

**JULIANA ARAÚJO GUIMARÃES**

**Responsividade aos parâmetros de eletroestimulação dos músculos paralisados para o ciclismo na paraplegia**

*Dissertação apresentada como exigência para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde da Universidade de Brasília.*

*Área de Concentração: Promoção, prevenção e intervenção em saúde.*

*Linha de Pesquisa: Saúde, Funcionalidade, Ocupação e Cuidado.*

*Orientador: Prof. Dr. Emerson Fachin Martins*

**BRASÍLIA  
2017**

**Responsividade aos parâmetros de eletroestimulação dos músculos paralisados para o ciclismo na paraplegia**

JULIANA ARAÚJO GUIMARÃES

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA E AVALIADA EM:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**NOTA:** \_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Emerson Fachin-Martins  
**Orientador**

---

Prof. Dr. Gérson Cipriano  
**Membro vinculado ao PPGCTS e professor da FCE/UnB**

---

Dra. Valéria Baldassin  
**Coordenadora das Áreas de Fisioterapia e Terapia Ocupacional e do setor de Bioengenharia da Rede SARAÍ de Hospitais de Reabilitação**

---

Araken dos S. Werneck Rodrigues  
**Membro suplente vinculado ao PPGCTS e professor da FCE/UnB**

**BRASÍLIA**  
**2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AG963" Araújo Guimarães, Juliana  
"Responsividade aos parâmetros de eletroestimulação dos  
músculos paralisados para o ciclismo na paraplegia" /  
Juliana Araújo Guimarães; orientador Emerson Fachin  
Martins. -- Brasília, 2017.  
66 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências e  
Tecnologias em Saúde) -- Universidade de Brasília, 2017.

1. Lesão Medular. 2. Estimulação Elétrica Nervosa  
Transcutânea. 3. Reabilitação . 4. Fisioterapia. 5. Ciclismo  
Assistido por Eletroestimulação. I. Fachin Martins, Emerson,  
orient. II. Título.

**DEDICATÓRIA**

A todas as pessoas que acreditam no poder de pequenas atitudes somadas para se atingir uma grande mudança.

## AGRADECIMENTOS

A todas as pessoas que conheci ao longo do caminho nestes dois anos de estudos e intensa aprendizagem. Todas contribuíram de alguma forma para que esse trabalho se concretizasse, dedicando seu tempo, aprendendo juntos, tendo paciência nos momentos mais difíceis e compreensão quando nos deparamos com nossos limites e falhas.

Ao meu orientador, que sempre esteve disposto a me auxiliar e me ensinou não apenas sobre a vida acadêmica, mas também me proporcionou uma visão diferente sobre a vida profissional e sobre formas de alcançar meu próprio crescimento pessoal.

Aos atletas participantes desse estudo, que acreditaram em mim e se voluntariaram a entender de forma concreta o objeto do meu estudo. Agradeço a confiança depositada nessa pesquisa e espero ter contribuído positivamente nas suas práticas esportivas e no bem-estar como um todo.

As instituições e parceiros que ofereceram suporte financeiro, técnico e operacional durante esse estudo: CAPES, CNPq, FAPDF, CETEFE, LARA.

Sou muito grata aos professores que compartilharam seus conhecimentos comigo, aos funcionários desse Programa de Pós-Graduação que proporcionaram resolução de problemas, operacionalização de todos os processos necessários e atendimento cordial e amigável aos alunos.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	III
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	IV
<b>SUMÁRIO</b> .....	V
<b>RELAÇÃO DE FIGURAS</b> .....	VII
<b>RELAÇÃO DE TABELAS</b> .....	IX
<b>RELAÇÃO DE ANEXOS E APÊNDICES</b> .....	X
<b>RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	XI
<b>RESUMO</b> .....	XII
<b>ABSTRACT</b> .....	XIV
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Objetivo</b> .....	<b>7</b>
2.1 Objetivo Geral.....	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
<b>3. Referencial Teórico</b> .....	<b>8</b>
3.1. Reflexões sobre os conceitos de saúde, condição de saúde e estado de saúde.....	8
3.2. Prática de esporte e contribuições para o estado de saúde.....	14
3.3. O estado de saúde de pessoas com lesão medular.....	16
3.4. Prática de esporte para pessoas com lesão medular.....	17
<b>4. Método</b> .....	<b>21</b>
4.1. Participantes.....	22
4.2. Fonte de dados.....	23
4.3. Preditores e Desfecho.....	25
4.4. Processamento dos dados e análise estatística.....	30
<b>5. Resultados</b> .....	<b>31</b>
<b>6. Discussão</b> .....	<b>36</b>
<b>7. Conclusão</b> .....	<b>46</b>
<b>8. Referências</b> .....	<b>48</b>

<b>ANEXOS E APÊNDICES.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO 1 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO 2 - Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para fins de pesquisa.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO 3 – Primeira página do artigo publicado.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO 4 – Aprovação do Comitê de Ética.....</b>	<b>63</b>
<b>APENDICE – .....</b>	<b>64</b>

## RELAÇÃO DE FIGURAS

**Figura 1** - Ilustração do campo elétrico gerado por eletrodos de superfície posicionados em região cutânea da coxa. P. 4.

**Figura 2** - Pensamento linear publicado em 1980 na Classificação Internacional das Deficiências, Incapacidades e Desvantagens (CIDID) que incorporou categorias que correspondiam as consequências duradouras das doenças, as chamadas deficiências, sequelas e outros aspectos negativos relacionados, como incapacidade e desvantagem. P. 11.

**Figura 3** - Esquema ilustrando o modelo integrador que descreve a funcionalidade humana (estado de saúde) segundo o modelo da organização taxonômica proposta na CIF. P. 12.

**Figura 4.** Imagem indicando o eletroestimulador Dualpex modelo 071 Quark® utilizado na execução do protocolo de identificação da responsividade por parâmetros pré-definidos de eletroestimulação. P. 24.

**Figura 5.** Descrição da escala de gradação de força muscular em teste manual conforme recomendação da *Medical Research Council* (MRC). P. 25.

**Figura 6.** Esquema ilustrando o delineamento do estudo de modelagem multivariada para prognóstico. P. 26

**Figura 7.** Fotografia ilustrando o momento do treinamento de progressão ( $T_{\text{PROGRESSÃO}}$ ) em que o músculo vasto lateral era ativado em conjunto como o músculo tibial anterior em contrações isométricas. P. 28.

**Figura 8.** Fotografias mostrando o posicionamento do participante e dos fisioterapeutas durante procedimentos para sentar-levantar com estimulação dos músculos glúteos e quadríceps. A fotografia da esquerda registrou o início na posição sentada e o final na posição em pé. P. 29.



**Figura 9.** Representação gráfica do risco relativo de responsividade estratificado pelo nível de lesão. P.34.

**Figura 10.** Proporção da amostra que apresentou contração muscular pelo menos grau 1/5 classificado pela *Medical Research Council Scale* ao longo das 16 sessões de eletroestimulação de quadríceps. É possível observar um aumento progressivo no grupo de responsivos. P. 35.

**Figura 11.** Imagens de Ressonância Magnética axial e sagital da coluna cervical demonstrando o comprometimento da mielite transversa em dois pacientes (A) e (B). P.42.

**Figura 12.** Controle autonômico do sistema cardiovascular. P.43.

**Figura 13.** Representação das variações anatômicas do ramo do nervo femoral, demonstrado na imagem pela sigla em inglês LFCN (*Lateral Femoral Cutaneous Nerve*). P. 44.

**Figura 14.** Ilustração das respostas motoras a eletroestimulação que podem ser esperadas acima, no nível de lesão e abaixo desse nível. P.45.

**RELAÇÃO DE TABELAS**

**Tabela 1.** Variáveis clínicas distribuídas entre participantes responsivos e não responsivos. P.33.

**RELAÇÃO DE ANEXOS E APÊNDICE**

<b>ANEXO 1.</b> Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	59
<b>ANEXO 2.</b> Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para fins de pesquisa.....	60
<b>ANEXO 3.</b> Primeira página do artigo publicado.....	61
<b>ANEXO 4.</b> Aprovação do Comitê de Ética.....	62
<b>APÊNDICE.</b> Dados dos participantes colhidos no estudo de responsividade a eletroestimulação de músculos paralisados por paraplegia.....	63

**RELAÇÃO DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

**AIS** – *American Spinal Injury Association Impairment Scale*

**ASIA** – *American Spinal Injury Association*

**CID** – Classificação Internacional de Doenças

**CIDID** - Classificação Internacional das Deficiências, Incapacidades e Desvantagens

**CIF** – Classificação Internacional de Funcionalidade

**EMS** – *Electrical Muscular Stimulation* (Estimulação Elétrica Muscular)

**FES** - *Functional Electrical Stimulation* (Estimulação Elétrica Funcional)

**FS/UnB** – Faculdade de Saúde da Universidade de Brasília

**ICIDH** - *International Classification of Impairment, Disabilities and Handicaps*

**IMC** – Índice de Massa Corporal

**MIF** – Medida de Independência Funcional

**MRC** – *Medical Research Council*

**NMES** – *Neuromuscular Electrical Stimulation* (Estimulação Elétrica Neuromuscular)

**NTAAI** - Núcleo de Tecnologia Assistiva, Acessibilidade e Inovação

**OMS** – Organização Mundial de Saúde

**PRISMA** - *Preferred Reported Items for Systematic Review and Meta-Analysis*

**SCRIBE** - *The Single-Case Reporting Guideline In Behavioural Interventions*

**TENS** – *Transcutaneous Electrical Neuromuscular Stimulation* (Estimulação Elétrica Neuromuscular Transcutânea)

**TRIPOD** - *Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis or Diagnosis*

**UnB** – Universidade de Brasília

## RESUMO

GUIMARÃES, J. A. Responsividade aos parâmetros de eletroestimulação dos músculos paralisados para o ciclismo na paraplegia. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde (PPGCTS), Faculdade de Ceilândia (FCE), Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2017.

**Introdução:** É imperativo o desenvolvimento de tecnologias assistivas que possibilitem a pessoas com lesão medular a realização de exercícios físicos em intensidade suficiente para prevenir complicações relacionadas a inatividade física e proporcionar modificações positivas no estado de saúde. **Objetivos:** Nesse sentido, este estudo observacional investigou a responsividade e características dessa responsividade à eletroestimulação por parâmetros pré-estabelecidos (comumente aplicados na prática da FES), reconhecendo assim alguns requisitos para a prática de ciclismo assistido por eletroestimulação. **Métodos:** Quatorze pessoas com lesão medular foram avaliadas quanto as possíveis variáveis preditoras de responsividade a eletroestimulação: fatores pessoais, aspectos relacionados à condição de saúde, características estruturais e funcionais, variáveis de estabilidade hemodinâmica, assim como atividade e participação. **Resultados e Discussão:** Observamos uma variedade de respostas (entre contração equivalente a grau 1/5 e grau 4/5 na escala MRC) relacionada aos diferentes níveis e completudes da lesão medular encontradas nessa amostra. O nível de lesão acima de T12 e a etiologia traumática seriam fatores preditores do sucesso da responsividade por parâmetros pré-definidos para a estimulação elétrica funcional. Ao acompanhar a responsividade à eletroestimulação em sessões repetidas para os participantes que não foram responsivos na sessão inicial, levantamos como características que poderiam favorecer tal responsividade: a preservação parcial das raízes periféricas abaixo do nível de lesão e a preservação de um nível de trofismo muscular que possibilite ainda a reorganização do aparato de excitação-contração. **Conclusão:** é possível que os pacientes classificados como não responsivos sejam falsos negativos em função do emprego de parâmetros inadequados. Recomendamos que estudos eletrodiagnósticos sejam utilizados para a eleição individual dos melhores parâmetros de eletroestimulação.

**Palavras-chave:** paraplegia, quadriplegia, estimulação elétrica nervosa transcutânea, reabilitação, fisioterapia.



**ABSTRACT**

GUIMARÃES, J. A. Study of responsiveness to electrical stimulation of paralyzed muscles in paraplegia. (Master). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde (PPGCTS), Faculdade de Ceilândia (FCE), Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brazil, 2017.

Muscular paralysis, autonomic alterations, and secondary complications from immobility make physical activity and sport a challenge for people with spinal cord injury. The few existing options are activities that require the upper limbs, often overwhelmed in everyday activities such as locomotion and transfers. Often the practice of the activity requires the use of equipment and specialized professional that, when available, usually have a high financial cost. In this context, people with spinal cord injury continues to be the most inactive part of society and, as a consequence, it presents lower life expectancy and high rates of early mortality due to cardiovascular and respiratory complications, as well as high rates of hospitalization. For these reasons, it is imperative to develop assistive technologies that enable people with spinal cord injury to perform physical exercises at sufficient intensity to prevent complications related to physical inactivity. And, in addition, provide positive changes in health status, based on the reflections on fundamental concepts to identify the well-being of a human being, based on the most current models of health care and classification of health-related information. This study has an observational methodological basis designed to meet each of the specific objectives set to achieve the general objective of this proposal, which was to investigate the responsiveness and characteristics of this responsiveness to the electrical stimulation by pre-established parameters (commonly applied in FES practice), recognizing thus some requirements for the practice of cycling assisted by electrostimulation. Fourteen people participated in the protocol in a sample predominantly formed by young adult women with spinal cord injury, living for more than two years with the condition of paraplegia. The patients were evaluated as the variables selected by us as possible predictors of electrostimulation responsiveness that were organized by: personal factors (age and gender); by aspects related to the health condition (chronicity, cause of injury, level and completeness of the injury); by structural and functional characteristics identified by the American Spinal Injury Association, known as ASIA Impairment Scale (AIS), as well as Body Mass Index (BMI), lower limb perimeters, thoracic circumference, of hemodynamic stability (blood pressure and

heart rate), as well as the activity and participation quantified by the amount of sports practiced and Functional Independence Measure. During the application of the protocol, we observed a variety of responses (between contractions sketches equivalents to grade 1/5 to stronger contractions, equivalent to grade 4/5 on the MRC scale) related to the different levels and complements of the spinal cord injury found in this sample. We found suggestive results that the level of injury above T12 and the traumatic etiology of the lesion would be factors that could predict the success of electrostimulation responsiveness by predefined parameters for functional electrical stimulation. When monitoring the responsiveness to electrostimulation in repeated sessions for participants who were not responsive to electrostimulation in the initial session, we pointed as characteristics that could favor such responsiveness: partial preservation of the peripheral roots below the level of injury and the preservation of a level of trophism muscle that allows the reorganization of the excitation-contraction apparatus.

**Keywords:** Paraplegia, quadriplegia, electrical stimulation, rehabilitation, physical therapy specialty.



## 1. INTRODUÇÃO

Embora não existam dados precisos sobre a prevalência de lesão medular no Brasil, em razão de não se tratar de agravo de notificação compulsória, é considerado um problema de saúde pública devido a incidência predominante em pessoas jovens em idade produtiva. Estima-se que por ano ocorram entre 10.4 e 83 novos casos por milhão de habitantes no mundo<sup>1</sup>

Agressão a qualquer estrutura contida no canal medular (medula, cone medular ou cauda equina) define o que conhecemos por lesão medular e resulta em interrupção da passagem de estímulos entre os centros superiores do sistema nervoso central e toda a região abaixo do nível da lesão, o que promove graus variáveis de paralisia dos músculos, perdas de sensibilidade e disfunções de ordem autonômica<sup>2</sup>.

A paralisia muscular decorrente dessa agressão impõe um estilo de vida menos ativo a pessoa que passa a conviver com a lesão medular, causando modificações nas estruturas abaixo do nível da lesão que são expressas principalmente por atrofia muscular<sup>3</sup> e por alteração na composição corporal que normalmente reduz a massa magra<sup>4</sup> e modifica a densidade mineral óssea<sup>5</sup>.

Essas alterações de estrutura cursam com prejuízos funcionais que também afetam o sistema cardiorrespiratório e vascular, notadamente manifestado como redução do débito cardíaco<sup>6</sup>, vasoplegia e modificação do diâmetro da artéria femoral comum<sup>7</sup>, comprometendo a capacidade de adaptação da pessoa com deficiência aos esforços demandados por atividades regulares ao longo do dia. Os fatores supracitados predisõem a um maior risco de desenvolvimento de doença cardiovasculares que constitui uma das principais causas da mortalidade em pessoas com lesão medular<sup>8</sup>.

As alterações destacadas neste texto em parâmetros que revelam características da estrutura e da função do corpo de pessoas com lesão medular somados aos fatores sociais e econômicos restringem sua participação social e limitam suas atividades<sup>9</sup>, uma vez que elas passam a conviver com deficiências físicas, sensoriais e autonômicas que comprometem, dentre outras atividades humanas, o engajamento em práticas esportivas e atividades gerais que requerem esforço físico aumentado em relação ao esforço despendido em atividades regulares<sup>10</sup>.

Soma-se à dificuldade de engajamento, a pouca disponibilidade de exercícios aeróbicos que, na população com paraplegia, passam a ser exclusivamente executados com os membros superiores<sup>11</sup>, uma das únicas opções que restam para pessoas que convivem agora com paralisia dos músculos em membros inferiores. Acrescido à gama reduzida de opções, os exercícios com os membros superiores, além de sobrecarregar articulações, dificilmente atingem intensidade suficiente de esforço para modificar parâmetros de estrutura e função corporal desejáveis de maneira a prevenir ou até mesmo reverter as complicações cardiovasculares secundárias ao imobilismo gerado pela paralisia muscular<sup>12</sup>.

Uma forma de aumentar as opções de exercício e o número de músculos envolvidos no esforço é a aplicação de estimulação elétrica funcional, do inglês *Functional Electrical Stimulation* (FES). Trata-se de uma modalidade de aplicação de correntes em contextos terapêuticos e assistenciais, em que um aparelho eletroestimulador transmite uma corrente aos músculos por meio de eletrodos de superfície e provoca a despolarização de unidades motoras diretamente conectadas aos músculos paralisados, produzindo uma contração artificialmente recrutada, porém metabolicamente ativa contextualizada em um recrutamento para realização de uma tarefa<sup>13</sup>.

Diferentes métodos de aplicação de corrente elétrica para modificar a atividade neuromuscular são descritos na literatura. Dentre eles destaca-se a Estimulação Elétrica Neuromuscular (NMES) do inglês *Neuromuscular Electrical Stimulation*, em que uma corrente é aplicada na superfície da pele sobre a inervação periférica intacta para deflagrar potenciais de ação e produzir contrações musculares. A principal diferença com relação a FES, consiste na aplicação, visto que a NMES é tradicionalmente empregada descontextualizado de uma tarefa, com finalidade de treinamento e condicionamento muscular eletricamente estimulados<sup>14</sup>.

Em caso de músculos desnervados e atrofiados a literatura científica tem ainda sugerido a aplicação de Estimulação Elétrica Muscular (EMS) do inglês *Electrical Muscular Stimulation*, em que o músculo é diretamente estimulado com altas larguras de pulso (>300ms) e altas intensidades de corrente para vencer a impedância da camada de gordura e tecido conectivo na estrutura muscular que perdeu sua inervação. Nessa

modalidade, indica-se o uso de eletrodos grandes para estimular o maior número possível de fibras musculares<sup>15</sup>.

Por sua vez, a Estimulação Elétrica Neuromuscular Transcutânea (TENS), do inglês *Transcutaneous Electrical Neuromuscular Stimulation*, emprega correntes com objetivo primário de produzir analgesia ou hipoalgesia, o que não impede a aplicação em condições não dolorosas, como fadiga e distúrbios do sono. Uma variedade de formatos de onda pode ser utilizada, com frequências tipicamente variando entre 1 e 100Hz e com as intensidades selecionadas de forma a produzir somente estimulação sensorial ou estimulação de vias aferentes combinada à estimulação motora (vias eferentes)<sup>16</sup>.

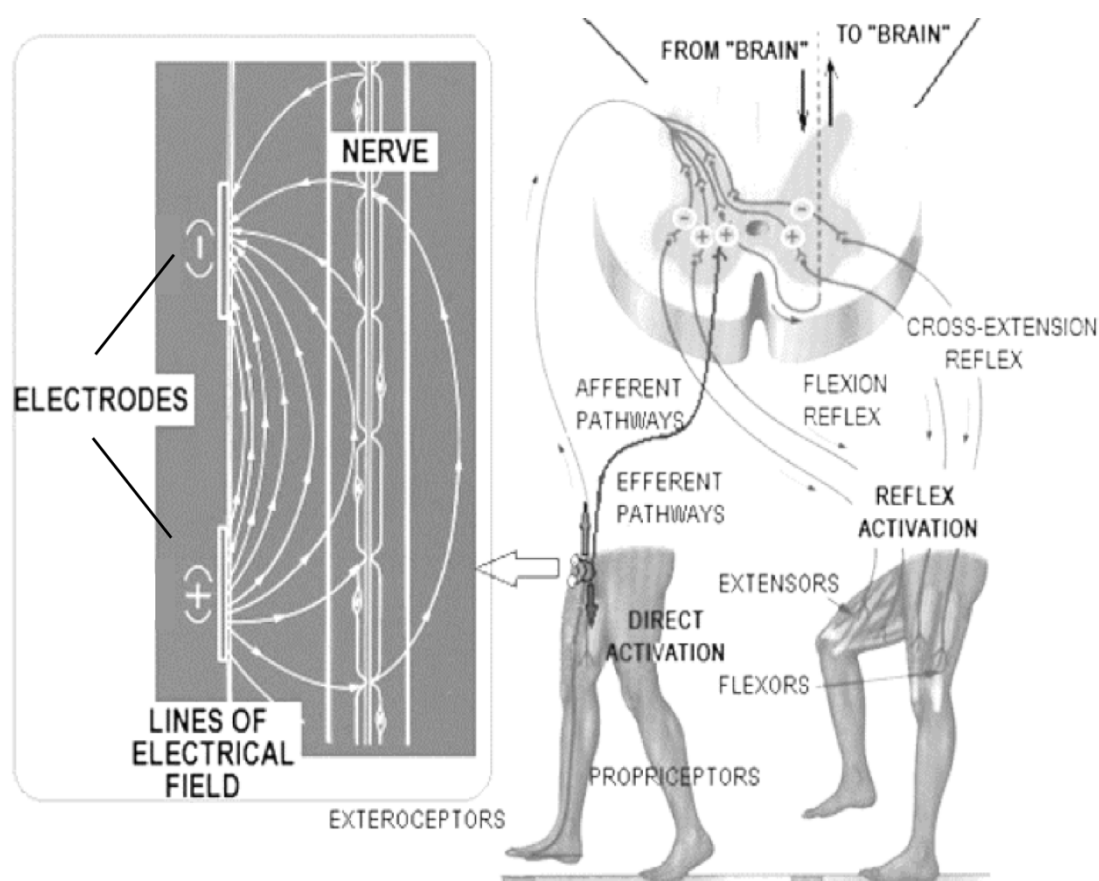
Uma vez brevemente explanado as principais modalidades de aplicação eletroterapêutica e como o objeto desse estudo reside no emprego de correntes elétricas para produzir contração artificialmente recrutada em contexto funcional (acionamento da pedalada em uma forma de ciclismo em triciclo adaptado), iremos melhor detalhar a aplicação da modalidade FES.

A principal vantagem da FES comumente relatada em periódicos científicos é a de promover movimento eletroestimulado em contextos funcionais reais e diretamente aplicáveis ao cotidiano de pessoas com músculos paralisados como, por exemplo, para produzir preensão manual e movimentos úteis para tarefas que empreguem os membros superiores de pessoas com tetraplegia<sup>17</sup>, bem como para acionar músculos paralisados em membros inferiores, proporcionando manutenção postural e deambulação bípede<sup>18,19,20</sup>

Em termos técnicos, a FES pode ser aplicada por meio de eletrodos de superfície, que são adequados para estimular grandes grupos musculares com inervação próxima a pele, sendo preferido para contextos terapêuticos<sup>21</sup> e uso domiciliar, uma vez que são seguros e fáceis de colocar ou remover, sem riscos relacionados à biocompatibilidade do material ou a contaminação por microorganismos<sup>22</sup>. Entretanto, algumas desvantagens da aplicação em superfície como: a pobre reprodutibilidade da contração devido a variabilidade de posicionamento dos eletrodos, a inconveniência de utilizar múltiplos eletrodos em uma forma de estimulação desconfortável caso o paciente tenha sensibilidade preservada; também devem ser consideradas. Em alguns

casos, os eletrodos de superfície podem provocar irritação da pele e fadiga precoce devido à alta demanda energética que deve ser acionada nos contextos funcionais<sup>23</sup>.

A figura 1 ilustra o campo elétrico gerado por eletrodos de superfície capaz de estimular vias aferentes e eferentes em inervação na região cutânea da coxa.



**Figura 1.** Ilustração do campo elétrico gerado por eletrodos de superfície posicionados em região cutânea da coxa<sup>21</sup>. Tradução: *nerve* – nervo, *electrodes* – eletrodos, *lines of electrical field* – linhas do campo elétrico, *exteroceptors* – exteroceptores, *from "brain"* – vindas do cérebro, *to brain* – indo para o cérebro, *cross-extension reflex* – reflexo de extensão cruzada, *afferent pathways* – vias aferentes, *efferent pathways* – vias eferentes, *flexion reflex* – reflexo de flexão, *reflex activation* – reflexo de ativação, *extensors* – extensores, *flexors* – flexores, *direct activation* – ativação direta e *proprioceptors* – proprioceptores.

As correntes para produzir FES promovem um contexto terapêutico e assistivo em que uma tarefa é facilitada por meio da coordenação entre os controles naturais (movimentos produzidos por recrutamento muscular voluntariamente acionado) e artificiais (movimentos produzidos por recrutamento muscular acionado pela estimulação elétrica). O emprego combinado de movimentos voluntários e eletroestimulados, ao ser praticado regularmente, parece ser bastante efetivo em

restaurar funções e melhorar a execução de atividades de vida diária<sup>21,24</sup>. Notadamente, para pessoas com lesão medular.

Essa coordenação de controles naturais e artificiais promoveria o envolvimento simultâneo e sequenciado de grupos musculares paralisados ou cujo recrutamento está parcialmente preservado aos grupos musculares íntegros (totalmente preservados), de tal forma que músculos do tronco e dos membros inferiores (paralisados) poderiam ser incluídos ativamente nos exercícios e atividades esportivas, possibilitando se atingir maiores níveis de intensidade na realização de atividade física<sup>13,25</sup>.

Apresentado o contexto promissor em que a eletroestimulação poderia proporcionar ao ser associada a sistemas com controle e automatismo da movimentação humana, a combinação de estimulação elétrica funcional à cicloergometria em diferentes contextos, sobretudo para propulsão do pedal de uma bicicleta por meio de força gerada pelos músculos paralisados, poderia ser uma alternativa de exercício aeróbico para prevenir as alterações decorrentes da instalação de lesão medular, além de permitir deslocamento urbano e atividades de lazer<sup>10,13</sup>.

Apesar dos reconhecidos benefícios dos exercícios realizados com eletroestimulação, nenhum estudo tratou diretamente sobre os possíveis fatores prognósticos de resposta a eletroestimulação em pessoas com lesão medular.

Partimos do pressuposto que nem todas as pessoas com lesão medular apresentam, na zona de preservação parcial e de perda, recrutamento muscular ativado por estimulação elétrica suficiente para a prática de ciclismo eletroestimulado. Nos estudos encontrados a responsividade era avaliada empiricamente por meio de um único teste, com posicionamento de eletrodos e parâmetros variando entre os estudos encontrados.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

Levantar requisitos preliminares para se propor um protocolo de treinamento para ciclismo com pedalada acionada pela eletroestimulação de músculos paralisados na lesão medular que seja estratégia complementar para a reabilitação, para a locomoção, para o lazer e para o esporte de pessoas com paraplegia em um sistema eletromecânico que permita a coordenação do controle natural (oriundo do recrutamento voluntário de grupos musculares na zona de preservação) com o controle artificial (gerado por automatismo que aciona por eletroestimulação grupos musculares paralisados nas zonas de preservação parcial e de perda).

### **2.2. Objetivos específicos**

Trata-se de uma pesquisa que inclui levantamento de requisitos cujo alcance do objetivo geral foi sequenciado pelos seguintes objetivos específicos:

- I. Explorar a responsividade à eletroestimulação com parâmetros pré-definidos de estimulação de grupos musculares nas zonas de preservação parcial e de perda em potenciais usuários de um produto assistivo a ser desenvolvido;
- II. Investigar se existem fatores que poderiam predizer a responsividade à eletroestimulação por parâmetros pré-definidos para a estimulação elétrica funcional;
- III. Acompanhar a responsividade à eletroestimulação em sessões repetidas levantando características que poderiam favorecer tal responsividade.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Estabelecemos um referencial teórico em quatro itens que parte de reflexões sobre conceitos fundamentais para se identificar o bem-estar de um ser humano, fundamentados nos modelos mais atuais de atenção em saúde e de classificação da informação relacionada à saúde.

Na sequência, descrevemos o esporte como opção em potencial para gerar bem-estar e promover saúde, criando um cenário teórico-conceitual para, em seguida, descrever o estado de saúde de pessoas com deficiência gerada pela lesão medular, finalizando tal reflexão por um apanhado sobre o que a literatura científica apresenta de evidências sobre a prática do esporte nessa condição de deficiência. Acreditamos que as informações discutidas a seguir formam o alicerce de sustentação do objeto de estudo dessa empreitada científica.

#### 3.1. Reflexões sobre os conceitos de saúde, condição de saúde e estado de saúde

Para melhor compreender a importância de intervenções e práticas que objetivam a promoção de saúde é importante revisar o histórico que fornece subsídios para se fundamentar e refletir os conceitos de saúde, condição de saúde e estado de saúde; uma vez que tais conceitos não são tão objetivos e diretamente observáveis como aparentam, sendo constantemente atualizados em função do contexto vivido por cada população e da evolução da atenção em saúde ao longo da história da humanidade<sup>26</sup>. Além disso, principalmente no universo de discussões do fisioterapeuta, a palavra funcionalidade tem sido deveras aplicada de forma corriqueira e pouco refletida no contexto de sua utilização, cabendo aos textos com rigor mais acadêmico e científico estabelecer as bases para o seu emprego.

A palavra saúde é proveniente do latim *sanitas* e refere-se, na sua origem, à integridade anatômica e funcional dos seres vivos que pode significar ausência de enfermidade ou ainda um estado de capacidade, energia, disposição e vigor físico/mental. Em outras palavras significa sentir-se bem ou pelo menos não se sentir mal de um ponto de vista biológico<sup>27</sup>. Apesar de descrever o que se pretende, o termo

saúde assume, no contexto atual, um significado diferente e que precisa ser pensado à luz dos modelos mais recentes que se propõem a estabelecer bases para a atenção à saúde.

Esse conceito terminológico e inicialmente dicotômico de saúde como ausência de doença foi concebido como tal até o século XX e, por vezes, ainda é utilizado para descrever e informar sobre a saúde dos indivíduos. Tanto que, a estruturação da CID (Classificação Internacional de Doenças), forma já evoluída da quase bicentenária lista de causa de morte, procurou organizar a informação relacionada à saúde focado na doença (patologia), na causa da doença (etiologia) e nos sinais/sintomas manifestados por decorrência da doença (sintomatologia)<sup>28</sup>, estudadas respectivamente nas ciências citadas entre parênteses; termos esses largamente aplicados erroneamente como sinônimos de doença, causa e sinais/sintomas pelos profissionais da saúde.

Apesar da CID representar uma evolução da lista de causa de morte, inicialmente pensada em um contexto em que estar saudável era não possuir uma doença fatal; os modelos ainda que focados na doença, permitiram se estabelecer parâmetros iniciais para um sistema de codificação internacional muito bem aplicável nas situações de hospitalização e consultas ambulatoriais, inclusive abrindo espaço para reflexões no âmbito da atenção básica em saúde, principalmente alicerçada no modelo de organização taxonômica idealizado para a classificação internacional mais recente: a CIF – Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde<sup>29</sup>.

A CID, dado ao seu enfoque no modelo técnico-assistencial biomédico, se limita a descrever o que convencionaremos chamar de condição de saúde, que é o termo genérico proposto no modelo biopsicossocial para englobar grupos populacionais que apresentam um estado definido pelas doenças agudas ou crônicas, perturbações, lesões ou traumatismos, além de outras circunstâncias que não possuem origem patológica como gravidez, estresse e envelhecimento<sup>29</sup>.

Somente após a Segunda Guerra Mundial, em 1948, refletido pelos movimentos sociais no pós-guerra, o conceito de saúde foi modificado para bem-estar além da ausência de doenças, expressando o direito a uma vida plena, sem privações e não somente dependente de integridade na estrutura e função do corpo biológico. O que foi traduzido pela OMS como: “[...] um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doença”<sup>30</sup>. Percebam que ao incluir o termo bem-estar



na definição de saúde, extrapolamos o que o termo saúde é capaz de expressar na sua origem terminológica, uma vez que bem-estar também inclui conceitos como educação, seguridade social, além de outros fatores relacionados aos direitos humanos.

Os avanços tecnológicos do pós-guerra, a responsabilização do Estado pela promoção da saúde e o estabelecimento de saúde como um direito dos cidadãos possibilitaram uma melhora também da qualidade de vida<sup>a</sup> da população, outro conceito que precisa ser mais bem aplicado por profissionais da saúde, o que se refletiu na erradicação e controles de doenças infectocontagiosas como a varíola e a malária e no aumento da expectativa de vida<sup>27</sup>.

A partir do momento em que as pessoas passaram a viver mais, principalmente para aquelas que apresentam alguma deficiência, outra preocupação assume a reflexão dos pensadores em saúde: não basta viver mais, é preciso também viver melhor e possuir a percepção disso (qualidade de vida). Assim, conhecer as causas de morte e as doenças mais frequentes, passou a não ser suficiente para o planejamento de ações em saúde, abrindo espaço para reflexões de cunho mais social e ampliando o conceito de saúde biológico para o biopsicossocial<sup>28</sup>.

As doenças crônicas e degenerativas se tornaram mais comuns, visto que os avanços científicos e tecnológicos garantiam uma maior sobrevivência da pessoa enferma. Saber o que acontece aos pacientes após o diagnóstico e quais as consequências advindas das doenças (deficiência/incapacidade) se tornaram alvo de preocupação. Visando responder às necessidades de se conhecer mais sobre as consequências das doenças, em 1976 a OMS – Organização Mundial da Saúde publicou a *International Classification of Impairment, Disabilities and Handicaps* (ICIDH), em caráter experimental. Traduzida para português como Classificação Internacional das Deficiências, Incapacidades e Desvantagens, a CIDID<sup>29</sup>.

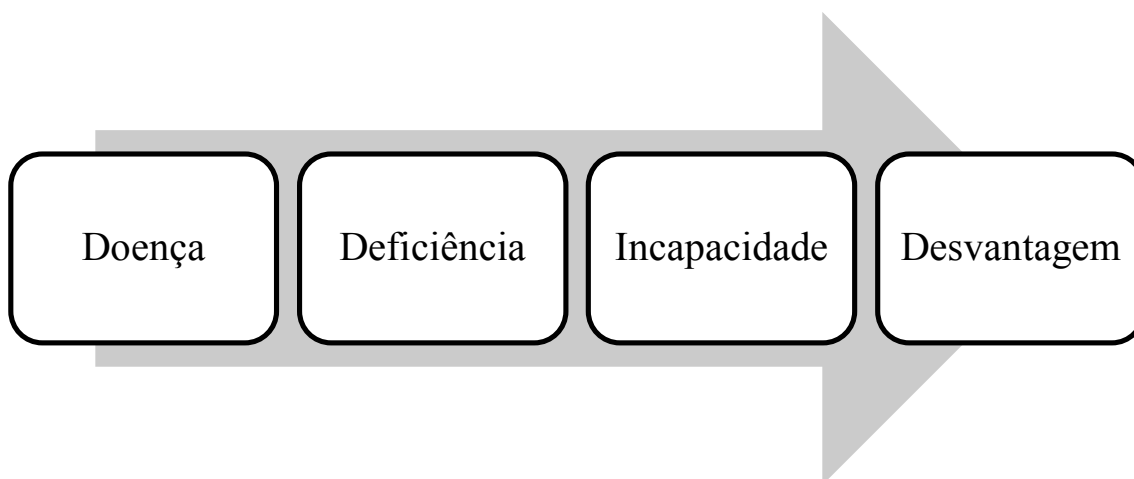
De acordo com esse marco conceitual, *impairment* (deficiência) é descrita como as anormalidades nos órgãos e sistemas (estruturas do corpo); enquanto *disability* (incapacidade) é caracterizada como as consequências da deficiência do ponto de vista do rendimento funcional, ou seja, nas funções do corpo. Nesse modelo, *handicap* (desvantagem) reflete a adaptação do indivíduo ao meio ambiente resultante da

---

<sup>a</sup> Qualidade de vida é definida pela Organização Mundial da Saúde como subjetiva, baseada na percepção humana, multidimensional e que inclui elementos de uma autoavaliação de elementos positivos e negativos do estado de saúde de uma pessoa.

deficiência e incapacidade, expressando limitações da atividade e restrições da participação em um ambiente que pode ser facilitador ou barreira para tais limitações e restrições<sup>28</sup>.

De acordo com o modelo de saúde-doença proposto para organizar a informação na CIDID, as condições decorrentes da doença (condição de saúde) poderiam ser explicadas de maneira linear conforme ilustrado na figura 2.



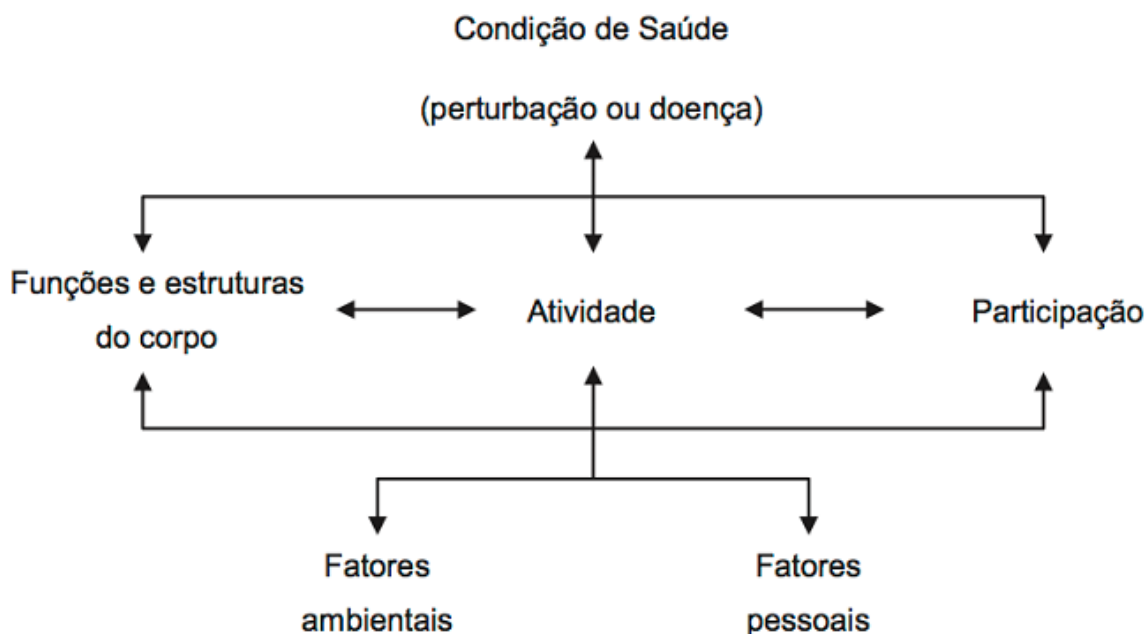
**Figura 2.** Modelo da estrutura de pensamento linear publicado em 1980 na Classificação Internacional das Deficiências, Incapacidades e Desvantagens (CIDID) que incorporou categorias que correspondiam as consequências duradouras das doenças, as chamadas deficiências, sequelas e outros aspectos negativos relacionados, como incapacidade e desvantagem.

Nesse contexto, deficiência e incapacidade, assim como os impactos gerados (desvantagens) ainda eram conceitos pouco definidos, que reforçavam os pontos negativos das consequências das doenças e não levavam em conta a influência de fatores ambientais, aspectos que dificultavam a promoção de saúde de pessoas com deficiência e também o estabelecimento de limites na concessão de benefícios sociais e promoção da equidade<sup>31</sup>.

O contexto descrito gerou a necessidade de se descrever a funcionalidade e a incapacidade relacionadas às distintas condições de saúde, identificando o que uma pessoa pode ou não fazer nas suas atividades de vida diária, mesmo possuindo uma condição de saúde definida por doença, tendo em vista as funções dos órgãos ou sistemas, bem como suas características estruturais, refletindo limitações de atividades e restrição da participação social no meio ambiente onde a pessoa vive<sup>28</sup>. Estava nascendo nesse contexto o conceito de estado de saúde.

Duas pessoas com a mesma doença (condição de saúde) podem ter diferentes níveis de funcionalidade (estado de saúde), e duas pessoas com a mesma funcionalidade não apresentam necessariamente a mesma condição de saúde. Nota-se que a palavra funcionalidade nesse modelo assume um sentido amplo (*lato sensu*) e um sentido estrito (*stricto sensu*): no sentido amplo, a palavra funcionalidade expressa o estado de saúde definido pelo balanço entre determinantes positivos e negativos desse estado, enquanto que, no sentido estrito, refere-se exclusivamente aos determinantes positivos do estado de saúde. Assim, ao utilizar o termo funcionalidade, é mandatório deixar muito claro o contexto no qual ele é empregado<sup>31</sup>.

Percebe-se também, na reflexão proposta, que a relação entre saúde e doença não pode ser descrita de forma linear como no modelo proposto na CIDID, mas sim multidirecional e multidimensional, uma vez que existem outros domínios que se inter-relacionam de forma dinâmica e bidirecional na determinação da funcionalidade individual<sup>30,31</sup>, o que chamaremos ao longo dessa dissertação de estado de saúde, para não incorreremos na imprecisão de utilizar o termo no seu sentido estrito. Assim, quando utilizarmos o termo funcionalidade, não restará dúvida ao leitor de se tratar do sentido estrito do uso.



**Figura 3.** Esquema ilustrando o modelo integrador que descreve a funcionalidade humana (estado de saúde) segundo o modelo da organização taxonômica proposta na CIF<sup>30</sup>.

Na reflexão proposta fica relativamente fácil compreender que a funcionalidade humana define o conceito de estado de saúde, cujas demandas individuais dentro de um determinado domínio sobre o bem-estar são dinâmicas e dependentes dos domínios relacionados ao estado de saúde (definido nos domínios das estruturas e funções corporais, da atividade e participação e dos fatores contextuais) de que fala o conceito de saúde<sup>29</sup>.

Após longo processo de revisão com intensa colaboração internacional que durou mais de uma década, a CIDID passou por profundas modificações, inclusive do nome da classificação e dos termos utilizados para descrever os estados de saúde, de forma a enfatizar os aspectos positivos, nunca anteriormente considerados em um sistema de classificação, e a promover descrições mais objetivas em saúde<sup>28</sup>, reservando a subjetividade para as discussões de qualidade de vida, visto se tratar de um conceito fundamentado na percepção humana.

A CIDID evoluiu de uma classificação de consequências das doenças para a CIF, uma classificação que mostra a dinâmica de contribuição positiva (funcionalidade, sentido estrito) e negativa (incapacidade) dos componentes da saúde que não são exclusivamente biológicos e possuem uma neutralidade, devendo por esse motivo serem qualificados. Tal avanço desloca o foco da doença para a saúde propriamente, pois consequências das doenças enfocam o impacto das doenças e o resultado delas, enquanto componentes de saúde definem o que constitui saúde<sup>30</sup>.

Ao se detalhar os componentes de saúde, percebe-se que aspectos negativos não são somente biológicos e podem também resultar de comprometimentos não focados no corpo, como quando observamos as barreiras presentes no ambiente. Nessa reflexão, não é mais o corpo que é deficiente, mas também o ambiente que é um obstáculo. Fundamentadas na reflexão aqui descrita, as intervenções que possam favorecer a atividade ilimitada e a participação irrestrita das pessoas com deficiência são planejamentos mais modernos e na vanguarda da assistência em saúde<sup>29</sup>. Assim, estratégias para desenvolver produtos assistivos como o proposto nessa dissertação são iniciativas muito desejadas no atual contexto assistencial.

### 3.2. Prática de esporte e contribuições para o estado de saúde

A atividade física e o esporte em níveis variados promovem benefícios as pessoas em todas as faixas etárias que podem ser descritos como melhora da aptidão física, da autoestima, da autoimagem, das relações pessoais e do equilíbrio emocional. Mesmo pessoas com grande comprometimento motor, como é o caso do público alvo dessa dissertação, podem praticar atividades físicas e esportes de forma adaptada ou ainda organizada em modalidades próprias, criadas especialmente para pessoas com determinada deficiência<sup>10</sup>.

A atividade física, o exercício físico e o esporte não podem ser considerados sinônimos, visto que definem práticas bem distintas. Assim, é relevante diferenciar cada uma dessas práticas para entender as contribuições na dinâmica de interferência no estado de saúde dos praticantes<sup>26</sup>.

A atividade física pode ser definida como qualquer movimento corporal, produzido pelos músculos esqueléticos que resulta em gasto energético maior do que os níveis de gasto observado no repouso, enquanto que o exercício físico seria um tipo de atividade física planejada, organizada e repetitiva que objetiva a manutenção e a melhoria de componentes de aptidão física<sup>32</sup>. Em outras palavras, o que diferencia o exercício físico da atividade física é a organização e a finalidade para a qual o exercício foi prescrito.

O esporte, por sua vez, é reconhecido como fenômeno sociocultural e a sua prática é considerada, no artigo 217 da Constituição Federal, como “direito de todos”, assim como a saúde. Ele está também ligado a cultura por meio do jogo e apresenta a competição como elemento essencial dessa prática. O esporte contribui ainda para a formação e aproximação dos seres humanos, reforçando valores como ética, moral, solidariedade, fraternidade e cooperação<sup>33,34</sup>.

A prática de esporte pode ser realizada de duas formas distintas: esporte de recreação e o esporte de alto rendimento. Esporte de alto rendimento é aquele que tem por objetivo o alcance do desempenho máximo, desafiando os próprios limites em busca de vitórias, recordes e em alguns casos com finalidades econômicas e/ou políticas. Na maioria das vezes, o esporte de alto rendimento também é atividade de trabalho e fonte de remuneração. Já o esporte de recreação tem como principal meta contribuir na

promoção do bem estar e do relacionamento interpessoal dos praticantes por intermédio de competições<sup>34</sup>.

Observada essa diferenciação entre a atividade física, o exercício físico e as formas de se praticar esportes, nota-se que a atividade física e o esporte de recreação, executados como forma de lazer podem atingir níveis não tão audaciosos e mais seguros para provocar modificação dos parâmetros do estado de saúde, pois não apresentam o desafio dos limites e a competição como aspectos motivacionais e desafiadores<sup>26,35</sup>. O esporte de alto rendimento por sua vez, mesmo que promova níveis excelentes para modificação dos parâmetros do estado de saúde, configura-se também como fonte geradora de risco, principalmente à estrutura e função do corpo que está sendo desafiado<sup>36</sup>.

A modificação positiva dos parâmetros do estado de saúde por meio da prática de esportes está disponível para todas as populações e expõe o praticante a um risco mais baixo de complicações advindas do imobilismo e uma chance mais alta de favorecer ganhos efetivos ao estado de saúde.

Dessa forma, o desenvolvimento de programas voltados a estimular a prática de esportes torna-se um importante recurso para inibir a instalação de fatores de risco que posteriormente viriam contribuir para o surgimento de disfunções crônicas degenerativas, mediante maior proteção contra problemas e distúrbios associados ao sedentarismo<sup>b</sup> e/ou imobilismo<sup>c34,37</sup>.

A população de pessoas com deficiência é a mais acometida pelas consequências do sedentarismo e/ou imobilismo, pois, em geral, necessita de alguma forma de equipamento para praticar esportes, exercício ou atividade física, ou ainda a dificuldade de acesso a centros esportivos, clínicas de reabilitação e locais onde podem praticar esportes com a supervisão profissional adequada.

A necessidade de equipamentos é ainda mais presente nos casos em que a pessoa com deficiência apresente aptidão física mínima, aquém da esperada para a prática do esporte desejado. Tal condição acarreta em elevação do risco de evento cardiovascular

---

<sup>b</sup> Pessoas sedentárias são definidas como aquelas que gastam menos que 10% de sua energia diária na performance de atividades de moderada e alta intensidade (pelo menos quatro vezes a taxa de metabolismo basal)<sup>111</sup>.

<sup>c</sup>Quando uma imobilização dura mais do que 15 dias e pode apresentar alterações sistêmicas irreversíveis, caso não tratadas corretamente<sup>112</sup>.

desencadeado pelo exercício, e, por conseguinte, pela necessidade de acompanhamento especializado para melhorar parâmetros do estado de saúde antes de iniciar a prática.

As tecnologias das mais distintas naturezas têm se configurado como estratégia complementar capaz de habilitar e reabilitar pessoas com deficiências às distintas demandas funcionais do cotidiano. Exemplos disso podem ser encontrados desde o primeiro uso de muletas e bengalas já registrado na humanidade até os mais recentes dispositivos robóticos. Na verdade, o desenvolvimento de tecnologias com o potencial de capacitar (tecnologia assistiva) vem crescendo muito nos últimos anos. Destaque no Brasil pode ser dado ao Plano Nacional dos Direitos da Pessoa com Deficiência - Viver sem Limite, que foi lançado no dia 17 de novembro de 2011 (Decreto Nº 7.612), com o objetivo de implementar novas iniciativas e intensificar ações que, atualmente, já são desenvolvidas pelo governo em benefício das pessoas com deficiência<sup>38</sup>.

### **3.3. O estado de saúde de pessoas com lesão medular**

Após sobreviver a um evento de lesão medular, o indivíduo experimenta o convívio com alterações em todos os domínios que determinam a nova condição de saúde e os níveis de estado de saúde, principalmente desencadeados pelo comprometimento das estruturas e funções corporais diretamente relacionadas ao nível da lesão na medula espinhal e aos segmentos corporais cujos componentes do sistema neuromuscular e osteomioarticular abaixo desse nível encontram-se comprometidos e com consequências indiretas a outros sistemas como já descrito (sistema cardiorrespiratório e vascular). Ainda, enfrenta limitações de atividade, restrições de participação e obstáculos pessoais e ambientais que urgem medidas assistenciais de alta complexidade<sup>39</sup>.

A estrutura da medula espinhal acometida por um dano que interromperá a comunicação entre os centros supraespinhais e os órgãos efetores (músculos e glândulas), cursa com paresia ou paralisia muscular e alterações hormonais<sup>40</sup>, além de perda da regulação do sistema nervoso autônomo, com prejuízo da homeostase<sup>41</sup>.

A paresia ou paralisia muscular impõe um estilo de vida mais sedentário, o que diminui os estresses mecânicos gerados sobre os ossos<sup>5</sup> e, somado as alterações

hormonais resultam na liberação de cálcio dos ossos para a corrente sanguínea com consequente perda de massa óssea e aumento do risco de fraturas<sup>42</sup>, agravam muito o estado geral de saúde da pessoa com lesão medular.

Em longo prazo, outras estruturas como os vasos sanguíneos e o miocárdio também sofrerão alterações com vasoplegia e hipotrofia. Essas alterações estruturais resultarão em diminuição da capacidade para tolerar esforços com impacto direto na execução de atividades de vida diária, no engajamento em atividades esportivas e na participação social<sup>43</sup>

A perda da regulação do sistema nervoso autônomo acarreta ainda em dificuldades no funcionamento do intestino e bexiga, bem como prejuízo na função sexual<sup>44</sup> que impactam negativamente na imagem corporal, gerando obstáculos à integração na sociedade e estresse psicossocial<sup>45</sup>. As alterações supracitadas das estruturas e funções corporais, bem como na atividade e participação após uma lesão medular podem ser minimizadas com a prática de exercícios físicos e esportes<sup>10,46</sup>.

As dificuldades de adaptação, somadas às alterações estruturais e funcionais deletérias e aos fatores contextuais de mobilidade limitada e acessibilidade inadequada nos ambientes profissional, de convivência social e de prática desportiva, promovem um contexto que desfavorece a participação da pessoa com deficiência e fomentam o status de inatividade pré-existente.

Dessa forma, um produto assistivo que possibilite uma opção de mobilidade e que seja adequado às necessidades de pessoas com deficiência poderia reduzir barreiras e aumentar a participação delas na prática esportiva. Tal contexto é objetivo a ser explorado nessa dissertação.

### **3.4. Prática de esporte para pessoas com lesão medular**

Antes do século 20, as pessoas com deficiência eram vistas frequentemente como indivíduos não produtivos pela sociedade e muitas vezes tinham como opção somente o abandono ou confinamento em seus lares. O conceito de sobrevivência do mais apto foi usado para justificar infanticídios e negligências ao longo da história<sup>47</sup>. O grande número de sobreviventes de guerras pareceu ter sido o maior motivador para



reformas sociais necessárias para adotar a criação de esportes organizados para pessoas com deficiência como um conceito<sup>47</sup>.

Programas formais de esportes para surdos foram desenvolvidos em 1888, em Berlin. Entretanto, esportes para aqueles com deficiências físicas só foram introduzidos durante a segunda guerra mundial na Inglaterra pelo Doutor Ludwig Guttman, o neurocirurgião e também diretor do programa de reabilitação para pessoas com lesão medular preconizava a utilização de esportes como parte do processo de recuperação, assim promovia competições esportivas entre os participantes engajados nos programas de reabilitação<sup>10,47</sup>.

Essas competições passaram a ter importância internacional quando a Alemanha trouxe um time para competir esses jogos. E, com o aumento da participação internacional, esses eventos passaram ao status olímpico e foram então denominados de Jogos Paralímpicos ou Paralimpíadas. A primeira Paralimpíada ocorreu em 1960, em Roma, e teve a participação de quatrocentos atletas com lesão medular vindos de 23 países que competiram em 8 modalidades esportivas<sup>44,47</sup>.

Tornou-se aparente a necessidade de incluir outros tipos de deficiência, então foi instituída a Organização Internacional de Esportes para Deficientes, em 1964, para incluir outros atletas além daqueles com lesão medular, como pessoas com deficiência visual, amputados e com outras limitações de mobilidade. Então, em 1976, ocorreram os primeiros jogos envolvendo múltiplos tipos de deficiência em um único evento competitivo<sup>48,49</sup>.

Nota-se que a prática organizada de esportes por pessoas com deficiência é um acontecimento relativamente recente, embora a prática de esportes seja reconhecidamente benéfica, desde muito tempo antes disso. Os efeitos na redução dos riscos de doenças cardiovasculares, câncer e outras causas menos frequentes de mortalidade precoce para todas as pessoas foram evidenciados em estudos epidemiológicos envolvendo população de pessoas com deficiência que praticam esporte<sup>47,50</sup>.

Para pessoas com lesão medular a prática do esporte assume um papel ainda mais essencial, pois possibilita a prevenção de complicações secundárias que são frequentemente incapacitantes<sup>51</sup>, mesmo assim, essa população continua entre os segmentos mais fisicamente inativos da sociedade<sup>52</sup>.

Ainda no processo de reabilitação, antes de retornar a comunidade, pessoas com lesão medular necessitam de suporte, informação sobre onde e como praticar o esporte, além do incentivo para encontrar a atividade esportiva que seja prazerosa, pois os esportes representam novos objetivos e desafios na continuidade do processo de reabilitação<sup>53</sup>.

A literatura demonstra que o engajamento em atividades esportivas está associado a uma melhor qualidade de vida e também a indicadores de integração social como capacidade de dirigir um carro e acesso a trabalho<sup>54</sup>. Além de que, pessoas com lesão medular que apresentam um perfil de vida mais ativo passam mais tempo participando de atividades sociais e cívicas na comunidade<sup>45</sup>. Além disso, o esporte pode ser fonte de renda e ocupação.

Os benefícios físicos e psicológicos da prática regular de exercícios físicos que promovam melhora e prevenção de riscos secundários a lesão medular dependem não apenas do tipo de exercício realizado, mas também do nível de intensidade, conforme relatado em pesquisa científica<sup>39</sup>. A participação em programas que incorporem exercícios físicos de alta intensidade comparados com de mais baixa intensidade tem mostrado melhores resultados em alívio de quadros álgicos e redução de fadiga, além de promover aumento da capacidade física<sup>55,56</sup>.

Depressão e ansiedade apresentam menores taxas de incidência entre pessoas com lesão medular que praticam exercícios físicos em frequência mais alta que 3 vezes por semana, quando comparados com aqueles que praticam em um nível mais baixo (2 vezes por semana ou menos)<sup>57</sup>.

Apesar dos benefícios da prática de esportes por pessoas com deficiências serem reconhecidos na literatura, bem como valorizados no senso comum, principalmente atestados pelo desempenho cada vez mais expressivo alcançado pelas equipes brasileiras nas parolimpíadas, as pessoas com lesão medular ainda enfrentam várias barreiras para participação e engajamento nessas atividades<sup>9,39,48</sup>.

As primeiras barreiras provêm da perda das funções corporais complexas, predominantemente motoras e sensoriais, mas também autonômicas como: desregulação vascular, dificuldade de manejo de intestino e bexiga, desregulação térmica e proteção da pele<sup>44,58</sup>. Existem ainda barreiras ambientais como a acessibilidade, custos

financeiros e desconhecimento sobre possibilidades de esportes para pessoas com deficiência<sup>32,44</sup>.

Outras barreiras identificadas são psicológicas e atitudinais, tais como: falta de suporte pessoal, motivação, medo de se lesionar e desconforto em socializar com pessoas sem lesão medular, fatores estes que podem reduzir as oportunidades para prática desportiva e dificultar o estabelecimento e manutenção de relacionamentos<sup>52,59</sup>.

Barreiras semelhantes foram identificadas em estudo realizado na Coréia do Sul, em que praticantes de esportes em clubes desportivos para pessoas com deficiência responderam a um questionário elaborado com base na CIF que apontou os aspectos facilitadores e as barreiras à participação em esportes<sup>44</sup>. Os participantes eram pessoas com lesão medular praticantes de Rugby, boliche e basquetebol adaptados. Eram 53 homens e 9 mulheres, 86% eram paraplégicos e 67% apresentavam lesão completa.

No domínio da função e estrutura corporal, as funções relacionadas ao movimento (alterações de tônus e déficits de força muscular), funções da bexiga e intestino, quadros dolorosos e úlceras por pressão foram as principais dificuldades enfrentadas na participação em esportes<sup>44,60</sup>.

Nos domínios de atividade e da participação, o uso do transporte público foi classificado como uma barreira, principalmente pela dificuldade de transportar o material desportivo necessário para a prática, enquanto possuir um carro próprio foi apontado como um facilitador<sup>44</sup>.

O fator econômico também foi apontado como uma barreira, dado que a lesão medular gera custos diretos (cuidados a saúde em longo prazo, adaptações, medicamentos e tecnologias assistivas), custos indiretos pela diminuição da capacidade de trabalho e empregabilidade além da dependência em algum nível de cuidadores. Esses fatores são agravantes barreiras a prática esportiva, principalmente devido à pouca oferta gratuita para a prática de esportes, aos custos dos equipamentos, do transporte e de viagens para participar de competições<sup>49</sup>.

A existência de pouco suporte profissional especializado para atender pessoas com deficiências também foi uma dificuldade levantada nos estudos. Por outro lado, as relações estabelecidas com familiares, com outras pessoas com deficiência e com amigos foram apontadas como um facilitador do engajamento em atividades esportivas e de socialização<sup>34,45</sup>.

É possível concluir que a socialização assume papel indispensável na qualidade de vida de pessoas com deficiência que praticam esporte, pois comparadas à população em geral, as pessoas com lesão medular apresentam menor tempo dedicado a atividades esportivas, lazer, vida sexual e atividades profissionais<sup>54</sup>.

Depois de identificados os benefícios, os riscos, os facilitadores e barreiras a participação de pessoas com lesão medular em esportes e a importância de promover uma prática acessível e segura; propomos a utilização de um produto assistivo que possibilite a propulsão de um triciclo adaptado por meio da eletroestimulação dos músculos paralisados. O ciclismo eletroestimulado pode ser uma opção de exercício físico que satisfaça as condições necessárias à manutenção de um estilo de vida mais ativa e saudável para pessoas com lesão medular.

#### **4. MÉTODO**

Este estudo possui base metodológica observacional e se configura como um estudo para identificar diagnóstico e prognóstico de responsividade (probabilidade de determinados fatores predizerem o desfecho de resposta à eletroestimulação em parâmetros normalmente aplicados na rotina da prática fisioterapêutica). Assim, seguimos as recomendações do *Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD)*<sup>61</sup> para delinear a pesquisa.

Nossa hipótese foi que fatores pessoais (idade, gênero e quantidade de esporte praticado), condição de saúde (cronicidade, natureza do dano, nível de lesão medular e completude da lesão), determinantes no domínio da estrutura e função do corpo, bem como da atividade e participação que foram identificados por instrumental clínico simples de análise; seriam variáveis que poderiam prever responsividade à eletroestimulação nos parâmetros pré-definidos e necessários para a prática do ciclismo assistido por eletroestimulação.

##### **4.1. Participantes**

Os participantes foram recrutados por meio de um evento aberto ao público organizado pelo Núcleo de Tecnologia Assistiva, Acessibilidade e Inovação (NTAAI) da Universidade de Brasília (UnB), destinado a estudantes, professores e pessoas com deficiência que utilizam tecnologia assistiva. A divulgação aconteceu por mídias eletrônicas e por comunicado verbal à comunidade.

O evento foi realizado no Auditório do Prédio UED, da Faculdade de Ceilândia, no Campus de Ceilândia da Universidade de Brasília. Nesse evento foram realizadas palestras e discussões sobre possibilidades de se desenvolver tecnologia assistiva que envolvessem eletroestimulação como mecanismo propulsor de dispositivos para locomoção e transferências assistidas.

Apresentamos então o projeto de desenvolvimento de um dispositivo para ciclismo cuja propulsão nos pedais seria dada pela eletroestimulação dos membros inferiores paralisados, quando expusemos os princípios fisiológicos da interação entre o corpo e o eletroestimulador, bem como os possíveis benefícios e riscos advindos do exercício com eletroestimulação.

Após os esclarecimentos e apresentação da proposta de pesquisa, 14 pessoas com lesão medular dentre os presentes ou que tomaram conhecimento após o evento, se mostraram interessadas em praticar a modalidade experimental dos esportes e se registraram para participar da pesquisa de responsividade a eletroestimulação, formalizando suas intenções pela assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (CAAE 50337215.1.0000.0030, aprovação número 1.413.934, Comitê de Ética da Faculdade de Ciências da Saúde – FS/UnB). Em seguida, os participantes foram convidados a comparecer em uma sessão para coletar informações iniciais sobre dados sociodemográficos e de características pessoais (gênero, idade e esportes praticados).

Os participantes elegíveis para o estudo foram adultos com lesão medular, sem osteoporose (comprovada por exame de densitometria óssea), sem lesões de pele ou escaras abertas e sem limitações de amplitude de movimento articular, interessados na prática de esportes. Não estabelecemos outros critérios de elegibilidade, pois objetivamos estudar as diferenças de responsividade apresentadas em uma amostra de conveniência dentre os que desejassem praticar a modalidade experimental

Foi realizado um teste de força muscular manual nos músculos chave abaixo do nível de lesão para verificar a presença de alguma função muscular residual. Apenas dois pacientes apresentaram força muscular menor que grau 2 em quadríceps e esboço de contração (grau 1) em outros grupos como adutores e iliopsoas. No entanto, essas pessoas não apresentavam densidade óssea segura para evoluir em posturas antigravitárias.

#### 4.2. Variáveis avaliadas

Os pacientes foram avaliados quanto as variáveis selecionadas por nós como possíveis preditoras de responsividade a eletroestimulação que foram organizadas por: fatores pessoais (idade e gênero); por aspectos relacionados à condição de saúde (cronicidade, causa da lesão, nível e completude da lesão); por características estruturais e funcionais identificadas pelos escores motores e sensoriais propostos pela *American Spinal Injury Association*, conhecido como *ASIA Impairment Scale (AIS)*<sup>62</sup>, bem como pelo Índice de Massa Corporal (IMC)<sup>63</sup>, pela perimetria de membros inferiores<sup>64</sup>, pela cirtometria torácica<sup>65</sup>, pelas variáveis de estabilidade hemodinâmica (pressão arterial<sup>66</sup> e frequência cardíaca<sup>67</sup>), assim como pela atividade e participação quantificadas pela quantidade de esportes praticados e Medida de Independência Funcional<sup>68</sup>.

Iniciou-se pelo exame neurológico padrão para lesão medular conforme preconizado pela ASIA<sup>62</sup> que foi seguido de anamnese e inspeção física para coletar as variáveis de estrutura e função descrita. A coleta para caracterização da amostra teve fim ao se proceder o recomendado para calcular a Medida de Independência Funcional (MIF)<sup>68</sup>. Além disso, foi realizado um exame de densitometria óssea para verificar o risco de fraturas durante a descarga de peso em membros inferiores na posição ortostática, tendo em vista que a maioria dos participantes apresentavam mais de um ano de lesão.

Finalizada a caracterização, a responsividade à eletroestimulação foi investigada por meio de um eletroestimulador de quatro canais (Dualpex 071 Quark®) identificado

na figura 4, que gera uma corrente em pulso bifásico retangular. Eletrodos autoadesivos retangulares de 5 por 9 cm foram posicionados nos pontos motores dos músculos<sup>d</sup>.



**Figura 4.** Imagem indicando o eletroestimulador Dualpex modelo 071 Quark® utilizado na execução do protocolo de identificação da responsividade por parâmetros pré-definidos de eletroestimulação.

O desfecho, responsividade a parâmetros pré-definidos de eletroestimulação, foi acompanhado pela resposta muscular gerada no grupamento muscular quadríceps, formado pelos músculos reto femoral, vasto lateral, vasto medial e vasto intermédio; com uma gradação de força muscular conforme preconizado pela *MRC Medical Research Council*, cujo grau máximo foi definido em 5/5 em uma escala iniciando em 0/5 (Figura 5). Assim, cada participante foi classificado como responsivo quando a força muscular foi classificada como graduação maior que zero (0/5).

O quadríceps foi elegido como o primeiro músculo a ser estimulado em razão da atividade fim desse protocolo de treinamento, que era a preparação de um piloto para um contexto de ciclismo eletroestimulado de membros inferiores, em que o quadríceps responde pela maior parte do ciclo da pedalada, sendo o motor primário durante a impulsão do triciclo.

Os parâmetros pré-definidos representaram eletroestimulação aplicada em um formato de onda com pulso retangular bifásico, cuja largura do pulso era de 500  $\mu$ s (microsegundos), em 50 Hz de frequência, sem rampas de subida e descida, sempre com intensidade 0 que era aumentada até a intensidade mínima para promover resposta

---

<sup>d</sup>Ponto motor é o nome dado à área sobre a pele que demonstra o menor limiar de intensidade à corrente elétrica que evoca a melhor resposta muscular<sup>69,113</sup>.

muscular diferente de 0/5. O eletroestimulador permitia se alcançar uma intensidade máxima de 69 mA (miliamperes).

Grau 0/5	•ausência de contração muscular
Grau 1/5	•Esboço de contração muscular
Grau 2/5	•o músculo consegue produzir movimento dentro da amplitude disponível quando a articulação está no plano coronal
Grau 3/5	•o músculo produz movimento contra a força da gravidade
Grau 4/5	•o músculo é capaz de vencer alguma resistência
Grau 5/5	•Força normal

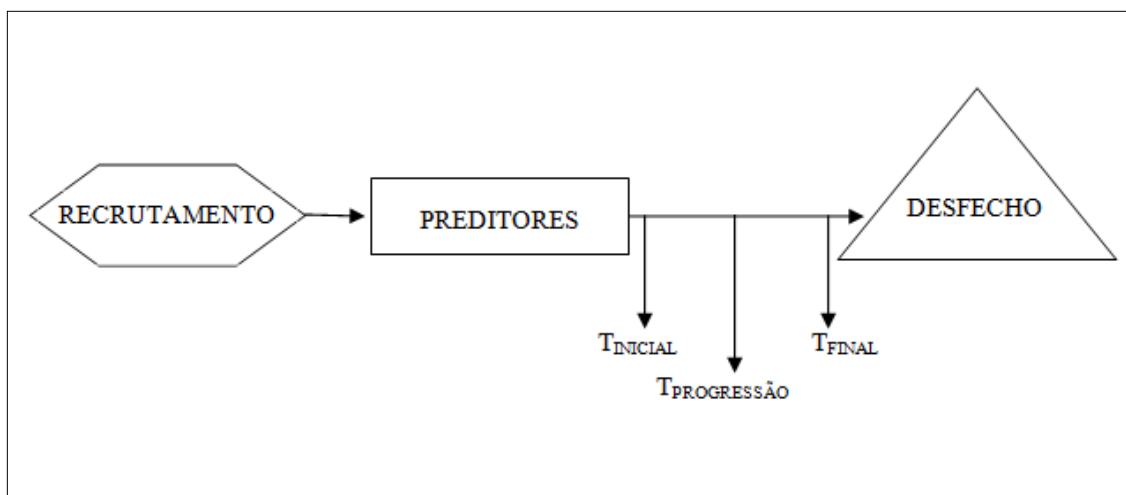
**Figura 5.** Descrição da escala de gradação de força muscular em teste manual conforme recomendação da *Medical Research Council* (MRC).

#### 4.3. Preditores e desfechos

Com base nas recomendações do TRIPOD, delineamos um estudo de modelagem multivariada de prognóstico para investigar quais dentre alguns fatores preditores acompanhados pelas variáveis selecionadas poderiam estar associados à responsividade à eletroestimulação por parâmetros pré-definidos para a prática do ciclismo eletroestimulado destinado às pessoas com lesão medular. Esse tipo de estudo assume uma equação matemática que relaciona múltiplos preditores para a probabilidade individual de risco para a presença de um desfecho em particular. No nosso caso, o desfecho seria responder ou não à eletroestimulação nos parâmetros mencionados.



Conforme esquematizado na figura 6, o registro de dados iniciou-se pelo recrutamento da amostra, que foi caracterizada quanto às variáveis preditoras antes de ser submetida ao protocolo de investigação da responsividade (desfecho) à eletroestimulação por parâmetros pré-definidos.



**Figura 6.** Esquema ilustrando o delineamento do estudo de modelagem multivariada para prognóstico. Um recrutamento inicial (hexágono) expõe uma amostra à medição de variáveis preditoras de interesse (retângulo), acompanhadas longitudinalmente à exposição de um protocolo para estudo da responsividade à eletroestimulação por parâmetros pré-definidos em treinamentos (T) sequenciais que se iniciam pela eletroestimulação em um único grupo muscular sem esforço antigravitário ( $T_{\text{INICIAL}}$ ), progredindo em protocolo com aumento gradual e progressivo do número de músculos envolvidos e do desafio antigravitacional ( $T_{\text{PROGRESSÃO}}$ ), até se alcançar condição de resposta à eletroestimulação necessária para acionar o pedal do ciclo ergômetro ( $T_{\text{FINAL}}$ ). O desfecho monitorado (triângulo) foi a responsividade à eletroestimulação com resposta mínima acima de 0/5 MRC (*Medical Research Council*).

O protocolo foi organizado para seguir etapas sequenciadas quanto aos músculos ativados (iniciado no grupamento muscular quadríceps, seguido dos isquiotibiais até os glúteos), quanto ao tipo de contração eletroestimulada (inicialmente isométrica progredindo para isotônica em progressão gradativa de força muscular gerada segundo a gradação da MRC) e quanto à sequência de posturas em que a resposta muscular era evocada (em posturas com menor para maior esforço antigravitário: decúbito, sentado e em pé).

Os participantes iniciaram o protocolo em diferentes momentos, devido a fatores de ordem pessoal, agendas diferenciadas de disponibilidade de horário decorrente do trabalho e também por dificuldades de deslocamento até o centro de treinamento: CETEFE<sup>®</sup> (Associação de Centro de Treinamento de Educação Física Especial). No entanto, todos realizaram o protocolo em sequência organizada por etapas de

treinamento inicial ( $T_{\text{INICIAL}}$ ), de treinamento de progressão ( $T_{\text{PROGRESSÃO}}$ ) e de treinamento final ( $T_{\text{FINAL}}$ ). Em todas as sessões a estimulação era interrompida ao fim de 30 minutos ou quando ocorria falha na resposta muscular, indicando fadiga.

O treinamento inicial ( $T_{\text{INICIAL}}$ ) dava início a primeira tentativa de identificação de resposta a eletroestimulação e habituação ao estímulo elétrico. Nele, identificava-se os pontos motores sobre a superfície cutânea que reveste o grupo muscular quadríceps. Assim, o posicionamento de eletrodos foi definido sobre a região cutânea em que a estimulação elétrica produziu a melhor contração graduada em 1/5 para a menor intensidade de corrente possível<sup>69</sup>.

O  $T_{\text{INICIAL}}$  era finalizado quando o participante apresentava resposta muscular com contração visível pelo menos grau 1/5 mantida por 10 minutos sem sinais de fadiga ou de disreflexia autonômica. Caso o participante não atingisse essa meta, ele permanecia em regime de  $T_{\text{INICIAL}}$  até alcançar a meta. Desta forma, a duração desse período era variável e determinada pela resposta muscular de cada paciente. Se, em 5 sessões a meta não fosse alcançada, o participante era classificado como não-responsivo a eletroestimulação. Embora classificado como não-responsivo, caso desejado pelo participante, era facultado permanecer no protocolo em que a aplicação da eletroestimulação pela parametrização do  $T_{\text{INICIAL}}$  seria continuada.

Na sequência, uma vez alcançada a meta do  $T_{\text{INICIAL}}$ , dava-se início ao treinamento de progressão ( $T_{\text{PROGRESSÃO}}$ ) que durava até 30 minutos. Quando a resposta muscular a estimulação elétrica do quadríceps atingisse grau 2/5, o procedimento de exploração da responsividade muscular também era realizada nos grupamentos isquiotibiais, tríceps sural e glúteos. Embora o foco desse protocolo fosse os músculos que compõem o quadríceps, isquiotibiais e glúteos, os músculos tibial anterior e tríceps sural foram também estimulados com a finalidade de obter benefícios terapêuticos adicionais como o efeito de “bomba muscular” no sistema circulatório e a melhora do trofismo da pele. Além disso, em determinadas sequências de postura, tais músculos eram ativados com a função sinérgica e estabilizadora da postura desejada.

Na sequência, aumentávamos gradualmente a intensidade de corrente até se alcançar contração muscular de intensidade grau 4/5 nos grupamentos musculares de interesse (quadríceps, isquiotibiais e glúteos). Apenas dois pacientes conseguiram atingir esse grau de força muscular e, conseqüentemente, dar continuidade ao

treinamento que passava para a postura sentada com contrações isométricas em uma cadeira extensora com os pés posicionados sob a haste de fixação do aparelho de forma que o joelho permanecesse em um ângulo de 90° de flexão conforme ilustrado na figura 7.



**Figura 7.** Fotografia ilustrando o momento do treinamento de progressão ( $T_{\text{PROGRESSÃO}}$ ) em que o músculo vasto lateral era ativado em conjunto como o músculo tibial anterior em contrações isométricas.

Na posição registrada na figura 7, o grupamento quadríceps era estimulado utilizando-se um ciclo de trabalho com tempo *on:off* na proporção de 1:3, sendo a duração do tempo *on* igual a 5 segundos, sem rampas de subida e descida, com duração total de 30 minutos. Os outros grupos musculares de membros inferiores continuaram a ser estimulados em outro momento no ambiente domiciliar dos pacientes mantendo os parâmetros usados até então. Importante ressaltar que, nessa fase do protocolo, o músculo tibial anterior foi estimulado em conjunto com o quadríceps apenas para proporcionar estabilidade à articulação talo-crural e prevenir lesões no pé e tornozelo durante a distribuição da força, não sendo o foco do trabalho de fortalecimento aqui apresentado.

Quando o paciente era capaz de manter a contração isométrica durante toda a sessão de 30 minutos, o ciclo de trabalho era modificado reduzindo-se o intervalo de

repouso entre as contrações, com o tempo *on:off* na proporção de 1:2 e mantidos o tempo *on* (contração isométrica) de 5 segundos e o tempo total de 30 minutos de sessão. Após se adaptar a esse novo ciclo de trabalho, novas progressões eram alcançadas, com tempo de repouso menor, de forma que o ciclo de trabalho *on:off* alcançasse a proporção de 1:1, mantendo assim, 5 segundos de contração isométrica e 5 segundos de repouso. O  $T_{\text{PROGRESSÃO}}$  era finalizado quando 30 minutos de estimulação eram tolerados sem a ocorrência de fadiga.

Atingida a meta do  $T_{\text{PROGRESSÃO}}$ , dava-se início a fase de treinamento final ( $T_{\text{FINAL}}$ ), que consistiu na introdução de exercícios de sentar-levantar envolvendo contrações musculares concêntricas e excêntricas com aumento do esforço antigravitário, conforme ilustrado na figura 8. Notem que nesse treinamento, os procedimentos eram realizados com auxílio de dois fisioterapeutas e com uma barra ajustada para que o paciente pudesse se apoiar e ir adequando equilíbrio e posicionamentos (estabilidade postural). Nessa etapa, os eletrodos encontravam-se posicionados nos pontos motores para ativação do quadríceps e glúteos, em intensidade da corrente que era aumentada até ser possível manter a posição ortostática com sustentação do próprio peso, durante 20 segundos.



**Figura 8.** Fotografias mostrando o posicionamento do participante e dos fisioterapeutas durante procedimentos para sentar-levantar com estimulação dos músculos glúteos e quadríceps. A fotografia da esquerda registrou o início na posição sentada e o final na posição em pé.

Na etapa indicada na figura 8, foi utilizado um ciclo de trabalho *on:off* de 1:3, com 20 segundos de contração, que envolviam 4 segundos de rampa de subida (contração concêntrica), 12 segundos de contração isométrica mantendo o paciente em posição ortostática e 4 segundos de rampa de descida (contração excêntrica) de volta à posição inicial.

Da mesma forma que observada na etapa de treinamento anterior, os outros grupos musculares de membros inferiores continuavam a ser estimulados pelo próprio paciente após treinamento e orientações em seu domicílio mantendo o ciclo de trabalho anteriormente citado. Quando os dois pacientes que atingiram essa fase do protocolo conseguiram realizar esse exercício por 30 minutos consecutivos sem fadiga, era determinado o fim do  $T_{FINAL}$ , quando o protocolo todo era finalizado.

#### 4.4. Processamento dos dados e análise estatística

Os dados gerados em todas as etapas delineadas foram agrupados em conjuntos de variáveis conforme a organização taxonômica e conceitual do modelo biopsicossocial em variáveis que informam: (1) fatores pessoais, (2) condição de saúde, (3) domínio da estrutura e função do corpo e (4) domínio da atividade e participação.

As variáveis foram inicialmente processadas conforme sua natureza quantitativa ou qualitativa para a amostra total e para os grupos de participantes responsivos ou não-responsivos à eletroestimulação em parâmetros pré-definidos. As variáveis quantitativas foram analisadas quanto ao tipo de distribuição para verificar se encontravam critérios para análises paramétricas (Gaussiana) ou não-paramétricas. O teste Shapiro-Wilk detectou que alguns grupos de variáveis passaram no teste de normalidade, porém predominaram as distribuições não-Gaussiana, motivo pelo qual se optou por estatística não-paramétrica de inferência estatística.

Sendo assim, as variáveis de natureza quantitativa foram apresentadas por mediana, como medida de tendência central, e pelos limites inferior (mínimo) e superior (máximo) do intervalo de confiança de 95% (IC 95%) da mediana, seguido pela

amplitude desse intervalo calculada pela diferença entre o limite superior e inferior do IC 95% da mediana, como medida de dispersão(mínimo -mediana- máximo, [IC 95%]).

Por sua vez, as variáveis qualitativas foram apresentadas em distribuição de frequência pelas respectivas classes de interesse para a amostra total e para os grupos de participantes responsivos e não-responsivos em valores absoluto (número de participantes do total da amostra) e relativo (porcentagem do número de participantes em relação ao total da amostra).

Para as variáveis qualitativas, a comparação entre os grupos responsivo e não-responsivo se deu pelo teste Exato de Fisher, considerando significativa a discrepância de proporções somente quando  $p < 0,05$ . Discrepâncias cujo valor de  $p$  variou entre 0,05 e 0,10 foram consideradas tendências de associação. As proporções com discrepâncias significativas ( $p < 0,05$ ) ou tendenciosas ( $0,05 < p < 0,10$ ) foram submetidas ao cálculo do risco relativo para indicar qual a probabilidade de uma entre duas classes de distribuição contribuir para a responsividade ou não-responsividade. Nesses casos, o valor do risco relativo e o IC 95% desse valor foram apresentados.

Dada a predominância de distribuições não-paramétricas nos grupos de análise, para as variáveis quantitativas, foi aplicado o teste Mann Whitney para identificar diferenças de medianas entre os grupos responsivos e não-responsivos, computando um valor de  $p$  exato, o qual leva em conta vínculos entre valores. Somente as comparações com valor de  $p < 0,05$  foram consideradas como apresentando diferenças significativas.

## 5. RESULTADOS

Participaram do protocolo quatorze pessoas (Tabela 1) em uma amostra predominantemente formada por mulheres adultas jovens com lesão medular, convivendo a mais de dois anos com a condição de paraplegia.

Os participantes apresentaram, no primeiro dia do início do protocolo, respostas musculares à eletroestimulação nos parâmetros definidos que variavam em todos os graus mensuráveis pela escala da MRC (desde ausência de resposta até valores acima de 3/5). Entretanto, mesmo aqueles que não apresentaram responsividade na primeira sessão continuaram seguindo o protocolo conforme descrito na seção MÉTODOS.

Como resultado dessas respostas diversificadas, identificamos no primeiro dia do T<sub>INICIAL</sub>, 8 participantes responsivos e 6 não-responsivos à eletroestimulação (Tabela 1).

Em termos de condição de saúde, a amostra foi composta por pessoas com lesão medular predominantemente de natureza traumática, classificada como completa (AIS A) e com nível torácico de lesão que as definiam predominantemente como pessoas com paraplegia.

Em termos do que medimos de estrutura e função do corpo, nossa amostra total refletiu valores de massa corporal que não representa sobrepeso, com circunferências nas regiões da coxa e perna simétricas entre os membros inferiores. As funções neurológicas motoras apresentaram pouca variação na amostra (apenas 1 escore de variação), bem diferente da variação observada para a função sensorial (54 escores de variação, tabela 1). Com tais funções neurológicas motoras e sensoriais, nossa amostra apresentou pouca variação de expansibilidade torácica mais apical, aumentando gradualmente a variação em níveis inferiores do tórax. O comportamento pressórico registrado na amostra em repouso permaneceu em níveis de normalidade, com uma frequência cardíaca amostral muito alta, segundo os valores de referência de pessoas sem lesão medular.

Das métricas de atividade e participação registradas, obtivemos uma amostra de pessoas praticantes de até quatro modalidades esportivas simultaneamente com uma medida de independência funcional acima de 100. Ao comparar os mesmos parâmetros para os grupos responsivos e não-responsivos subamostrados, poucas diferenças significativas foram detectadas. Somente o nível da lesão medular apresentou causalidade significativa para a responsividade à eletroestimulação.

Em termos da natureza do agente etiológico evidenciou completa ausência de participantes com lesão medular de origem infecciosa (mielite transversa) no grupo de participantes responsivos, mesmo que as proporções entre os grupos não tenham gerado uma discrepância significativa pela análise do teste exato de Fisher (destaque na tabela 1). Além disso, o grupo não-responsivo apresentou níveis de pressão arterial diastólica significativamente mais altos que a mediana do grupo responsivo (asterisco na tabela 1). Variáveis indicativas de cronicidade e atrofia muscular nos músculos paralisados que tínhamos como hipótese que iriam estabelecer relação de causalidade com a responsividade, não mostraram influenciar na definição dos grupos.



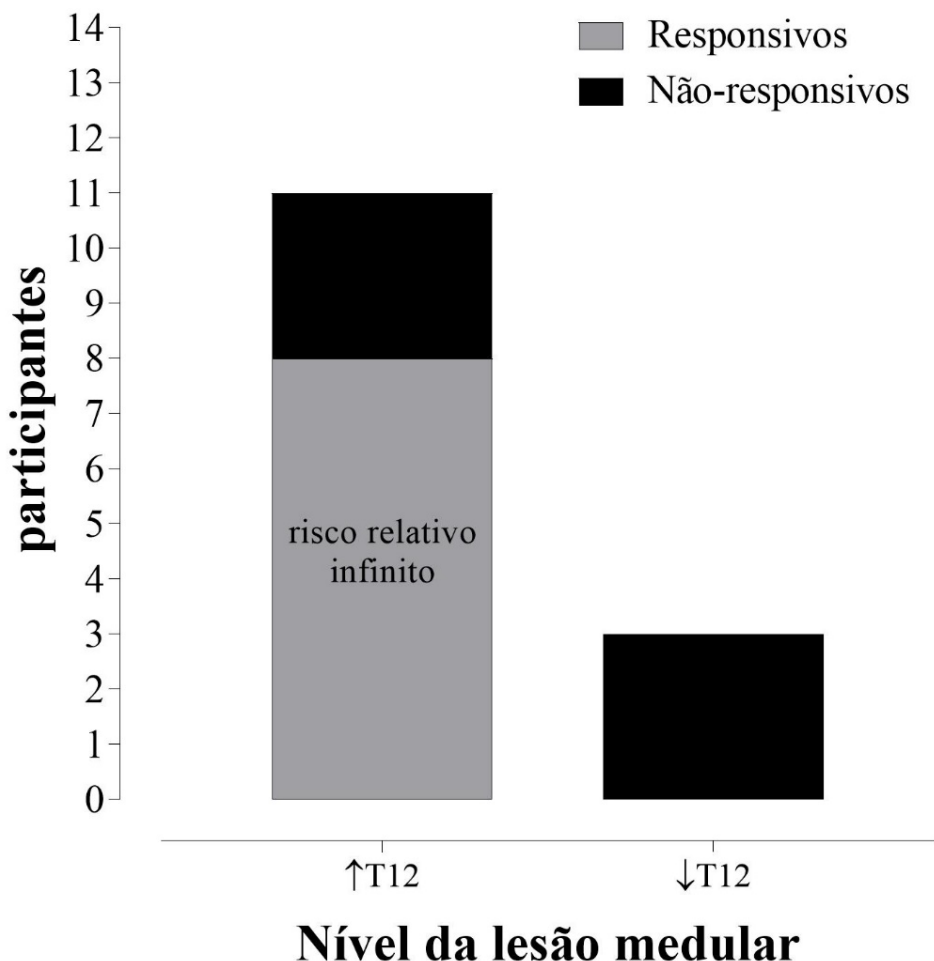


**Tabela 1.** Variáveis clínicas distribuídas entre participantes responsivos e não responsivos.

<i>Conjunto de variáveis relacionadas</i>							
Variável quanti/qualitativa	Valor medido (unidade) e classes de distribuição	Responsivos		Não-responsivos		Amostra	
Tamanho		8	57%	6	43%	14	100%
<i>Fatores pessoais</i>							
Idade	anos	23,0  32,5 47,0	[24,0]	28,0  29,0 56,0	[28,0]	29,0  32,0 41,0	[12,0]
Gênero	masculino	3	21%	2	14%	5	36%
	feminino	5	36%	4	29%	9	64%
<i>Condição de saúde</i>							
Cronicidade	anos	2,0  4,5 26,0	[24,0]	3,0  14,0 50,0	[47,0]	3,0  11,5 26,0	[23,0]
Dano por natureza da causa	traumática	8	57%	4	29%	12	86%
	infecciosa	0	0%	2	14%	2	14%
Nível da lesão medular	↑ T12	8	57%	3	21%	11	79%
	↓ T12	0	0%	3	21%	3	21%
Compleitude segundo AIS	A	5	36%	4	29%	9	64%
	B, C, D e E	3	21%	2	14%	5	36%
<i>Domínio da estrutura e função do corpo</i>							
IMC	kg/m <sup>2</sup>	18,3  23,2 32,8	[14,5]	19,0  24,3 27,8	[8,8]	19,1  24,1 27,3	[8,2]
Circunferências	Nível da coxa direita (cm)	40,0  48,0 53,0	[13,0]	32,0  39,5 56,0	[24,0]	40,0  49,0 53,0	[13,0]
	esquerda (cm)	36,0  46,5 53,0	[17,0]	31,0  50,7 60,0	[29,0]	40,0  49,0 53,0	[13,0]
	Nível da panturrilha direita (cm)	24,0  28,2 35,5	[11,5]	22,0  28,0 31,0	[9,0]	24,0  28,2 31,0	[7,0]
	esquerda (cm)	26,0  31,0 35,0	[9,0]	23,0  27,7 28,0	[5,0]	26,5  28,0 33,0	[6,5]
ASIA por subescores	Motor direito (soma)	15,0  25,0 27,0	[12,0]	25,0  25,5 26,0	[1,0]	25,0  25,0 26,0	[1,0]
	esquerdo (soma)	15,0  25,0 28,0	[13,0]	25,0  25,5 26,0	[1,0]	25,0  25,0 26,0	[1,0]
	Sensorial direito (soma)	15,0  29,5 80,0	[65,0]	22,0  56,5 78,0	[56,0]	22,0  36,0 76,0	[54,0]
	esquerdo (soma)	18,0  28,5 78,0	[60,0]	22,0  56,5 78,0	[56,0]	22,0  36,0 76,0	[54,0]
Expansão torácica	Nível axilar (cm)	4,0  6,0 8,0	[4,0]	4,0  4,5 6,0	[2,0]	4,0  5,5 6,0	[2,0]
	Nível do mamilo (cm)	2,  4,0 6,0	[4,0]	3,0  5,5 6,0	[3,0]	3,0  4,5 6,0	[3,0]
	Nível do processo xifóide (cm)	2,0  3,5 8,0	[6,0]	2,0  4,0 7,0	[5,0]	3,0  4,0 7,0	[4,0]
Estabilidade hemodinâmica	PAS em repouso (mmHg)	90,0  100,0 150,0	[60,0]	110,0  125,0 140,0	[30,0]*	95,0  110,0 130,0	[35,0]
	PAD em repouso (mmHg)	60,0  68,0 110,0	[50,0]	70,0  80,0 90,0	[20,0]	65,0  77,5 85,0	[20,0]
	FC em repouso (bpm)	173,0  187,5 197,0	[24,0]	164,0  191,0 192,0	[28,0]	179,0  188,0 191,0	[12,0]
<i>Domínio da atividade e participação</i>							
Esportes praticados	quantidade	0,0  2,0 3,0	[3,0]	2,0  2,5 4,0	[2,0]	1,0  2,0 3,0	[2,00]
MIF	escore total	70,0  112,0 118,0	[48,0]	101,0  114,5 119,0	[18,0]	101,0  114,0 117,0	[16,00]

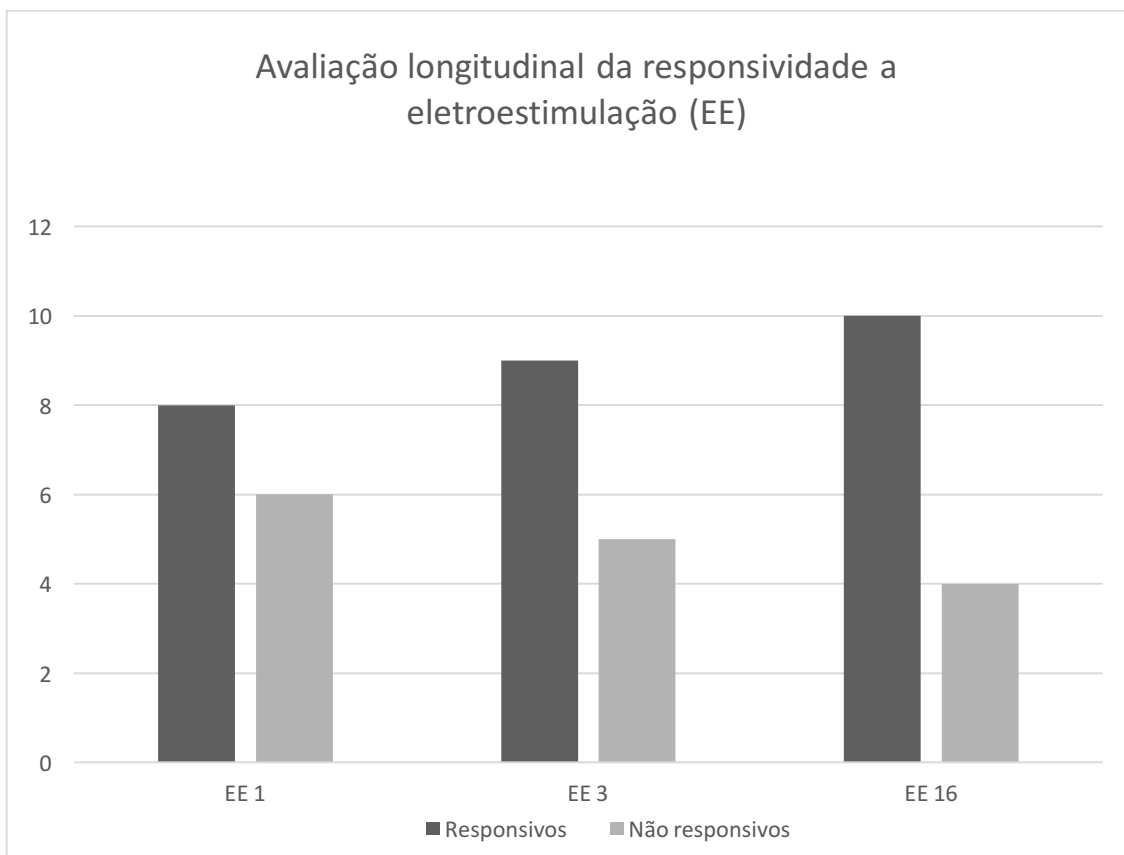
Variáveis clínicas distribuídas entre fatores pessoais, domínios de estrutura e função do corpo e atividade e participação. As variáveis quantitativas estão representadas por medianas entre os valores mínimos e máximos, acrescido do Intervalo de Confiança de 95% da mediana (mínimo |mediana| máximo, [IC95%]), considerando a distribuição não-Gaussiana detectada. As variáveis qualitativas são apresentadas em valores absolutos e relativos com frequências distribuídas por cada classe. Células com proporções discrepantes significativas ( $p < 0,05$ ) na comparação entre responsivos e não-responsivos foram destacadas com bordas tracejadas e intervalos significativamente diferentes na mesma comparação foram destacados por asterisco (\*).

Ao analisar a discrepância de proporções quanto a lesões medulares altas e baixas com relação ao nível T12, ficou claro que lesões altas possuem mais chances de contribuir para a responsividade à eletroestimulação, apresentando um risco relativo infinito (Figura 9).



**Figura 9.** Representação gráfica do risco relativo de responsividade estratificado pelo nível de lesão. O nível T12 foi o mais baixo nível que apresentou resposta a eletroestimulação. Todos os participantes responsivos apresentaram nível de lesão acima de T12.

A continuidade do protocolo, mesmo o participante não tendo respondido à eletroestimulação na primeira sessão, nos permitiu também perceber que nem todos os participantes manifestariam responsividade em uma única sessão, visto que dois participantes se tornaram responsivos na terceira e décima-sexta sessão de eletroestimulação conforme ilustrado pelo gráfico na figura 10.



**Figura 10.** Proporção da amostra que apresentou contração muscular pelo menos grau 1/5 classificado pela *Medical Research Council Scale* ao longo das 16 sessões de eletroestimulação de quadríceps. É possível observar um aumento progressivo no grupo de responsivos.

Ao final, apenas dois dos 14 participantes abandonaram o protocolo por motivos de saúde não relacionados à intervenção, como crises de lúpus e escaras abertas. Por essa razão e pela resposta à aplicação do protocolo, o número de sessões realizadas variou de 5 a 26 intervenções. A responsividade à eletroestimulação ao longo da aplicação do protocolo foi registrado e descrito conforme representação na figura 10. Outra informação a ser mencionada é que alguns pacientes que apresentaram responsividade inicial não puderam progredir nas fases do treinamento, em razão de fragilidade óssea, com elevado risco de fratura durante a descarga de peso e a imposição de sobrecarga aos ossos longos dos membros inferiores.

O participante com melhor responsividade conseguiu concluir a sequência de progressão no protocolo durante o período de 16 sessões e apresentou como desfecho final a capacidade de produzir uma contração muscular de quadríceps de grau 5/5 na

avaliação de força manual (MRC). Os sete demais participantes, também classificados com o desfecho de responsivos, concluíram estágios inferiores da sequência da progressão estabelecida no protocolo e em graus variados de graus de contração muscular de quadríceps até um mínimo de força grau 1/5 em resposta à eletroestimulação. Os outros seis participantes apresentaram resposta muscular 0/5 (ausência de contração muscular), sendo classificados com o desfecho de não-responsivos.

## 6. DISCUSSÃO

A presente pesquisa investigou a responsividade de pessoas com lesão medular à eletroestimulação em parâmetros pré-determinados para um protocolo de preparo para a prática do ciclismo com pedalada acionada por músculos paralisados ativado por eletroestimulação.

Na amostra estudada os gêneros apresentaram proporções discrepantes daquelas observadas na literatura, que relata uma predominância do sexo masculino sobre o feminino em uma proporção de até 5 homens para cada mulher<sup>70</sup>. Acreditamos que nossos resultados estão seguindo a nova tendência já apontada na literatura científica que relatou estar a lesão medular aumentando sua incidência nas mulheres com o passar dos anos, principalmente nas lesões de etiologia não-traumática<sup>71</sup>.

Esse achado incomum poderia ser relacionado a um viés de seleção ou ainda a atitudes culturais em que ainda as mulheres são maioria na busca por ajuda para resolver problemas de saúde e em geral se mostram mais preocupadas com aspectos preventivos<sup>72</sup>. Outro fator a se mencionar é que as mulheres, em geral, tendem a assumir os próprios cuidados com a saúde ou contam com a ajuda de um cuidador, enquanto os homens costumam receber esses cuidados de um membro da família ou cônjuge<sup>50</sup>. Tal fato propicia um perfil mais independente entre as mulheres para deslocar-se na busca por opções de tratamento e treinamento. Apesar das diferenças entre gêneros como densidade mineral óssea<sup>73</sup>, capacidade de desempenho muscular<sup>20</sup> e distribuição corporal de gordura<sup>74</sup>, nesse estudo esses fatores parecem não ter influenciado nas

diferenças de responsividade entre os subgrupos com proporções de gênero predominantemente feminino.

Apesar do declínio físico e psicológico mais acelerado durante o envelhecimento, quando comparado a pessoas saudáveis de mesma idade<sup>75</sup>, não encontramos nessa amostra que a idade seja um fator relacionado à responsividade para a eletroestimulação.

Sabe-se que em uma população de pessoas com lesão medular cujas lesões tiveram causas diferentes, nem todos serão responsivos aos parâmetros comumente utilizados de eletroestimulação. Observa-se, por exemplo, nas indicações clínicas para uso de FES a integridade do neurônio motor inferior como pré-requisito para a geração de contrações musculares<sup>76,77</sup>. Esse perfil de resposta a eletroestimulação é comumente observado nos estudos com pessoas cuja lesão medular situava-se em nível acima de T12, geralmente de causa traumática<sup>12,78-80</sup>. Nossos resultados reproduziram a obviedade de encontrar maior responsividade à eletroestimulação para aqueles que possuíam lesão acima de níveis que poderiam comprometer o cone medular e, conseqüentemente, o motoneurônio inferior que inerva os músculos de membros inferiores.

Antes de analisarmos os resultados, tínhamos por hipótese que o tempo de lesão (cronicidade) e seus efeitos (atrofias) poderiam influenciar na responsividade à eletroestimulação, uma vez que a literatura científica mostra evidências de que fatores antropométricos, como o IMC, podem influenciar nessa responsividade<sup>74,81</sup>. Na amostra avaliada, os sujeitos apresentaram um IMC considerado normal para o gênero, peso e altura. Esse é um achado inesperado, considerando a composição corporal encontrada em estudos similares, em que ocorre a redução do percentual de massa magra e alterações metabólicas que predispõem a sobrepeso e obesidade<sup>74,82</sup>. É provável que o perfil dessa amostra, constituída por praticantes de pelo menos três modalidades esportivas, justifique essa diferença.

Os grupos responsivo e não-responsivos apresentaram nível neurológico predominantemente mais alto (responsivos) ou mais baixos (não-responsivos), porém com pouca variação nos parâmetros neurológicos de função motora que pode ser justificado em razão da escala AIS avaliar esse parâmetro por meio da medida do escore

de força em 10 músculos-chave, cinco nos membros superiores e cinco nos membros inferiores<sup>62</sup>.

No tronco apenas a função sensorial é avaliada. Essa constatação, para uma amostra de participantes com paraplegia cujos níveis neurológicos são predominantemente torácicos e interferem no funcionamento do tronco, não avaliado pela escala, justifica os escores não detectarem variações que poderiam ter sido encontradas, caso músculos do tronco fossem avaliados. A análise da expansibilidade torácica que será discutida mais adiante mostrou um pouco mais essa diversidade de função muscular não detectada pela ASIA.

Por sua vez, a função sensorial mostrou maiores variações na amostra por grupo, pois os escores, neste caso, são contabilizados ao longo dos dermatômos inclusive de tronco, o que torna mais evidente as variações na função sensorial entre os níveis neurológicos torácicos<sup>40,62</sup>.

Estudos anteriores indicam que após a lesão, os pacientes são marcados por uma alta taxa de mortalidade<sup>1,83,84</sup>, devido à perda do controle supraespinal dos músculos respiratórios inervados por segmentos espinhais, situados abaixo do nível da lesão e que estes pacientes são caracterizados por uma diminuição da força inspiratória, volumes pulmonares e uma acentuada redução da força dos músculos expiratórios<sup>84,85</sup>.

A quantidade de controle muscular perdido depende do nível e completude da lesão. Pessoas com lesão abaixo de T12 usualmente não apresentam comprometimento da musculatura respiratória. Já nas lesões da região torácica entre (T1-T12) o controle dos músculos abdominais e intercostais é afetado. Lesões completas a nível cervical (entre C3-C5) geram perda completa inclusive do músculo diafragma. Acima de C3 geralmente esse indivíduo perde todo o controle da musculatura respiratória e se torna dependente de um ventilador mecânico para respirar<sup>41,86</sup>.

No nosso estudo, a variação dos níveis de lesão medular e as diferenças de comprometimento muscular de cada um poderia explicar as diferenças de expansibilidade torácica maiores em região basal pelas diferenças de comprometimento de diafragma, intercostais e abdominais. Por exemplo, nos pacientes com transecção traumática cervical inferior a caixa torácica e os músculos abdominais estão paralisados e o diafragma é o único músculo ativo durante a respiração em estado de repouso<sup>86,87</sup>. Com isso, o movimento da caixa torácica e abdômen se altera, tornando-se diferente do

padrão normal e, quando estes pacientes assumem a posição sentada (padrão para a realização do teste de expansibilidade torácica): durante a inspiração, enquanto o abdômen se expande, há um decréscimo no diâmetro ântero-posterior do terço superior da caixa torácica; em contraste, o terço inferior da caixa torácica se expande em fase com o abdômen, particularmente ao longo de seu diâmetro transversal<sup>84,88</sup>. Foi interessante notar, nos resultados da perimetria de expansão torácica, pouca variação mais apical (Tabela 1) a qual aumentava à medida que a perimetria era feita em níveis imediatamente inferiores, partindo de um IC95% de 2 no nível axilar para 4 no nível do processo xifoide (Tabela 1).

Nos pacientes com lesão mais baixa a atividade tônica dos abdominais promove um alongamento que previne o encurtamento excessivo do diafragma e que aumenta a sua habilidade de gerar pressão, ajudando a expandir a caixa torácica durante a fase inspiratória, enquanto diminui qualquer trabalho excessivo da musculatura inspiratória<sup>85,89</sup>. Esse fato poderia justificar uma maior variação de expansibilidade nos níveis medidos inferiormente (nível do processo xifóide) quando comparado aos níveis superiores (nível axilar).

Outro parâmetro que pensamos poder influenciar na expansibilidade foi a variação no tempo de lesão (cronicidade), porém este dado não deve ter influenciado nossos resultados, pois a literatura mostra uma estabilização dos parâmetros ventilatórios após três meses de lesão, e todos os pacientes tinham tempo de lesão maior que doze meses<sup>90</sup>.

Partindo para a função cardíaca, observamos na nossa amostra uma FC bem acima dos valores de referência para pessoas sem deficiência. Está bem estabelecida na literatura a associação entre frequência cardíaca de repouso elevada e maior risco de eventos e mortes de causa cardiovascular. Sabe-se que pode ter causa multifatorial, desde o inadequado preparo físico, até a interrupção do controle suprasegmentar do sistema nervoso autônomo<sup>8,36,43</sup>.

Neurônios pré-ganglionares simpáticos relacionados à regulação cardíaca são localizados nos níveis espinhais de T1-T4, quando ocorre comprometimento desses níveis a capacidade de regular a pressão arterial por meio da vasoconstrição e vasodilatação periférica está comprometida, então o mecanismo compensatório que ocorre em pessoas com lesão medular é a alteração da frequência cardíaca<sup>91,92</sup>.

Para compensar um quadro de hipotensão arterial pode ocorrer um aumento da frequência cardíaca de repouso, o que poderia explicar os valores anormalmente elevados, encontrados nesse estudo, quando comparados à população com sistema nervoso íntegro<sup>93,94</sup>.

A prática de esportes está associada ao aumento no status funcional e na qualidade de vida de pessoas com deficiência. Os autores salientam que a prática de atividade física regular previne doenças, promove a saúde e mantém a independência funcional<sup>78,95</sup>. As pessoas com lesão medular que mantêm uma atividade física regular são beneficiados não apenas em sua saúde física e emocional, mas também em sua funcionalidade geral<sup>96</sup>, o que pode ter sido refletido pelas pontuações acima de 100 obtidas na avaliação da independência funcional, medida pela escala MIF que avalia o impacto da lesão medular sobre as atividades de vida diária.

O nível de lesão abaixo de T12 foi um fator já esperado na determinação de não responsividade, em que a provável causa é que a atrofia muscular é intensificada quando a lesão atinge o neurônio motor inferior e esse quadro é complicado pela substituição das fibras musculares por tecido conectivo e por gordura<sup>97</sup>. Além disso, músculos desnervados em longo prazo sofrem uma desorganização do aparato excitação-contração, o que acarreta redução da excitabilidade das fibras musculares<sup>98</sup>. Entretanto, não observamos diferenças da perimetria de coxa e perna entre responsivos e não-responsivos.

Somente dois participantes apresentaram mudança de responsividade na terceira e décima sexta sessão de eletroestimulação (Figura 10). Somente para esses dois casos a aplicação de eletroestimulação poderia ter promovido essa tal reorganização do aparato excitação-contração<sup>4</sup>, possibilitando recuperação da excitabilidade das miofibrilas e o aumento de massa muscular por meio do aumento de tamanho das fibras musculares remanescentes ao processo de atrofia e a regeneração de novas miofibrilas<sup>98</sup>.

É possível ainda que a lesão sofrida por esses participantes tenha danificado apenas parcialmente os neurônios motores inferiores e, com a reorganização do complexo excitação-contração promovido pela eletroestimulação, foi possível visualizar uma contração muscular grau 1/5 ao insistir com a eletroestimulação.

Essa mudança no comportamento da responsividade pode indicar adaptações teciduais geradas pela passagem da corrente, como reorganização de fibras musculares e



modificações metabólicas ocasionadas pelo estímulo elétrico como as adaptações de miofibrilas atroficas<sup>3</sup> que foram restauradas após intervenções com FES. Essa evidência já foi demonstrada em estudos transversais e longitudinais realizados em pacientes com lesões completas no nível de cauda equina e cone medular. Tais estudos demonstraram que essas miofibrilas podem permanecer funcionais por longos períodos após uma desnervação irreversível<sup>98</sup>.

A hipótese de que a contração de grau 1/5 observada na 16ª sessão resultou da estimulação direta das fibras musculares é pouco provável, tendo em vista que, músculos denervados sofrem alterações mecânicas, elétricas e estruturais, que exige o uso de larguras de pulso maiores para serem ativados. Além disso, esse participante apresentava um grau de atrofia considerável devido a cronicidade de 5 anos de lesão.

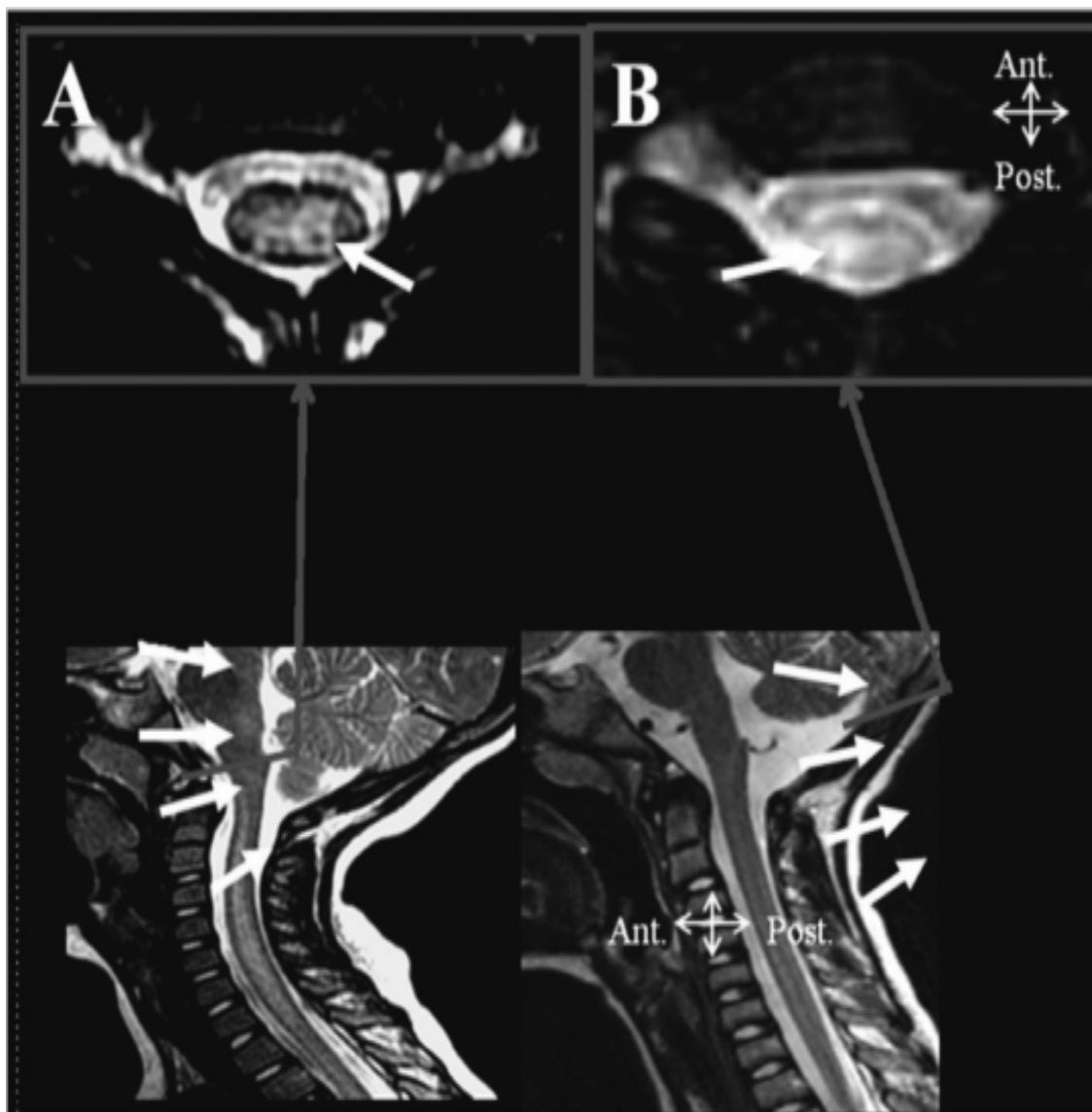
A literatura reforça esse argumento ao descrever os altos parâmetros necessários para que um estimulador seja capaz de ativar músculos desnervados via eletrodos de superfície. Para obter uma contração visível de um músculo nessas condições são necessários impulsos bifásicos de longa duração com uma largura de pulso entre 10 e 200 ms e amplitudes maiores que 80 V e 200 mA<sup>99</sup>.

Todos os argumentos citados nos permitem refletir que não existiriam pessoas com lesão medular não-responsivas à eletroestimulação, mas sim não-responsivas a parâmetros específicos de eletroestimulação, sugerindo a aplicação do eletrodiagnóstico de estímulo para identificar os parâmetros adequados<sup>100</sup>.

Foi possível observar ainda que a etiologia da lesão, apesar de não ter determinado relação de causalidade com a responsividade analisada nesse estudo, é sugestiva de ser um fator determinante na não-responsividade, mesmo para pessoas com níveis de lesão medular mais altos, como, por exemplo, a não-responsividade de um participante com nível T4 cuja lesão medular tinha origem infecciosa (causada por mielite transversa).

Sabe-se que a mielite transversa é uma desordem heterogênea da medula, de natureza multifatorial, podendo ser desencadeada após uma imunização, processo infeccioso, doença autoimune, neoplasia etc. Esse processo pode atingir um ou vários segmentos medulares com possibilidade de afetar a medula longitudinalmente e atingir os neurônios motores inferiores causando desmielinização e tornando esses indivíduos

irresponsivos<sup>40</sup> conforme podemos verificar na figura 11 que mostra o caráter difuso da lesão infecciosa que atinge vários níveis medulares simultaneamente.

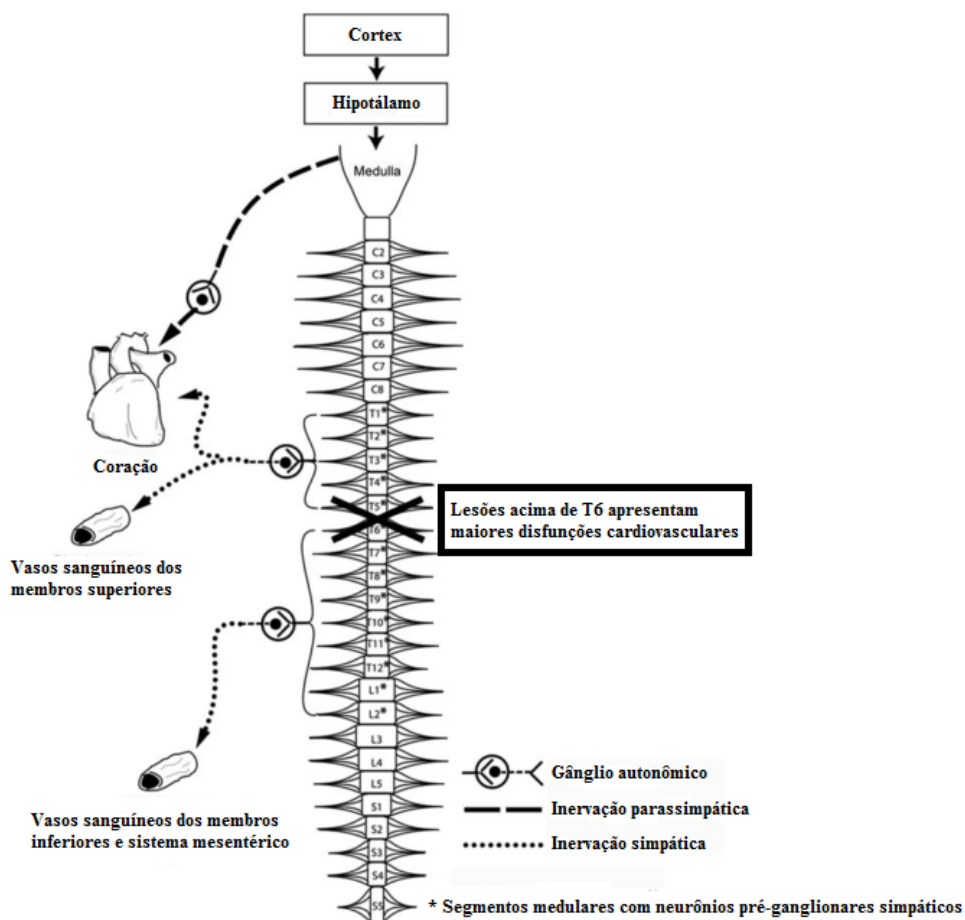


**Figura 11.** Imagens de Ressonância Magnética axial e sagital da coluna cervical demonstrando o comprometimento da mielite transversa em dois pacientes (A) e (B). No paciente (A) ocorre uma área de hipersinal em T2 e o comprometimento se estende de C2 a T1 (evidenciado pelas setas brancas). No paciente (B) o comprometimento é observado entre nos níveis C3 até C7<sup>101</sup>. Em ambos se observa um comprometimento longitudinal para além do nível da lesão.

Nossos resultados mostraram que os integrantes do grupo não-responsivo apresentaram valores mais altos de pressão arterial diastólica que aqueles que foram responsivos. Esses achados poderiam ser justificados pelo nível da lesão predominantemente abaixo de T12 e, portanto, menor comprometimento autonômico

em nível de sistema nervoso simpático, além de menor comprometimento motor e, portanto um estilo de vida mais ativo (Figura 12). O drive neural do sistema simpático somado a maior atividade motora dessas pessoas poderiam explicar em parte esses achados.

No entanto, não podemos desconsiderar fatores pessoais como hereditariedade, alimentação e hábitos de vida que podem contribuir também no aumento da pressão arterial.



**Figura 12.** Controle autonômico do sistema cardiovascular. As fibras pós-ganglionares se ligam diretamente com músculo liso no coração e nos vasos sanguíneos. As fibras pré-ganglionares parassimpáticas comunicam tronco encefálico através do nervo vago e fazem sinapse com neurônios parassimpáticos pós-ganglionares nos gânglios cardíacos.

A hipótese inicial era de que quanto maior a cronicidade, menor a chance de resposta a eletroestimulação, pois ocorre aumento do percentual de gordura e as propriedades estruturais e contráteis da musculatura são alteradas<sup>98</sup>, com diminuição

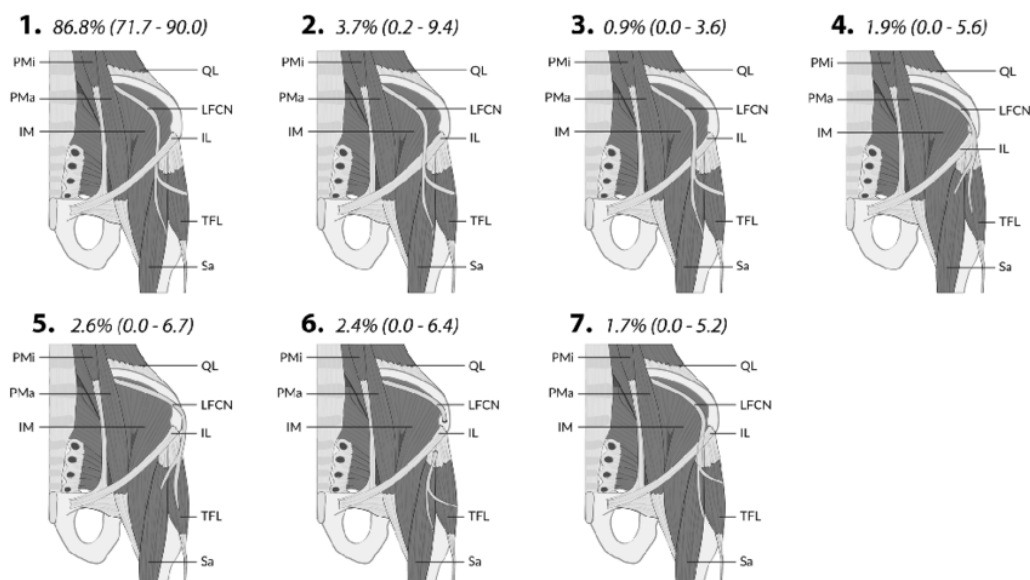
do tamanho das fibras em relação às fibras musculares acima do nível de lesão<sup>102</sup> e conversão de fibras tipo I em tipo II<sup>103</sup>, redução da quantidade de proteínas contrácteis e da área de secção transversa do músculo<sup>104</sup>, que pode limitar a capacidade de realizar contrações funcionais.

No entanto, como a contração muscular ocorre de forma indireta por meio da estimulação do nervo periférico e não do músculo, ainda é possível provocar resposta das fibras musculares remanescentes mesmo que com grau de força menor<sup>98</sup>.

Outro fator que pode ter influenciado a responsividade dos participantes foi a utilização de eletrodos autoadesivos de superfície, que foram posicionados da mesma forma ao longo de todas as sessões sobre o músculo em localizações que utilizaram pontos anatômicos como referência.

Esses eletrodos estimulam predominantemente as unidades motoras localizadas abaixo deles. E, podem possibilitar melhores respostas quando localizados sobre o trajeto de nervos periféricos mais superficiais, o que propicia uma contração muscular mais uniforme que se aproxima mais da contração gerada fisiologicamente<sup>105</sup>.

No entanto, é importante considerar que os trajetos dos nervos periféricos frequentemente apresentam variações anatômicas<sup>106</sup>, com diferentes configurações de distribuição de suas ramificações pelo músculo. Se um eletrodo é posicionado de forma a estimular esse nervo periférico diretamente a resposta a eletroestimulação é favorecida e uma contração muscular visível é obtida mais facilmente. No plexo lombar é possível, por exemplo, encontrar variações anatômicas nos nervos ciático e femoral. Uma ilustração das possíveis variações anatômicas do nervo femoral é apresentada abaixo na figura 13.



**Figura 13.** Representação das variações anômicas do ramo do nervo femoral, demonstrado na imagem pela sigla em inglês LFCN (*Lateral Femoral Cutaneous Nerve*).

O nível de lesão mostrou relação de causalidade na determinação da responsividade, sendo T12 o último nível (vertebral) de lesão com resposta a estimulação. Em geral, a medula de um indivíduo adulto termina no cone medular que normalmente é situado em nível da vértebra L1, mas em alguns indivíduos esse limite anatômico da medula pode chegar ao nível da vértebra L2<sup>1</sup>, o que poderia explicar a responsividade desse participante na 16ª sessão.

É importante ressaltar a diferença de crescimento entre a coluna vertebral e a medula espinhal, que faz com que no adulto, as vértebras T11 e T12 correspondam aos segmentos lombares. Para sabermos qual nível da medula cada vértebra corresponde, temos a seguinte regra: entre os níveis C2 e T10, adicionamos o número dois ao processo espinhoso da vértebra e se tem o segmento medular subjacente. Aos processos espinhosos de T11 e T12 correspondem os cinco segmentos lombares, enquanto ao processo espinhoso de L1 corresponde aos cinco segmentos sacrais<sup>107</sup>.

A responsividade abaixo do nível T12 ainda é possível (ainda que menos expressiva) nos casos de lesão parcial dos neurônios motores inferiores, como nas lesões medulares classificadas como ASIA “C” e “D”.

O comportamento da responsividade a eletroestimulação varia no mesmo indivíduo conforme os níveis estimulados. Nas regiões acima da lesão a resposta encontrada será normal devido à integridade das vias neurais. Na região inervada pelo

nível acometido pela lesão a resposta poderá ser inexistente em razão da destruição desses neurônios motores inferiores. Nas regiões inervadas pelas raízes nervosas imediatamente inferiores à lesão é esperada uma resposta muscular fraca em decorrência do comprometimento parcial das raízes nervosas. Nos níveis mais caudais a lesão é esperada uma resposta com contração muscular mais forte, tendo em vista a preservação dos neurônios motores inferiores<sup>21,78</sup>. A ilustração desse comportamento está apresentada na figura 14:

Zone		Atividade Muscular	Estimulação Elétrica
1	Normal	Atividade voluntária NMS intacto Reflexos intactos	Forte
2	Denervado	Atividade muscular voluntária parcialmente preservada e fraca Lesão parcial de NMI	Fraca
3	Lesão	Nenhuma, NMI danificado	Sem resposta
4		Sem atividade voluntária Dano parcial de NMI	Fraca
5	Hipertônico	Sem atividade voluntária NMI preservado Hiperreflexia	Forte

**Figura 14.** Ilustração das respostas motoras a eletroestimulação que podem ser esperadas acima, no nível de lesão e abaixo desse nível.

A maioria dos participantes foi impossibilitada de progredir nas etapas do protocolo que envolviam esforço antigravitário em razão da fragilidade óssea, ainda que a resposta muscular a eletroestimulação fosse satisfatória. Em razão disso, ressaltamos o risco de fratura envolvido na aplicação de estimulação elétrica em contextos funcionais. Apontamos como cuidados preventivos a verificação da densidade mineral óssea dos membros inferiores por meio de exames de densitometria óssea, conforme os estudos

Nessa pesquisa, que inclui o levantamento de requisitos para responsividade a eletroestimulação, concluímos que ao explorar a responsividade à eletroestimulação com parâmetros pré-definidos de estimulação de grupos musculares nas zonas de preservação parcial e de perda nos potenciais usuários de um produto assistivo observamos uma variedade de respostas (entre esboço de contração equivalente a grau 1/5 a contrações mais fortes, equivalentes a grau 4/5 na escala MRC) relacionada aos diferentes níveis e completudes da lesão medular estudadas nessa amostra.

Os fatores pessoais analisados (gênero e idade), e os parâmetros de estrutura e função como a cronicidade da lesão, o trofismo muscular, a expansibilidade da caixa torácica e os fatores hemodinâmicos não parecem ter uma relação de causalidade com a responsividade a eletroestimulação. Encontramos resultados sugestivos de que o nível acima de T12 e a etiologia traumática da lesão seriam fatores que poderiam prever o sucesso da responsividade à eletroestimulação por parâmetros pré-definidos para a estimulação elétrica funcional.

## **7. CONCLUSÃO**

Ao levantar requisitos preliminares para se propor um protocolo de treinamento para ciclismo com pedalada acionada pela eletroestimulação de músculos paralisados na lesão medular, encontramos que o nível e a etiologia da lesão podem apresentar uma relação de causalidade na determinação da responsividade. Sendo assim, pessoas com nível de lesão abaixo do nível T12 com acometimento de cone medular e cauda equina, e cuja etiologia seja infecciosa (como nos casos de mielite transversa) provavelmente não serão responsivos a eletroestimulação.

Ao acompanhar a responsividade à eletroestimulação em sessões repetidas para os participantes que não foram responsivos à eletroestimulação na sessão inicial, levantamos como características que poderiam favorecer tal responsividade: a preservação parcial das raízes periféricas abaixo do nível de lesão e a preservação de um nível de trofismo muscular que possibilite ainda a reorganização do aparato de excitação-contração.

Esses resultados podem lançar luz sobre a melhor forma de indicar a eletroestimulação como estratégia complementar para a reabilitação, para a locomoção, para o lazer e para o esporte de pessoas com paraplegia em um sistema eletromecânico que permita a coordenação do controle natural (oriundo do recrutamento voluntário de grupos musculares na zona de preservação) com o controle artificial (gerado por automatismo que aciona por eletroestimulação grupos musculares paralisados nas zonas de preservação parcial e de perda).

## 8. REFERÊNCIAS

1. Harkey HL, White E a, Tibbs RE, Haines DE. A clinician's view of spinal cord injury. *Anat Rec B New Anat.* 2003;271(1):41-48. doi:10.1002/ar.b.10012.
2. Ministério da Saúde. *Diretrizes de Atenção à Pessoa Com Lesão Medular.*; 2015.
3. Kern H, Hofer C, Loeffler S, et al. Atrophy, ultra-structural disorders, severe atrophy and degeneration of denervated human muscle in SCI and Aging. Implications for their recovery by Functional Electrical Stimulation, updated 2017. *Neurol Res.* 2017;6412(April):1-7. doi:10.1080/01616412.2017.1314906.
4. Baldi JC, Jackson RD, Moraille R, Mysiw WJ. Muscle atrophy is prevented in patients with acute spinal cord injury using functional electrical stimulation. *Spinal Cord.* 1998;36(7):463-469. doi:10.1038/sj.sc.3100679.
5. Frotzler A, Coupaud S, Perret C, et al. High-volume FES-cycling partially reverses bone loss in people with chronic spinal cord injury. *Bone.* 2008;43(1):169-176. doi:10.1016/j.bone.2008.03.004.



6. Fornusek C, Davis GM. Cardiovascular and Metabolic Responses During Functional Electric Stimulation Cycling at Different Cadences. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(4):719-725. doi:10.1016/j.apmr.2007.09.035.
7. Gerrits HL, De Haan A, Sargeant AJ, Van Langen H, Hopman MT. Peripheral vascular changes after electrically stimulated cycle training in people with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(6):832-839. doi:10.1053/apmr.2001.23305.
8. Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular Disease in Spinal Cord Injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007;86(2):142-152. doi:10.1097/PHM.0b013e31802f0247.
9. Fekete C, Segerer W, Gemperli A, Brinkhof MW. Participation rates, response bias and response behaviours in the community survey of the Swiss Spinal Cord Injury Cohort Study (SwiSCI). *BMC Med Res Methodol.* 2015;15:80. doi:10.1186/s12874-015-0076-0.
10. Education P. the Impact of Sports Activities on Quality of Life of Persons With a Spinal Cord Injury Vpliv Športnih Aktivnosti Na Kakovost Življenja Oseb. 2016;55(2):94-101.
11. Krauss JC, Robergs RA, Depaepe JL, et al. Effects of electrical stimulation and upper body training after spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(9):1054-1061. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8231775>.
12. Deley G, Denuziller J, Babault N. Functional Electrical Stimulation: Cardiorespiratory Adaptations and Applications for Training in Paraplegia. *Sport Med.* 2014;45(1):71-82. doi:10.1007/s40279-014-0250-2.
13. Mazzoleni S, Stampacchia G, Gerini A, Tombini T, Carrozza MC. FES-cycling training in spinal cord injured patients. In: *Conference Proceedings : Annual*

*International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.* ; 2013:5339-5341. doi:10.1109/EMBC.2013.6610755.

14. Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med.* 2012;85:201-215. doi:10.1007/BF02371250.
15. Hakansson NA, Hull ML. Muscle stimulation waveform timing patterns to increase muscular endurance in functional electrical stimulation pedaling using a forward dynamic model. In: *Proceedings of the ASME Summer Bioengineering Conference 2009, SBC2009.* Vol 56. ; 2009:1221-1222. doi:10.1115/SBC2009-206785.
16. Mills PB, Dossa F. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for Management of Limb Spasticity: A Systematic Review. *Am J Phys Med Rehabil.* 2016;95(4):309-318. doi:10.1097/PHM.0000000000000437.
17. Tigra W, Guiraud D, Andreu D, et al. Exploring selective neural electrical stimulation for upper limb functions restoration. *IFESS Int Funct Electr Stimul Soc.* 2016;26(2):161-164. <https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-01316291>.
18. Giangregorio L, Craven C, Richards K, et al. A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: effects on body composition. *J Spinal Cord Med.* 2012;35(5):351-360. doi:10.1179/2045772312Y.0000000041.
19. Moynahan M, Mullin C, Cohn J, et al. Home use of a functional electrical stimulation system for standing and mobility in adolescents with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(10):1005-1013. doi:S0003-9993(96)90060-X [pii].
20. Policy M. Neuromuscular Electrical Stimulation for Muscle Rehabilitation.

2015:1-10.

21. Popović DB. Advances in functional electrical stimulation (FES). *J Electromyogr Kinesiol.* 2014;24(6):795-802. doi:10.1016/j.jelekin.2014.09.008.
22. Carty A, McCormack K, Coughlan GF, Crowe L, Caulfield B. Increased aerobic fitness after neuromuscular electrical stimulation training in adults with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(5):790-795. doi:10.1016/j.apmr.2011.10.030.
23. Memo D, Stimulation NE, Injury SC. Decision Memo for Neuromuscular Electrical Stimulation ( NMES ) for Spinal Cord Injury ( CAG-00153R ). :1-28.
24. Johnston TE, Smith BT, Oladeji O, Betz RR, Lauer RT. Outcomes of a home cycling program using functional electrical stimulation or passive motion for children with spinal cord injury: a case series. *J Spinal Cord Med.* 2008;31(2):215-221.
25. Hooker SP, Figoni SF, Glaser RM, Rodgers MM, Ezenwa BN GP. Physiologic responses to prolonged electrically Stimulated Leg-Cycle Exercise in the Spinal Cord Injured.pdf. *Arch Phys Med Rehabil.* 1990;71:863-869.
26. Guedes DP, Guedes JERP. Atividade Física, Aptidão Física E Saúde. *Rev Bras Atividade Física Saúde.* 1995;1(1):18-35. <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBAFS/issue/view/34>.
27. Scliar M. História do conceito de saúde. *Physis Rev Saúde Coletiva.* 2007;17(1):29-41. doi:10.1590/S0103-73312007000100003.
28. OMS OM de S. CIF: Classificação Internacional de Funcionalidade. *Calssificação Int funcionalidade, incapacidade e saude.* 2004:238.

doi:10.1590/S1415-790X2005000200011.

29. Di Nubila HBV, Buchalla CM. O papel das Classificações da OMS - CID e CIF nas definições de deficiência e incapacidade. *Rev Bras Epidemiol.* 2008;11(2):324-335. doi:10.1590/S1415-790X2008000200014.
30. Farias N, Buchalla C. A classificação internacional de funcionalidade, incapacidade e saúde da organização mundial da saúde: conceitos, usos e perspectivas. *Rev bras epidemiol.* 2005;8(2). <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=420339&indexSearch=ID>.
31. ARAÚJO-BARBOSA P. Modelagem e simulação de informações do estado de saúde codificadas pela Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde: requisitos e subsídios para sistemas de informação em saúde. *Diss Mestrado Mestr em Ciências e Tecnol em Saúde Univ Brasília.* 2016.
32. Ministério do Esporte. *Diagnóstico Nacional Do Esporte: Caderno 1.*; 2015:9-14.
33. Alberto P. Esporte Adaptado No Brasil : Evolução E Perspectivas. 1996:1-4.
34. Medola F, Busto RM, Marçal A, Junior AA, Dourado AC. O Esporte na Qualidade de Vida de Indivíduos com Lesão da Medula Espinhal: Série de Casos. *Rev Bras Med Esporte.* 2011;17(4):254-256. doi:10.1590/S1517-86922011000400008.
35. Goodman JM, Thomas SG, Burr J. Evidence-based risk assessment and recommendations for exercise testing and physical activity clearance in apparently healthy individuals<sup>1 1</sup> This paper is one of a selection of papers published in this Special Issue, entitled Eviden. *Appl Physiol Nutr Metab.*

2011;36(S1):S14-S32. doi:10.1139/h11-048.

36. West CR, Gee CM, Voss C, et al. Cardiovascular control, autonomic function, and elite endurance performance in spinal cord injury. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25(4):476-485. doi:10.1111/sms.12308.
37. Zehr EP. Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance: stroke and spinal cord injury <sup>1 1</sup> This paper is one of a selection of papers published in this Special Issue, entitled Evidence-based risk assessment. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(S1):S214-S231. doi:10.1139/h11-055.
38. BRASIL. *VIVER SEM LIMITE - Plano Nacional Dos Direitos Da Pessoa Com Deficiencia.*; 2012.
39. Dolbow D. Exercise following spinal cord injury: physiology to therapy. *J Neurorestoratology*. 2015;Volume 3(July):133. doi:10.2147/JN.S61828.
40. Furlan JC, Noonan V, Singh A, Fehlings MG. Assessment of impairment in patients with acute traumatic spinal cord injury: a systematic review of the literature. *J Neurotrauma*. 2011;28(1557-9042 (Electronic)):1445-1477. doi:10.1089/neu.2009.1152.
41. Nas K, Yazmalar L, Şah V, Aydın A, Öneş K. Rehabilitation of spinal cord injuries. *World J Orthop*. 2015;6(1):8-16. doi:10.5312/wjo.v6.i1.8.
42. Lauer RT, Smith BT, Mulcahey MJ, Betz RR, Johnston TE. Effects of cycling and/or electrical stimulation on bone mineral density in children with spinal cord injury. *Spinal cord Off J Int Med Soc Paraplegia*. 2011;49(8):917-923. doi:10.1038/sc.2011.19.

43. Warburton D, Eng J, Krassioukov A, Sproule S. Cardiovascular Health and Exercise Rehabilitation in Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2007;13(1):98-122. doi:10.1310/sci1301-98.
44. Nam JS, Lee KE, Jun AY, Parke CS, Kim HY, Chae YH. Dilemmas of Korean athletes with a spinal cord injury to participate in sports: A survey based on the icf core set for spinal cord injury. *Ann Rehabil Med.* 2016;40(5):893-901. doi:10.5535/arm.2016.40.5.893.
45. Dodd Z, Driver S, Warren AM, Riggs S, Clark M. Effects of adult romantic attachment and social support on resilience and depression in individuals with spinal cord injuries. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2015;21(2):156-165. doi:10.1310/sci2102-156.
46. Whiteneck GG, Dijkers MP, Heinemann AW, et al. Development of the participation assessment with recombined tools- Objective for use after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92(4):542-551. doi:10.1016/j.apmr.2010.08.002.
47. Wilson PE, Clayton GH. Sports and Disability. *PM R.* 2010;2(3):S46-S54. doi:10.1016/j.pmrj.2010.02.002.
48. Letenneur L, Grasset L, Joly P. Real benefit of a protective factor against dementia : Importance of controlling for death . Example of sport practice. 2017:1-9.
49. Sale P, Mazzarella F, Pagliacci MC, Aito S, Agosti M, Franceschini M. Sport, free time and hobbies in people with spinal cord injury. *Spinal cord Off J Int Med Soc Paraplegia.* 2012;50(6):452-456. doi:10.1038/sc.2011.161.
50. Silva DRP, Fernandes RA, Ohara D, et al. Correlates of sports practice,

occupational and leisure-time physical activity in Brazilian adolescents. *Am J Hum Biol.* 2016;28(1):112-117. doi:10.1002/ajhb.22760.

51. Dolbow D, Gorgey A, Cifu D, Moore J, Gater D. Feasibility of home-based functional electrical stimulation cycling: case report. *Spinal Cord.* 2011;50(2):170-171. doi:10.1038/sc.2011.115.
52. Dolbow DR, Gorgey AS, Ketchum JM, Moore JR, Hackett LA, Gater DR. Exercise Adherence During Home-Based Functional Electrical Stimulation Cycling by Individuals with Spinal Cord Injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012;91(11):922-930. doi:10.1097/PHM.0b013e318269d89f.
53. Dietrich W. Protection and Repair After Spinal Cord Injury: Accomplishments and Future Directions. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2015;21(2):174-187. doi:10.1310/sci2102-174.
54. Rauch A, Hinrichs T, Cieza A. Associations with being physically active and the achievement of WHO recommendations on physical activity in people with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2017;55(3):235-243. doi:10.1038/sc.2016.126.
55. Gómara-Toldrà N, Sliwinski M, Dijkers MP. Physical therapy after spinal cord injury: A systematic review of treatments focused on participation. *J Spinal Cord Med.* 2014;37(4):371-379. doi:10.1179/2045772314Y.0000000194.
56. Mizrahi J. Editorial Fatigue in functional electrical stimulation in spinal cord injury. *J Electromyogr Kinesiol.* 1997;7(1):1-2. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20719686>.
57. Yu R, Woo J, Chan AS, Sze SL. A chinese chan-based mind-body intervention improves psychological well-being and physical health of community-dwelling elderly: A pilot study. *Clin Interv Aging.* 2014;9:727-736.

doi:10.2147/CIA.S59985.

58. Bredahl TV, Puggaard L, Roessler KK. Exercise on Prescription. Effect of attendance on participants' psychological factors in a Danish version of Exercise on Prescription: A Study Protocol. *BMC Health Serv Res.* 2008;8(1):139. doi:10.1186/1472-6963-8-139.
59. Griggs KE, Price MJ, Goosey-Tolfrey VL, Griggs KE, Goosey-Tolfrey AVL, Price MJ. Cooling Athletes with a Spinal Cord Injury. *Sport Med.* 2015;45:9-21. doi:10.1007/s40279-014-0241-3.
60. B. L, Luchauer B, Shurtleff T. Meaningful components of exercise and active recreation for spinal cord injuries. *OTJR Occup Particip Heal.* 2015;35(4):232-238. doi:10.1177/1539449215601069.
61. Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, Moons KGM. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): The TRIPOD Statement. *Eur Urol.* 2015;67(6):1142-1151. doi:10.1016/j.eururo.2014.11.025.
62. ASIA. International Standards for Neurological Classification of SCI (ISNCSCI) Exam. 2002;99.
63. Grecco MSM. Validação de Índice de Massa Corporal ( IMC ) ajustado pela massa gorda obtido por impedância bioelétrica. 2012;(Imc):175. doi:10.11606/T.17.2012.tde-13072012-143709.
64. Tacani PM, Machado AFP, Tacani RE. Abordagem fisioterapêutica do linfedema bilateral de membros inferiores. *Fisioter em Mov.* 2012;25(3):561-570. doi:10.1590/S0103-51502012000300012.



65. Pedrini A, Gonçalves MA, Leal BE, Yamaguti WP dos S, Paulin E. Comparação entre as medidas de cirtometria tóraco-abdominal realizadas em decúbito dorsal e em ortostatismo. *Fisioter e Pesqui.* 2013;20(4):373-378. doi:10.1590/S1809-29502013000400012.
66. Araújo Brandão Artur Beltrame Ribeiro Carlos Eduardo Negrão Cibele Isaac Saad Rodrigues Claudia Lucia de Moraes Forjaz Dante Marcelo Artigas Giorgi Dulce Elena Casarini Fernando Antonio de Almeida Fernando Nobre Frida Liane Plavnik Heitor Moreno Junior He A, Beltrame Ribeiro Ayrton Pires Brandão Eduardo Moacyr Krieger Fernando Nobre Maria Helena Catelli de Carvalho Osvaldo Kohlmann Junior Robson Augusto de Souza dos Santos Sociedade Brasileira de Hipertensão Wellimar Serafim A, Marcelo Giorgi DA. Hipertensão. *Rev Hipertens.* 2011;14:6-10. [http://www.sbh.org.br/pdf/2012\\_2.pdf](http://www.sbh.org.br/pdf/2012_2.pdf).
67. Cl U, Cr C, Av F, Aguiar C. Frequência cardíaca e risco cardiovascular. *Rev Assoc Med Bras.* 2007;53(5):6-9.
68. Anderson K, Aito S, Atkins M, et al. Functional recovery measures for spinal cord injury: an evidence-based review for clinical practice and research. *J Spinal Cord Med.* 2008;31(2):133-144. doi:10.1080/10790268.2008.11760704.
69. Franz A, Klaas J, Schumann M, Frankewitsch T, Filler TJ, Behringer M. Anatomical versus functional motor points of selected upper body muscles. *Muscle Nerve.* July 2017:2-23. doi:10.1002/mus.25748.
70. Nscisc. Spinal cord injury facts and figures at a glance. *J Spinal Cord Med.* 2015;38(1):124-125. doi:10.1179/1079026813Z.000000000136.
71. Correia J, Brito DF, Virgolino P. MIELOPATIAS Considerações clínicas e aspectos etiológicos. 2003;61:816-821.

72. Brito AMM, Camargo BV. Representações sociais, crenças e comportamentos de saúde: um estudo comparativo entre homens e mulheres. *Temas em Psicol.* 2011;19(1):283-303.  
[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-389X2011000100023&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2011000100023&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).
73. Ashe MC, Eng JJ, Krassioukov A V, Warburton DER, Hung C, Tawashy A. Response to functional electrical stimulation cycling in women with spinal cord injuries using dual-energy X-ray absorptiometry and peripheral quantitative computed tomography: a case series. *J Spinal Cord Med.* 2010;33(1):68-72.
74. Gorgey AS, Dolbow DR, Dolbow JD, Khalil RK, Gater DR. The effects of electrical stimulation on body composition and metabolic profile after spinal cord injury – Part II. *Acad spinal cord Inj Prof.* 2015;38(1):23-37.
75. Dolbow JD, Dolbow DR, Gorgey AS, Adler R a, Gater DR. The effects of aging and electrical stimulation exercise on bone after spinal cord injury. *Aging Dis.* 2013;4(3):141-153.  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3660124&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.
76. Tawashy AE, Eng JJ, Krassioukov A V, Warburton DER, Ashe MC, Hung C. Screening and habituation of functional electrical stimulation-leg cycle ergometry for individuals with spinal cord injury: a pilot study. *J Neurol Phys Ther.* 2008;32(4):164-170. doi:10.1097/NPT.0b013e31818de56f.
77. Sloan KE, Bremner L a, Byrne J, Day RE, Scull ER. Musculoskeletal effects of an electrical stimulation induced cycling programme in the spinal injured. *Paraplegia.* 1994;32(6):407-415. doi:10.1038/sc.1994.67.
78. Ho CH, Triolo RJ, Elias AL, et al. Functional electrical stimulation and Spinal

- Cord Injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014;25(3):631-654. doi:10.1016/j.pmr.2014.05.001.
79. Ralston KE, Harvey LA, Batty J, et al. Functional electrical stimulation cycling has no clear effect on urine output, lower limb swelling, and spasticity in people with spinal cord injury: A randomised cross-over trial. *J Physiother.* 2013;59(4):237-243. doi:10.1016/S1836-9553(13)70200-5.
80. Donaldson N, Perkins TA, Fitzwater R, Wood DE, Middleton F. FES cycling may promote recovery of leg function after incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2000;38(11):680-682. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11114775>.
81. Dqg R, Uhyhzh V, Uhyhzh V, et al. The effects of exercise training on physical capacity, strenght, body composition and functional performance among adlts with SCI: a systematic review. *Spinal Cord.* 2011;49:1103-1127.
82. Cirnigliaro CM, Fountaine MF La, Emmons R, et al. Prediction of limb lean tissue mass from bioimpedance spectroscopy in persons with chronic spinal cord injury. 2013;36(5):443-453.
83. Injury SC. Understanding and Managing Respiratory Complications after SCI. :1-4.
84. Onders RP. *Functional Electrical Stimulation: Restoration of Respiratory Function.* Vol 109. 1st ed. Elsevier B.V.; 2012. doi:10.1016/B978-0-444-52137-8.00017-6.
85. Stanic U, Kandare F, Jaeger R, Sorli J. Functional electrical stimulation of abdominal muscles to augment tidal volume in spinal cord injury. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 2000;8(1):30-34. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10779105>.

86. Clarice A, Av G. Força da musculatura respiratória de pacientes tetraplégicos sentados e em supino Respiratory muscle strength the tetraplegic patients. (F Vc).
87. Medrinal C, Prieur G, Debeaumont D, et al. Comparison of oxygen uptake during cycle ergometry with and without functional electrical stimulation in patients with COPD: protocol for a randomised, single-blind, placebo-controlled, cross-over trial. *BMJ open Respir Res.* 2016;3(1):e000130. doi:10.1136/bmjresp-2016-000130.
88. Perret C, Berry H, Hunt KJ, Grant S, Kakebeeke TH. Determination and possible application of the aerobic gas exchange threshold in aerobically untrained paraplegic subjects based on stimulated cycle ergometry. *Disabil Rehabil.* 2009;31(17):1432-1436. doi:10.1080/09638280802621424.
89. ELETROESTIMULAÇÃO FUNCIONAL DOSMÚSCULOS ABDOMINAIS EM PACIENTES VÍTIMAS DE TRAUMA RAQUIMEDULAR COM LESÃO MEDULAR CERVICAL BAIXA (C5-C7). 2006.
90. T.J. B, A.M.E. S, D.L. M, et al. Changes in gas exchange kinetics with training in patients with spinal cord injury. *Med Sci Sport Exerc.* 1996;28(10):1221-1228 8p. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cin20&AN=107299635&site=ehost-live%5Cnhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed4&NEWS=N&AN=1996320081>.
91. Krassioukov A V, Karlsson A, Wecht JM, Mathias CJ, Marino RJ. Assessment of autonomic dysfunction following spinal cord injury: Rationale for additions to International Standards for Neurological Assessment. 2007;44(1):103-112. doi:10.1682/JRRD.2005.10.0159.
92. Caldeira JB, Sancho AG, Manoel F, Rosa JS. Avaliação da função autonômica

- cardiovascular em portadores de lesão medular submetidos à variabilidade da frequência cardíaca Assessment of cardiovascular autonomic function in patients with spinal cord injury submitted to heart rate variability. 2013;9(2):37-50. doi:10.6063/motricidade.9(2).2666.
93. Bertuzzi R, Roberto F, Lima-silva AE, Pesquisa G De, Estudos G De. Modulação Autonômica Durante o Exercício Incremental com Membros Superiores em Indivíduos com Lesão Medular. 2011;(6):409-412.
94. Roque V, Cunha I, Rocha A, Maria JA. Disfunções Autonômicas após Lesão Medular. *Rev da Soc Port Med Física e Reabil.* 2013;24(3):43-51.
95. Teeter L, Gassaway J, Taylor S, et al. Relationship of physical therapy inpatient rehabilitation interventions and patient characteristics to outcomes following spinal cord injury: the SCIREhab project. *J Spinal Cord Med.* 2012;35(6):503-526. doi:10.1179/2045772312Y.0000000058.
96. Kapadia NM, Zivanovic V, Furlan J, Craven BC, McGillivray C, Popovic MR. Functional Electrical Stimulation Therapy for Grasping in Traumatic Incomplete Spinal Cord Injury: Randomized Control Trial. *Artif Organs.* 2011;35(3):212-216. doi:10.1111/j.1525-1594.2011.01216.x.
97. Fornusek C, Davis GM, Baek I. Stimulation of shank muscles during functional electrical stimulation cycling increases ankle excursion in individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(11):1930-1936. doi:10.1016/j.apmr.2012.05.012.
98. Kern H, Boncompagni S, Rossini K, et al. Long-term denervation in humans causes degeneration of both contractile and excitation-contraction coupling apparatus, which is reversible by functional electrical stimulation (FES): a role for myofiber regeneration? *J Neuropathol Exp Neurol.* 2004;63(9):919-931.

99. Hofer C, Mayr W, Stöhr H, Unger E, Kern H. A stimulator for functional activation of denervated muscles. *Artif Organs*. 2002;26(3):276-279. doi:10.1046/j.1525-1594.2002.06951.x.
100. Bursell JP, Little JW, Stiens SA. Electrodiagnosis in spinal cord injured persons with new weakness or sensory loss: Central and peripheral etiologies. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(8):904-909. doi:10.1016/S0003-9993(99)90081-3.
101. Sadowsky CL, Becker D. Rehabilitation in Transverse Myelitis. 2011;(August):816-830.
102. Mussini I, Favaro G, Biol D, Carraro U. Maturation, dystrophic changes and the continuous production of fibers in skeletal muscle regenerating in the absence of nerve. *J Neuropathol Exp Neurol*. 1987;46(3).
103. Pelletier C a, Hicks a L. Muscle fatigue characteristics in paralyzed muscle after spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2011;49(1):125-130. doi:10.1038/sc.2010.62.
104. Scremin a M, Kurta L, Gentili A, et al. Increasing muscle mass in spinal cord injured persons with a functional electrical stimulation exercise program. *Arch Phys Med Rehabil*. 1999;80(12):1531-1536. doi:S0003999399000684 [pii].
105. Smit C a J, Legemate KJ, de Koning a, de Groot S, Stolwijk-Swuste JM, Janssen TW. Prolonged electrical stimulation-induced gluteal and hamstring muscle activation and sitting pressure in spinal cord injury: Effect of duty cycle. *J Rehabil Res Dev*. 2013;50(7):1035-1046. doi:10.1682/JRRD.2012.07.0134.
106. Astik RB, Dave UH. Anatomical Variations in Formation and Branching Pattern of the Femoral Nerve in Iliac Fossa : A Study in 64 Human Lumbar Plexuses. 2011;4(July).

107. Silva NA, Sousa N, Reis RL, Salgado AJ. From basics to clinical: A comprehensive review on spinal cord injury. *Prog Neurobiol.* 2014;114:25-57. doi:10.1016/j.pneurobio.2013.11.002.
108. Gaspar AP, Lazaretti-Castro M, Brandão CMA. Bone mineral density in spinal cord injury: An evaluation of the distal femur. *J Osteoporos.* 2012;2012. doi:10.1155/2012/519754.
109. Rodrigues D, Herrera G. Physiotherapy resources on bone mineral density loss prevention in patients with spinal cord injuries. *Acta Ortopédica Bras.* 2004;12(3):183-188. doi:10.1590 / S1413-78522004000300008.
110. Zehnder Y, L??thi M, Michel D, et al. Long-term changes in bone metabolism, bone mineral density, quantitative ultrasound parameters, and fracture incidence after spinal cord injury: A cross-sectional observational study in 100 paraplegic men. *Osteoporos Int.* 2004;15(3):180-189. doi:10.1007/s00198-003-1529-6.
111. P.L. J, Jacobs PL, Nash MS, et al. Exercise recommendations for individuals with spinal cord injury. *Sport Med.* 2004;34(11):727-751. doi:10.2165/00007256-200434110-00003.
112. Yousefi MR, Ahmadi N, Abbaszadeh MR, Kheybari K, Valizadeh A, Nasiri M. The effect of isometric training on prevention of bone density reduction in injured limbs during a period of immobilization. *Aust J Basic Appl Sci.* 2011;5(12):981-985.
113. Gobbo M, Maffiuletti NA, Orizio C, Minetto MA. Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *J Neuroeng Rehabil.* 2014;11(1):17. doi:10.1186/1743-0003-11-17.





## ANEXO 1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.



### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE

Convidamos o(a) Senhor(a) a participar do projeto de pesquisa Em busca de um Protocolo de Treinamento de Cicloergometria com Eletroestimulação para Atletas com Lesão Medular Completa, sob a responsabilidade da pesquisadora Juliana Araújo Guimarães. O projeto busca melhorar o condicionamento físico por meio de exercícios aeróbicos, comparando duas modalidades de treinamento: o convencional envolvendo a extremidade superior do corpo e outro com estimulação elétrica funcional (FES) dos membros inferiores realizando o movimento de pedalar em uma bicicleta estacionária (cicloergômetro).

O objetivo desta pesquisa é demonstrar a importância do exercício aeróbico de pedalar com auxílio da estimulação elétrica funcional no condicionamento físico e na manutenção da saúde do indivíduo, podendo também utilizar uma bicicleta adaptada para melhorar mobilidade e autonomia além dos fins recreacionais.

O(a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

A sua participação se dará no CEM 4 ao lado da estação de metrô Guariroba, no ginásio de fisioterapia. Será realizada avaliação inicial para verificar seu estado de saúde e sessões de treinamento com duração de 1 hora, 3 vezes por semana durante 4 meses. O treinamento consistirá em estimulação elétrica funcional de membros inferiores durante 30 minutos e mais 30 minutos de exercícios de membros superiores. Os desconfortos relatados são: fadiga muscular, dor muscular após 24-72h do esforço, irritação da pele no local onde foi feita a estimulação elétrica, essa irritação desaparece geralmente de forma espontânea, semelhante a uma alergia.

Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa são fraturas durante o esforço ou transferências da cadeira para equipamentos, o que pode ser minimizado pela avaliação de composição corporal realizada no primeiro dia de participação, sendo possível perceber o risco de fraturas; entorses (torcer o tornozelo), risco que será minimizado pela fixação dos pés e pernas no cicloergômetro de forma segura, descompensação relacionada ao esforço, como elevação de pressão arterial de forma súbita e outros problemas cardíacos, este risco será evitado durante a avaliação, caso necessário o indivíduo deverá ser avaliado por um cardiologista antes dos treinos. Se você aceitar participar, estará contribuindo para melhorar a qualidade da reabilitação e do exercício físico para pessoas com deficiência, possibilitando que sejam atingidos resultados ainda mais promissores na recuperação da função e na manutenção da capacidade física e saúde.

O(a) Senhor(a) pode se recusar a responder (ou participar de qualquer procedimento) qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o(a) senhor(a). Sua participação é voluntária, isto é, não há pagamento por sua colaboração.

Todas as despesas que você tiver relacionadas diretamente ao projeto de pesquisa (tais como, passagem para o local da pesquisa, alimentação no local da pesquisa ou exames para realização da pesquisa) serão cobertas pelo pesquisador responsável.

Caso haja algum dano direto ou indireto decorrente de sua participação na pesquisa, você poderá ser indenizado, obedecendo-se as disposições legais vigentes no Brasil.

Os resultados da pesquisa serão divulgados na Universidade de Brasília podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais serão utilizados somente para esta pesquisa e ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de cinco anos, após isso serão destruídos.

Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para: Juliana Araújo ou Emerson Fachin na Universidade de Brasília, Campus Ceilândia no telefone 8237-8624 ou fixo 3376-0252 no horário de 13:00 – 17:00 de segunda a sexta.

Este projeto foi Aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde (CEP/FS) da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser esclarecidos pelo telefone (61) 3107-1947 ou do e-mail [cepfs@unb.br](mailto:cepfs@unb.br) ou [cepfsunb@gmail.com](mailto:cepfsunb@gmail.com), horário de atendimento de 10:00hs às 12:00hs e de 13:30hs às 15:30hs, de segunda a sexta-feira. O CEP/FS se localiza na Faculdade de Ciências da Saúde, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Asa Norte.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o Senhor(a).

\_\_\_\_\_  
Nome / assinatura

\_\_\_\_\_  
Juliana Araújo Guimarães  
Pesquisador Responsável

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Rubrica do Pesquisador

## ANEXO 2. Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para fins de pesquisa



### Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para fins de pesquisa

Eu, Estevão Carvalho Lopes, autorizo a utilização da minha imagem e som de voz, na qualidade de participante/entrevistado(a) no projeto de pesquisa intitulado Em busca de um Protocolo de Treinamento de Cicloergometria com Eletroestimulação para Atletas com Lesão Medular Completa, sob responsabilidade de Juliana Araújo Guimarães vinculada ao Programa de Pós Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde da Universidade de Brasília – Faculdade de Ceilândia.


Minha imagem e som de voz podem ser utilizadas apenas para apresentações em conferências acadêmicas e análise por parte da equipe de pesquisa.

Tenho ciência de que não haverá divulgação da minha imagem nem som de voz por qualquer meio de comunicação, sejam elas televisão, rádio ou internet, exceto nas atividades vinculadas ao ensino e a pesquisa explicitadas acima. Tenho ciência também de que a guarda e demais procedimentos de segurança com relação às imagens e sons de voz são de responsabilidade do(a) pesquisador(a) responsável.

Deste modo, declaro que autorizo, livre e espontaneamente, o uso para fins de pesquisa, nos termos acima descritos, da minha imagem e som de voz.

Este documento foi elaborado em duas vias, uma ficará com o(a) pesquisador(a) responsável pela pesquisa e a outra com o(a) participante.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do (a) participante

  
Nome e Assinatura do (a) pesquisador (a)

Brasília, 10 de janeiro de 2016

## ANEXO 3. Primeira página do artigo publicado.

FES-Cycling in cases of paraplegia: a preliminary report  
Eur J Transl Myol 26 (3): 209-214

### Towards parameters and protocols to recommend FES-Cycling in cases of paraplegia: a preliminary report

Juliana Araujo Guimarães (1), Lucas Oliveira da Fonseca (1,2), Clarissa Cardoso dos Santos-Couto-Paz (1), Antônio Padilha Lanari Bó (1,2), Charles Fattal (3), Christine Azevedo-Coste (4), Emerson Fachin-Martins (1)

(1) NTAAl, Faculdade de Ceilândia, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil; (2) LARA, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil; (3) Centre de Réhabilitation CRF, COS DIVIO, Dijon, France; (4) INRIA, LIRMM, Montpellier, France

This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License (CC BY-NC 4.0) which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited

#### Abstract

Functional Electrical Stimulation assisted cycling (FES-Cycling) is increasingly becoming an alternative option recommended to people with spinal cord injury struggling with paraplegia and interested in practicing sports. In order to propose preconditions to guide FES-Cycling recommendation, we aimed to investigate some features and their potential relationships with responsiveness to Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES). Fourteen volunteers attended a public recruitment forum to be assessed about their responsiveness through the 16-sessions of NMES. Volunteers were separated in two groups (responsive and non-responsive to NMES) which were investigated in the light of some personal, clinical, structural and functional features. Fifty seven percent of the initial sample responded to electrical stimulation with a visual contraction. This responsive group was predominantly composed by subjects presenting traumatic spinal cord injuries above T12 vertebral level. Only two subjects became responsive at the 3rd and 16th sessions. Among the observed features, the etiology and level of injuries seems to be more associated to responsiveness. Our observations seem to indicate that subjects with traumatic spinal cord injury above T12 level were the best potential candidates for FES-cycling.

**Key Words:** electrical stimulation, bicycling, parathletics, spinal cord

*Eur J Transl Myol 2016; 26 (3): 209-214*

## ANEXO 4. Aprovação do Comitê de Ética



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA  
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Em busca de um Protocolo de Treinamento de Cicloergometria com Eletroestimulação para Atletas com Lesão Medular Completa

**Pesquisador:** Juliana Araújo Guimarães

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 50337215.1.0000.0030

**Instituição Proponente:** Faculdade de Ceilândia - FUNDACAO UNIVERSIDADE DE BRASILIA

**Patrocinador Principal:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 1.413.934



FACULDADE DE CIÊNCIAS DA  
SAÚDE DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA - CEP/FS-UNB

Continuação do Parecer: 1.413.934

Infraestrutura	Scan1.pdf	18/10/2015 14:10:05	Juliana Araújo Guimarães	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Scan2.pdf	18/10/2015 14:09:23	Juliana Araújo Guimarães	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

BRASILIA, 18 de Fevereiro de 2016

---

**Assinado por:**  
**Keila Elizabeth Fontana**  
(Coordenador)