

Cento Universitário de Brasília - UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas
Engenharia da Elétrica

Victor Cavalcanti Fernandes Ferreira

RELATÓRIO FINAL DO PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**GAMIFICAÇÃO DOS SINAIS MIOELÉTRICOS E PROPOSTA DE UM
CONTROLE INTELIGENTE DE PRÓTESE MIOELÉTRICA PARA
MEMBROS SUPERIORES**

Brasília
2020

Cento Universitário de Brasília - UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas
Engenharia da Elétrica

Victor Cavalcanti Fernandes Ferreira

RELATÓRIO FINAL DO PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

**GAMIFICAÇÃO DOS SINAIS MIOELÉTRICOS E PROPOSTA DE UM
CONTROLE INTELIGENTE DE PRÓTESE MIOELÉTRICA PARA
MEMBROS SUPERIORES**

Professor Orientador:
Msc. Luciano Henrique Duque

Brasília
2020

Victor Cavalcanti Fernandes Ferreira – UniCEUB, PIC Institucional, aluno bolsista
Victor.cavalcanti.@sempreceub.com

Prof. MSc. Luciano Henrique Duque – UniCEUB, professor orientador
luciano.duque@uniceub.br

Resumo

Este trabalho apresenta um sistema de condicionamento para a coleta e análise de sinais eletromiográficos (EMG). A eletromiografia é uma técnica que permite o registro dos sinais elétricos gerados pelas células musculares, possibilitando a análise da atividade muscular durante o movimento. A gamificação dos sinais mioelétricos visa melhorar o desempenho na reabilitação de membros superiores ou inferiores, oferecendo um feedback motivacional ao paciente, através de desafios moldados em etapas. O conceito de gamificação consiste em usar estrutura e dinâmica encontrada em jogos para motivar e aprimorar os pacientes em reabilitação fisioterapêutica em membros superiores ou inferiores. O sistema proposto é composto por um hardware, o amplificador de eletromiografia, um software analisador de sinais e o desenvolvimento de vários games conforme as necessidades do paciente. As medições dos sinais mioelétricos e sua tratativa são executadas pelo software analisador, peça fundamental para o funcionamento adequado dos games conforme os exercícios atribuídos pelo profissional de fisioterapia. Os jogos virtuais desenvolvidos são elaborados para exercícios de reabilitação que envolve força e controle dos membros superiores ou inferiores. Através desse sistema é possível obter maior objetividade e exatidão no diagnóstico e auxílio na recuperação de pacientes que apresentem lesões nestes membros. Com essa tratativa objetiva-se fomentar e auxiliar a reabilitação dos pacientes. O fisioterapeuta pode com o auxílio do protótipo, estudar e analisar o comportamento de uma musculatura qualquer em pacientes em reabilitação ou não. A eletromiografia se torna uma ferramenta adequada para investigação da função muscular, tanto na pesquisa quanto na prática clínica de fisioterapeutas.

Sumário

1. Introdução	5
1.1. Objetivo Geral	7
1.2. Objetivos Específicos	7
2. Desenvolvimento	7
2.1. Referencial Teórico.....	7
2.2. Metodologia de pesquisa	8
2.3. Discussão e análise dos resultados.....	10
3. Considerações Finais	15
4. Referências	17

1. Introdução

O avanço tecnológico contribuiu significativamente para o desenvolvimento de jogos virtuais destinados à prática de atividade física, desenvolvidos para empregar o movimento humano como elemento de entrada, com a finalidade de aumentar o gasto calórico e a interatividade (BEKKER e EGGEN, 2008).

Diariamente as pessoas têm lesões musculares que são originadas por acidentes, esforços repetitivos ou por problemas vasculares, para a recuperação do paciente os exercícios propostos na reabilitação são repetitivos e algumas vezes são considerados exaustivo ou doloroso. Com isso têm-se tecnologias de baixo custo que se pode observar uma melhora nessa prática. Estratégias que incluem o uso de tecnologias para o tratamento de pessoas com deficiência motora têm sido um dos principais tópicos de discussão nas áreas de ciências da saúde (CHANG, CHEN e HUANG 2011).

Eletromiografia é uma área da medicina que se propõe a estudar os fenômenos bioelétricos que ocorrem no corpo humano dentro das membranas celulares na musculatura humana e em todo o sistema nervoso. No cérebro humano, há uma grande quantidade de atividade neural que nos define como somos e o que fazemos. O sistema locomotor (Unidade Motora - MUAP) (ANDRADE, 2007) ao andarmos, o cérebro envia estímulos nervosos (impulsos bioelétricos) através dos tendões e músculos para as pernas permitindo assim controlarmos os passos, o equilíbrio, a velocidade da nossa locomoção, e para os membros superiores o mesmo fenômeno ocorre com os sinais cerebrais indo para os braços e para as mãos. Esses sinais se propagam no corpo humano através dos neurônios, que são a unidade básica da estrutura cerebral de todo o sistema nervoso humano e animal.

O biofeedback eletromiográfico (EMG), amplamente utilizado na reabilitação musculoesquelética, consiste na medida da atividade elétrica associada à contração muscular e retorno de informações por meio de sinais auditivos e visuais. Os sinais mioelétricos, como são chamados os sinais medidos por EMG, podem ser aplicados em clínica para reeducação muscular, em especial para relaxamento da proteção muscular com redução da dor pela interrupção do ciclo “dor-proteção-dor”. (PRENTICE, 2003)

O estudo apresentado na conferência Life Sciences, da Universidade Heriot-Watt, em Edimburgo, pelo Dr. Alasdair Thin, mostra que a atividade física na realização de jogos “Exergaming” pode ser considerada como um bom exercício real e que não substitui o exercício aeróbio convencional (ARMSTRONG, 2007).

O ambiente virtual, por meio de jogos, promove a interação do paciente, através das reações de equilíbrio proporcionadas pela sensação de experimentar uma realidade diferente (ALBUQUERQUE e SCALABRIN, 2007).

Nesse contexto, torna-se importante obter o sinal elétrico produzido pelo esforço muscular, utilizando um amplificador de eletromiografia (EMG), que amplifica o sinal captado e um software processa os sinais e apresenta em tela sua amplitude e sons gerados pela atividade muscular. Após o sinal captado, amplificado e analisado, um software com o sinal captado e o paciente efetua os exercícios necessários a sua reabilitação, recebendo um feedback através do game conforme a recomendação do terapeuta, que acompanha e avalia o sinal captado. O EMG é a base para captar os sinais, sendo bastante útil em procedimentos de fisioterapia e outros campos de pesquisa, e consegue obter informações sobre a atividade elétrica do músculo que é induzido, assim podemos efetuar o processamento e a gamificação dos sinais (Adaptado de: AMADIO, 2006).

Antes do surgimento do EMG (amplificador de eletromiografia), clínicos confiavam apenas em seu “tato” ou na inspeção visual para diagnosticar os músculos que estavam sendo analisados durante a excitação. Com o amplificador de Eletromiografia, software de processamento e o game, teremos mais objetividade e exatidão no diagnóstico e auxílio na recuperação de pacientes que apresentem lesões em membros superiores ou inferiores. Nesse cenário, torna-se mais fácil os clínicos e terapeutas obterem um resultado melhor da situação do músculo analisado, e assim auxiliar o paciente em sua recuperação (Adaptado de: LUCA, 2007).

O EMG proposto (hardware) para captura dos sinais será desenvolvido com amplificador operacional diferencial e filtros baseado na família TLC274CN, os softwares para processamento de sinais e gamificação são desenvolvidos em linguagem de programação java. Os games desenvolvidos são elaborados para

exercícios de reabilitação que envolve força e controle dos membros superiores ou inferiores. Vamos aplicar nesse trabalho o conceito de gamificação, que consiste em usar estrutura e dinâmica encontrada em jogos para motivar e aprimorar os pacientes em reabilitação fisioterapêutica em membros superiores ou inferiores (Adaptado de: KARL, 2012).

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral proposto nesse trabalho é desenvolver um protótipo de um sistema capaz de extrair os sinais elétricos do músculo, analisá-los, e através de um processo de gamificação motivar e auxiliar a reabilitação de pacientes com problemas em membros superiores ou inferiores, com auxílio de profissional de fisioterapia.

1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para desenvolver o sistema de coleta, análise e gamificação dos sinais mioelétricos são:

- Projetar filtros para eliminar ruídos indesejáveis, permitindo captar apenas o ruído muscular na faixa 10Hz a 500Hz;
- Elaborar circuito amplificador diferencial com o foco na amplificação dos sinais elétricos (10Hz a 500Hz) gerados pelo músculo, utilizando amplificadores operacionais de alta sensibilidade;
- Desenvolver utilizando a linguagem java um software capaz de analisar processar o sinais;
- Desenvolver games adequados para cada tipo exercício necessários na reabilitação do paciente.

2. Desenvolvimento

2.1. Referencial Teórico

A análise de sinais EMG de grupos musculares específicos proporciona a composição de estudos para uma grande variedade de aplicações, como nas áreas de anatomia, reabilitação, fisioterapia, medicina, educação física, dentre outras

(ORTOLAN, R. L). Essas análises são proporcionadas através do uso de informações como a estimacão de força produzida por um músculo, fadiga.

A Eletromiografia é uma técnica de monitoramento da atividade elétrica das células, representando a medida dos potenciais de ação da membrana da célula muscular. O sinal eletromiográfico é o somatório algébrico de todos os sinais detectados em certa área, podendo ser afetado por propriedades musculares, anatômicas e fisiológicas.

Para Guyton (1998), a emissão de sinal elétrico acontece pela contração e relaxamento da fibra muscular e, esta sequencia de movimentos recebe o nome de “potencial de ação muscular (MUAP)”. Esse potencial é uma alteracão rápida na polaridade da voltagem, de negativa para positiva e de volta para negativa, sendo que esse ciclo completo possui alguns milissegundos.

Os sinais elétricos estão diretamente relacionados com os potenciais de ação do músculo. Os músculos podem contrair, produzir força e os movimentos são realizados por ativacão muscular. A contração muscular e a produçãõ de força são provocadas pela mudançã de posicão da membrana muscular e, esta mudançã de posicão acontece em virtude de um fenômeno elétrico, conhecido como potencial de ação, que é resultado da mudançã no gradiente de concentraçãõ de íons que existe entre o interior e o exterior da célula muscular. (BASMAJIAN E LUCA, 1985).

Para a captacão desses sinais usam-se os eletrodos metálicos, existem diversos tipos, porém nesse projeto utilizaram-se os de superfície, pois não gera desconforto para o paciente, fácil manuseio, promove uma transicão estável, com relativo baixo ruído e para futuros trabalhos será de fácil implementacão.

Para a captacão dos sinais existe um eletrodo de referênciã onde estarã localizado no onde há uma superfície óssea, por exemplo, o tornozelo, cotovelo ou processo espinhal cervical. Os outros eletrodos tem que está bem colocado, ou seja, entre o ponto motor e o tendãõ do músculo avaliado, desse modo obtendo um sinal adequado.

2.2. Metodologia de pesquisa

Coletar, analisar e processar os sinais mioelétricos é de suma importância para o desenvolvimento do trabalho proposto, pois após as tratativas de sinais, o conceito da gamificação é aplicado, permitindo ao paciente em recuperação fisioterapêutica efetuar exercícios com auxílio de games que estimulem sua recuperação. Nesse cenário, como metodologia para desenvolvimento do trabalho proposto, o sistema é dividido nas seguintes etapas:

- A primeira etapa é formada pelo estudo e captação dos sinais mioelétricos do músculo analisado, com utilização de eletrodos de superfície. Os eletrodos são dispositivos de entrada e saída de corrente em um sistema elétrico.
- A segunda etapa é embasada no desenvolvimento de um circuito condicionador, que é constituído por filtros e amplificadores operacionais diferenciados responsáveis pela filtragem e amplificação do sinal de atividade muscular. Nessa fase, os sinais coletados do músculo em análise serão filtrados na faixa de 10Hz a 500Hz e após esse processo serão amplificados como base em amplificadores operacionais de alta sensibilidade, especificamente o operacional da família TLC274CN;
- A terceira etapa consiste no desenvolvimento de um software baseado em linguagem Java, capaz de receber os sinais coletados pelo EMG, processar matematicamente, apresentar sua forma de onda na tela do computador e apresentar de forma audível o ruído gerado pelo músculo em análise. O software prevê também mecanismos que permite mensurar a intensidade da força exercida pelo músculo e possibilidade de eliminar ruído fora da faixa de 10Hz a 500Hz do sinal EMG;
- Na quarta etapa o conceito da gamificação é aplicado para o desenvolvimento de jogos (games) que vão interagir com os sinais coletados pelo EMG e processados pelo software analisador de sinais. Por enquanto, estamos usando o Unity, que permite o desenvolvimento dos scripts dos jogos em linguagem C, Java script. Apresentamos dois jogos que são referentes a exercícios de força recomendados por fisioterapeuta;
- Por fim, a quinta etapa consiste em realizar testes no hardware do EMG e testes de interação dos games com o EMG e validação dos testes.

Complementando a metodologia utilizamos o simulador de circuitos Proteus (PROTEUS, 2010), multímetro digital, eletrodos de superfície e computador para auxiliar os testes.

2.3. Discussão e análise dos resultados

Para desenvolver o sistema proposto é necessário analisar como os sinais eletromiográficos no corpo são transmitidos e a partir desse conhecimento desenvolver o protótipo para captação e amplificação das atividades musculares. Após o hardware EMG desenvolvido é possível projetar os softwares para análise e geração de games de interação com o paciente. Os formatos de onda EMG são processados por um amplificador diferencial com base no amplificador operacional TLC274CN de alta sensibilidade, impedância e ganho.

2.3.1. Sinais Eletromiográficos

São sinais mioelétricos gerados pelas contrações de nervos e músculos. Esses sinais apresentam tensões em níveis muito baixos, tipicamente variando entre 100 μ v 2mv, com alta impedância e propensos a altos níveis de interferência de sinal e ruído (RICCIOTTI, 2006). O sinal EMG (eletromiográfico) pode ser definido pela equação 1 (ANDRADE, 2007):

$$EMG(t) = \sum_{j=1}^{Nm} SPAUM(t) + n(t) \quad (1)$$

Onde: SPAUM – série de potenciais de ação da unidade motora de 10Hz a 500Hz; n(t) – Ruído, t - é o tempo de amostra.

O software que é desenvolvido para processar o sinal EMG da equação 1 realiza uma operação matemática com o sinal, que é a transformada de Wavelet. A transformada de Wavelet decompõe uma função definida no domínio do tempo em outra função, definida no domínio do tempo e no domínio da frequência. Ela é indicada para processamento de sinais mioelétricos e que não entraremos em detalhes nesse trabalho e apresentaremos o software com essa funcionalidade embutida.

2.3.2. Desenvolvimento do circuito condicionar de sinais mioelétricos

Os sinais Eletromiográficos são captados através dos eletrodos de superfície, que são dispositivos transdutores de sinais. Os sinais captados pelos eletrodos de superfície precisam ser amplificados devido a sua amplitude ser muito baixa. Os ruídos provenientes dos batimentos cardíacos, aparelhos eletrônicos podem provocar interferências no circuito condicionar.

Nesse cenário, é necessário desenvolver filtros de sinais na faixa de 10Hz e 500 Hz em conjunto com amplificadores diferenciais e amplificadores de áudio, esse nos permite ouvir a atividade muscular. A figura 1 abaixo apresenta o diagrama em blocos do circuito condicionar com amplificador de áudio e filtros.

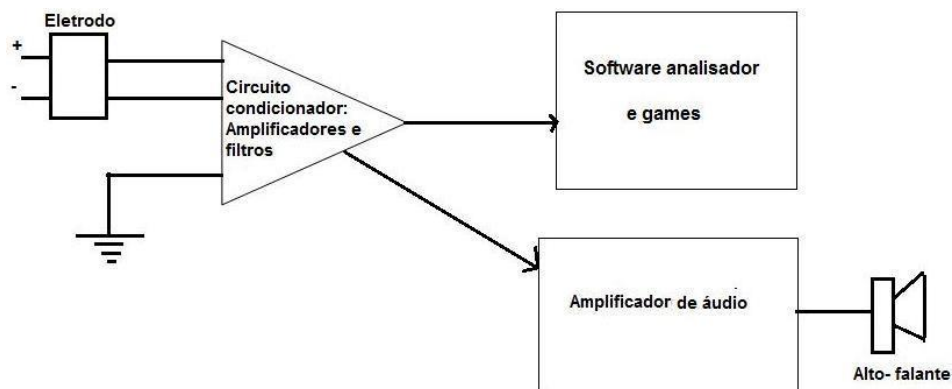


Fig. 1. Diagrama em blocos do sistema proposto

O sinal captado pelo eletrodo é aplicado em um circuito amplificador diferencial com filtros na faixa de 10Hz a 500Hz, faixa dos sinais EMG (SUSAN,2008). Depois de amplificados, são enviados para o software analisador e amplificador de áudio. O software analisador é responsável por exibir na tela do computador a forma de onda do sinal EMG capturado no músculo em estudo e também apresenta funções de filtragem, mediações de intensidade força e tela personalizada que possibilita ao profissional de fisioterapia fazer diagnósticos em membros superiores ou inferiores. A tela do software para geração do game é apresentada apenas para o paciente em outro computador, no entanto, quem seleciona o game é o terapeuta e sua escolha é função do exercício. O circuito condicionar é projetado baseado no amplificador operacional TLC274CN, que possui alta impedância e ganho. A filtragem do sinal ocorre na faixa de 10Hz a 500Hz. O amplificador diferencial com os filtros RC na

entrada que tem a função de eliminar os ruídos de atividades providas dos outros músculos, os sinais cardíacos e outros tipos de interferências eletromagnéticas deixando passar apenas os sinais de EMG do músculo analisado (figura 2). O filtro de RC pode ser obtido através da equação 2.

$$f = \frac{1}{2\pi * R * C} \quad (2)$$

Onde: f - é a frequência de corte, R - Resistência em ohms (Ω), Capacitância em Faraday.

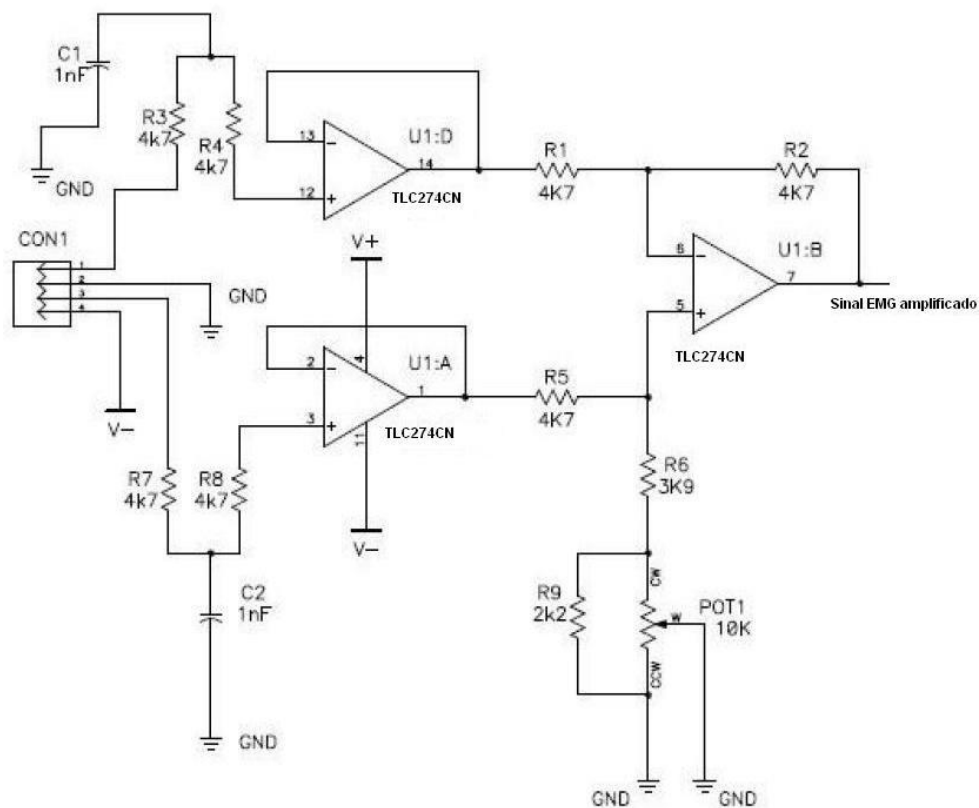


Fig. 2. Circuito condicionador

A figura 3 apresenta o projeto do amplificador de áudio, cuja função é amplificar o ruído da atividade muscular. O projeto desse módulo é utilizado um chip TDA7052B, onde as funções de amplificação são integradas. Os capacitores e resistores externos são indicados pelo fabricante para filtragem de ruídos externos (DATASHEET TDA7052, 2012; PERTENCE, 2006).

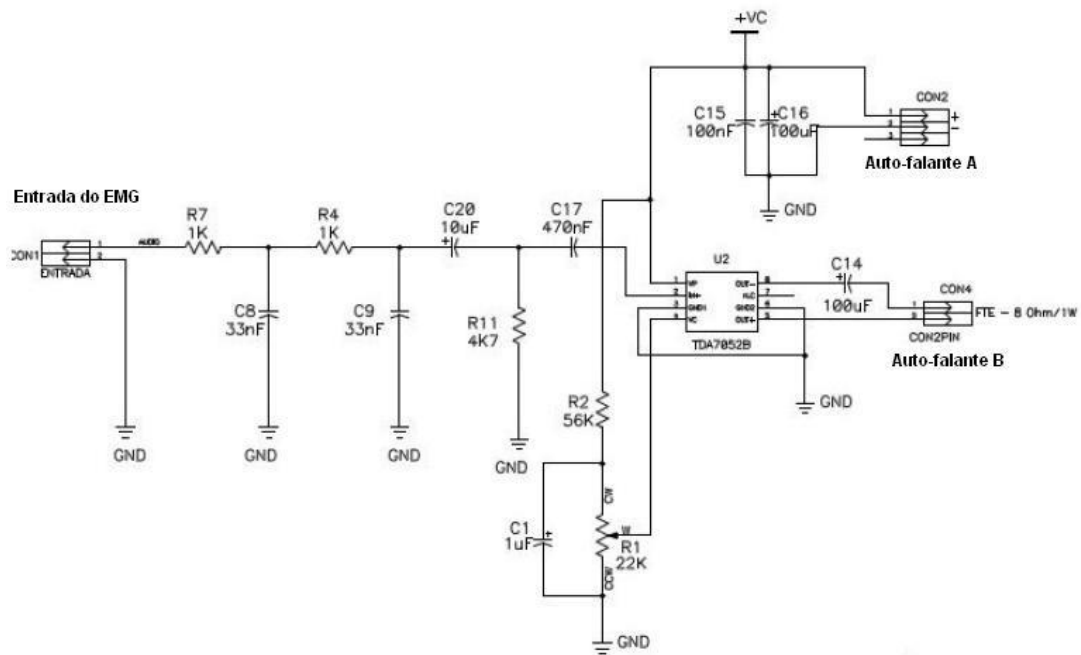


Fig. 3. Amplificador de áudio

2.3.3. Projeto do software analisador e games

O software analisador é desenvolvido em linguagem Java e apresenta a função de processador de sinais, que são enviados pelo circuito condicionador e capturados pelo software. Ele apresenta os resultados em uma tela de computador, com funções de medição de força, gravação dos sinais, reprodução, filtragem dos sinais e o processamento é feito via transformada de Wavelet. A figura 4 abaixo apresenta uma tela do software processando um determinado sinal EMG capturado pelo circuito condicionador em um membro superior.

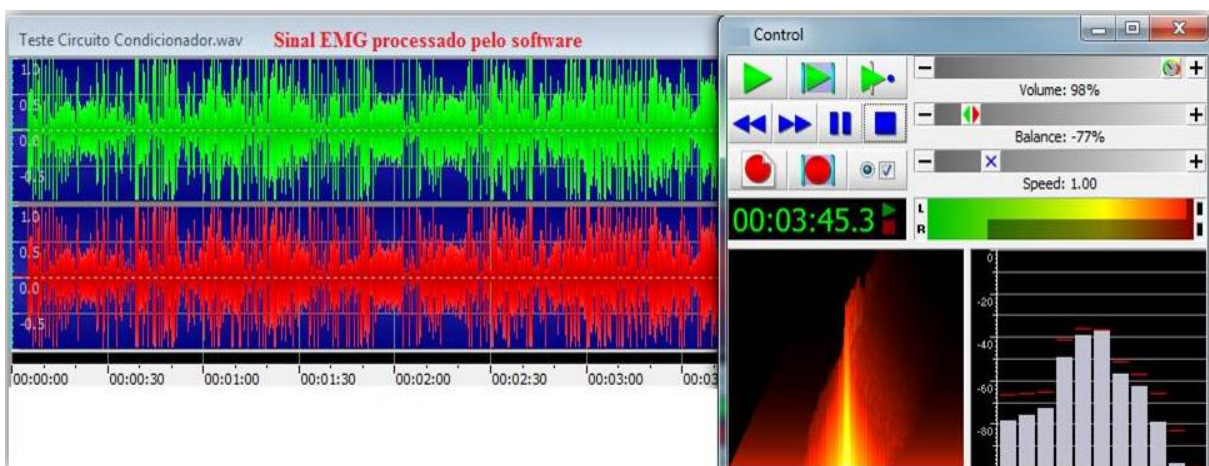


Fig. 4. Tela de um sinal EMG processado pelo software desenvolvido

O sinal EMG capturado e processado pelo software é enviado para o game, que conforme o movimento do paciente opera o game especificado pelo terapeuta.

Os games são desenvolvidos na plataforma Unity, utilizando o suporte nativo a captura de sinal de microfone para capturar o sinal mioelétrico amplificado. O sinal então é utilizado como controlador do jogo e o sinal EMG capturado pelo circuito condicionador é analisado pelo terapeuta.

No primeiro game de corrida, o esforço do paciente é traduzido na velocidade do personagem, que no primeiro protótipo é representado por uma bola branca competindo com uma vermelha que é acelerada por uma força constante. A figura 5 apresenta a tela do jogo de corrida.

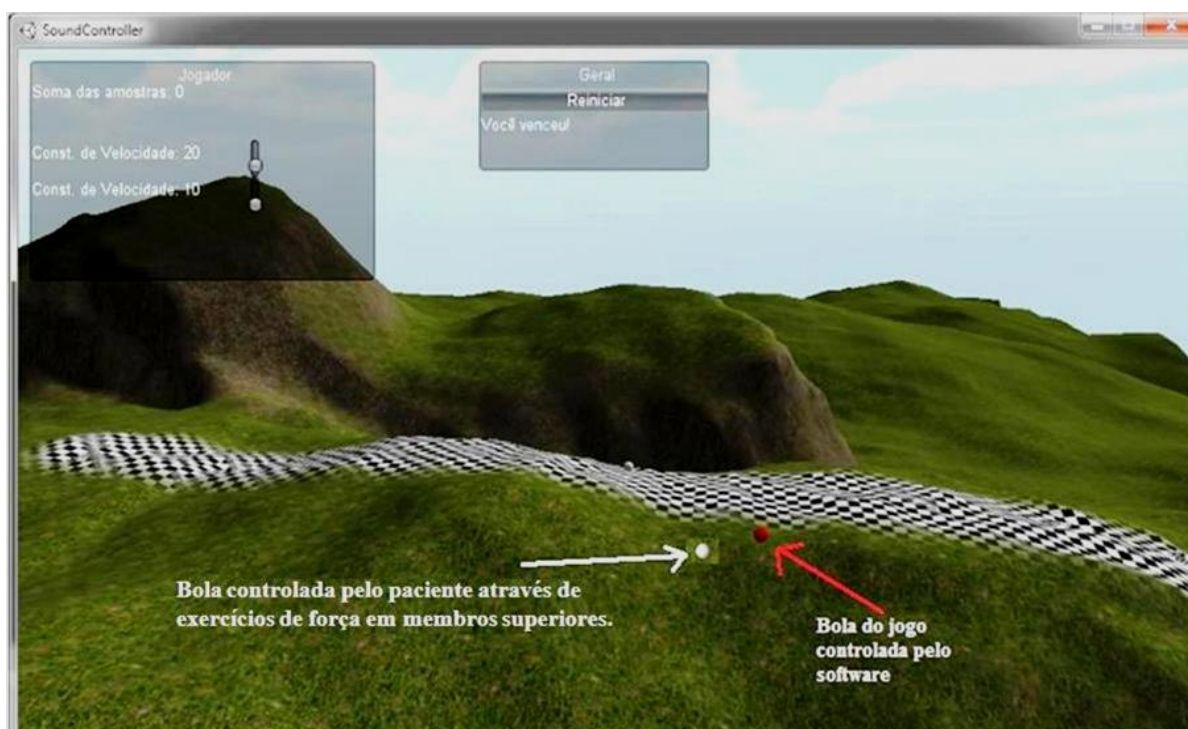


Fig. 5. Jogo de corrida para exercícios de força em membros em recuperação

A dificuldade do jogo é definida pela distância e relevo do terreno do cenário escolhido e por parâmetros configurados pelo terapeuta, como a sensibilidade da captura, limiar de ativação do controlador e velocidade do oponente. No segundo jogo, que simula uma cobrança de pênalti em um jogo de futebol, o esforço do paciente define a força do chute e deve ser concentrado em um tempo limitado. Os parâmetros controlados pelo terapeuta incluem a velocidade de movimento do goleiro, que no protótipo é representado por uma parede, o tempo disponível para o paciente encher

a barra de força do chute, a quantidade de cobranças de pênalti realizadas, a sensibilidade da captura e limiar de ativação do controlador.

O protótipo apresenta resultados satisfatórios, no entanto, ainda encontra-se fase de ajustes finais e desenvolvimento. O sistema já é capaz de captar o sinal mioelétrico, processar via software, interagir com o game de corrida. Testes em membros superiores foram realizados e obtivemos boa resposta no quesito qualidade do sinal, processamento e interação com o game. A figura 6 apresenta o protótipo pronto e em teste em um membro superior (braço) e com sua interação com o game.

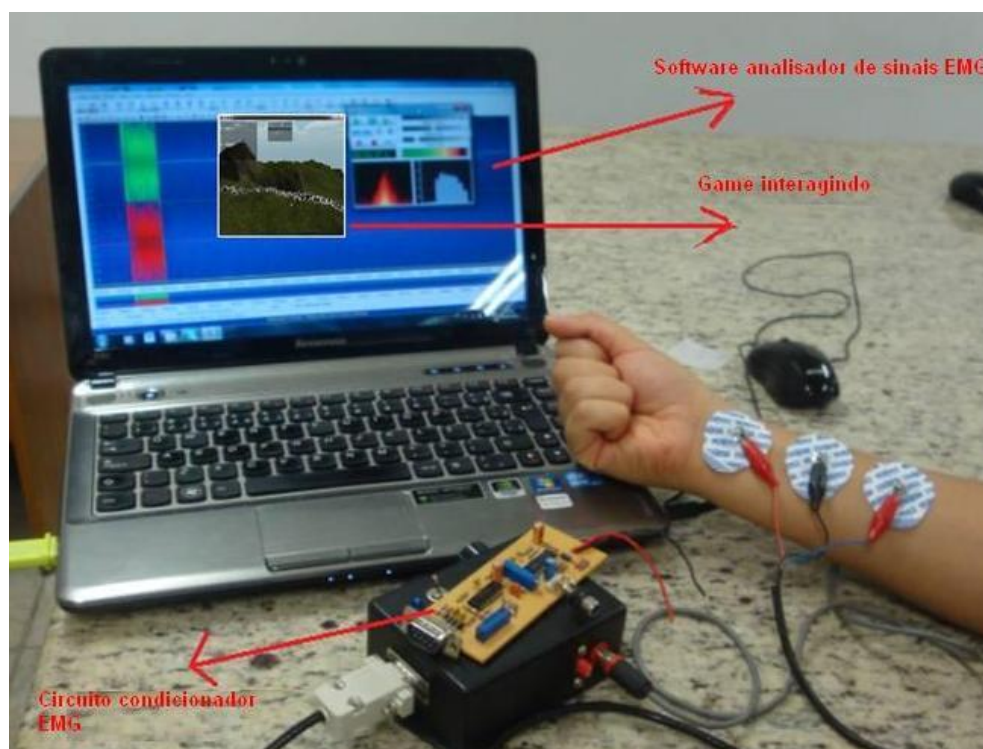


Fig. 6. Protótipo do sistema em teste de membro superior

3. Considerações Finais

Durante o processo da pesquisa, conversou-se com os profissionais da fisioterapia e foi verificado que para um melhor atendimento do paciente que obteve alguma lesão muscular seria os exercícios de força, após essa análise, e fechamento do desenvolvimento dos jogos, pode-se verificar a eficácia que trouxe para o tratamento, porém ainda existem poucos jogos e com um único desafio, para que haja um melhor aproveitamento na reabilitação do indivíduo.

Observou-se para que ocorresse uma melhor captação dos sinais eletromiográficos foram utilizadas filtragem dos ruídos - são originados pelo próprio protótipo ou pela frequência cardíaca - pôde-se observar que a transformada Wavelet apresentou como uma boa ferramenta de análise do sinal, que está de acordo com sua característica multirresolução, e pode fornecer informações que auxiliaram no projeto de filtros.

Os jogos apresentados busca melhorar o tratamento da reabilitação fisioterapêutica através da diversão que eles propõem, ajuda as pessoas a se envolver em reabilitação, na autoconfiança, com isso tem-se uma recuperação do controle muscular significativa.

Para os pacientes que são criança, motiva-as para ir ao consultório para “jogar” uma corrida de bolinhas, não tornando aquela consulta obsoleta e cansativa.

O fisioterapeuta pode com o auxílio do protótipo, estudar e analisar o comportamento de uma musculatura qualquer em pacientes em reabilitação ou não. Por outro lado, o paciente obtém um feedback de sua recuperação através do game motivando sua reabilitação.

A obtenção do sinal mioelétrico dependente muito de cada paciente, pois alguns possuem sinais Eletromiográficos (EMG) mais forte que outros em seu organismo. No entanto, o circuito condicionador projetado apresenta ganho ajustável, compensando as perdas que ocorrem de pessoa para pessoa.

Em uma futura implementação seria a produção de novos jogos e que fosse possível “jogar” usando a rede sem fio, assim poderia fazer mais movimentos, como por exemplo, uma corrida, criando novos desafios para o paciente superá-los.

4. Referências

ALBUQUERQUE, E. C., SCALABRIN E. E. **O uso de computador em programas de reabilitação neuropsicológica**. Psicol Argum. 2007.

AMADIO, A. C; ARAÚJO, R. C. **Análise biomecânica da ativação das porções superficiais do músculo**. Revista Brasileira de Fisioterapia, 2006.

ANDRADE, Nei Augusto. **“Desenvolvimento de um sistema de aquisição e processamento de sinais eletromiográficos de superfície para a utilização no controle de próteses motoras ativas”**, Dissertação de Mestrado, UnB - Universidade de Brasília, 2007.

ARMSTRONG R. **Couch athletes: how to get fit from the comfort of your sofa**. The Independent, 2007.

BASMAJIAN, John V. e LUCA, Carlo de. **Muscles Alive: their functions revealed by electromyography**. Baltimore: Williams & Wilkins; 5th edition, 1985.

BEKKER TM, EGGEN BH. **Designing for children’s physical play**, Extended abstracts on Human factors in computing systems 2008. Florence: Italy.

CHANG, Y., CHEN, S. AND HUANG, J. **A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities**. Research in Developmental Disabilities, Volume 32(6), 2011.

COSTA, Marcus Vinícius Chaffim. **Análise de Fourier e de Wavelets do Sinal Eletromiográfico de Superfície em ambiente subaquático e aéreo**. Departamento de Engenharia Elétrica (UnB). 2006

DATASHEET LM324, **Manual Técnico da National**, Disponível em: <<http://www.national.com/ds/LM/LM124.pdf>>. Acesso em: Jun. 2010.

DATASHEET TDA7052, **Manual Técnico da NXP Semicondutores**, Disponível em: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/TDA7052B.pdf>. Acesso em: Abr. 2010.

DE LUCA, C. J. **Surface electromyography: detection and recording**. 2006.

GALHARDO, CAROLINA DO AMARAL. **Torque em um exoesqueleto estimado por sinais eletroneuromiográficos**. PUC - Pontifca Universidade Católica.

GUYTON, ARTHUR C., HALL, JOHN E. **Fisiologia Humana e Mecanismos de Doenças**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 6ª edição, 1998.

Karl M. Kapp, Ed.D, **The Gamification of Learning and Instruction**, Editor Pfeiffer, 2012.

MOLETA, PATRICIA. **Estudo da captação de sinais mioelétricos em instrumentação biomédica.** 7º CONIC – SEMESPE. 2007

ORTOLAN, R. L. **Estudo e Avaliação de Técnicas de Processamento do Sinal Mioelétrico para o Controle de Sistemas de Reabilitação.** Tese (mestrado) — Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 2002.

PERTENCE, ANTONIO. JR, **Eletrônica Analógica – Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos**, 6ª Edição. São Paulo: Bookman, 2003.

PRENTICE, William E. **Modalidades terapêuticas para fisioterapeutas.** 2ª ed. Artmed Editora, 2003.

PROTEUS - **Labcenter Electronics** – Professional PCB Design and Simulation. Disponível em < <http://www.labcenter.com/>>. Acesso em: Agosto 2012.

RICCIOTTI, Duarte; **Utilização de Wavelets no processamento de sinais EMG**, 2006.

SUSAN, B.O, Thomas J. Schmitz, **Fisioterapia: Avaliação e tratamento**, Ed.5, 2008.