais eficaz da prótese virtual.

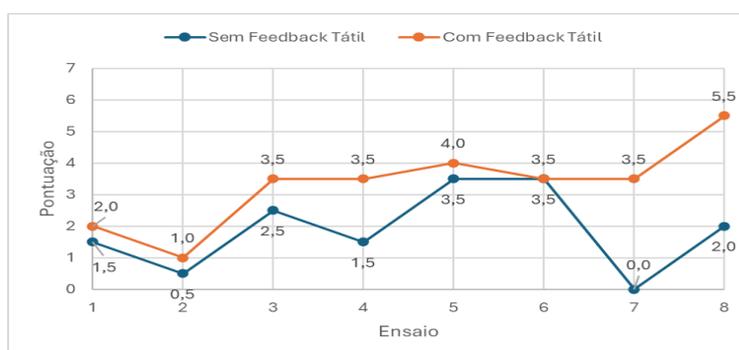


Figura 1 – Média de objetos movidos com sucesso por ensaio.

O questionário SUS (System Usability Scale) foi administrado aos voluntários amputados após concluir todos os ensaios. Os resultados revelaram uma pontuação média de 86,25. Ao observar a classificação desse valor segundo dois estudos

diferentes, o sistema alcançou altos níveis de usabilidade: nota A+, segundo Sauro e Lewis (2011) e nota B (excelente), na escala de Bangor et. al. (2009). Tal classificação indica um alto nível de usabilidade e satisfação do usuário em relação ao sistema.

Para a avaliação da carga de trabalho, foi utilizado o questionário NASA-TLX (Task Load Index) desenvolvido por Hart e Staveland (1988). Conforme pode ser observado na Figura 2, os fatores de demanda física e esforço apresentaram as maiores cargas de trabalho. Esses resultados podem ser justificados devido ao controle que o usuário deve ter para manter a prótese virtual fechada enquanto movimenta o bloco. O baixo nível de carga associada a demanda mental apresentada corrobora com a elevada carga física que a tarefa requer, indicando que a tarefa realizada não requer um alto nível de raciocínio e concentração para ser completada.

O fator de frustração baixo indica que os voluntários não encontraram desafios ou obstáculos durante a tarefa a ponto de gerar uma frustração intensa. O fato de não existir a cobrança de uma pontuação mínima em cada ensaio ou aplicação de penalizações também pode impactar este fator. A baixa carga associada à performance indica que os participantes perceberam um nível moderado de desempenho durante a realização da tarefa. Isso pode sugerir que os participantes se sentiram capazes de executar a tarefa de forma adequada, mas não necessariamente com um desempenho excepcional.

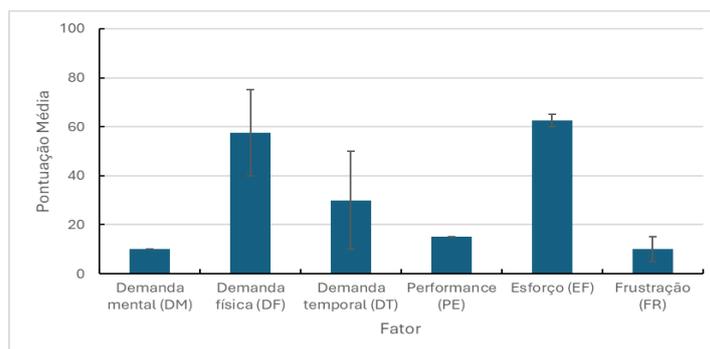


Figura 2 – Média e desvio padrão das pontuações para cada fator de carga de trabalho do questionário NASA-TLX.

7. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado um ambiente de treinamento em Realidade Virtual Imersiva (RVI), baseado em Jogos Sérios, para amputados de membros superiores. Na primeira fase da pesquisa foram realizados testes no ambiente Box & Blocks, com dois grupos de voluntários não-amputados. Embora ambos os grupos tenham mostrado melhora no controle da prótese mioelétrica virtual ao longo dos testes, os participantes que utilizaram feedback vibracional tátil mostraram melhor desempenho à medida que os testes progrediram, em comparação com o grupo que não usou feedback tátil.

Na segunda fase dos testes, notou-se que nos ensaios utilizando o feedback tátil vibracional, os voluntários obtiveram pontuações maiores do que nos ensaios sem feedback tátil. Esses resultados indicam que o feedback sensorial (tátil) pode fornecer uma melhor experiência geral e desempenho em sessões de treinamento para amputados, durante uma experiência imersiva de Realidade Virtual, que é auxiliada por um jogo sério, além de aumentar a percepção do usuário no mundo virtual. A partir dos

dados coletados ao usar o questionário NASA-TLX, foi possível identificar que o a demanda física e esforço são os fatores que mais afetam a carga de trabalho ao realizar as tarefas neste ambiente virtual, enquanto a demanda temporal e mental possuem baixa influência. No quesito usabilidade, os resultados revelaram uma pontuação de 86.25 que classifica o sistema como A+ em uma escala de aceitabilidade e como excelente em uma escala de qualidade de sistema. Portanto, conclui-se que todo o arcabouço providenciado neste ambiente de treinamento possui potencial para auxiliar amputados em sua fase de treinamento de próteses.

Referências

- CAVALCANTE, R. S.; LAMOUNIER, E. ; CARDOSO, A. ; SOARES, A. ; LIMA, G. F. M. . Development of a Serious Game for Rehabilitation of Upper Limb Amputees. In: XX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2018, Foz do Iguaçu.
- DHAWAN, Darpan; BARLOW, Michael; LAKSHIKA, Erandi. Prosthetic rehabilitation training in virtual reality. In: 2019 IEEE 7th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH). IEEE, 2019. p. 1-8.
- GALVÁN, G.B. & AMIRALIAN, M.L.T.M. Corpo e identidade: reflexões acerca da vivência de amputação. *Estudos de Psicologia*, v26, n. 3, p. 391-398, 2009.
- HASHIM, Nur Afiqah; ABD RAZAK, Nasrul Anuar; OSMAN, Noor Azuan Abu. Comparison of Conventional and Virtual Reality Box and Blocks Tests in Upper Limb Amputees: A Case-Control Study. *IEEE Access*, v. 9, p. 76983-76990, 2021.
- LI, K. ; P. BOYD, Y. Zhou, Z. Ju, and H. LIU, “Electrotactile Feedback in a Virtual Hand Rehabilitation Platform: Evaluation and Implementation,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 16, no. 4, pp. 1556–1565, Oct. 2018.
- NAKAMURA, Go et al. A virtual myoelectric prosthesis training system capable of providing instructions on hand operations. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, v. 14, n. 5, p. 1729881417728452, 2017.
- NISSLER, Christian et al. VITA—An everyday virtual reality setup for prosthetics and upper-limb rehabilitation. *Journal of neural engineering*, v. 16, n. 2, p. 026039, 2019.
- PERRY, Briana N. et al. Virtual integration environment as an advanced prosthetic limb training platform. *Frontiers in neurology*, v. 9, p. 785, 2018.
- PRAHM, Cosima et al. Increasing motivation, effort and performance through game-based rehabilitation for upper limb myoelectric prosthesis control. In: 2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR). IEEE, 2017. p. 1-6.
- SUN, Y., L. Hunt, C., Niu, W., Li, Z., Cyrino, G., Cavalcante, R., ... & V. Thakor, N. A Comparison between Virtual Reality and Augmented Reality on Upper-limb Prosthesis Control. In: 2021 International Symposium on Electrical, Electronics and Information Engineering. 2021. p. 521-528.