**Próteses Neurais  
(Estimulação Elétrica Funcional)  
de Membros Inferiores**

**Índice de pesquisa**

Elaborado inicialmente por Leonardo Rodrigues da Silva

Sob a orientação do Prof. Dr. Percy Nohama

Objetivos gerais

Este documento visa reunir informações de artigos e outras bibliografias, pontuando quais textos abordam quais itens considerados relevantes no assunto tema deste trabalho: Próteses Neurais (Estimulação Elétrica Funcional) de Membros Inferiores.

Este trabalho reúne de forma sintetizada os pontos mais relevantes dos artigos, acelerando a busca por referências bibliográficas durante novas pesquisas. Assim sendo, este é um documento dinâmico e colaborativo.

Foram mantidos os textos originais para facilitar a interpretação da ideia original e a busca do texto no artigo original.

Na busca dos artigos foram privilegiados artigos de revisão, onde concentram-se vários outros artigos, facilitando o mapeamento das referências em cada um dos assuntos.

Este documento está disponível publicamente na plataforma GitHub, acessado pelo endereço: <https://github.com/leors> e habilitado para edição e contribuições por qualquer pessoa. Os artigos utilizados nas referências e que são públicos também estão disponibilizados para acesso fácil.

Sumário

[Objetivos gerais 1](#_Toc59203718)

[Próteses Neurais (Estimulação Elétrica Funcional) de Membros Inferiores 5](#_Toc59203719)

[1 Mapa Mental 6](#_Toc59203720)

[2 Objetivos 7](#_Toc59203721)

[2.1 Fortalecimento muscular 7](#_Toc59203722)

[2.2 Ortostatismo / bipedestação 7](#_Toc59203723)

[2.3 Deambulação 8](#_Toc59203724)

[2.3.1 Interno 8](#_Toc59203725)

[2.3.2 Externo 8](#_Toc59203726)

[2.4 Plasticidade Neural 8](#_Toc59203727)

[2.5 Melhoria das condições fisiológicas 8](#_Toc59203728)

[3 Função / Funcionalidade 8](#_Toc59203729)

[3.1 Contração da musculatura para obter movimentos em malha aberta 8](#_Toc59203730)

[3.2 Algoritmo de controle para movimento utilizando malha fechada 9](#_Toc59203731)

[3.3 Leitura dos movimentos 9](#_Toc59203732)

[3.4 Ler e analisar a atividade cerebral 9](#_Toc59203733)

[4 Interface 9](#_Toc59203734)

[4.1 Leitura da intenção do usuário 9](#_Toc59203735)

[4.1.1 EEG 9](#_Toc59203736)

[4.1.2 EMG 9](#_Toc59203737)

[4.1.3 MMG 9](#_Toc59203738)

[4.1.4 Acionador 9](#_Toc59203739)

[4.2 Feedback 10](#_Toc59203740)

[4.2.1 Phi-táctil 10](#_Toc59203741)

[4.2.2 Display 10](#_Toc59203742)

[5 Requisitos 10](#_Toc59203743)

[5.1 Equipamentos 10](#_Toc59203744)

[5.1.1 Eletroestimulador 10](#_Toc59203745)

[5.1.1.1 Quantidade de canais pelo objetivo 10](#_Toc59203746)

[5.1.1.2 Portabilidade 10](#_Toc59203747)

[5.1.1.2.1 Portátil 10](#_Toc59203748)

[5.1.1.2.1.1 Bateria 10](#_Toc59203749)

[5.1.1.2.1.1.1 Considerar consumo 10](#_Toc59203750)

[5.1.1.2.1.2 Tamanho 10](#_Toc59203751)

[5.1.1.2.2 "de mesa" 10](#_Toc59203752)

[5.1.1.2.3 Implantáveis 10](#_Toc59203753)

[5.1.1.3 Equipamento que faz o processamento 10](#_Toc59203754)

[5.1.1.3.1 Computador 10](#_Toc59203755)

[5.1.1.3.2 Celular 11](#_Toc59203756)

[5.1.1.3.3 Dedicado 11](#_Toc59203757)

[5.1.2 Eletrodos 11](#_Toc59203758)

[5.1.2.1 De superfície 11](#_Toc59203759)

[5.1.2.2 Implantados 11](#_Toc59203760)

[5.1.2.2.1 Localização do eletrodo 12](#_Toc59203761)

[5.1.3 Sensores para realimentação 12](#_Toc59203762)

[5.1.3.1 Eletrogoniômetro 12](#_Toc59203763)

[5.1.3.1.1 Potenciômetro 13](#_Toc59203764)

[5.1.3.1.2 Acelerômetro / giroscópio 13](#_Toc59203765)

[5.1.3.2 MMG 13](#_Toc59203766)

[5.1.3.3 Centro de massa 14](#_Toc59203767)

[5.1.3.4 Força / Torque 14](#_Toc59203768)

[5.1.3.5 leitor dos desejos do usuário 14](#_Toc59203769)

[5.1.4 Software com algoritmo de controle 14](#_Toc59203770)

[5.1.4.1 Estratégia de controle aplicado 14](#_Toc59203771)

[5.1.4.2 Análise dos sinais de entrada 14](#_Toc59203772)

[5.1.4.2.1 Posição dos segmentos do corpo 14](#_Toc59203773)

[5.1.4.2.2 Contração/Fadiga da musculatura 14](#_Toc59203774)

[5.1.4.2.3 Leitor dos desejos do usuário (listados na interface) 14](#_Toc59203775)

[5.1.4.3 Programação do objetivo a ser alcançado 14](#_Toc59203776)

[5.1.5 Sustentação do tronco 15](#_Toc59203777)

[5.1.5.1 Equipamento para suporte do corpo 15](#_Toc59203778)

[5.1.5.2 Barras paralelas 15](#_Toc59203779)

[5.1.5.3 Andador 15](#_Toc59203780)

[5.1.5.4 Muletas 15](#_Toc59203781)

[5.2 Configurações do equipamento para cada caso 15](#_Toc59203782)

[5.2.1 Definição dos parâmetros iniciais de estimulação 15](#_Toc59203783)

[5.2.2 Definição dos limites de variação dos parâmetros 15](#_Toc59203784)

[5.3 Físicos do usuário 15](#_Toc59203785)

[5.3.1 Densidade óssea para suportar o peso do corpo e execução de exercícios 16](#_Toc59203786)

[5.3.1.1 Condições de ficar em pé com suporte do tronco 16](#_Toc59203787)

[5.3.1.2 Hipotensão 16](#_Toc59203788)

[5.3.1.3 Força nos braços 16](#_Toc59203789)

[5.3.1.4 Ausência de encurtamento significativo 16](#_Toc59203790)

[5.4 Cognitivos 16](#_Toc59203791)

[5.4.1 Percepção das ações que serão executadas 16](#_Toc59203792)

[5.5 Sensoriais 16](#_Toc59203793)

[5.5.1 Preferência por quem tem propriocepção 16](#_Toc59203794)

[Sugestões para melhorias futuras 16](#_Toc59203795)

[Referências Bibliográficas 17](#_Toc59203796)

Próteses Neurais (Estimulação Elétrica Funcional) de Membros Inferiores

O objetivo deste trabalho é auxiliar quem vá atuar na área de Próteses Neurais de Membros Inferiores utilizando Estimulação Elétrica Funcional, elencando as questões relevantes para serem analisadas e aumentar as chances de sucesso durante a pesquisa de um novo equipamento ou forma de aplicação. Relacionados a restes itens, tem os trechos de artigos que fazem menção a aquele assunto, sendo priorizados artigos de revisão por conterem mais referências de artigos correlatos.

O início deste trabalho aconteceu como trabalho da disciplina de Tecnologia Assistiva em Mobilidade ministrada pelo Prof. Dr. Percy Nohama.

**Citações nos artigos:**

A utilização da FES em musculatura com perda de fun­ção motora com o objetivo de criar movimento artificial, denomina-se prótese neural2 (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Em relação à importância das próteses neurais, em uma pessoa sem comprometimento neurológico, regiões distintas do sistema nervoso central ativam o sistema neuromuscular. Atualmente, utilizam-se sistemas artificiais para mimetizarem as ações fisiológicas perdidas devido a uma lesão neurológica. A estimulação elétrica de tecidos humanos in vivo, como forma de tratamento, desenvolveu-se por meio de pesquisas e do aprimoramento da tecnologia. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

“a estimulação elétrica funcional (internacionalmente conhecida pelo acrônimo FES – Functional Electrical Stimulation) que emprega corrente elétrica para ativar músculos cujo controle pelo SNC foi prejudicado ou perdido, mas que ainda possuem os nervos periféricos intactos (Kralj e Bajd, 1989).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.122(2))

# Mapa Mental

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

Diagrama

Descrição gerada automaticamente

# Objetivos

Saber qual é o objetivo daquela aplicação da eletroestimulação.

**Citações nos artigos:**

Os principais estudos que en­volveram movimentos dinâmicos podem ser resumidos em trabalhos de fortalecimento e treinamento muscular, marcha, equilíbrio e compreensão, e estratégias para evi­tar a ocorrência de fadiga muscular. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

## Fortalecimento muscular

**Citações nos artigos:**

Em longo prazo, a FES promove o fortalecimento do tecido muscular, melhora a condição cardiorrespiratória e de­senvolve a plasticidade das vias neuronais. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

## Ortostatismo / bipedestação

**Citações nos artigos:**

Quando a FES é utilizada concomitantemente à órtese, com o intuito de auxiliar o usuário a manter a posição ortostática ou deambular, a nomenclatura passa a ser sistema de FES híbrida29,30 (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Kralj and colleagues [30] originally demonstrated posture switching that could prolong FES standing in paraplegia. The authors showed that a cyclic stimulation pattern of 10–20 s (on/off) duty cycle promoted a longer standing duration [30]. (IBITOYE et al., 2019)

In general, paraplegics and some persons with low-level tetraplegia have benefited from an open-loop FES standing strategy because of its “easier and faster” setup. However, a low quality of standing and a limited standing duration has been widely reported using this approach. (IBITOYE et al., 2019)

A utilização de estratégias de controle tanto em malha aberta quanto em malha fechada requerem o uso de órteses de membros inferiores (MMII) ou dos mem­bros superiores (MMSS) para treino de bipedestação e/ ou deambulação em paraplégicos; entretanto, o sistema em malha fechada tende a ter uma resposta melhor64 (KRUEGER-BECK et al., 2010)

The factors that often dictated the short duration and poor quality of standing other than the mode of stimulation were: (i) the degree of muscle conditioning, (ii) the extent of muscle atrophy or potency of post-acute care exercise, (iii) the level of injury and strength of the trunk musculature. (IBITOYE et al., 2019)

## Deambulação

**Citações nos artigos:**

A utilização de EE no tecido contrátil está associa­da a diversas aplicações [...] redução de padrão motor espástico, bipedestação e deambulação1,2,12 (KRUEGER-BECK et al., 2010)

### Interno

A deambulação em ambientes internos normalmente representam distâncias menores mas tem mais mudanças de direção.

### Externo

Em ambientes externos, o usuário tem outros desafios, como pisos irregulares, distâncias maiores e outros.

## Plasticidade Neural

**Citações nos artigos:**

Essa plasticidade de longo prazo é representada por (1) decremento da ativa­ção da musculatura antagonista, (2) aumento da ativida­de da unidade motora e (3) incremento na ativação da musculatura sinergista56. A remodelagem neuronal ocorre devido à estimulação local sobre o músculo ou ativação antidrômica (sentido terminal do axônio para o soma)57 nas células motoras do corno anterior da medula espinal. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

## Melhoria das condições fisiológicas

**Citações nos artigos:**

There is a consensus that prolonged FES-evoked standing afterspinal cord injury has the potential to confer to the user some health benefits and arguably promote an improved quality of life [36,53]. (IBITOYE et al., 2019)

# Função / Funcionalidade

## Contração da musculatura para obter movimentos em malha aberta

**Citações nos artigos:**

The open-loop FES control of standing strategy was characterized by a manual control of stimulation characteristics leading to fixed stimulation parameters through out the contraction duration. (IBITOYE et al., 2019)

This standing strategy has been termed “quadrupedal standing” [39] as the hands are usually fully engaged in maintaining posture and stability during the upright stance task. (IBITOYE et al., 2019)

“Quando utilizados em malha aberta, os sensores não proporcionam realimentação automática e eventuais ajustes são feitos manualmente pelo operador.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.128(8))

## Algoritmo de controle para movimento utilizando malha fechada

**Citações nos artigos:**

“A eficácia de uma abordagem reabilitacional depende do uso de FES associado a algum sistema de realimentação provido pelo paciente, onde o papel da FES é executar a função do movimento perdido e o paciente deve in­terpretar o movimento como se estivesse sendo realizado voluntariamente. Essa estratégia permite uma ativação de vias neuronais que, consequentemente, favorece uma re­modelagem neuronal58.” (KRUEGER-BECK et al., 2010)

“A vantagem da utilização de sistemas em malha fechada é que eles mantêm o nível de angulação e/ou torque, por meio do incremento da intensidade estimulatória da FES ao longo do tempo e buscam retardar a perda de torque articular decorrente da fadiga muscular40. Também pro­porcionam a correção de possíveis variações musculares decorrentes da espasticidade65.” (KRUEGER-BECK et al., 2010)

“O controlador calcula os parâmetros de estímulo necessários para atingir o objetivo do comando. Em seguida, os pulsos estimulatórios são aplicados ao músculo em questão. Sensores monitoram se o objetivo foi atingido, por exemplo, monitorando o ângulo articular.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.127(7))

## Leitura dos movimentos

## Ler e analisar a atividade cerebral

# Interface

## Leitura da intenção do usuário

### EEG

### EMG

### MMG

### Acionador

**Citações nos artigos:**

“O indivíduo que recebeu o implante ativava cada passo por meio de uma chave ao alcance dos seus dedos.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

## Feedback

### Phi-táctil

### Display

# Requisitos

## Equipamentos

### Eletroestimulador

#### Quantidade de canais pelo objetivo

A quantidade de canais de estimulação necessários vai depender dos objetivos e da precisão dos movimentos desejados. Outro empecilho em relação à quantidade de canais é a habilidade de controle de todos estes parâmetros, sendo bastante facilitado no caso do uso de um sistema em malha fechada.

#### Portabilidade

##### Portátil

###### Bateria

**Citações nos artigos:**

A alimentação do estimulador elétrico pode vir diretamente da rede elétrica ou por meio de baterias, o que é mais aplicado aos aparelhos portáteis12,31 (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Considerar consumo

###### Tamanho

##### "de mesa"

##### Implantáveis

**Citações nos artigos:**

“os sistemas de FES distribuídos não possuem unidade central, sendo que cada músculo é ativado por um ‘microestimulador’ individual. Cada microestimulador deve ser responsável por reconhecer o instante em que deve iniciar uma ativação e com quais parâmetros de estímulo. Tais informações são geralmente moduladas em uma frequência portadora.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.126(6))

#### Equipamento que faz o processamento

##### Computador

**Citações nos artigos:**

“A programação das estratégias de controle do movimento e sequência de estimulação dos músculos também podia ocorrer com o auxílio do computador.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

##### Celular

##### Dedicado

### Eletrodos

**Citações nos artigos:**

“o fator visual também é importante para os pacientes com LM tanto do ponto de vista cosmético quanto psicológico. Os fios e módulos externos também podem se transformar em obstáculos durante a realização de movimentos funcionais eliciados artificialmente, apresentar falhas mecânicas e podem desmotivar os usuários já a partir da montagem do sistema nos membros afetados.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.125(5))

“Nenhuma complicação pós-operatória foi identificada e o paciente relatou satisfação com o sistema, mas após um ano de utilização, constatou-se que eletrodos de superfície estavam causando contrações mais eficazes que os implantados, indicando a necessidade de ajustes de posicionamento dos eletrodos em alguns músculos.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

#### De superfície

**Citações nos artigos:**

“Os eletrodos de superfície são os de mais fácil manipulação, pois são colados na superfície da pele, e são também denominados transcutâneos (não confundir com sistemas com acoplamento transcutâneo). O uso desses eletrodos é bastante comum juntamente com sistemas de FES externos, pois não são invasivos. Porém, do ponto de vista fisiológico, eles não possuem grande seletividade dos músculos a serem recrutados e podem causar dores e irritação local da pele onde foram colocados (Kenney et al., 2002).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.125(5))

#### Implantados

**Citações nos artigos:**

“Estimuladores elétricos totalmente implantados e com acoplamento transcutâneo apresentaram menos problemas com quebras de eletrodos e problemas de infecção do que os hard-wired.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.121(1))

“Realizar e controlar movimentos funcionais empregando sistemas implantados, não é tarefa trivial devido aos problemas técnicos e fisiológicos inerentes.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.122(2))

“a implementação desses sistemas representa um desafio tecnológico enorme a ponto de pesquisadores como Troyk e Donaldson (2001) sugerirem que a interface neuronal ainda é uma barreira intransponível para o completo restabelecimento da função perdida.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.122(2))

“Os eletrodos percutâneos estimulam partes mais profundas do músculo em que foram inseridos, porém o cabo do eletrodo conectasse ao módulo externo e atravessa a pele. A ponta do eletrodo é disposta próxima ao ponto motor (Rushton, 1997), enquanto uma parte do cabo do eletrodo, que é conectado ao módulo externo, atravessa a pele. Esses sistemas são invasivos, e a taxa de quebra dos eletrodos e fios é elevada. Com a movimentação do músculo devido à contração, a posição do eletrodo em relação ao ponto motor pode variar, prejudicando a contração eliciada (Marsolais e Kobetic, 1986). Os cabos atravessando a pele constituem uma porta aberta para infecções. Portanto, sempre que possível, deve-se evitar o emprego desses transdutores (Hoffer e Loeb, 1980).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.125(5))

“Os fluidos extracelulares configuram um ambiente iônico hostil aos dispositivos implantados (Hambrecht, 1979), principalmente aos cabos e fios condutores, que Sistemas implantados FES devem estar eletricamente isolados dos tecidos com revestimentos de materiais dielétricos como silicone, Teflon, epóxi e, para microeletrodos, SiO2 e Si3N4 (Robblee e Sweeney, 1996).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.127(7))

“alguns pesquisadores empregaram eletrodos percutâneos ultrafinos e obtiveram baixas taxas de quebra ou falha de eletrodos (Shimada et al., 1996).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.128(8))

“Onze cabos estendiam-se para cada lado do quadril até eletrodos de platina, no epineuro dos ramos individuais dos nervos femoral, glúteo superior e inferior, tibial, fibular comum e isquiáticos direito e esquerdo. Os eletrodos foram envoltos em um elastômero de silicone. Dois eletrodos extras foram envoltos em uma capa de Teflon e implantados em cada triângulo femoral.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

##### Localização do eletrodo

**Citações nos artigos:**

“O procedimento utilizado para encontrar o ponto motor dos músculos geralmente envolve a prospecção da região muscular com uma probe e aplicação simultânea de estimulação elétrica (Marsolais e Kobetic, 1988; Shimada et al., 1996).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.128(8))

### Sensores para realimentação

**Citações nos artigos:**

Os principais sistemas de medição utilizados em malha fechada englobam ace­lerômetros, giroscópios, microfones, dispositivos de *la­ser*, dinamômetros, plataformas de força, *strain-gauges*, eletrogoniômetros, eletromiógrafos (EMG) e células de carga2,62,66-69. A técnica de medição denominada mecano­miografia (MMG)70 ou vibromiografia71, mede a oscila­ção proporcionada pelo tecido muscular durante a con­tração72. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Os mecanismos de controle apresentaram-se mais eficazes quando utilizaram um sistema de malha fechada. Para a obtenção do bio­feedback, diversos sensores de medição foram utilizados como célula de carga, EMG, MMG e eletrogoniômetro. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

#### Eletrogoniômetro

**Citações nos artigos:**

These type of signals have gained recente popularity in the implementation of a closed-loop FES-supported standing, whereby the muscle stimulation strategy has been auto-mated based on the lower limb neuromuscular information and changes in joint position or angle [18]. (IBITOYE et al., 2019)

Os sistemas de medição utilizados para realimentação foram goniô­metros analógicos posicionados lateralmente à articulação do joelho e da pelve, acelerômetros digitais na articulação da pelve e sensores analógicos de força na região plantar. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

##### Potenciômetro

**Citações nos artigos:**

Sensores. (a) Eletrogoniômetro: ao potenciômetro central são fixadas as extremidades de duas hastes, uma presa à base do potenciômetro e a outra ao seu eixo que, ao sofrer rotação, muda a resistência e, consequentemente, a tensão entre os terminais. Um computador faz a aquisição da variação da tensão nos terminais do potenciômetro. (b) S é o acelerômetro que monitora a flexão do tronco: conforme o tronco é inclinado, a aceleração sofre variação (adaptado de Giansanti, 2006).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

##### Acelerômetro / giroscópio

**Citações nos artigos:**

“Em 1999, Davis et al. (1999) implantaram um EE de 22 canais em um paciente T10 com o uso do qual foi capaz de permanecer em pé por cerca de 1 h. O sistema utilizava um computador para programar estratégias do movimento, monitorar a amplitude de movimento (ângulo das articulações) com sensores de eletrogoniometria (Figura 14a) e acelerômetros no dorso para detectar a inclinação do tronco e auxiliar no controle da manutenção da posição ortostática para a sentada.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

#### MMG

**Citações nos artigos:**

A MMG pode ser utilizada em conjunto com a FES, por não sofrer interferência elétrica direta73. Os sistemas de medição mecanomiográfica podem ser cons­truídas com microfones ou sensores *laser* para medição de distância que fornecem um sinal monoaxial74. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

A MMG é utilizada em conjunto com a FES para avaliar a resposta muscular durante a fadiga muscular e/ou adaptação do motoneurônio75 e para encontrar parâmetros ótimos para a FES76. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

O acelerômetro é um dispositivo que também pode ser utilizado na medição de MMG e pode fornecer sinais de vibração em um, dois ou três eixos72. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

#### Centro de massa

#### Força / Torque

#### leitor dos desejos do usuário

### Software com algoritmo de controle

#### Estratégia de controle aplicado

**Citações nos artigos:**

*Softwares* de controle são utilizados para melhorar a atividade da FES, garantindo maior estabilidade em malha fechada por meio da modelagem matemática. A li­teratura apresenta estratégias de controle utilizando técni­cas, como redes neurais77 (contribuindo para sustentação do torque muscular78-80) ou lógica *fuzzy* para movimenta­ção articular com a FES81. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Sistemas mais avançados, além da realimentação da FES, permitem a antecipação (do in­glês - *feedforward*)82 do sistema músculo-esquelético para elaboração do movimento subsequente80. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Simple PID may have limited application in practical FES-supported standing “as its derivative action might amplify high-frequency system dynamics and lead to system’s instability”[39]. However, Audu and colleagues [35] implemented a modified version of the conventional PID controller and showed that such controllers not only have the potential of prolonging standing duration, but could also improve the quality of standing for balance and manoeuvring purposes. (IBITOYE et al., 2019)

An interesting question is if “human factors” currently limit standing duration and quality, can future machine-learning approaches ever overcome these? (IBITOYE et al., 2019)

Although several controllers including dynamic, Neural Network based, PID, H∞ and finite state have been used to facilitate the prolongation of FES upright standing duration, (IBITOYE et al., 2019)

#### Análise dos sinais de entrada

##### Posição dos segmentos do corpo

##### Contração/Fadiga da musculatura

##### Leitor dos desejos do usuário (listados na interface)

#### Programação do objetivo a ser alcançado

**Citações nos artigos:**

there is a consensus that prolonged FES-supported standing is feasible, ensuring an upright and a prolonged postureby mimicking the normal/voluntary standing without compromising simplicity remain a daunting task. (IBITOYE et al., 2019)

### Sustentação do tronco

#### Equipamento para suporte do corpo

**Citações nos artigos:**

For “those with lesions at the high thoracic level, or above, generally, have poor truncal control and impaired upper extremity function and are not good candidates for lower extremity FES-supported standing” [64]. (IBITOYE et al., 2019)

#### Barras paralelas

**Citações nos artigos:**

“O paciente podia manter a posição ortostática por 8 min. (distribuindo a carga nas duas pernas alternadamente) e caminhar por até 20 m. Os dois exercícios obtiveram melhor desempenho com o emprego de órtese de pé e tornozelo articulável (similar à da Figura 21) e barras de apoio.” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.133(13))

#### Andador

#### Muletas

## Configurações do equipamento para cada caso

**Citações nos artigos:**

“Geralmente esses sistemas ativam as estimulações por meio de computadores. Entretanto, mesmo em laboratórios, o início das estimulações pode ser realizado pelos usuários e técnicos por acionamento manual (Marsolais e Kobetic, 1987; 1988).” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.128(8))

### Definição dos parâmetros iniciais de estimulação

### Definição dos limites de variação dos parâmetros

## Físicos do usuário

**Citações nos artigos:**

in order to avoid frustration and subvert exercise-induced injury, Bajd and colleagues [7] have recommended inclusion criteria for FES standing in paraplegia to accommodate only candidates with: upper motor neuron lesion, no or modest joint contractures or spasm, no major skin problems, adequate upper extremity function and physiological status, and the qualified candidate should be motivated and cooperative. (IBITOYE et al., 2019)

### Densidade óssea para suportar o peso do corpo e execução de exercícios

**Citações nos artigos:**

“alguns autores a relacionam também com o surgimento de osteoporose (Demirel et al., 1998; Frey-Rindova et al., 2000; Roberts et al., 1998)” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.122(2))

#### Condições de ficar em pé com suporte do tronco

#### Hipotensão

#### Força nos braços

#### Ausência de encurtamento significativo

**Citações nos artigos:**

“Contraturas são complicações comumente observadas em pessoas com LM (Yarkony et al., 1985) e também podem estar associadas a úlceras de pressão em pacientes com incapacitação aguda (Dalyan et al., 1998)” (NOGUEIRA NETO et al., 2010, p.122(2))

## Cognitivos

### Percepção das ações que serão executadas

## Sensoriais

### Preferência por quem tem propriocepção

**Citações nos artigos:**

Observou-se que a fadiga muscular foi maior para as apli­cações em baixa frequência, em comparação com a alta, considerando o mesmo torque. Isso sugere que a estimu­lação ininterrupta em frequência 100 Hz aparenta ser melhor, quando se tem a intenção de manter contrações isométricas por um período maior68. (KRUEGER-BECK et al., 2010)

Sugestões para melhorias futuras

**Incluir:**

ABNT com as normas para eletroestimuladores

Artigo 2020.02.27.967836v1.full - A synthetic synaptic organizer protein restores glutamatergic neuronal.pdf

Referências Bibliográficas

Braz GP, Russold M, Davis GM. Functional Electrical Stimulation Control of Standing and Stepping After Spinal Cord Injury: A Review of Technical Characteristics. NEUROMODULATION: TECHNOLOGY AT THE NEURAL INTERFACE. Volume 12, Number 3, 2009

Krueger-Beck E, Scheeren EM, Nogueira Neto GN, Button VLSN, Nohama P. Efeitos da estimulação elétrica funcional no controle neuromuscular artificial. Rev Neurocienc 2011;19(3):530-541. doi: 10.4181/RNC.2010.06ip.11

Morufu Olusola Ibitoye, Nur Azah Hamzaid, Mitsuhiro Hayashibe,Nazirah Hasnan, Glen M. Davis. Restoring prolonged standing via functional electrical stimulationafter spinal cord injury: A systematic review of control strategies. Biomedical Signal Processing and Control 49 (2019) 34–47

Guilherme Nunes Nogueira Neto, Elisangela Ferretti Manffra, Percy Nohama, Vera Lúcia da Silveira Nantes Button. Sistemas implantáveis de estimulação elétrica funcional para controle artificial de movimentos funcionais. *Implantable functional electrical stimulation systems for artificially controlling functional movements.* Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 26, n. 2, p. 121-142, agosto 2010

Nogueira Neto, G. N.; Manffra, E. F.; Nohama, P.; Button, V. L. S. N.. Rev. Bras. Eng. Biom., v. 26, n. 2, p. 121-142, ago. 2010. Braz. J. Biom. Eng., 26(2): 121-142, Aug. 2010