

## PROPOSTA DE UM SIMULADOR PARA ELETROESTIMULAÇÃO EM UM MEMBRO SUPERIOR HUMANO VIRTUAL

### PROPOSAL OF A SIMULATOR FOR ELECTROSTIMULATION IN A VIRTUAL HUMAN UPPER LIMB

Roberto Luiz Souza Monteiro<sup>1</sup>, Leandro Brito<sup>1</sup>, Tereza Kelly Gomes Carneiro<sup>2</sup>, Fernando Ribeiro<sup>1</sup>

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC<sup>1</sup>; Universidade Estadual de Ciências da Saúde de Alagoas<sup>2</sup>

#### Abstract

*The practice in the use of electrostimulators: inappropriately, can lead to physical damage to the subject beyond the use of inappropriately. The use of computer simulation can help with the technical training of those who will operate this type of equipment. This paper presents a conceptual model applied to human upper limb muscle groups modeled in 3D, connected to an electronic device that sends signals to simulate the operation of electrostimulation practices, with the aim of proposing this model as a tool for teaching and learning in the area of electrotherapy. The conceptual model is presented as a proposal for the practice of electrotherapy area, with the qualitative aspects: security, configurability and a model of reading at the time of your execution.*

**Key words:** Coresidence concept, elderly people, cognitive analysis, semantic networks.

#### Resumo

*A prática na utilização do eletroestimulador de forma inadequada, pode gerar danos físicos ao sujeito além da utilização de forma inadequada. O uso de simulação computacional pode contribuir com a capacitação técnica de quem vai operar este tipo de equipamento. Este trabalho apresenta um modelo conceitual aplicado a grupos musculares do membro superior humano modelado em 3D, interligado a um aparato eletrônico que envia sinais para simular o funcionamento das práticas da eletroestimulação, com o objetivo de propor este modelo como ferramenta de ensino e aprendizagem na área de eletroterapia. O modelo conceitual é apresentado como uma proposta para as práticas da área de eletroterapia, tendo como aspectos qualitativos: a segurança, a capacidade de configuração de parâmetros e um modelo de leitura no momento da sua execução.*

**Palavras chave:** Corresidência, idoso, análise cognitiva, redes semânticas.

#### Introdução

O eletroestimulador muscular é utilizado na fisioterapia de músculos que não recebem os

sinais nervosos suficientes. Este tipo de equipamento aplica correntes alternadas sobre superfícies da pele em locais chamados de pontos motores, que são estimulados pela corrente elétrica e atinge o nervo motor que é despolarizado por meio de um processo químico, ocasionando desta maneira o estímulo dos músculos que são inervados para o tratamento da patologia existente<sup>1</sup>.

A utilização do eletroestimulador pode ser aplicada em voluntários que participam de pesquisas acadêmicas, ou em pacientes quando estão em processo terapêutico, devido a possíveis lesões<sup>2</sup>. Para utilizar o eletroestimulador é necessário seguir critérios para a sua aplicação como o preparo do sujeito que será submetido, realizar os testes de regulagem do equipamento e posicionar os eletrodos conforme o tratamento indicado, assegurando uma homogênea pressão no local para manter a corrente uniforme e dentre outros<sup>3</sup>.

Este tipo de equipamento, quando utilizado de maneira inadequada, poderá ocasionar riscos à saúde como por exemplo danos tissulares, que ocorre quando é aplicado alta densidade da corrente o que pode causar coagulação de proteínas no polo positivo e a liquefação na região do polo negativo. Outro risco está relacionado com a queimadura na pele, que pode ocorrer durante um contato entre uma das partes da sonda metálica que é o suporte que encaixa os eletrodos ou os próprios eletrodos descobertos<sup>3</sup>.

Este artigo tem como proposta, apresentar um modelo conceitual para a construção de um simulador virtual de grupos musculares de um membro superior humano, capaz de responder aos estímulos de um eletroestimulador. Este modelo poderá ser utilizado como ferramenta de ensino aprendizagem para as práticas da área de eletroterapia, permitindo que o aluno possa realizar um maior número de práticas, observando todas as consequências, inclusive de um mal dimensionamento de parâmetros como a regulagem da corrente que pode ser realizado por meio de cálculo de densidade conforme o tipo da terapia<sup>3</sup>.

Nesta situação o modelo atual de práticas da eletroestimulação muscular utilizada na academia necessita de uma mudança significativa para que os riscos à saúde dos voluntários das pesquisas possam ser minimizados, como choque elétrico e possível irritação na pele por hipersensibilidade decorrente aos resíduos químicos produzidos pelas correntes<sup>3</sup>.

O foco da pesquisa está direcionado à área dos sinais mioelétricos e tem como proposta apoiar a utilização de eletroestimulador em tratamentos com enfoque na possível redução de riscos e no processo de ensino aprendizagem dos estudantes que necessitam praticar a eletroestimulação. Desta forma, o estudo se justifica pela necessidade em utilizar as tecnologias da informação como instrumento e incentivo a novas pesquisas, utilizando modelagem 3D e sistemas embarcados para instrumentação biomédica o que resultará em uma proposta conceitual para a construção do simulador da eletroestimulação de grupos musculares de um membro superior virtual.

## **Metodologia**

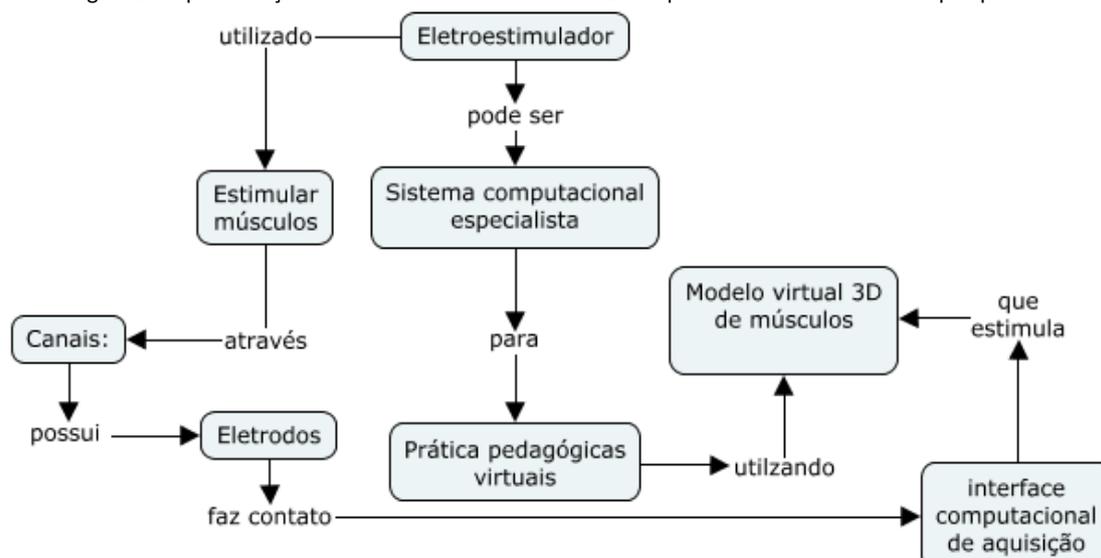
A elaboração do modelo foi realizada com base em um levantamento na literatura sobre as características da ação muscular da eletroestimulação, dos eletroestimuladores, sistemas embarcados, sistemas especialista e modelagem 3D. Também realizamos experimentos com hardware e software que serão apresentados nas próximas seções do artigo. Este mapeamento entre técnicas e modelos nos permitiu associar ferramentas computacionais para idealizar o projeto de construção do modelo de eletroestimulação com membro superior virtual.

Para abordar os conceitos necessários para a construção do modelo proposto no artigo, apresentamos na Figura 1 uma estrutura de conceitos que são utilizados como proposta para uma estratégia facilitadora de aprendizagem<sup>4</sup>. Esta técnica também é utilizada para auxiliar o percurso metodológico que poderá ser utilizado para a execução do projeto. Podemos destacar que a relação do eletroestimulador com o modelo virtual 3D do músculo poderá ser aplicado baseado nos sistemas computacionais especialistas e protocolos para as práticas pedagógicas e, para isso, é necessário definir a lógica de execução destes estímulos musculares com definição do local que os eletrodos devem ser definidos e para realizar a interface computacional da aquisição e simulação para a prática pedagógica.

## **Ação muscular da eletroestimulação**

A estimulação muscular por eletroestimuladores é uma atividade realizada por meio de correntes alternadas, que levam em consideração três parâmetros como: a intensidade do pulso, a largura de pulso e a frequência da corrente.

Figura 1: Representação da estrutura de conceitos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.



Estes parâmetros são os mais importantes para determinar a força de contração muscular que a corrente elétrica irá proporcionar<sup>1</sup>.

A força muscular pode ser aumentada fisiologicamente através de dois fenômenos: a somação espacial e a somação temporal. Denomina-se por somação espacial o aumento do recrutamento das unidades motoras de um grupo muscular, de tal forma que quanto mais unidades motoras trabalharem em um músculo, maior será o desempenho deste músculo e maior será sua força. A somação temporal, ocorre quando a corrente que chega à unidade motora aumenta de frequência. Neste caso, as fibras musculares daquela unidade apresentam o rendimento e conseqüentemente o músculo também aumenta sua força<sup>1</sup>.

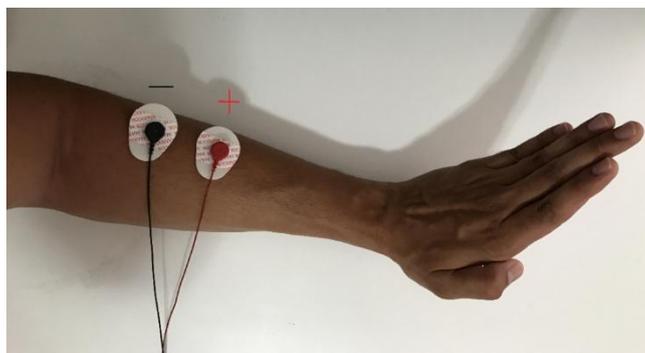
Tanto a largura de pulso quanto a intensidade atuam na somação espacial, ou seja, quanto maior os valores destes parâmetros, maior será o número de unidades motoras

recrutadas (ativas). Já o parâmetro frequência atua na somação temporal de tal forma, que quanto maior a frequência, maior será o desempenho das unidades motoras recrutadas<sup>5</sup>.

A Figura 2 apresenta a aplicação de uma corrente elétrica sobre o músculo radial. Este modelo de aplicação da corrente é considerado a configuração mais básica da eletroestimulação muscular, ou seja, um eletroestimulador; um par de eletrodos (um canal); e o músculo<sup>5</sup>.

A Figura 3 apresenta o efeito do aumento da frequência sobre o músculo quadríceps, conforme é indicado na sequência das imagens de (a) à (d), as quais mostram o aumento da frequência, ou seja, da corrente aplicada pelo eletroestimulador. Neste exemplo a força do quadríceps vai aumentando e desta maneira é possível aplicar intensidades específicas de corrente conforme o tipo de prática pedagógica ou terapêutica utilizando um eletroestimulador.

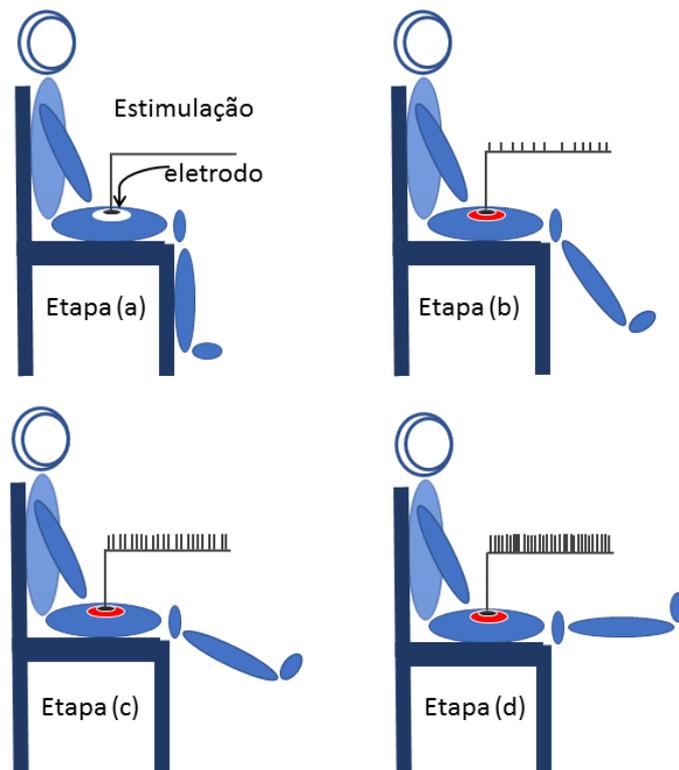
Figura 2: Configuração básica da aplicação da corrente elétrica nos músculos da região radial, eletrodo vermelho é o positivo e o preto o negativo.



Entendendo que cada canal tem dois eletrodos, e que para estimular um grupo muscular é necessário no mínimo um canal, é certo afirmar que, quanto maior o número de canais, maior

será o número de grupos musculares que podem ser estimulados. É importante, no entanto, colocar os eletrodos em pontos estratégicos para que a contração muscular seja efetiva<sup>7</sup>.

Figura 3: Ação da estimulação muscular sobre o músculo da coxa<sup>6</sup>.



Na estimulação muscular para cada canal pelo menos um dos eletrodos precisa estar sobre o ponto motor (PM) do grupo muscular que se pretende estimular. Quanto mais distante o eletrodo estiver do ponto motor, maior será a resistência e mais difícil de estimular o músculo.

Embora os eletrodos maiores possam aplicar uma corrente em grandes áreas, este tipo de eletrodo diminui a densidade da corrente que neste caso principalmente, quando colocados em locais incorretos terão que fornecer mais corrente para atingir o limiar<sup>7,8</sup>.

Embora estes sejam os parâmetros responsáveis pelo controle da força muscular, não são os únicos utilizados na eletroestimulação, temos ainda o tempo de aplicação, um modo denominado Síncrono e outro de Recíproco, que regula a forma de funcionamento dos canais. Também temos um parâmetro conhecido como “rampa”, que serve principalmente para permitir períodos de descanso do músculo durante a aplicação da corrente<sup>8</sup>.

Estes são basicamente todos os parâmetros utilizados na eletroestimulação que permitem fazer movimentos só de flexão, só de extensão e movimentos combinados de flexão e extensão.

### Eletroestimuladores

Podemos dividir os eletroestimuladores em duas grandes categorias: A primeira categoria refere-se aos mais simples com até dois canais e que podem atuar em um ou dois grupos musculares, podendo ser estes grupos todos agonistas; ou um agonista e o outro antagonista<sup>9</sup>.

A segunda categoria são os eletroestimuladores com no mínimo dois canais e podem ser executados com os canais de forma recíproca. Este recurso representa uma evolução aos eletroestimuladores da primeira categoria que podem ser agonistas e antagonistas de forma funcional, ou seja, o membro estimulado pode trabalhar fazendo flexão e extensão de forma alternada e permitindo que exerça sua função<sup>9</sup>.

Podemos, no entanto, considerar que um eletroestimulador tem características e técnicas básicas para que possam promover um trabalho muscular funcional ou não funcional<sup>9</sup>.

O formato dos pulsos utilizados nos eletroestimuladores musculares, não tem grandes variações devido a algumas limitações impostas pelo sistema neuromuscular e principalmente por causa do fenômeno chamado de acomodação. Em razão deste fenômeno, o formato das ondas deve evitar tempos de subida e de descida prolongados (>5ms)<sup>9</sup>. Por este motivo, formatos do tipo senoidal ou triangular com tempo de subida igual ou maiores que 5ms, devem ser evitados, devido às dificuldades para promover contrações eficientes. Para evitar isto, os pulsos têm formatos retangulares, ou sua largura de pulso predominam no intervalo dos microssegundos<sup>9</sup>.

Devido ao fenômeno da acomodação e ao limiar de excitação da célula, o parâmetro de largura de pulso apresenta restrições para que o limiar de excitação seja atingido utilizando intensidades dentro dos limites terapêuticos. É preciso que o pulso tenha valores mínimos próximo dos 50 $\mu$ s (Microvolts) e o valor máximo geralmente não deve ultrapassar os 250 $\mu$ s<sup>8</sup>. Os valores máximos utilizados ficam entre 200 $\mu$ s e 300 $\mu$ s e acima deste valor não há nenhum benefício que justifique este aumento como por exemplo 500 $\mu$ s<sup>9</sup>.

A intensidade da corrente aplicada no tecido através dos eletrodos é medida em milampères. Os valores estão geralmente entre 5mA e 40mA. Contudo, existem valores encontrados que vão de 1 a 100mA<sup>9</sup>.

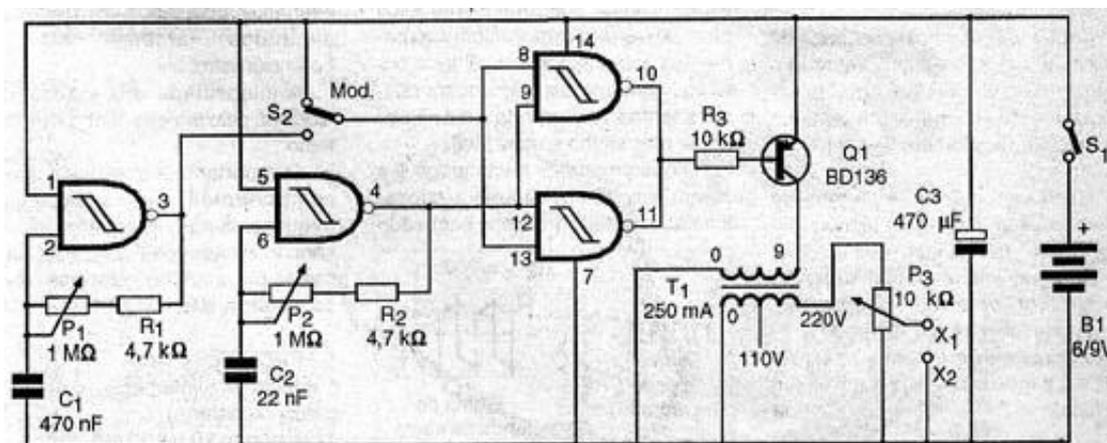
A principal referência utilizada para regulagem da intensidade é o recrutamento das fibras musculares até atingir o objetivo da contração dentro do limite da dor do paciente<sup>9</sup>.

A frequência dos pulsos utilizados para eletroestimulação medido em Hz, tem seu espectro de frequência terapêutico variando entre os valores 1Hz e 60Hz, no entanto, os valores mais usados são entre 20Hz e 50Hz<sup>8</sup>. As frequências baixas produzem abalos musculares (1-15Hz) e frequências mais altas (>25Hz) que produzem tetania<sup>9</sup>.

No modo síncrono e recíproco, além dos parâmetros anteriores, os eletroestimuladores musculares trazem um parâmetro que regula o funcionamento de cada canal (saída da corrente). No modo síncrono, todos os canais estão sincronizados, isto é, quando um está ativo, os outros também estão; quando um entra em pausa, os outros também entram. No modo recíproco, quando um canal está ativo, o outro está em pausa e os canais ficam alternando esta condição. Este é o modo que permite os movimentos de flexão e extensão de forma funcional<sup>9</sup>.

A Figura 4 refere-se ao diagrama de um eletroestimulador em uma versão básica de um projeto completo que pode ser montado para pesquisas ou experimentações com finalidades didáticas em laboratórios de biologia<sup>10</sup>. Neste modelo de eletroestimulador os pulsos são gerados por dois osciladores que são controlados por potenciômetros e poderá ser executado com baixa frequência e valores dentro da escala de capacitância entre 470nF(micro-Farad) e 4,7 $\mu$ F (nano-Farad)<sup>10</sup>.

Figura 4: Esquema elétrico de eletroestimulador.



## Sistemas computacionais

### Sistema especialista

Os Sistemas Especialistas (SE) são sistemas que proporcionam a solução de problemas que são resolvidos apenas por indivíduos especialistas. Este tipo de sistema tem o propósito de resolver situações complexas de forma idêntica à utilizada pelos peritos humanos<sup>11</sup>.

Os SE são utilizados para casos específicos de Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC). Em um SE o conhecimento é obtido a partir de um ou mais peritos ou especialistas. O desenvolvimento de um SE incorpora uma vertente técnica e humana complexa com relacionamento de confiança entre aquele que especifica e desenvolve o sistema e aquele que possui o conhecimento<sup>12</sup>.

Este tipo de sistema é um modelo que trabalha com problemas dos quais, não existe uma solução convencional disponível computacionalmente. Para o desenvolvimento do SE, faz-se inferências e deduções a partir de informações fornecidas pelo especialista, que guia e restringe a busca por soluções. Geralmente a área do problema é pequena e

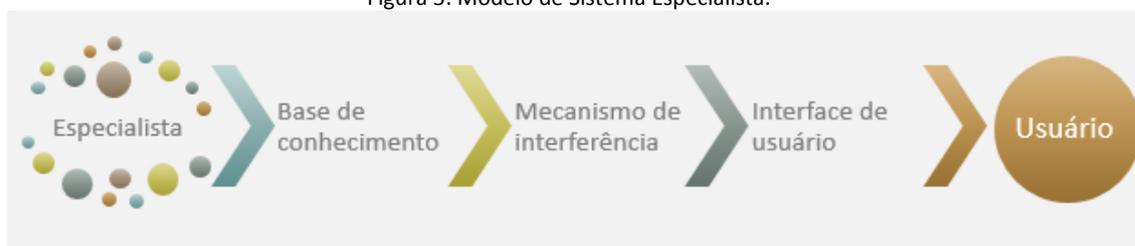
muito bem definida para evitar erros de parâmetros das variáveis utilizadas<sup>11</sup>.

Neste tipo de sistema é possível emitir uma decisão apoiada em conhecimento justificado, a partir de uma base de informações, da mesma forma que um especialista fará na sua prática. Também é possível inferir conclusões, pois é possível aprender novos conhecimentos para melhorar a lógica, para obter um melhor desempenho e a qualidade de suas decisões.

Os SE apresentam algumas classificações como: previsão a partir da modelagem de dados, este sistema permite uma determinada previsão do futuro por meio de uma base de conhecimento; interpretação, utilizado para descrever situações a partir da observação de fatos que fazem a análise de dados e procuram determinar as relações e seus significados; reparo desenvolvido para administrar reparos verificados na etapa de diagnósticos e monitoramento<sup>13</sup>.

A Figura 5 apresenta um modelo de sistema especialista, que justifica a necessidade de um especialista para podermos construir a base de conhecimento que será utilizada como mecanismo de interferência, ou seja, parâmetros e valores adequados conforme a utilização e a integração com o usuário.

Figura 5: Modelo de Sistema Especialista.



### Modelagem paramétrica

A modelagem paramétrica é uma subárea do desenho assistido por computador Computer-Aided Design (CAD) que trabalha com parâmetros. Embora toda a computação seja baseada em parâmetros, a modelagem paramétrica diferencia-se das demais por colocar ênfase na manipulação destes<sup>14</sup>.

Em qualquer sistema CAD 3D, o desenho de um prisma reto irá requerer a entrada de pelo menos três informações: o comprimento, a largura e a altura. Em um modelo paramétrico seria possível alterar a qualquer tempo estes valores, resultando no automático redesenho do prisma.

Muitos ambientes de desenho paramétricos são baseados em *constraint solvers*, que é um paradigma de programação em que as relações entre variáveis são expressas em formas de restrições e que pode ser definido também como programação de lógica de restrição. Estes modelos lidam com problemas de satisfação de restrições, que trabalham com um conjunto finito de variáveis, operando em domínios finitos, sendo que os valores que estas podem assumir ao mesmo tempo são delimitados por restrições geométricas<sup>15</sup>.

Para ilustrar a teoria descrita acima, propõe-se o problema de determinar a posição da ponta de um dos dedos da mão em relação ao cotovelo. A abertura e fechamento do dedo, bem como a

dobra e a rotação do pulso representaria os parâmetros. Além disso, estes parâmetros não podem assumir qualquer valor. A dobra do pulso, por exemplo, quando contraído em direção à parte interna do braço, alcança no máximo um ângulo de aproximados 90°. Esta limitação de valores possíveis equivale ao conceito de domínios finitos. A posição relativa da ponta dos dedos resulta da posição combinada de cada articulação em um dado momento. Este é o tipo de problema que os *constraint solvers* são capazes de simular.

Esses modelos chegaram ao mercado de aplicações CAD na década de 1980, implementados no programa Pro/Engineer e, nos dias de hoje, estão presentes na maioria dos principais sistemas CAD disponíveis<sup>16</sup>. A Figura 6 apresenta o resultado da utilização do *constraint solvers* na ferramenta Rhinoceros para a modelagem de uma forma orgânica. Geralmente essa técnica é aplicada tanto no estudo de alternativas de projetos para um mesmo objeto quanto na simulação de movimento de sistemas mecânicos.

## Resultados e Discussões

Para este projeto é necessário que o hardware possa se comunicar com o eletroestimulador e ao modelo 3D virtual do membro superior para executar as simulações da atividade elétrica do músculo conforme as pesquisas que serão realizadas.

O hardware que investigamos e que atende a proposta do projeto é o openEMSstim que é uma placa baseado no projeto Arduino Nano, capaz de modular a amplitude dos sinais de Electrical Muscle Stimulation (EMS). Este projeto também oferece o software com o protocolo de comunicação, capaz de se comunicar com smartphones e tablets por meio do Bluetooth e conexão serial (USB) com computador. O openEMSstim está registrado com licença X11, que é um tipo de licença de computadores elaborada pela Massachusetts Institute of Technology (MIT) e que é utilizada em software livre que permite a reutilização de softwares licenciados em programas livres ou proprietários, que concede permissão a qualquer pessoa que obtenha cópia do software ou arquivos associados do software, para utilizá-lo sem restrições como por exemplo, incluir recursos, direitos de uso, modificações, publicações, distribuições e dentre outras possibilidades<sup>17</sup>. A Figura 7 apresenta o diagrama da utilização do openEMSstim para o nosso projeto.

Para esta primeira etapa de desenvolvimento do modelo 3D do membro superior humano optamos pelo software de modelagem 3D Rhinoceros, que oferece em um dos seus plug-ins, ou seja, recursos extras, um conjunto de algoritmos generativos capazes de comunicar com o Arduino por meio da porta serial (USB). Desta forma pode-se realizar os inputs e outputs dos dados capazes de operar as ações e animações do membro superior humano a ser desenvolvido.

O Rhinoceros 3D é um programa CAD especializado na modelagem de geometrias baseadas em non-uniform rational basis spline (NURBS) o que permite a modelagem eficiente de formas orgânicas. O plug-in Grasshopper adiciona ao Rhinoceros um ambiente gráfico de implementação e manipulação de algoritmos com um constraint solver mais poderoso que o nativo, permitindo alteração de parâmetros e redesenho das formas em tempo real.

A modelagem do membro superior no Rhinoceros com o Grasshopper, pode resultar em um modelo de membros com formas orgânicas mais próxima do real que ao lado das técnicas do constraint solver poderá realizar a simulação do comportamento e a ação dos músculos. Se o músculo que controla o movimento do braço fosse contraído, o problema de satisfação de restrições faria com que o modelo do braço realizasse o movimento correspondente na tela do Rhinoceros.

Os sinais da placa Arduino poderão serem lidos pelo sistema através do plug-in Firefly, que permite a comunicação entre uma gama de dispositivos eletrônicos (Arduino entre outros) e o Grasshopper em tempo real.

A Figura 8 apresenta duas telas, (a) e (b), da modelagem esquemática de uma articulação de braço e antebraço. Os parâmetros apresentados na Tela (b) permitem configurar o tamanho das partes do membro e o movimento realizado nas articulações do ombro e cotovelo. O sistema calcula a posição relativa dos membros e o resultado é apresentado na Tela (a), onde o braço e antebraço estão esquematicamente representados pelos tubos em vermelho.

Na prática a modelagem esquemática permite configurar o tamanho virtual do membro superior que na Figura 8 é representado como duas retas vermelhas (Tela a) e o movimento das articulações são manipulados nos conectores (Tela b).

O comportamento do membro virtual deverá responder às variações da intensidade,

frequência, largura de pulso e ao modo de operação dos canais. Além disso, o simulador deverá reconhecer quando os eletrodos virtuais estão fora do ponto motor. Desta forma, o simulador deverá informar riscos de lesões para o membro e dificuldade de resposta devido à má colocação destes eletrodos.

O modelo proposto deve permitir as realizações de práticas de eletroestimulação muscular fora do ambiente ambulatorial e laboratorial. Deve permitir também que o estudante possa utilizar todos os valores possíveis oferecidos pelos parâmetros do eletroestimulador e sem risco para os voluntários. O membro virtual deverá ser capaz não só de apresentar o comportamento muscular em função do estímulo feito pelo

eletroestimulador, como deverá apresentar as possíveis lesões causadas por parâmetros mal dimensionados.

Para isto, o simulador deverá conter em seu banco de dados, os valores de referência para os limites terapeuticamente tolerados. Outro recurso que poderá ser implementado no simulador virtual é um gráfico de leitura que contém os valores dos parâmetros do eletroestimulador. A Tabela 1 representa o modelo de tabela de leitura dos dados do eletroestimulador que poderá ser implementado, nesta tabela consta a frequência da corrente em Hz, a largura do pulso elétrico a intensidade do pulso e uma classificação chamada de risco de lesão, caso seja realizado simulações com restrições de tempo de intensidade.

Figura 7 Diagrama da utilização do openEMSstim. Fonte: o Autor.

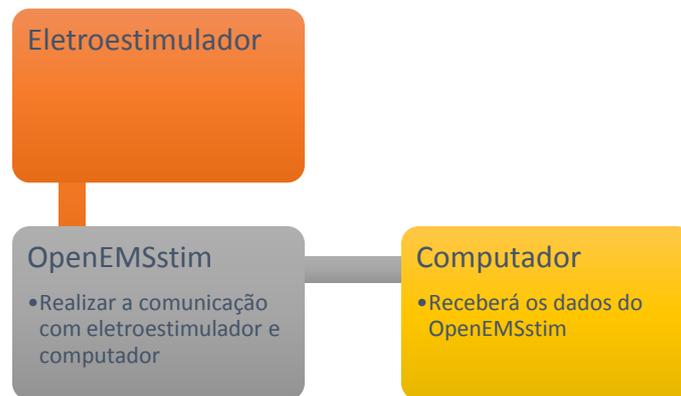


Figura 8 Diagrama da utilização do openEMSstim. Fonte: o Autor.

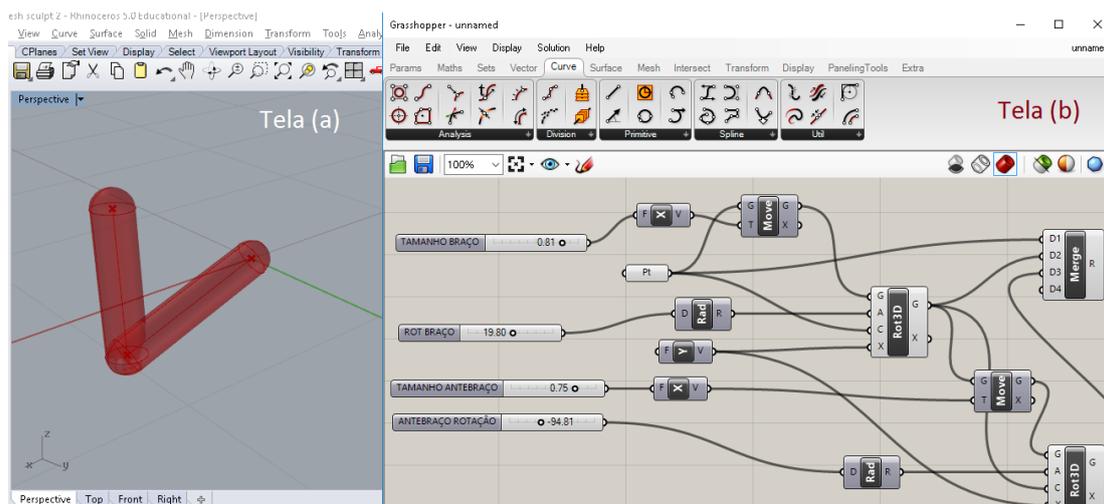


Tabela 1: Exemplo gráfico com os dados de leitura. Fonte Autor

LEITURA ATUAL DOS DADOS DO ELETROESTIMULADOR	
Frequência	0 Hz
Largura de Pulso	0 Us
Intensidade	0 Mamp
Risco de lesão	***

## Conclusões

O artigo apresenta uma proposta de um modelo conceitual para a simulação virtual de grupos musculares de um membro superior humano, capaz de responder aos estímulos de um eletroestimulador. Acredita-se que esta proposta pode contribuir com a eliminação de riscos de lesões provocadas por práticas em treinamento da eletroestimulação. Também com a capacidade adaptativa do modelo, que permite várias configurações, ampliando os grupos musculares bem como variações de correntes. Além da capacidade de apresentar respostas dos parâmetros de leitura no instante da ação das práticas.

## Agradecimentos

Queremos agradecer ao apoio financeiro da FAPESB para o desenvolvimento da pesquisa doutoral.

## Referências

1. Guyton, Arthur Clifton, John E. Hall, and Arthur C. Guyton. Tratado de fisiologia médica. Elsevier Brasil, 2011.
2. Magarão, Rodrigo Viana Quintas, Helio Penna Guimarães, and Renato Delascio Lopes. "Lesões por choque elétrico e por raios." Revista da Sociedade Brasileira de 9.4 (2011): 288-93.
3. Dantas, S. R. P. E., Bolonha, M. L. O., Pinto, A. G., & Jorge, S. A. (2009). Revisão 2. Revista Estima, 7(2).
4. Moreira, M. A. Caballero, and MC RODRÍGUEZ. "ML Aprendizagem significativa: um conceito subjacente." Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España (1997): 19-44.
5. Low, John, and Ann Reed. Eletroterapia explicada: princípios e prática. Manole, 2001.
6. Velloso J. B., 2005. Estimulador elétrico muscular programável. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação.
7. Doucet, Barbara M., Amy Lam, and Lisa Griffin. "Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function." Yale J Biol Med 85.2 (2012): 201-215.
8. Kitchen, Sheila, and S. A. R. A. H. Bazin. "Eletroterapia: prática baseada em evidências." São Paulo: Manole (2003).
9. de Kroon, Joke R., et al. "Relation between stimulation characteristics and clinical outcome in studies using electrical stimulation to improve motor control of the upper extremity in stroke." (2005).
10. Braga Disponível em < <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/m-eio-ambiente-e-saude/1734-ma023> > [Acesso 6 mar 2017].
11. Cunha, Horácio da, and Souza Ribeiro. "Introdução aos sistemas especialistas." Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora SA (1987).
12. Weiss, Sholom M. Guia prático para projetar sistemas especialistas. LTC, 1988.
13. Genaro, Sérgio. Sistemas especialistas; o conhecimento artificial. Livros Tecnicos e Científicos, 1986.
14. Dino, Ipek. "Creative design exploration by parametric generative systems in architecture." METU Journal of Faculty of Architecture 29.1 (2012): 207-224.
15. Bart, Roman. "Theory and practice of constraint propagation." (2001).
16. Hoffmann, Christoph M., and Robert Joan-Arinyo. "A brief on constraint solving." Computer-Aided Design and Applications 2.5 (2005): 655-663.
17. PLOPES Disponível em < <http://plop.es/org/ems/> > [Acesso 12 Jan 2017].

## Endereço para Correspondência

Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC  
Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã – Salvador (BA)  
CEP.: 41650-010  
e-mail [roberto@souzamonteiro.com](mailto:roberto@souzamonteiro.com)

---

Recebido em 26/01/2017  
Aprovado em 10/04/2017  
Publicado em 11/04/2017