

ERGÔMETRO PARA CADEIRANTES COM SISTEMA DE SIMULAÇÃO IMERSIVO

Sérgio Augusto Albino Vieira, Laboratório de Projetos Mecânicos, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, sergioaugustoav@gmail.com

Geisler Marques Cardoso, geislermarques@gmail.com

Cleudmar Amaral de Araújo, Laboratório de Projetos Mecânicos, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, cleudmar.araujo@ufu.br

Roberto Mendes Finzi Neto, Laboratório de Mecânica das Estruturas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, finzi@ufu.br

Resumo. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e resultados preliminares do desenvolvimento de um ergômetro para cadeirantes adaptado com sistema de simulação em ambiente virtual imersivo (*serious games*) para execução de protocolos de avaliação do condicionamento físico, realizar treinamento físico e reabilitação física. Para este fim, foi utilizada uma engine computacional de desenvolvimento de jogos em conjunto a um óculos de realidade virtual e um ergômetro para cadeirantes previamente desenvolvido no NH/Resp. Os autores agradecem aos órgãos de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG; ao CINTESP; e a Faculdade Una de Uberlândia.

Palavras chave: Ergômetro. Cadeirantes. Serious Games. Reabilitação. Esportes Paralímpicos.

1. INTRODUÇÃO

O termo capacidade física pode ser descrito como a capacidade do sistema cardiovascular, músculos e sistema respiratório de prover um determinado nível de atividade física. Esta capacidade mostra-se reduzida em pessoas com lesão na medula espinhal devido à perda de controle motor. Um baixo nível de capacidade física está associado a um alto risco de complicações e redução na qualidade de vida.

Desde o ano 2007 o Laboratório de Projetos Mecânicos da Universidade Federal de Uberlândia atua na linha de pesquisa relacionada com o desenvolvimento de equipamentos do tipo ergômetros voltados para pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida. Atualmente, o protótipo da terceira versão do ergômetro para cadeirantes vem sendo desenvolvido no Laboratório de Projetos Mecânicos e Núcleo de Habilitação e Reabilitação em Esportes Paralímpicos (NH/Resp).

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento inicial e resultados preliminares do desenvolvimento de um ergômetro para cadeirantes adaptado com sistema de simulação em ambiente virtual imersivo (*serious games*) para execução de protocolos de avaliação do condicionamento físico, realizar treinamento físico e reabilitação física.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. O gesto motor e a ergonomia

O movimento de propulsão da cadeira de rodas é descrito por Shimada et al. (1998) como movimento bilateral simultâneo repetitivo das extremidades superiores. Através de treinamentos, é possível aumentar a eficiência da força de propulsão (Lin; Lin; Su, 2009). Boninger et al. (2002) citam que os usuários de cadeira de rodas recebem pouca ou nenhuma informação sobre como impulsionar suas cadeiras ou como melhor ajustá-las para minimizar o risco de lesões. Sasaki et al. (2007) estudaram a influência do posicionamento do cadeirante, desenvolvendo um tipo de aparelho adaptativo, identificando que os parâmetros de distância entre as rodas, altura do assento e posição angular do assento são parâmetros importantes na biomecânica da propulsão, porém não conseguiram chegar a uma conclusão sobre um posicionamento ótimo para o cadeirante (Sasaki et al., 2010).

Segundo Vanlandewijck, Verellen e Tweedy (2010), o posicionamento do tronco, sua movimentação e a estabilidade pélvica são de enorme relevância para reabilitação e fazem parte do caminho para encontrar uma configuração para a cadeira de rodas ajustada para a máxima capacidade funcional do usuário. Isto melhoraria sua mobilidade, influenciando sua vida social e qualidade de vida.

2.2. Aparelhos disponíveis

A primeira publicação da área de ergometria ocorreu em 1912 e tratava do desenvolvimento de uma bicicleta ergométrica com freio eletromagnético (Benedict; Cady, 1912). Somente em 1954 com o trabalho de Astrand foi que surgiram mais evoluções em controle de carga e processamento de informações (Cubides, 2010). Posteriormente, surgiram os ergômetros de braços que consistem em um aparelho onde o usuário realiza o movimento de pedalar utilizando os membros superiores. Tropp Samuelsson e Jorfeldt (1997) identificaram diferença na potência exercida por

usuários utilizando um ergômetro de braços e uma cadeira de rodas em um ergômetro de rolo, principalmente quando há alguma instabilidade no tronco do indivíduo avaliado. Tørhaug et al. (2016) em seu estudo concluíram que, em termos da avaliação da taxa máxima de consumo de oxigênio (VO_{2peak}), não há diferença no uso do ergômetro de braço ou do ergômetro de cadeira de rodas, porém os grupos musculares para execução das atividades em cada equipamento são diferentes.

Niesing et al. (1990) desenvolveram um ergômetro para cadeirantes que busca simular uma cadeira de rodas. O ergômetro consiste de um assento com encosto montado em um macaco hidráulico que permite que a altura deste conjunto seja regulada com relação aos aros de propulsão. Apesar de obedecer ao gesto motor, o aparelho torna a utilização difícil para usuários que tem alguma limitação de movimentos devido à sua configuração.

Langbein et al. (1993) projetaram um ergômetro para cadeira de rodas que faz uso de rolos e utiliza sistema de frenagem magnético comercial chamado MAGTURBO™. Este sistema varia gradualmente a resistência de acordo com a velocidade de propulsão imposta à cadeira de rodas. Outro trabalho que fez uso deste tipo de ergômetro foi o de Devillard et al. (2001) que buscaram validar um novo ergômetro de rolos, porém, apesar dos resultados positivos, os autores afirmaram que mais testes eram necessários para padronizar os protocolos aplicáveis.

Keyser, Rodgers e Rasch (2001), trabalharam na produção de ergômetros que também se adaptavam melhor aos cadeirantes. Seu sistema fez uso de uma transmissão por corrente para ligar o eixo dos aros de propulsão da cadeira de rodas ao sistema resistivo.

Em bancos de patentes foram encontrados dispositivos de exercícios para membros superiores, porém a maioria não trata do gesto motor executado na propulsão da cadeira de rodas (Danaei-Boroumand, 2009; Kowalczewski; Prochazka, 2010; Schocke; Greiner, 2012; Whittall; McCombe-Waller; Grant, 2006). Falcão et al. (2013) desenvolveram um sistema de adaptação de cadeira de rodas para ciclo-ergômetro, que conecta uma cadeira de rodas a uma bicicleta ergométrica convencional. Embora o exercício realizado seja fiel ao gesto motor executado pelos cadeirantes, durante a propulsão da cadeira de rodas, os parâmetros do exercício ficam condicionados ao sistema da bicicleta ergométrica utilizada.

2.3. *Serious games*

Serious Games é o termo utilizado para identificar jogos com propósito e conteúdo específicos voltados para apresentar novas situações, construir conhecimentos e treinar atividades particulares, sendo a medicina um dos setores que tem se beneficiado desta técnica (Machado et al., 2011). Algumas áreas em que estes tipos de jogos podem ser usados na medicina são programas de exercícios voltados para saúde, prevenção e reabilitação (Wiemeyer; Kliem, 2012). Segundo Machado et al. (2011), com o uso de novas tecnologias e a expansão da realidade virtual, as aplicações computacionais podem oferecer novos níveis de interação e imersão ao usuário, aproximando-o do ambiente virtual e estimulando seus sentidos.

O'Connor et al. (2000) afirmam que indivíduos com lesão medular frequentemente reclamam que programas de exercícios com cicloergômetros de braço ou ergômetros de rolo são entediantes e há falta de motivação para continuar com o programa de exercícios. Em seu estudo, os autores utilizaram um ergômetro de rolos produzido em seu laboratório para controlar jogos disponíveis comercialmente através do movimento da cadeira de rodas. Os jogos escolhidos foram *Need for Speed II*, *Power Boat Racer* e *Doom*. Os autores relatam que houve um aumento motivacional dos indivíduos testados com esta forma de avaliação.

Burke et al. (2009) afirmam que sistemas virtuais podem prover uma forma segura e personalizável de treinamento que pode ser adaptado para as habilidades de cada indivíduo. Outro fator positivo é que os usuários se tornam mais motivados, envolvidos e imersos em seu programa de reabilitação. É destacado pelos autores a necessidade dos jogos desenvolvidos com o propósito de reabilitação de fornecerem uma boa resposta ao usuário e um nível adequado de desafio que evolua conforme a aptidão do usuário também evolui.

Wattanasoontorn et al. (2013) fizeram uma revisão da literatura avaliando 108 *serious games* voltados para saúde em várias áreas diferentes. Segundo os autores, jogos que envolvem simulação de ambientes reais e ação são os preferidos pelos usuários, porém a variabilidade das características dos jogos é alta. Segundo os autores, apenas 7 dos 108 jogos analisados apresentam as características denominadas como “comuns” que são: uso de computador portátil, interação com mouse, monitoramento do progresso, resposta de desempenho e adaptabilidade. Como tendência futura, os autores destacam esperar maior integração através das plataformas online e ambientes virtuais tridimensionais.

3. METODOLOGIA

3.1. Ergômetro para cadeirantes

A versão do protótipo do ergômetro para cadeirantes utilizada neste projeto é denominada ERGO1 e foi desenvolvida entre os anos de 2010 e 2012 (Vieira, 2012). Esta versão do equipamento permite o ajuste da posição do assento com relação aos aros de propulsão e de seu encosto. Há também dois volantes de inércia cuja função é aproximar o comportamento dos aros propulsores ao de uma cadeira de rodas. Os níveis de resistência para execução de protocolos de

avaliação de condicionamento físico e reabilitação são fornecidos por freio eletromagnético controlado via software computacional. A Figura (1) mostra o ergômetro utilizado no projeto.



Figura 1. Protótipo ERGO1 utilizado para os testes preliminares do sistema imersivo.

3.2. Modelagem

Para que o ambiente virtual possa ser construído com seus objetos, faz-se necessário que todos os itens de cenário e interação com o usuário sejam modelados em um programa computacional. Foi utilizado o software 3ds Max, versão estudante, da empresa Autodesk. Os modelos criados devem ser exportados no formato .fbx para serem importados corretamente dentro do ambiente virtual preservando as configurações feitas.

Outra característica que deve ser criada e configurada ainda no programa de modelagem são os materiais que compõem cada objeto, para fornecer o realismo necessário a cena posteriormente. Os arquivos de imagem que fazem parte das texturas utilizadas nestes materiais também precisarão de serem importados no ambiente de programação da aplicação de realidade virtual.

3.3. Projeto dos ambientes virtuais

O aplicativo responsável por controlar o ambiente virtual imersivo e fazer a comunicação com o sistema eletrônico do ergômetro está em desenvolvimento utilizando uma *engine* voltada para construção de jogos e ferramentas CAD 3D. A ferramenta de desenvolvimento *engine* permite a construção de ambientes virtuais completos com simulação de efeitos físicos reais. O código em implementação troca informações com o ergômetro para alteração dinâmica das condições de carga resistiva e afins de acordo com a simulação experimentada pelo usuário. A *engine* escolhida para o projeto chama-se *Unreal Engine* e está na versão 4.18.1. A programação do ambiente pode ser feita através de programação por blocos, programação por linha de código em linguagem C++ ou ainda utilizar ambos os métodos combinados.

A visualização do ambiente virtual criado na engine será feita através de um óculos estereoscópico de realidade virtual. O modelo escolhido para o projeto é o Rift da empresa Oculus.

O código desenvolvido para a aplicação troca informações em tempo real com os óculos de realidade virtual e com os objetos que compõem o ambiente. Isto é necessário pois, para que a imersão do usuário seja criada, as informações de posicionamento da cabeça do usuário devem vir dos sensores dos óculos. Enquanto recebe estes dados, o código deve também calcular a física referente ao problema e gerar a imagem que deve ser exibida ao usuário nos visores dos óculos. A Figura (2) mostra um exemplo da programação em blocos, os óculos utilizados e o ambiente virtual em terceira pessoa.

3.4. Avaliação do equipamento

O protótipo preliminar desenvolvido corresponde possui um ambiente virtual com uma pista de atletismo de 400 m, dos quais são possíveis de serem percorridos apenas o setor de 100 m. A cadeira de rodas modelada para o exemplo corresponde a um modelo utilizado pelos atletas paraolímpicos de basquete. Durante o percurso o usuário pode acompanhar seu tempo através de um cronômetro na tela. Como o objetivo desta etapa é avaliar apenas a imersão do

usuário no ambiente virtual e a recepção do uso da tecnologia, nenhum protocolo de teste de avaliação física ou aplicação de carga foi utilizado.



Figura 2. Exemplo da programação em blocos e troca de informações entre os óculos de realidade virtual e o ambiente virtual com seus objetos.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

O equipamento foi levado a uma feira de tecnologia onde o público pode sentar-se no ergômetro e usar os óculos de realidade virtual para visualizar o ambiente criado, conforme mostra a Fig. (3). A recepção do público à nova tecnologia foi positiva. Os usuários relataram realmente se sentirem dentro do ambiente e que ao testarem impulsionar os aros do ergômetro experimentaram a sensação de deslocamento. Outro relato comum foi de usuários que avaliaram a experiência como divertida.



Figura 3. Usuário testando a imersão no ambiente virtual.

5. CONCLUSÕES

As avaliações recebidas a respeito do sistema imersivo aliado ao ergômetro para cadeirantes foram positivas e satisfatórias, mesmo no estado inicial em que o projeto se encontra. Sendo a atividade esportiva um dos meios de inclusão social e melhora da saúde, os autores esperam tornar mais agradável e imersiva a realização de exercícios de avaliação física, treinamento ou reabilitação com uso desta tecnologia. O aumento da concentração na realização das atividades pode trazer um melhor aproveitamento e evolução dos protocolos a serem utilizados.

As próximas etapas do projeto são o desenvolvimento de um ambiente virtual que seja adaptável a diferentes tipos de protocolos e atividades, com a inclusão de obstáculos e dificuldades em variados percursos. Também será feita a integração dos sistemas de controle de carga do ergômetro para incremento da dificuldade de transposição dos desafios que serão propostos. Posterior a isso, mais testes serão executados para validar o novo equipamento.

6. REFERÊNCIAS

- BENEDICT, F. G.; CADY, W. G. **A bicycle ergometer with an electric brake**. Washington, D.C.: The Carnegie Institution of Washington, 1912.
- BONINGER, M. L.; SOUZA, A. L.; COOPER, R. A.; FITZGERALD, S. G.; KOONTZ, A. M.; FAY, B. T. Propulsion patterns and pushrim biomechanics in manual wheelchair propulsion. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 83, n. 5, p. 718–723, maio 2002.
- BURKE, J. W.; MCNEILL, M.; CHARLES, D.; MORROW, P.; CROSBIE, J.; MCDONOUGH, S. Serious Games for Upper Limb Rehabilitation Following Stroke. mar. 2009. **2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications**. IEEE, p. 103–110.
- CUBIDES, G. L. A. S. **Análise de um sistema de geração de resistência eletromagnético utilizado em um ergômetro para cadeirantes**. Uberlândia, 2010. 144p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.
- DANAEI-BOROUMAND, S. **Upper extremity and spinal exercise apparatus**. United States Patent and Trademark Office (USPTO). US7491158, 17 fev. 2009. 15p.
- DEVILLARD, X.; CALMELS, P.; SAUVIGNET, B.; BELLI, A.; DENIS, C.; SIMARD, C.; GAUTHERON, V. Validation of a new ergometer adapted to all types of manual wheelchair. **European Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 5, p. 479–485, 1 set. 2001.
- FALCÃO, A. P. S. T.; LIMA FILHO, G. L. DE; CARVALHO, M. V. N. DE; CATTUZZO, M. T.; OLIVEIRA, P. C. DE; MELO, W. V. DE C. **Sistema de adaptação de cadeira de rodas a cicloergômetro**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). BRMU8902297, 1 out. 2013. 9p.
- KEYSER, R. E.; RODGERS, M. M.; RASCH, E. R. Reliability of cardiorespiratory measurements during wheelchair ergometry. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, v. 38, n. 4, p. 423–430, 2001.
- KOWALCZEWSKI, J.; PROCHAZKA, A. **Method and apparatus for automated delivery of therapeutic exercises of the upper extremity**. United States Patent and Trademark Office (USPTO). US7837599, 23 nov. 2010. 21p.
- LANGBEIN, W. E.; ROBINSON, C. J.; KYNAST, L.; FEHR, L. Calibration of a new wheelchair ergometer: the wheelchair aerobic fitness trainer. **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, v. 1, n. 1, p. 49–58, mar. 1993.
- LIN, C.-J.; LIN, P.-C.; SU, F.-C. Preferred elbow position in confined wheelchair configuration. **Journal of Biomechanics**, v. 42, n. 8, p. 1005–1009, maio 2009.
- MACHADO, L. DOS S.; MORAES, R. M. DE; NUNES, F. DE L. DOS S.; COSTA, R. M. E. M. DA. Serious Games Baseados em Realidade Virtual para Educação Médica. v. 35, n. 2, p. 254–262, 2011.
- NIESING, R.; EIJSKOOT, F.; KRANSE, R.; DEN OUDEN, A. H.; STORM, J.; VEEGER, H. E. J.; VAN DER WOUDE, L. H. V.; SNIJDERS, C. J. Computer-controlled wheelchair ergometer. **Medical and Biological Engineering and Computing**, v. 28, n. 4, p. 329–338, jul. 1990.
- O'CONNOR, T. J.; COOPER, R. A.; FITZGERALD, S. G.; DVORZNAK, M. J.; BONINGER, M. L.; VANSICKLE, D. P.; GLASS, L. Evaluation of a Manual Wheelchair Interface to Computer Games. **Neurorehabilitation and Neural Repair**, v. 14, n. 1, p. 21–31, 30 mar. 2000.
- SASAKI, M.; IWAMI, T.; OBINATA, G.; MIYAWAKI, K.; MATSUO, K.; KIGUCHI, K. Development of a new adaptation system for a manual wheelchair based on human body function. nov. 2007. **2007 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science**. IEEE, p. 478–483.
- SASAKI, M.; SHIMAKURA, T.; OBINATA, G.; YAMAGUCHI, M. Adaptability evaluation of wheelchair based on physical and mental load. nov. 2010. **2010 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science**. IEEE, p. 198–202.
- SCHOCKE, M.; GREINER, A. **Ergometer suitable for use in a magnetic resonance apparatus**. United States Patent and Trademark Office (USPTO). US8267842, 18 set. 2012. 8p.
- SHIMADA, S. D.; ROBERTSON, R. N.; BONNINGER, M. L.; COOPER, R. A. Kinematic characterization of wheelchair propulsion. **Journal of rehabilitation research and development**, v. 35, n. 2, p. 210–218, jun. 1998.

- TØRHAUG, T.; BRUROK, B.; HOFF, J.; HELGERUD, J.; LEIVSETH, G. Arm Crank and Wheelchair Ergometry Produce Similar Peak Oxygen Uptake but Different Work Economy Values in Individuals with Spinal Cord Injury. **BioMed Research International**, v. 2016, p. 1–7, 2016.
- TROPP, H.; SAMUELSSON, K.; JORFELDT, L. Power output for wheelchair driving on a treadmill compared with arm crank ergometry. **British Journal of Sports Medicine**, v. 31, n. 1, p. 41–44, 1 mar. 1997.
- VANLANDEWIJCK, Y. C.; VERELLEN, J.; TWEEDY, S. M. Towards evidence-based classification – the impact of impaired trunk strength on wheelchair propulsion. **Advances in Rehabilitation**, v. 3, p. 1–5, 2010.
- VIEIRA, S. A. A. **ERGO1: Novo protótipo para condicionamento físico de cadeirantes e paratletas**. Uberlândia, 2012. 146p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.
- WATTANASOONTORN, V.; BOADA, I.; GARCÍA, R.; SBERT, M. Serious games for health. **Entertainment Computing**, v. 4, n. 4, p. 231–247, dez. 2013.
- WHITALL, J.; MCCOMBE-WALLER, S.; GRANT, D. **Bilateral arm trainer and method of use**. United States Patent and Trademark Office (USPTO). US7121981, 17 out. 2006. 23p.
- WIEMEYER, J.; KLIEM, A. Serious games in prevention and rehabilitation—a new panacea for elderly people? **European Review of Aging and Physical Activity**, v. 9, n. 1, p. 41–50, 8 abr. 2012.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG; ao programa de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia; ao CINTESP – Centro de Inovação Tecnológica em Esportes Paralímpicos; e a Faculdade Una de Uberlândia.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.