

DESENVOLVIMENTO DE AMBIENTES VIRTUAIS COM BIOFEEDBACK: UMA ABORDAGEM PARA REABILITAÇÃO DE PACIENTES PÓS-AVE

JANAÍNA LYRA*, BERTHIL LONGO*, GUSTAVO GLASGIO***, NICOLÁS VALENCIA** E TEODIANO BASTOS***

* *Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brazil*

** *Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brazil*

*** *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brazil*

E-mail: janaina.ohl@gmail.com

Abstract— Virtual Environment is an outstanding approach in the rehabilitation field, which can be used for post-stroke patients. This work introduces an Assistive Technology (AT) that aims motor rehabilitation of lower limbs of post-stroke patients, which is composed of virtual environments, surface electromyography and motion sensor. The AT is controlled by corporal movements of the user, providing in real time a biofeedback showing his/her muscle activation level. The AT was created based on the needs of rehabilitation professionals and utilizing Unity game engine. To evaluate the developed system, 22 volunteers without any physical disabilities used it, and then analysed it through the following questionnaires: System Usability Scale, Goal Attainment Scale and Virtual Environment Assessment Questionnaire. The results showed that the system was positively evaluated by the majority of users, revealing its great potential for application in clinical environments.

Keywords— Virtual Environment, Serious Games, Assistive Technology, Motor Rehabilitation, Stroke

Resumo— O uso de Ambientes Virtuais é uma abordagem que vem ganhando destaque no campo da reabilitação, podendo ser utilizada por pacientes pós-acidente vascular encefálico (AVE). Este trabalho introduz uma tecnologia assistiva para reabilitação motora de membros inferiores de pacientes pós-AVE, que se utiliza de ambientes virtuais (AVs), eletromiografia de superfície e sensor de movimento, de forma a gerar maior envolvimento do usuário no jogo, além de fornecer em tempo real um biofeedback do seu nível de ativação muscular. A TA foi criada tendo como base as necessidades dos profissionais de reabilitação usando a ferramenta de jogos Unity. Para avaliar o sistema desenvolvido, 22 voluntários sem nenhuma deficiência física o utilizaram e em seguida o analisaram por meio das métricas System Usability Scale, Goal Attainment Scale e Questionário de Avaliação de Ambientes Virtuais. Os resultados mostraram que o sistema foi positivamente avaliado pela maioria dos usuários, revelando seu grande potencial de aplicação no ambiente clínico.

Palavras-chave— Ambiente Virtual, Jogos Sérios, Tecnologia Assistiva, Reabilitação Motora, Acidente Vascular Encefálico.

1 Introdução

O uso de Ambientes Virtuais (AVs) é uma abordagem relativamente recente dentro da reabilitação, podendo ser entendida como o uso de ambientes interativos, simulados por meio de um computador, que dão ao usuário a oportunidade de realizar atividades e interagir com ambientes muito similares ao mundo real (Weiss, 2006). Em AVs, é comum o uso de avatares para representarem os usuários, os quais são modelos que podem ser usados como substitutos de “pessoas reais” para diversas funções (Badler, 1997).

AVs são também valiosos para a reabilitação, não apenas pelos resultados clínicos obtidos com seu uso, mas também pela satisfação dos pacientes ao utilizá-la. Com ela é possível simular tarefas e situações específicas, e introduzir o fator lúdico ao treinamento dessas tarefas, que geralmente são repetitivas e cansativas (Cardoso et al., 2004). AVs podem, também, proporcionar ambientes enriquecedores, nos quais os usuários resolvem problemas e dominam habilidades de uma forma mais interessante e prazerosa, encorajando dessa forma um maior número de repetições de exercícios/atividades, além de fazer com que os usuários se engajem mais nos processos de reabilitação (Merians, 2002; Laver, 2015; Lewis, 2012).

O desenvolvimento de técnicas que utilizem novas tecnologias, como os AVs, são importantes para o avanço dos métodos de reabilitação de pessoas com deficiência motora, ou acometidas por alguns tipos de doenças, tais como os pacientes pós Acidente Vascular Encefálico (AVE).

O AVE é uma síndrome neurológica caracterizada pela interrupção do fluxo sanguíneo em certas regiões do encéfalo, sendo um dos maiores geradores de deficiências motoras em escala mundial (Warlow, 2008; Allen, 2014). Ademais, estimativas mostram que a prevalência de sobreviventes ao AVE em todo o mundo no ano 2030 será de 77 milhões de indivíduos, com uma grande porcentagem destes convivendo com limitações funcionais, variando de leves a severas, e que interferem na realização de tarefas cotidianas e na independência (Jaracz et al., 2012; Allen et al., 2014; Strong et al., 2007).

Tendo isso em vista, neste trabalho foi desenvolvida uma Tecnologia Assistiva (TA) para reabilitação motora de membros inferiores de pacientes pós-AVE. Essa TA se utiliza de ambientes virtuais, um sensor de movimento, o Kinect 2.0 fabricado pela Microsoft, e sinais mioelétricos, os quais são responsáveis por gerar um *biofeedback* em tempo real para o usuário do sistema, mostrando o seu nível de ativação muscular a cada movimento realizado. Adicionalmente, a TA foi desenvolvida a fim de permitir que os usuários realizem exercícios, tradicionalmente feitos na reabilitação convencional, enquanto se di-

vertem, melhorando dessa forma a motivação e o engajamento na atividade (Luker et al., 2014).

2 Materiais e Métodos

A versão inicial do sistema é composta por duas fases distintas, conforme mostrado nas Figuras 1 e 2, que contemplam os exercícios de levantar-se/sentar-se e de extensão/flexão de joelhos, essenciais para a independência de um indivíduo, sendo a atividade mioelétrica do músculo reto femoral monitorada (Carr, 2003).

Ambas as fases simulam esportes de climas frios, sendo que na primeira delas o usuário controla um esquiador que deve chegar à base de uma montanha, superando diversos obstáculos que surgem no trajeto. O usuário deve permanecer sentado, levantando-se apenas quando um obstáculo estiver a sua frente. Quando o usuário se levanta, o Kinect 2.0 reconhece o movimento e dispara um comando, fazendo o avatar saltar. Simultaneamente a isso, surge na tela do jogo um biofeedback revelando o nível ativação muscular do usuário, que é determinado pelo sinal EMG, conforme ilustrado na Figura 1. Já na segunda fase o jogador controla um *snowboarder*, cujo objetivo é saltar nas diversas rampas que surgem no caminho até o final da pista. O usuário deve permanecer sentado durante todo o tempo, realizando extensão/flexão de joelho quando o avatar se encontra sobre a rampa. Novamente o Kinect 2.0 reconhece esse movimento e dispara o comando de salto do avatar, e o usuário recebe o biofeedback de seu nível de atividade muscular na tela do jogo (Figura 2).



Figura 1. Esquematização do movimento que deve ser feito pelo usuário na primeira fase do jogo.

A fim de avaliar a TA desenvolvida, foram realizados testes com 22 voluntários sem quaisquer deficiências motoras, recrutados na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Os testes foram realizados

no Laboratório de Automação Inteligente da UFES e previamente ao início das atividades todos os voluntários receberam explicações de como proceder e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Todo o protocolo de testes foi aprovado pelo Comitê de Ética do Centro de Ciências da Saúde da UFES. Dos 22 voluntários, 12 foram usuários da primeira fase do sistema, e 10 da fase seguinte. Posteriormente, os voluntários avaliaram a TA por meio dos questionários System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996, 2013; Sauro, 2011) e Avaliação de Ambientes Virtuais (QAAV) (Savi, 2010). Ademais, seus dados de tempo de adaptação ao sistema e pontuação obtida foram utilizados para o preenchimento do questionário Goal Attainment Scale (GAS), que avalia e quantifica a realização dos objetivos previamente estabelecidos (Kiresuk, 2014; Krasny-Pacini, 2013; Turner-Stokes, 2009).



Figura 2. Esquematização do movimento que deve ser feito pelo usuário na segunda fase do jogo.

2.1 Ambientes Virtuais

A maior parte da estrutura dos AVs (wireframes), os avatares e seus movimentos (animações) foram construídos no software Blender 3D versão 2.75. Depois de exportados, esses componentes foram utilizados em programa motor de jogo 3D (*Game Engine*), onde são criadas as funcionalidades dos AVs. Para essa finalidade foi utilizado uma versão gratuita do software Unity 5, considerado uma das ferramentas mais adequadas na atualidade (Silva, 2012). Imagens e texturas, foram criadas utilizando o programa GIMP, de licença livre GNU GLPv3. Todos os programas supracitados assim como os testes realizados foram executados em um computador rodando um sistema operacional Windows 10 64bits, com processador Intel Core I3, 4GB de memória RAM e placa de vídeo nVidia GeForce 460 GTX.

2.2 Sinais Mioelétricos

A eletromiografia de superfície (sEMG) foi a técnica escolhida para a captura dos sinais mioelétricos, e o equipamento utilizado foi o BrainNet BTN 36. Foram utilizados eletrodos bipolares, passivos e descartáveis, feitos de prata e revestidos por cloreto de prata (Ag/AgCl). Os eletrodos foram posicionados medialmente no músculo monitorado, no caso o reto femoral, paralelamente às fibras musculares e separados entre si por uma distância de vinte milímetros, sendo o eletrodo de referência posicionado sobre o joelho do usuário. Previamente à fixação dos eletrodos, a pele foi sanitizada com álcool 70% (Hermens, 2000). Os sinais capturados são processados em tempo real, mostrando imediatamente na tela do jogo o nível da contração muscular, que pode ser “alto” ou “baixo”. No primeiro caso, o usuário recebe na tela a mensagem “Perfeito”, caso contrário, a mensagem “Ok” aparecerá (Figura 3). O sinal passa pelo filtro de média móvel, sendo depois retificado e analisado para detectar a máxima contração voluntária de cada usuário que faz uso do sistema. A fim de se determinar o nível de ativação muscular de cada indivíduo é feito um cálculo das porcentagens de esforço em relação ao valor máximo atingido. Contrações musculares que alcancem 50% do valor do valor máximo são consideradas como “Perfeitas”, caso contrário a contração é considerada “Ok”.

Com isso, pode-se estudar o nível de ativação muscular, verificando o grau de esforço feito pelo paciente. Além disso, as informações da sEMG são salvas e apresentadas graficamente ao terapeuta posteriormente, que avaliará cada parâmetro gerado pelo sistema.

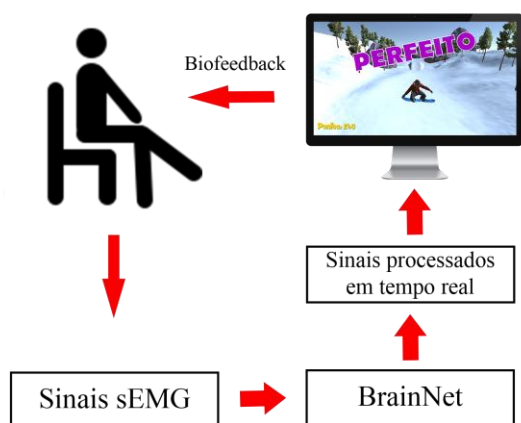


Figura 3. Esquematização do caminho percorrido pelo sinal da sEMG até originar o biofeedback.

2.4 Kinect

O Kinect versão 2.0 é também utilizado neste trabalho. O Kinect utiliza as funções desenvolvidas pelo fabricante, agrupadas no SDK 2.0, sendo as imagens processadas para transformar os movimentos

feitos pelo usuário em um sistema 3D coordenado. A transformação espacial implementada é usada para inserir cada movimento do usuário no ambiente virtual em tempo real, gerando um *feedback* para ele. O movimento é captado pela câmera para realizar o ciclo repetidamente até alcançar todos os objetivos do jogo (Sell, 2014).

O Kinect infere a posição do corpo do usuário em um processo de duas etapas: 1) calcula um mapa de profundidade por meio do sensor infravermelho; 2) infere a posição do corpo usando uma máquina de aprendizagem. Com a informação do usuário no ambiente virtual, é feita uma filtragem para definir uma zona ativa onde o usuário desenvolverá sua terapia (Figura 4) (Sell, 2014).

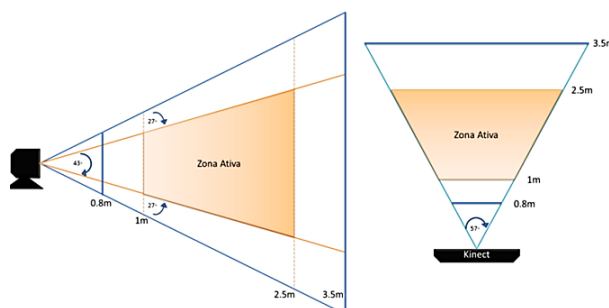


Figura 4. Zona ativa definida para detecção do paciente. Vista lateral e superior.

2.5 Unity

O Unity é uma plataforma de desenvolvimento flexível, usada para desenvolvimento de experiências interativas 3D e 2D em multiplataforma. É um *game engine* (ou, ferramenta de jogo), ou seja, um programa de computador utilizado na confecção de jogos digitais, que unifica arquivos de áudio, imagens e modelos 3D para criar diversos cenários e ambientes de interação. O Unity possui diversas bibliotecas de scripts já embutidas, as quais facilitam o desenvolvimento de jogos. O software já vem com scripts para a renderização dos gráficos (ferramenta gráfica) e da física básica envolvida no jogo (ferramenta de física). Assim, é possível criar, por exemplo, uma esfera no editor do game engine e, com algumas configurações, criar um objeto 3D para se comportar como uma bola de borracha. Por todas vantagens oferecidas por essa plataforma, ela foi escolhida para desenvolvimento dos jogos de reabilitação utilizados neste estudo (Unity Technologies, 2016).

2.6 Integração do Sistema

A integração sensorial ocorre quando são aplicadas as técnicas de processamento digital de sinais aos sinais mioelétricos e quando as informações extraídas por meio do Kinect são discriminadas utilizando algoritmos de visão computacional, tal como mostra a Figura 5. Com as informações relevantes, são implementados os indicadores de atividade muscular, que

são obtidos pela parametrização do corpo do paciente. A integração é feita para proporcionar ao profissional de reabilitação uma maior capacidade de análise dos movimentos dos pacientes durante a atividade física, mostrando informação instantânea das posições, movimentos e atividade muscular em uma interface de usuário. O sistema também permite uma análise offline dos movimentos, expandindo assim, ainda mais, a capacidade analítica de avaliação dos movimentos realizados.

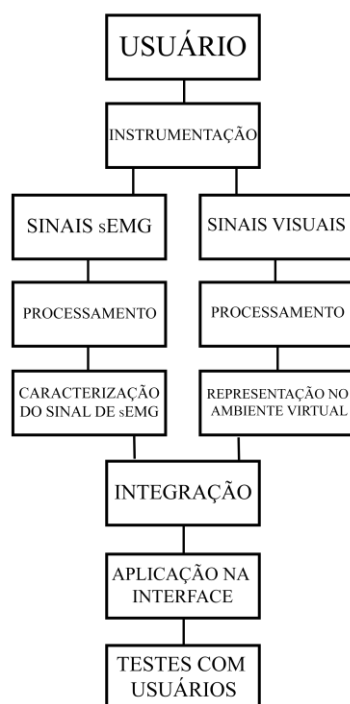


Figura 5. Esquematização das etapas de funcionamento do software.

4 Resultados e Conclusão

A análise do questionário SUS revelou que o sistema foi positivamente avaliado pelos usuários, sendo que 80 foi a menor pontuação obtida, em um total de 100 pontos, conforme evidenciado nas Tabelas 1 e 2. Na métrica SUS pontuações superiores a 68 indicam que o sistema foi avaliado de forma positiva. Além disso, a análise do questionário GAS demonstrou que a TA tem grande potencial de aplicação em ambientes clínicos (Tabelas 1 e 2). No GAS a pontuação máxima é de 100 pontos, com que valores iguais a 50 indicando que os objetivos, previamente determinados pelo pesquisador, foram atingidos conforme esperado, valores inferiores a 50 revelam que os objetivos foram atingidos de forma inferior a esperada, enquanto que valores superiores a 50 mostram que o resultado obtido foi melhor do que o esperado.

Finalmente, a interpretação dos dados obtidos no QAAV, formado por uma sessão que avalia a moti-

vação e uma segunda que avalia a experiência do usuário, mostrou que o ambiente virtual e o jogo foram positivamente avaliados por todos os usuários, a exceção de um, que não se mostrou tão satisfeito com o sistema. Para responder ao QAAV os usuários marcaram uma resposta entre cinco, que variavam de “concordo fortemente” a “discordo fortemente”, veja na tabela 3 algumas perguntas presentes no questionário.

Durante os testes e análise dos questionários também foram levantados pontos a serem melhorados no sistema, para que o mesmo possa ser utilizado por pacientes pós-AVE. Como por exemplo, melhorias em sua integração, de forma a aperfeiçoar a experiência do usuário, fazendo com que o mesmo se sinta ainda mais motivado e envolvido com o jogo.

Os resultados deste estudo indicam que a TA desenvolvida pode ser utilizada de forma complementar à terapia convencional de membros inferiores de pacientes pós-AVE, em clínicas e centros de reabilitação. O sistema integra sEMG e AVs, fornecendo uma estimativa em tempo real do nível de ativação muscular do membro parético do paciente, estimulando-o a utilizá-lo. Ademais, o sistema permite que o profissional de reabilitação acompanhe todo o processo e, com base nos resultados, decida a próxima intervenção. A TA desenvolvida permite o monitoramento do processo de reabilitação através de dados como: ativação muscular, amplitude do movimento, duração da sessão, frequência e execução dos exercícios.

Tabela 1. Resultados das métricas SUS e GAS na segunda fase do sistema.

Voluntários	SUS	GAS
1	82,5	56,2
2	92,5	68,6
3	92,5	74,8
4	95	56,2
5	92,5	68,6
6	97,5	68,6
7	92,5	68,6
8	100	68,6
9	97,5	62,4
10	80	68,6

Tabela 2. Resultados das métricas SUS e GAS na primeira fase do sistema.

Voluntários	SUS	GAS
1	92,5	50
2	100	50
3	92,5	62,4
4	100	56,2
5	85	56,2
6	90	56,2
7	100	56,2
8	95	50
9	97,5	62,4
10	87,5	74,8
11	82,5	62,4
12	82,5	62,4

Tabela 3. Algumas das perguntas utilizadas no QAAV

Motivação	Experiência do Usuário
O design da interface do jogo é atraente	Eu não percebi o tempo passar enquanto jogava
O jogo foi mais difícil de entender do que eu gostaria	Me esforcei para ter bons resultados no jogo
Eu me senti bem ao completar o jogo	Houve momentos nos quais eu queria desistir do jogo
As atividades do jogo foram muito difíceis	Eu jogaria esse jogo novamente

Agradecimentos

Os autores agradecem a UFES, a CAPES e ao CNPq, sem os quais não seria possível a realização da pesquisa.

Referências Bibliográficas

Allen, L. et al. (2014). Community stroke rehabilitation teams: providing home-based stroke rehabilitation in ontario, Canada. *The Canadian journal of neurological sciences*, Vol. 41, No. 6; pp. 697–703.

Badler, N. (1997). Real-time virtual humans. In: *Computer Graphics and Applications, 1997 Proceedings*. The Fifth Pacific Conference on.

IEEE, p. 4-13.

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, Vol 189, No. 194; pp. 4-7.

Brooke, J. (2013). SUS: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, Vol.8, No. 2; pp. 29-40.

Cardoso, L., Costa, R., Piovesana, A., Carvalho, J., Ferreira, H., Lopes, M., Brandão, G. (2004) Utilização de ambientes virtuais na reabilitação de pacientes com lesão cerebral por AVC e TCE. *Edital CT-Saúde*. Vol. 24; pp. 1-6.

Carr, J. and Shepherd, R. (2003). *Stroke Rehabilitation*. Edinburgh: Butterworth-Heinemann.

Huang, W. H.; Huang, W. Y. and Tschopp, J. (2010). Sustaining iterative game playing processes in DGBL: The relationship between motivational processing and outcome processing. *Computers & Education*, Vol. 55, No. 2; pp. 789-797.

Hermens, J. et al. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Vol. 10, No. 5; pp. 361–374.

Jaracz, K.; Grabowska, B. and Kozubski, W. (2012). Caregiver burden after stroke: towards a structural model. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, Vol. 46, No. 3; pp. 224–232.

Kiresuk, T.; Smith, A. and Cardillo, J. (2014). *Goal attainment scaling: Applications, theory, and measurement*. New York and London: Psychology Press

Krasny, A.; Hiebel, J. and Pauly, F. (2013). Goal attainment scaling in rehabilitation: a literature-based update. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, Vol. 56, No. 3; pp. 212-230.

Laver, K. et al. (2011). Virtual Reality for Stroke Rehabilitation. *Stroke*, Vol. 43, No. 2; pp. e20–e21.

Lewis, G. and Rosie, J. (2012). Virtual reality games for movement rehabilitation in neurological conditions: how do we meet the needs and expectations of the users? *Disability and rehabilitation*, Vol. 34, No. 22; pp. 1880-1886.

Luker, J. et al. (2015). Stroke survivors' experiences of physical rehabilitation: a systematic review of qualitative studies. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Vol. 96, No. 9; pp. 1698-1708.

Merians, A.; Jack, D. and Boian, R. (2002). Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke. *Physical therapy*, Vol. 82, No. 9; pp. 898-915.

Sauro, J. (2011). A practical guide to the system usability scale: Background, benchmarks & best practices. Measuring Usability LLC.

Savi, R. et al. (2010). Proposta de um modelo de avaliação de jogos educacionais. *RENOTE*, Vol. 8, No. 3.

- Silva, R. and Silva, A. (2011). Tecnologias para Construção de Mundos Virtuais: Um Comparativo Entre as Opções Existentes no Mercado. *FAZU em Revista*, No. 08, pp. 211-215.
- Sell, J. and O'Connor, P. (2014). The xbox one system on a chip and kinect sensor. *IEEE Micro*, Vol. 34, No. 2; pp. 44-53.
- Strong, K.; Mathers, C. and Bonita, R.. (2007). Preventing stroke: saving lives around the world. *The Lancet Neurology*, Vol. 6, No. 2; pp. 182-7.
- Turner-Stokes, L. (2009). Goal attainment scaling (GAS) in rehabilitation: a practical guide. *Clinical rehabilitation*.
- Warlow, P. et al. (2008). Stroke: Practical Management, 3rd Edition. John Wiley & Sons.
- Weiss, P. and Kizony, R. (2006). Virtual reality in neurorehabilitation. *Textbook of neural repair and rehabilitation*, Vol. 51, No. 8; pp. 182-97.
- Unity Technologies, (2016). Unity. [online] Disponível em: <http://unity3d.com/> [Acessado 05 maio. 2016].