

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
Colegiado dos Cursos de Pós-graduação**

Bruna Dias Menezes

**DESEMPENHO FÍSICO E QUALIDADE DA MOVIMENTAÇÃO DE EQUINOS
MANGALARGA MARCHADOR TREINADOS COM APARELHO DE
ELETROESTIMULAÇÃO DE CORPO INTEIRO**

Belo Horizonte
2021

Bruna Dias Menezes

**DESEMPENHO FÍSICO E QUALIDADE DA MOVIMENTAÇÃO DE EQUINOS
MANGALARGA MARCHADOR TREINADOS COM APARELHO DE
ELETROESTIMULAÇÃO DE CORPO INTEIRO**

Versão final

Dissertação apresentada ao departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária de Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia.

Orientadora: Profa. Adalgiza Souza Carneiro de Rezende

Coorientadora: Profa. Andressa Batista da Silveira Xavier

Belo Horizonte
2021

M543d Menezes, Bruna Dias, 1988 -
Desempenho físico e qualidade da movimentação de equinos mangalarga marchador treinados com
aparelho de eletroestimulação de corpo inteiro /Bruna Dias Menezes. – 2021.
94f. il

Orientadora: Adalgiza Souza Carneiro de Rezende
Coorientadora: Andressa Batista da Silveira Xavier
Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de
Veterinária, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre
Bibliografia: f. 82-94.

1. Equino - Teses - 2. Mangalarga – Cavalo - Teses – I. Rezende, Adalgiza Souza Carneiro de
II. Xavier, Andressa Batista da Silveira - III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de
Veterinária - IV. Título.

CDD – 636.08

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes – CRB2569
Biblioteca da Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais



Escola de Veterinária
UFMG

ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/pos-graduacao
E-mail cpzootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE BRUNA DIAS MENEZES

Às 14:00 horas do dia 28 de dezembro de 2021, reuniu-se, remotamente, a Comissão Examinadora de dissertação, aprovada em reunião ordinária no dia 15/10/2021, para julgar, em exame final, a defesa da dissertação intitulada: **DESEMPENHO FÍSICO E QUALIDADE DE MOVIMENTAÇÃO DE EQUINOS MANGALARGA MARCHADOR TREINADOS COM APARELHO DE ELETRÓ ESTIMULAÇÃO DE CORPO INTEIRO**, como requisito final para a obtenção do Grau de **Mestre em Zootecnia, área de concentração produção de não ruminantes**

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Profa. Adalgiza Souza Carneiro de Rezende, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de dissertação, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da dissertação, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof.(a)/Dr.(a) Adalgiza Souza Carneiro de Rezende _____	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Alessandro Moreira Procópio _____	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) Mayara Gonçalves Fonseca _____	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prof.(a)/Dr.(a) _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): Aprovado (a)
 Reprovado (a)

Para concluir o Mestrado, o(a) candidato(a) deverá entregar 03 volumes encadernados da versão final da dissertação acatando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da dissertação apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 28 de dezembro de 2021.

Assinatura dos membros da banca:

Adalgiza Souza Carneiro de Rezende _____

Alessandro Moreira Procópio _____

Mayara Gonçalves Fonseca _____

Adalgiza Souza C. de Rezende
Alessandro Procópio
Mayara Fonseca

(Vide Normas Regulamentares da defesa de Tese no verso)
(Este documento não terá validade sem assinatura e carimbo do Coordenador)

Doutorado/Atadefesa.doc

“Há várias formas de se atingir o sucesso, mas se você seguir sua paixão, estará no caminho certo”.

Luiz Alberto Dias Menezes Filho

Agradecimentos:

À Deus, pela vida, pelas oportunidades e pessoas maravilhosas que colocou no meu caminho.
Ao meu pai, Luiz Alberto, por ser um exemplo como pessoa e profissional e sempre me incentivar a seguir minha paixão, saudades eternas!

À minha mãe, Maria Luisa, por todo o suporte dado durante o mestrado, por cuidar do Caio para mim, e por me receber de novo na sua casa. Sem você eu não teria conseguido!

Às minhas irmãs, Daniela, Tatiana e Fernanda, pelo apoio e conselhos dados.

Ao Vando pela compreensão, nesse momento em que tivemos que ficar afastados um do outro e ele do Caio.

Ao Caio, por despertar o maior amor do mundo em mim.

À Nonna, pelo amor e preocupação constantes, principalmente com meu filhote.

À professora Adalgiza, pela oportunidade do mestrado e por todos os ensinamentos passados, além do exemplo como profissional e pelo seu respeito e amor com os animais.

À Escola de Veterinária da UFMG, e seus professores, por me receberem novamente, e contribuírem mais uma vez para meu aprendizado.

Ao CNPQ por me conceder a bolsa durante a pós-graduação.

À professora Ângela pelos conhecimentos passados, por toda a compreensão nesse momento conturbado de pandemia e por estar sempre à disposição para me ajudar durante o mestrado.

Ao Marcelo por estar sempre disposto a ajudar a resolver quaisquer intercorrências que surgiram durante esse período.

Ao Fernando, e mais uma vez à professora Ângela, pela execução da estatística não-paramétrica.

À Mayara, ou “Mãeara”, por toda a orientação durante esse processo, por estar sempre à disposição, pela execução das análises estatísticas, e por ser uma grande amiga!

À Bárbara, por todos os ensinamentos de equitação, por disponibilizar seu tempo para montar os animais durante as avaliações, e por ser uma grande amiga há vários anos.

À Júlia, Jamile, e Felipe, pela ajuda preciosa durante as avaliações, pela eficiência, amizade e bom humor.

À professora Andressa, por possibilitar as análises cinemáticas, e aos seus orientados, Henrique e Matheus, que ajudaram a analisar as filmagens.

Ao Procópio, por aceitar participar da minha banca e enriquecer o trabalho com seus conhecimentos.

À professora Marília por disponibilizar recursos para as análises sanguíneas.

Ao Andrês e Alê, por disponibilizarem o equipamento Equery R6, pela confiança, e pelo fornecimento de boa parte dos materiais necessários.

Ao Roland por estar sempre disposto a sanar dúvidas, mesmo estando em outro lado do mundo.

À Cristiana, por ter aberto as portas do Haras Morada Nova para nós, mesmo em um momento de pandemia, e por ter disponibilizado equipe, animais e hospedagem durante esse período.

Ao Wilson, pela recepção, paciência e disposição para modificar toda a rotina do haras, principalmente nos dias de teste.

Ao Ed, por preparar os animais e nos ajudar a montar e cuidar das éguas durante o experimento.

Ao Agmar, pela ajuda para montar e tratar dos animais, e pela amizade construída durante esse período.

À Thayná, grande amiga que conheci durante o experimento, pelos momentos maravilhosos e divertidos que passamos juntas.

À toda equipe do Haras Morada Nova, pela hospitalidade, colaboração e amizade.

Ao Fernandinho, pela disponibilidade para realizar a avaliação técnica, que foi fundamental para esse trabalho.

À Royal Horse, por patrocinar a ração para o projeto, e ao Rogério, que acreditou na importância do projeto e intermediou o pedido de patrocínio.

À Ceva Saúde Animal, por disponibilizar os vermífugos para o experimento.

À ABCCMM, pela divulgação da pesquisa em seus meios de comunicação.

Ao Lhamão, por me incentivar a compreender cada vez mais a delicada psicologia dos cavalos.

Se eu não tivesse aprendido tanto com você teria muito mais dificuldade para lidar com os animais jovens e, por vezes, assustados, durante o experimento.

Às “minhas meninas”, as doze éguas que participaram do experimento, por contribuírem para a ciência, por se comportarem tão bem e proporcionarem ótimos momentos juntas.

RESUMO:

O Brasil possui o quarto maior rebanho de equinos no mundo, sendo o Mangalarga Marchador a mais numerosa raça de equinos criada no país. O concurso de marcha é prova funcional mais importante realizada com essa raça e foi caracterizado como um exercício de intensidade submáxima. As particularidades da prova de marcha e o fato dos equinos atletas apresentarem alta incidência de claudicações, mostra que estratégias devem ser adotadas para aprimorar o período de condicionamento físico desses animais, visando preservar sua longevidade atlética. A eletroterapia tem sido utilizada na medicina equina como recurso fisioterapêutico de reabilitação e não há estudos sobre seu uso no desempenho esportivo dessa espécie. O objetivo da pesquisa foi testar os efeitos do uso de dispositivo para eletroestimulação de corpo inteiro sobre o condicionamento físico e qualidade de movimentação de equinos da raça Mangalarga Marchador. Doze éguas Mangalarga Marchador, provenientes do mesmo criatório, destreinadas, com idade entre 3 e 4 anos, escore corporal médio de 3 (escala de 0 a 5) e peso médio de 350 kg, foram sorteadas para os grupos GA e GB. Os dois grupos foram condicionados com o mesmo protocolo de exercícios, mas os animais de GB foram submetidos a sessões de 30 min de eletroestimulação antes de cada sessão de trabalho. O desempenho físico dos animais foi avaliado em quatro testes de marcha, sendo o primeiro antes de iniciar o treinamento e os demais aos 10, 28 e 42 dias de treinamento. Nos testes foram avaliadas variáveis fisiológicas (temperatura retal, frequência cardíaca e respiratória) e sanguíneas (hemograma, lactato e enzimas creatino quinase e aspartato aminotransferase). Antes e ao final do período de treinamento os animais foram avaliados quanto a variáveis cinemáticas da marcha e a parâmetros qualitativos do andamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas. Os dados foram submetidos à ANOVA de três fatores (tratamento x teste x momento) para amostras repetidas (animal), seguidas de teste de Tukey ($p \leq 0,05$) ou SNK ($p \leq 0,05$). A frequência cardíaca aos 10 minutos de recuperação foi menor em GB ($p < 0,05$) aos 28 dias de treinamento. O tempo de marcha entre o primeiro e o último teste foi superior em GB ($p \leq 0,05$), sendo que ao final do período experimental, apenas GB atingiu tempo de marcha superior a 50 min. Na avaliação qualitativa do andamento, o uso da eletroestimulação durante o treinamento (GB) melhorou a qualidade de movimentação e estabilidade dos membros pélvicos. Na análise cinemática, o treinamento aumentou ($p \leq 0,05$) o comprimento da passada nos dois grupos experimentais e houve aumento do deslocamento vertical dos cascos torácico e redução do deslocamento vertical da nuca em

GA. Concluiu-se que o uso da eletroestimulação de corpo inteiro associada ao treinamento de 42 dias melhorou o condicionamento físico e a qualidade de movimentação e estabilidade dos membros pélvicos de equinos MM.

Palavras-chave: Concurso de marcha. Biomecânica. Equery R6. Condicionamento físico.

ABSTRACT:

Brazil has the fourth largest equine herd in the world, with the Mangalarga Marchador being the most numerous horse breed bred in the country. The marcha contest is the most important functional test performed with this breed and has been characterized as a submaximal intensity exercise. The particularities of the marcha test and the fact that equine athletes present a high incidence of lameness, shows that strategies should be adopted to improve the period of physical conditioning of these animals, in order to preserve their athletic longevity. Electrotherapy has been used in equine medicine as a physiotherapeutic rehabilitation resource and there are no studies on its use in the sports performance of this species. The objective of the research was to test the effects of the use of a device for whole-body electrostimulation on the physical conditioning and quality of movement of Mangalarga Marchador horses. Twelve untrained Mangalarga Marchador mares, from the same breeder, aged between 3 and 4 years, with a mean body score of 3 (scale from 0 to 5) and mean weight of 350 kg, were randomly assigned to groups GA and GB. Both groups were conditioned with the same exercise protocol, but the GB animals were submitted to 30 min sessions of electrostimulation before each work session. The physical performance of the animals was evaluated in four marcha tests, the first one before starting training and the others at 10, 28 and 42 days of training. In the tests, physiological variables (rectal temperature, heart and respiratory rate) and blood (blood count, lactate and creatine kinase and aspartate aminotransferase enzymes) were evaluated. Before and at the end of the training period, the animals were evaluated for gait kinematic variables and qualitative gait parameters. The experimental design was completely randomized in subdivided plots. Data were submitted to three-way ANOVA (treatment x test x moment) for repeated samples (animal), followed by Tukey's test ($p \leq 0.05$) or SNK test ($p \leq 0.05$). Heart rate at 10 minutes of recovery was lower in GB ($p < 0.05$) at 28 days of training. The marcha time between the first and the last test was higher in GB ($p < 0.05$), and at the end of the experimental period, only GB reached a marcha time of more than 50 min. In the qualitative assessment of gait, the use of electrical stimulation during training (GB) improved the quality of movement and stability of the pelvic limbs. In the kinematic analysis, training increased ($p \leq 0.05$) the stride length in both experimental groups and there was an increase in the vertical displacement of the thoracic hooves and a reduction in the vertical displacement of the neck in GA. It was concluded that the use of whole-body electrostimulation associated with 42 days of training improved

physical conditioning and the quality of movement and stability of the pelvic limbs of MM horses.

Key-words: Marcha contest. Biomechanics. Equery R6. Physical conditioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES:

Figura 1: Tipos de apoios possíveis nos equinos.....	34
Figura 2: Posicionamento dos eletrodos do Equery R6 sobre a musculatura do cavalo. Pode haver alteração no posicionamento de acordo com o tamanho do animal.....	47
Quadro 1: Modos de estimulação do equipamento Equery R6.....	48
Figura 3: Utilização da capa de WB-EMS dentro da baia, logo antes do trabalho montado.....	52
Quadro 2: Cronograma das avaliações realizadas.....	54
Figura 4: aferição da temperatura retal ao final do teste de marcha.....	56
Figura 5: coleta de sangue no final do teste de marcha.....	57
Figura 6: Descrição anatômica dos pontos de fixação dos marcadores adesivos.....	60
Figura 7: Aferição do deslocamento vertical do casco torácico (coordenada Y) no aplicativo Tracker 6.0.....	62
Figura 8: Gráfico formado pelo aplicativo Tracker 6.0, durante a aferição do deslocamento vertical do casco torácico, que corresponde ao valor de Y.....	62
Figura 9: Medição do ângulo de quartela no Tracker 6.0.....	64

LISTA DE TABELAS:

- Tabela 1. Tempo de marcha em minutos (média±desvio padrão) obtidos em testes de marcha realizados a cada 14 dias de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação (GB) ou grupo controle (GA).....67
- Tabela 2. Frequência respiratória e temperatura retal (média ±desvio padrão) obtidas em testes de marcha de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação ou grupo controle.....72
- Tabela 3. Frequência cardíaca e lactato plasmático (média ±desvio padrão) obtidos em testes de marcha de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação (GB) ou grupo controle (GA).....76
- Tabela 4. Creatina quinase (CK) e aspartatoaminotransferase (AST) séricas (média ±desvio padrão) obtidas em testes de marcha de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação ou grupo controle.....79
- Tabela 5. Notas (1 a 10; mediana, valores mínimos e máximos) da avaliação técnica do andamento de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação.....83
- Tabela 6. Distribuição do tempo em cada tipo de apoio em relação ao tempo total da passada (%) durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias submetidas a protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação de corpo inteiro.....88
- Tabela 7. Comprimento, duração, velocidade, frequência de passadas e dissociação relativa de decolagem e apoio durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação.....90
- Tabela 8. Deslocamento vertical de marcadores e ângulos articulares do membro torácico durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de

condicionamento físico com uso de eletroestimulação (GB) ou grupo controle (GA).....92

Tabela 9. Deslocamento vertical do casco, da garupa, e ângulos articulares do membro pélvico e distância de apoio dos membros torácico e pélvico ipsilateral durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com uso de eletroestimulação ou grupo controle.....93

LISTA DE ABREVIATURAS:

ABCCMM - Associação Brasileira dos Criadores do Cavalog Mangalarga Marchador

AST - aspartato aminotransferase

ATP - adenosina trifosfato

Bpm - batimentos por minuto

°C - graus centígrados

CK - creatina quinase

cm - centímetros

cm² - centímetros quadrados

EMS - eletroestimulação muscular

FC - frequência cardíaca

FES - estimulação elétrica funcional

FR - frequência respiratória

GA - grupo A (controle)

GB - grupo B (submetido à eletroestimulação)

h - horas

Hz - hertz

IST - *Impulse Shift Technology*

Kg - quilogramas

Km/h - quilômetros por hora

μs - microssegundos

m/s - metros por segundo

m - metros

mA - miliampére

min - minutos

MM - Mangalarga Marchador

mmol/L - milimol por litro

Mpm - movimentos por minuto

NMES - eletroestimulação neuromuscular

R10 - 10 minutos de recuperação após o final do teste de marcha

R30 - trinta minutos de recuperação após o final do teste de marcha

R60 - sessenta minutos de recuperação após o final do teste de marcha

Rpm - rotações por minuto

Seg - segundos

TR - temperatura retal

UI/L - unidade internacional por litro

VO₂máx - velocidade máxima de consumo de oxigênio

WB-EMS - eletroestimulação de corpo inteiro

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Importância do Mangalarga Marchador no cenário nacional.....	20
2.2. Concurso de marcha.....	20
2.3. Condicionamento físico e claudicação na raça Mangalarga Marchador.....	22
2.4. Adaptações musculares ao treinamento.....	23
2.5. Testes para avaliação do desempenho físico.....	25
2.6. Parâmetros avaliados em testes de desempenho a campo.....	26
2.6.1. Frequência cardíaca.....	26
2.6.2. Lactato sanguíneo.....	28
2.6.3. Temperatura retal.....	29
2.6.4. Frequência respiratória.....	30
2.6.5. Enzimas musculares.....	31
2.7. Avaliação cinemática do Mangalarga Marchador.....	32
2.8. Distribuição dos tempos de apoio durante a marcha.....	33
2.9. Eletroterapia.....	35
2.9.1. Histórico.....	35
2.9.2. Cadeia de eventos na contração muscular voluntária.....	36
2.9.3. Fundamentação fisiológica da eletroestimulação neuromuscular.....	37
2.9.4. Conceitos na eletroterapia e características das correntes utilizadas na NMES.....	37
2.9.4.1. Resistência ao estímulo elétrico.....	37
2.9.4.2. Intensidade do estímulo.....	38
2.9.4.3. Formas de correntes elétricas.....	38
2.9.4.4. Formas de ondas dos pulsos elétricos.....	39
2.9.4.5. Tempo de contração e relaxamento.....	39
2.9.4.6. Tempo de subida (<i>ramp up</i>) e de descida (<i>ramp down</i>) do <i>burst</i>	40
2.9.4.7. Largura de pulso.....	40

2.9.4.8.Frequência de pulsos.....	40
2.9.4.9.Fadiga de alta frequência.....	41
2.9.5. Diferenças entre as contrações musculares voluntárias e as evocadas pelo estímulo elétrico.....	42
2.9.6. Associação entre NMES e contração voluntária.....	43
2.9.7. NMES de corpo inteiro (WB-EMS)	43
2.9.8. Riscos da WB-EMS	45
2.9.9. NMES em equinos.....	45
3. Objetivo geral.....	49
4. Objetivos específicos.....	49
5. Hipóteses.....	50
6. MATERIAIS E MÉTODOS	50
6.1.Ética no uso de animais.....	50
6.2.Local.....	50
6.3.Animais.....	50
6.4.Período experimental.....	51
6.5.Alimentação.....	51
6.6.Tratamentos experimentais.....	51
6.7.Tratamento com NMES.....	51
6.8.Treinamento e testes de marcha.....	52
6.9.Avaliação do desempenho.....	54
6.9.1. Variáveis fisiológicas (Frequência cardíaca – FC, Frequência respiratória – FR, e Temperatura retal – TR)	54
6.9.2. Análises sanguíneas.....	55
6.9.3. Avaliação qualitativa do andamento	57
6.9.4. Avaliação cinemática.....	59
6.10. Delineamento experimental e análises estatísticas.....	65
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
7.1.Tolerância ao uso do equipamento.....	66
7.2.Tempo de Marcha.....	67
7.3.Frequência respiratória	72
7.4.Temperatura retal	73

7.5.Frequência cardíaca.....	74
7.6.Lactato plasmático.....	77
7.7.Enzimas musculares.....	78
7.7.1. Creatina quinase (CK).....	78
7.7.2. Aspartato Aminotransferase (AST).....	81
7.8.Avaliação qualitativa do andamento.....	81
7.9.Análise cinemática.....	87
7.9.1. Distribuição dos tempos de apoio.....	87
7.9.2. Comprimento, duração, velocidade, frequência de passadas e dissociação relativas de apoio e decolagem.....	89
7.9.3. Cinemática dos membros torácicos.....	91
7.9.4. Cinemática dos membros pélvicos.....	92
7.9.5. Considerações gerais.....	94
8. CONCLUSÕES.....	96
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

1. INTRODUÇÃO

As competições equestres a cada dia inovam em busca de melhorar o desempenho dos cavalos atletas, os quais estão predispostos a sofrer injúrias musculoesqueléticas em virtude das exigências impostas pelo treinamento e pelas provas. Por isso, várias técnicas de fisioterapia, reabilitação e treinamento têm sido aplicadas visando contribuir positivamente na performance e bem-estar dos animais. A medicina esportiva equina está em evolução e alguns proprietários já oferecem aos seus animais recursos para incremento da performance. Um dos recursos que vem sendo utilizado nas raças de trote é a eletroestimulação, a qual apresenta diferentes protocolos, sendo que o médico veterinário fisioterapeuta é o profissional escolhido para direcionar o tratamento. Essa prática vem sendo utilizada visando fortalecimento e condicionamento muscular, na reabilitação de músculos hipotrofiados, na analgesia e reparo da musculatura (Schlachter e Lewis, 2016) Mangalarga Marchador (MM) é a mais numerosa raça de equinos criada no Brasil e a prova funcional realizada com essa raça é o concurso de marcha, classificado como um exercício de intensidade submáxima, o qual demanda um condicionamento predominantemente aeróbio (Prates et al., 2009). As particularidades dessa prova e do andamento característico da raça MM, associados ao fato de que os equinos atletas apresentam alta incidência de claudicações (Correia e Castro, 2011) mostra que estratégias devem ser adotadas para otimizar o período de condicionamento físico e treinamento desses animais, visando preservar sua longevidade atlética. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do primeiro dispositivo para eletroestimulação de corpo inteiro desenvolvido para equinos, no condicionamento físico e na qualidade de movimentação de equinos Mangalarga Marchador.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da raça Mangalarga Marchador no Cenário Nacional

O Brasil possui o quarto maior rebanho de equinos do mundo, com mais de 5,57 milhões de cabeças (IBGE-2016). A importância social e econômica da Equideocultura é manifestada pela movimentação econômica da ordem de R\$ 16,5 bilhões por ano e pela geração de 3,2 milhões de empregos (USP ESALQ, 2019). Com plantel totalizando 613.370 animais, Mangalarga Marchador (MM) é a maior raça de equinos da América Latina. De acordo com a Associação Brasileira dos Criadores do Cavalo Mangalarga Marchador (ABCCMM, 2019), somente em território brasileiro existem 589.289 equinos dessa raça, sendo que em solo estrangeiro, esse número já atingiu aproximadamente 24.081 equinos. A exposição Nacional do Cavalo Mangalarga Marchador, realizada anualmente no Parque de Exposições Bolivar de Andrade, em Belo Horizonte, MG, é a maior exposição de cavalos da América Latina, com a participação de 1654 animais no evento que foi realizado em julho de 2019 (ABCCMM, 2019).

A principal qualidade dessa importante raça nacional é seu andamento característico, a marcha, definida como andamento natural, marchado, simétrico, a quatro tempos, com apoios alternados entre os bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplice apoio (ABCCMM, 2019). Essa dinâmica de movimento permite ao animal se locomover sem perder o contato com o solo, o que possibilita maior conforto ao cavaleiro (Rezende et al., 2015). Os exemplares da raça MM apresentam variações no diagrama do andamento que resultam, basicamente, em dois tipos de marcha: a marcha batida e a marcha picada (Lage et al., 2017). As principais diferenças descritas entre os tipos de marcha se referem a maiores tempos de apoios lateral e tríplice em equinos de marcha picada comparados aos de marcha batida (Procópio, 2005).

2.2. Concurso de marcha

A versatilidade e docilidade do Mangalarga Marchador permitem sua utilização para diversas atividades como lida com gado, cavalgadas, equitação de trabalho e equoterapia (Rezende, 2015). Dentre as provas oficiais da raça, se destacam o Concurso de Marcha e a prova Caminhos do Marchador. O Concurso de Marcha é a principal prova realizada com a raça, com duração

mínima de 20 minutos e máxima de 70 minutos, na qual o animal executa os andamentos passo, marcha de baixa velocidade (9 km/h), de média velocidade (12 km/h) e de alta velocidade (15 km/h), sendo alguns momentos sem o contato com a embocadura: a marcha livre (ABCCMM, 2019). Uma peculiaridade em relação às competições das demais raças é que o juiz ou juízes montam e equitam cada animal nas diferentes velocidades e andamentos. Essa prova foi caracterizada por Prates et al. (2009), Jordão et al. (2009) e Lage et al. (2017) como exercício submáximo de intensidade moderada e predominantemente aeróbio.

Segundo o regulamento da ABCCMM (2019), os parâmetros que devem ser avaliados pelo(s) árbitro(s) durante os julgamentos do quesito Marcha, seguindo a ordem de relevância, são os seguintes:

I - Gesto de Marcha: É a relação entre o movimento dos anteriores e posteriores, dissociados, propiciando momentos de tríplice apoio. Essa movimentação dos membros deve ser bem coordenada, com habilidade nas trocas de apoios e qualidade de flexionamento e extensão dos membros. Os membros anteriores devem descrever a figura de um semicírculo durante o deslocamento e os posteriores devem se movimentar com energia, mas com deslocamento linear dos seus jarretes, sem elevação demasiada. É a correlação entre a qualidade de movimentação do animal e a distribuição clássica dos apoios da marcha.

II - Comodidade: É resultante da qualidade de movimentação do animal que, mantendo seu tronco estável e sem oscilações, não transmite impactos frontais, laterais ou verticais, torções ou qualquer outro desconforto à posição adequada do cavaleiro sobre a sela. Além da maciez, valoriza-se também características do animal durante seu deslocamento que favoreçam positivamente sua condução pelo cavaleiro, como bom temperamento, equilíbrio, franqueza e apoio leve de rédeas.

III - Adestramento: É o animal solícito às ajudas do cavaleiro, apoiado levemente na mão do mesmo, com descontração do maxilar, apresentando-se calmo, direito, impulsionado e com harmonia.

IV - Rendimento - É resultante de passadas amplas, elásticas, desenvoltas e equilibradas, favorecendo o animal a percorrer uma maior distância com menor número de passadas,

características apresentadas no ritmo do andamento natural. O árbitro deverá avaliar, durante as fases do julgamento, a capacidade de reunião e alongamento dos animais.

V - Estilo: É a postura corporal do animal durante a marcha, considerando a atitude (posicionamento de cabeça e pescoço), o engajamento e o conjunto formado por equilíbrio, harmonia, elegância, energia e nobreza dos movimentos.

VI - Regularidade - É a manutenção do mesmo ritmo, velocidade, gesto, comodidade e estilo durante todo o transcorrer da prova, não procedendo a trocas do andamento inicial e sempre o conservando bem definido e regular.

Como pode ser observado, o julgamento do concurso de marcha segue critérios subjetivos, estando sujeito a variações entre os árbitros. Para reduzir o efeito da subjetividade do julgamento, durante a Exposição Nacional do Mangalarga Marchador, cinco árbitros avaliam cada animal, sendo que a nota final será a média das notas de três árbitros, após exclusão da maior e da menor nota (ABCCMM, 2019).

2.3. Condicionamento físico e claudicação na raça Mangalarga Marchador

Todo cavalo atleta deve desempenhar um regime de treinamento visando prepará-lo para as competições. O treinamento envolve períodos regulares de exercício, intercalados com descanso. Durante o período de treinamento, os animais apresentarão mudanças estruturais e funcionais que lhes proporcionarão melhor eficiência na competição (Abrantes et al., 2015). Essas mudanças são adaptações que ocorrem nos sistemas cardiovascular, nas células musculares e em elementos estruturais como ossos e tendões. Portanto, uma resposta eficiente depende desses estímulos que foram provocados pelo treinamento (Evans, 2000). É muito comum cavalos entrarem em competições antes de estarem completamente preparados, gerando estresse na musculatura, ossos, ligamentos e tendões, levando ao aparecimento de lesões. A claudicação é a principal causa de redução no desempenho, podendo limitar ou até mesmo encerrar a carreira atlética de um animal (Abrantes et al., 2015). Com o avanço da Equideocultura nacional e popularização dos esportes equestres, a raça Mangalarga Marchador tem sido cada vez mais submetida a situações adversas como exercícios pesados, transportes em longa distância e todo tipo de estresse relacionado às competições (Farinelli et al., 2021).

Segundo Veiga (2006), o trabalho ou treinamento intenso aumenta a carga imposta nas articulações, podendo resultar em sinovite mecanicamente induzida, com produção e liberação de citocinas, metaloproteinases e outros mediadores inflamatórios. Estes eventos podem resultar em desequilíbrio entre os processos de síntese e degradação de proteoglicanos e glicosaminoglicanos da matriz cartilágnea, levando a osteoartrite. A doença articular é causa mais frequente de encerramento da carreira atlética de equinos, e a prevenção, por meio de um treinamento eficiente é a melhor maneira de garantir sua longevidade atlética. Nesse sentido, a eletroterapia pode ser de grande utilidade no condicionamento físico de equinos por ser uma técnica que permite o estímulo muscular sem provocar impacto sobre as articulações, possibilitando dessa forma maior longevidade atividade atlética para os animais.

Como relatado por Barcelos et al. (2016), os equinos da raça Mangalarga Marchador iniciam sua vida atlética muito jovens, sendo que potros a partir dos 12 meses e um dia já podem ser apresentados em pista ao cabresto, e animais adultos já podem ser apresentados montados em pista aos 36 meses e um dia (regulamento ABCCMM, 2019). Frequentemente, esses animais são submetidos a treinos extenuantes e competições frequentes em busca da seleção e classificação para os campeonatos nacionais. No entanto, na maioria das vezes, os protocolos de treinamento ainda são desenvolvidos de forma empírica baseados na experiência de praticos e /ou profissionais, com pouco ou nenhum embasamento científico, clínico ou fisiológico. Por isso, é comum a ocorrência de lesões nas estruturas locomotoras, o que pode estar relacionado ao excesso de esforço físico realizado durante o treinamento. A principal consequência é a prática crescente de artifícios indevidos ou ilegais, que prejudicam o bem-estar dos equinos atletas e são classificadas como *Doping*. De acordo com Correia e Castro (2011), aproximadamente 35% dos equinos julgados durante a XI Exposição Nacional da raça Mangalarga Marchador, realizada em 2011, foram indicados por algum árbitro para serem submetidos a análise de claudicação. Números expressivos de lesões do sistema locomotor nos equinos marchadores podem estar relacionados à programas de condicionamento físico inadequados, realizados precocemente em animais imaturos, sem planejamento de intensidade, volume ou duração.

2.4. Adaptações musculares ao treinamento

A musculatura esquelética dos equinos é altamente desenvolvida e adaptada para potencializar a atividade atlética do animal (Fonseca et al., 2015). A energia para suportar o exercício intenso

é fornecida pelas vias aeróbia e anaeróbia. Durante atividade de baixa intensidade, o metabolismo aeróbio produz praticamente toda energia necessária. No entanto, com o aumento da intensidade, maior proporção da energia é produzida pela via anaeróbia (Hinchcliff et al., 2014).

As propriedades funcionais (contráteis e metabólicas) de um músculo são determinadas pelo tipo de fibra ou proporção relativa de fibras de diferentes tipos (McGowan e Hyytiainen, 2017). A proporção dos três tipos de fibras musculares no equino está relacionada à aptidão daquela raça para a atividade atlética (Rezende et al., 2015). Os cavalos da raça Quarto de milha, que realizam exercícios de explosão, apresentam na musculatura cerca de 6,8% de fibras tipo I, 48,3% de fibras tipo IIA e 44,9% de fibras tipo IIX (Snow e Guy, 1980), mostrando grande capacidade anaeróbia. Já animais da raça Árabe, que executam exercícios de resistência, apresentam 42% de fibras tipo I, 30% de fibras tipo IIA e 28% de fibras tipo IIX (Rivero e Diz, 1992).

Rezende et al. (2015), ao realizarem biópsias do glúteo médio de treze potras Mangalarga Marchador não treinadas, encontraram maior prevalência de fibras tipo IIA (40,3%), seguidas por IIX (30,2%) e I (29,5%), porém maior área transversal relativa de fibras IIX (44,9%), seguidas por IIA (35,4%) e I (19,7%). Esse resultado sugere aptidão moderada do Mangalarga Marchador tanto para o metabolismo oxidativo, quanto para o metabolismo glicolítico. Os animais avaliados, no entanto, nunca haviam sido treinados, e é possível que equinos adultos condicionados apresentem perfil de fibras musculares diferente. Leisson et al. (2008) relataram que o músculo tem a habilidade única de se adaptar e remodelar de acordo com o exercício realizado regularmente, o que concorda com essa suspeita.

O treinamento para as provas de enduro, atividade que tem como característica principal ser de longa duração e baixa intensidade, aumenta a capacidade oxidativa sem aumentar a força muscular (Nader, 2006; Votion et al., 2007). Já o treino de força e velocidade aumenta a capacidade para executar exercícios de alta intensidade, aumentando a hipertrofia da fibra e sincronidade de recrutamento dessas fibras musculares (Votion et al., 2007).

Segundo Abrantes et al. (2015), efeitos significativos do treinamento são observados mesmo em intensidade de exercício moderada a baixa, mas essas mudanças principalmente refletem o

aumento da capacidade aeróbia. Diminuição da quebra de glicogênio, aumento de enzimas oxidativas e da extração de oxigênio pelos tecidos são evidentes após duas semanas de treinamento. Em geral, as adaptações da capacidade aeróbia em resposta ao treinamento ocorrem durante as seis semanas iniciais. O aumento na densidade de capilares musculares, enzimas musculares aeróbias e enzimas mitocondriais ocorrem relativamente rápido (em cerca de 7 semanas de treinamento), comparado com as mudanças nas propriedades contráteis e tamanho das fibras musculares (cerca de 16 semanas) (Evans, 2000).

2.5. Testes para avaliação do desempenho físico

Dentre as subdivisões da fisiologia do exercício, destaca-se o emprego de testes para avaliação do desempenho físico, que podem ser realizados a campo ou em esteira ergométrica (Abrantes et al., 2015). Segundo Terra (2012), os testes de desempenho físico permitem estimar o potencial competitivo de um equino, realizar comparações entre diferentes indivíduos ou de um mesmo indivíduo ao longo de um programa de condicionamento, conhecer a resposta ao treinamento preconizado e a eficiência deste. O resultado dos testes pode, inclusive, determinar mudanças nos protocolos de treinamento, uma vez que a resposta ao treinamento é individual, assim como detectar sinais de *overtraining* (Hinchcliff et al., 2014).

Os testes em esteira ergométrica apresentam como vantagens o controle preciso da inclinação e velocidade, além de permitirem a aferição de maior número de parâmetros (Clayton, 1991), sem a necessidade de parar o animal para realizar coleta de sangue (Terra, 2012). Além disso, permite o controle das condições ambientais, já que as esteiras são utilizadas em ambientes fechados e climatizados (Hinchcliff et al., 2014). Poucos treinadores, no entanto, possuem acesso a uma esteira ergométrica, de modo que seu uso ocorre majoritariamente em condições experimentais. Além disso, os testes realizados em um ambiente climatizado podem não refletir fielmente o desempenho que o animal apresentará em uma competição, principalmente se esta ocorrer em um local quente e úmido (Terra, 2012). O teste em esteira não permite que o animal seja equitado durante sua avaliação, outro fator que o afasta das condições reais de uma competição.

Os testes de desempenho também podem ser realizados a campo, simulando as condições de uma competição. Segundo Hinchcliff et al. (2014), os testes em campo são vantajosos em

relação aos testes em esteira por reproduzirem melhor as condições de competição, incluindo o efeito do cavaleiro que, segundo os autores, pode ser o elo mais fraco na performance do animal. Os testes podem ter duração fixa (Fonseca et al., 2015; Lage et al., 2017) ou duração limite determinada por respostas cardiovasculares e metabólicas, como 150 bpm de frequência cardíaca e 4 mmol/L de lactatemia (Abrantes et al., 2015), indicativos do limiar anaeróbio. A vantagem de realizar um teste com base em respostas fisiológicas em equinos Mangalarga Marchador, é a prevenção de lesões por excesso de esforço em animais não condicionados, ao mesmo tempo em que se pode estender o teste, em animais condicionados, até o tempo máximo estipulado para o concurso de marcha (70 minutos).

Para melhorar a padronização, os animais devem trabalhar na mesma superfície, sendo equitados pelo mesmo cavaleiro, e na mesma velocidade, nos sucessivos testes. É importante que as condições ambientais, como temperatura e umidade, sejam semelhantes entre os testes (Clayton, 1991).

2.6. Parâmetros avaliados em testes de desempenho a campo

Um desempenho atlético bem-sucedido requer uma complexa interação entre os mecanismos fisiológicos envolvendo os sistemas musculoesquelético, nervoso, respiratório e cardiovascular (Terra, 2012). Os parâmetros frequência cardíaca, velocidade e lactato plasmático formam a base para os testes de desempenho de equinos atletas (Hinchcliff et al., 2014). Outros parâmetros utilizados são frequência respiratória, temperatura retal e variáveis sanguíneas.

2.6.1. Frequência cardíaca

A frequência cardíaca (FC) no repouso varia de 25-50 batimentos por minuto (bpm), dependendo do tamanho, idade, raça e temperamento do animal (Clayton, 1991). É importante conhecer a frequência cardíaca basal de cada animal, pois elevações nesse parâmetro podem ser indicativos de dor, doença, excitação ou medo. No entanto, é difícil saber qual a verdadeira frequência basal, pois alterações mínimas, como alimentação ou retirada da baia, podem elevar a frequência em cerca de 10 batimentos por minuto. Ainda segundo Clayton (1991), a maneira mais fiel de aferir a frequência cardíaca basal é com o cavalo calmo dentro da baia, sendo a frequência aferida preferencialmente por alguém que o cavalo conheça.

A frequência cardíaca durante o teste de desempenho pode ser aferida pelo estetoscópio ou por frequencímetro cardíaco. O frequencímetro deve ser preferido, pois permite a aferição da frequência de maneira contínua ao longo do teste, sem necessitar parar o animal, além de permitir gravar a sessão de treinamento. Alguns dispositivos também fornecem dados sobre a distância percorrida e velocidade média. O frequencímetro para humanos com eletrodos dispostos em uma fita torácica pode ser adaptado para equinos, sendo a tira posicionada na região do cilhadouro, por baixo da sela e ajustada com a própria cilha (Hinchcliff et al., 2014).

O ganho no condicionamento está associado a uma redução da frequência cardíaca em uma mesma velocidade (Clayton, 1991). Garcia et al. (2011), em um estudo com 14 éguas Mangalarga Marchador, avaliaram a FC durante teste de marcha antes e após 42 dias de treinamento. Segundo os autores, não foi observada diferença nos valores basais antes e após o treinamento. No entanto, durante o trabalho na marcha, houve redução nos valores de FC entre os testes, comprovando que um equino treinado deve ser capaz de desenvolver determinada velocidade a uma frequência cardíaca inferior àquela mensurada antes de iniciar o treinamento. Abrantes et al. (2015) observaram redução na frequência cardíaca de equinos Mangalarga Marchador ao longo de 63 dias de treinamento, mesmo com o aumento do tempo de duração do teste de marcha, evidenciando a adaptação cardiovascular ao treinamento. No entanto, os mesmos autores encontraram aumento dessa variável aos 84 dias de treinamento, mostrando um possível efeito de *overtraining* nesses animais.

Outro efeito do ganho de condicionamento é o retorno mais rápido da frequência cardíaca aos valores basais após o final do teste de desempenho. Segundo Clayton (1991), após o exercício a FC retorna aos valores basais em duas fases. A primeira acontece em um minuto, com uma redução acentuada dos batimentos. Nessa fase, a FC do animal retorna para aproximadamente 60 bpm, enquanto na segunda fase, a FC passa de 60 -70 bpm aos valores basais ou de repouso. O tempo para retorno aos valores de repouso depende do condicionamento do animal e da duração do exercício sendo que, quanto mais condicionado estiver o animal, mais rápido será o retorno (Abrantes et al., 2015). Garcia et al. (2011) verificaram melhora da FC nos 15 minutos de recuperação em equinos Mangalarga Marchador submetidos a teste incremental realizado em esteira ergométrica, após 42 dias de treinamento. Prates et al. (2009) também trabalhando com éguas Mangalarga Marchador, observaram que, durante o período de recuperação, a FC

apresentou redução acentuada nos primeiros dez minutos após uma prova de marcha de 50 minutos, atingindo valores próximos aos de repouso após 20 minutos.

De acordo com Clayton (1991), quando a frequência cardíaca se situa entre 140 – 200 bpm, há melhor indicação sobre a intensidade do exercício físico. Exercícios de intensidade baixa, nos quais a frequência cardíaca se mantém abaixo de 150 bpm, dependem principalmente do metabolismo aeróbio para a produção de energia.

A frequência cardíaca aumenta de acordo com a intensidade do exercício até atingir um platô, no qual a velocidade pode continuar a aumentar, mas não haverá aumento da frequência cardíaca, sendo caracterizada a frequência cardíaca máxima (Evans, 2000). Lage et al. (2017) avaliaram a frequência cardíaca máxima de equinos Mangalarga Marchador em teste de esforço máximo, encontrando valores de 211 até 225 bpm.

A frequência cardíaca do Mangalarga Marchador durante a prova de marcha situou-se entre 102-193 bpm (Lage et al., 2017; Prates et al., 2009). Esses valores permitem caracterizar essa prova como um exercício submáximo de intensidade moderada. Sendo assim, nos testes de desempenho a campo do Mangalarga Marchador pode-se utilizar como parâmetro para avaliação de desempenho o tempo em que o animal atingiu, em velocidade constante entre 12-14 km/h, a frequência cardíaca de 150 bpm (Abrantes et al., 2015).

2.6.2. Lactato sanguíneo

No repouso, a concentração de lactato sanguíneo de um equino é de aproximadamente 1 mmol/L (Abrantes et al., 2015). Apesar do lactato ser um produto do metabolismo anaeróbio, ele pode ser utilizado como fonte energética para o metabolismo aeróbio (Clayton, 1991). A concentração de lactato na musculatura é um reflexo do equilíbrio entre sua produção, utilização como substrato energético e sua remoção pela corrente sanguínea. Durante exercícios de alta intensidade, a produção de lactato supera sua utilização e remoção pelo organismo, resultando no acúmulo desse produto na musculatura. A concentração de lactato acima de 4 mmol/L é considerada o limiar entre o metabolismo aeróbio e anaeróbio (Hinchcliff et al., 2014). A partir desse valor, espera-se que o metabolismo anaeróbio aumente consideravelmente e a concentração de lactato aumente de maneira exponencial. No entanto, esse valor foi

estabelecido de maneira empírica com base em estudos de humanos, e pode sofrer variações entre indivíduos, tipo de atividade realizada e grau de condicionamento (Hinchcliff et al., 2014).

O lactato é utilizado como parâmetro para avaliar o condicionamento aeróbio de equinos pois, à medida em que ocorre ganho de condicionamento, a concentração de lactato tem menor incremento em resposta ao exercício, tanto pela redução na sua produção, quanto pelo aumento em sua utilização como substrato energético e em sua degradação hepática (Clayton, 1991). Foi demonstrado que o treinamento aeróbio aumenta o número de mitocôndrias nas fibras musculares, eleva a utilização do piruvato na via oxidativa e melhora a capacidade de remoção do lactato para a circulação (Ferraz et al, 2008). Abrantes et al. (2015) relataram valores médios de lactato acima de 4 mmol/L para equinos Mangalarga Marchador ao final de provas de marcha simuladas de intensidades variadas mostrando que, embora seja um exercício predominantemente aeróbio, a prova de marcha pode atingir o limiar anaeróbio. Os autores encontraram redução significativa da concentração de lactato ao final da prova ao longo de 42 dias de treinamento, mas não houve maior redução entre 42 e 84 dias de treinamento. Lage et al. (2017) encontraram concentração de lactato final abaixo de 2 mmol/L para equinos Mangalarga Marchador submetidos a provas oficiais de marcha. No entanto, a duração total dessas provas foi de aproximadamente 35 min., e, pode ser que, em provas mais longas, as concentrações de lactato plasmático fossem maiores.

Durante os testes de desempenho a campo, a aferição do lactato sanguíneo pode ser feita por meio de lactímetro portátil, coletando-se sangue da veia jugular, ou por coleta de sangue em tubos contendo fluoreto de sódio. Segundo Hinchcliff et al. (2014), a concentração de lactato é maior no plasma do que no sangue total, devido ao rápido sequestro do lactato para o interior dos eritrócitos.

2.6.3. Temperatura retal

A temperatura corporal resulta do ganho ou produção de calor menos a perda de calor para o ambiente (Boffi, 2007). O monitoramento da temperatura corporal durante competições é importante na prevenção de distúrbios ocasionados pela produção excessiva de calor ou falha em sua dissipação (Clayton, 1991). Ainda segundo a autora, o calor é um subproduto do metabolismo energético: os músculos convertem a energia química proveniente do alimento em energia mecânica para a locomoção, porém, nesse processo apenas 20% da energia química

é transformada em locomoção e 80% são transformados em calor. Durante o exercício físico, a produção de calor pode aumentar de 40-60 vezes em relação à produção basal e é diretamente proporcional à velocidade de consumo de oxigênio pelo tecido muscular (Boffi, 2007). A taxa de aumento da temperatura corporal depende da duração e intensidade do exercício, da temperatura ambiental e umidade relativa do ar, do escore da condição corporal e do status de hidratação do animal. O pico de temperatura ocorre cerca de 10 minutos após o final do exercício, e deve entrar em declínio entre 10 e 20 minutos após o final do exercício (Clayton, 1991).

Ainda de acordo com Clayton (1991), o aumento excessivo da temperatura durante o exercício é prejudicial ao desempenho, pois, quando o cavalo está superaquecido, o aumento da circulação cutânea resulta em diminuição do fluxo sanguíneo para o músculo. Essa diminuição da perfusão limita a disponibilidade de oxigênio e reduz a capacidade aeróbia. Como resultado o animal cruza o limiar anaeróbio em uma velocidade menor e entra em fadiga mais cedo do que o esperado. Segundo Boffi (2007), o tecido muscular dos equinos é capaz de suportar temperaturas intra-musculares de até 40-41°C sendo que, quando a temperatura intra-muscular é igual ou superior à 42°C, ocorre desnaturação de enzimas com sérios danos metabólicos.

2.6.4. Frequência respiratória

De acordo com Clayton (1991), o equino em repouso apresenta uma frequência respiratória de 12 a 20 movimentos por minuto (mpm). O exercício físico provoca um aumento no consumo de oxigênio e na produção de dióxido de carbono, aumentando a ventilação pulmonar para permitir maior troca gasosa e dissipação de calor (Ainsworth, 2008). A frequência respiratória pode chegar até 180 mpm durante a atividade física intensa e, após o final desta, diminui e se mantém entre 60 e 100 mpm até que o débito de oxigênio se equilibre (Clayton, 1991).

Ainda de acordo com Clayton (1991), a frequência respiratória não é um indicador fiel do ganho de condicionamento físico, pois o sistema respiratório exerce grande influência sobre a termorregulação e, portanto, as condições ambientais exercem maior alteração sobre essa variável do que o condicionamento em si. Quando o ambiente se encontra quente e úmido e a evaporação cutânea está comprometida, a perda de calor pelo trato respiratório representa mais de 25% da perda total, enquanto que em condições termoneutras essa perda fica entre 15-25% (McCutcheon e Geor, 2008). No entanto, de acordo com Clayton (1991) os mecanismos termo

regulatórios tornam-se mais eficientes a medida em que ocorre ganho no condicionamento, durante o treinamento, de modo que a temperatura corporal não apresenta valores muito altos, e, conseqüentemente, a frequência respiratória tem menor elevação também.

2.6.5. Enzimas musculares

Segundo Hinchcliff et al. (2014), uma das formas mais comuns de avaliar a resposta do sistema musculoesquelético ao exercício é a mensuração de enzimas musculares, principalmente a creatina quinase (CK) e aspartato aminotransferase (AST), antes e depois do exercício. Essas mensurações fornecem informações relativas ao dano muscular e podem ser úteis para identificar miopatias subclínicas.

A AST é uma enzima que se encontra em altas concentrações nas células hepáticas, cardíacas e na musculatura esquelética. A interpretação de seus valores deve ser cautelosa para identificar sua origem, sendo que, em cavalos com dano muscular, suas concentrações podem se elevar de 5 a 100 vezes, em relação às concentrações consideradas com normais (Boffi et al. 2007). Segundo Thomassian et al. (2007), a elevação de AST após o término do exercício foi associada ao processo fisiológico de transferência de fluido do espaço intravascular para o extravascular, resultando em maior concentração dessa enzima, havendo retorno aos valores de repouso dentro de 30 minutos. Para Hinchcliff et al. (2014), a concentração de AST não deve aumentar mais do 50% em nenhum momento após o exercício. Os valores médios de AST basal encontrados por Abrantes et al. (2015), para éguas Mangalarga Marchador, foram de 244,16 a 417,47 UI/L. Esses autores não encontraram alterações significativas nos valores dessa enzima entre os momentos basal, final do exercício, 6 horas e 24 horas pós-exercício. A ausência de alterações nas concentrações de AST também foram observadas por Gama et al. (2012) em equinos Mangalarga Marchador submetidos a provas de marcha de 40 minutos.

A creatina quinase é uma enzima produzida no miocárdio, músculo esquelético e cérebro, embora haja pouco intercâmbio desta enzima entre o líquido cefalorraquidiano e o plasma (Boffi et al., 2007). Os valores médios de CK no repouso são 262 ± 98 UI/L (Thomassian et al., 2007). Para Hinchcliff et al. (2014), os valores de CK entre 2 e 6 horas após o exercício não devem ultrapassar duas vezes os valores de repouso, e devem retornar aos valores basais em 24 horas. Segundo Muñoz et al. (2008), a duplicação dos valores de CK entre 4 e 6 seis horas após o exercício é indicativa de rabdomiólise. Abrantes et al. (2015) obteve elevações significativas

($p < 0,05$) de CK 6 horas após o teste de marcha, ao longo de 84 dias de condicionamento físico. Essas elevações, no entanto, não ultrapassaram o limite de duas vezes a concentração basal.

2.7. Avaliação cinemática de equinos Mangalarga Marchador

Segundo Procópio (2005), a qualidade na dinâmica de movimentação que se almeja nos cavalos marchadores sofre de grande empirismo, e um dos desafios a se enfrentar é a transformação de variáveis qualitativas, avaliadas de forma subjetiva, em variáveis quantitativas, avaliadas de forma objetiva, por meio de procedimentos precisos, executados por pessoal qualificado. De acordo com Nicodemus e Clayton (2003), a velocidade da movimentação dos membros torna difícil sua se não for utilizado recurso de filmagem em câmera lenta. A avaliação da movimentação dos equinos realizada pelos treinadores geralmente é focada nas características da fase de voo da passada, pois nessa fase a expressividade da movimentação é aparente (Clayton, 2004). No entanto, é na fase de apoio que grandes forças são aplicadas sobre o sistema musculoesquelético, por isso a avaliação da fase de apoio é usualmente mais informativa em relação aos fatores limitantes da performance ou à claudicação.

A cinemática é o ramo da física que estuda e descreve os movimentos dos corpos no tempo e espaço, e é fundamental para quantificar as características dos diferentes tipos de andamento (Barrey, 1997). Na análise cinemática, os movimentos são descritos quantitativamente por variáveis lineares e angulares que relacionam tempo, deslocamento, velocidade e aceleração, sem que seja feita referência à causa do movimento (Hinchcliff et al., 2014).

De acordo com Hinchcliff et al. (2014) o uso de cronofotografias foi desenvolvido pela primeira vez por Muybridge e Marey (século XIX) para análise da locomoção de equinos. Atualmente, o uso de câmeras de alta precisão (com até 500 quadros/ segundo), permite a filmagem de cavalos de corrida na pista, de dentro de um carro. Marcadores são utilizados em determinados pontos anatômicos, podendo ser circulares ou esféricos, para marcar os pontos centrais de rotação articular. As análises podem ser realizadas em duas ou três dimensões, necessitando, no último caso, de pelo menos duas câmeras (Procópio, 2005). A filmagem obtida pode ser avaliada por programas computacionais para obter as coordenadas dos marcadores no espaço e tempo.

Segundo Procópio (2005), dados cinemáticos consistem em variáveis temporais, lineares e angulares. Os dados temporais que descrevem o tempo de duração de uma passada e o padrão de coordenação dos membros são calculados pelo número de quadros e a frequência observada. Pela computação das coordenadas dos marcadores com as informações de calibragem, descreve-se o comprimento da passada, a distância do deslocamento entre membros e o voo do segmento dos membros. Dados angulares descrevem os deslocamentos, as velocidades e as acelerações dos segmentos corporais das articulações. Nas análises bidimensionais e, os dados angulares usualmente calculados, são as flexões e extensões no plano sagital.

Poucos trabalhos relataram alterações provocadas pelo treinamento sobre a biomecânica da locomoção equina. Cano et al. (2000) avaliaram a cinemática de 16 cavalos andaluzes antes e depois de 10 meses de treinamento que constituiu, nos três primeiros meses, de 60 minutos diários de atividade (30 minutos de trote na guia e 30 minutos montado), passando depois, para 90 minutos diários (30 minutos na guia e 60 minutos montado). Ao final do período de treinamento, foi observada maior inclinação da escápula, menores ângulos das articulações do cotovelo, carpo e boletos torácicos, redução dos ângulos mínimos das articulações dos membros posteriores, com maior inclinação da pelve, maior tempo de protração e menor tempo de retração dos membros posteriores. Esses achados sugeriram adaptação dos animais para redução do impacto na aterrissagem dos membros torácicos, além de maior eficiência na propulsão dos membros pélvicos, possivelmente devido ao aumento da força de contração muscular.

2.8. Distribuição dos tempos de apoio durante a marcha

Um andamento é classificado como um padrão cíclico de movimentos dos membros que ocorre durante cada passada (Nicodemus e Clayton, 2003). A sequência e os tempos dos apoios auxiliam na diferenciação entre diversos andamentos. Segundo Clayton (2004), são possíveis os seguintes tipos de apoio nos equinos: quadrupedal (quando os quatro cascos estão em contato com o solo), tripedal (quando três cascos estão em contato com o solo), bipedal (quando dois cascos estão em contato com o solo), monopodal (quando um casco está em contato com o solo) ou suspensão (quando nenhum casco está em contato com o solo). As possibilidades de cada tipo de apoio estão ilustradas na figura 1:

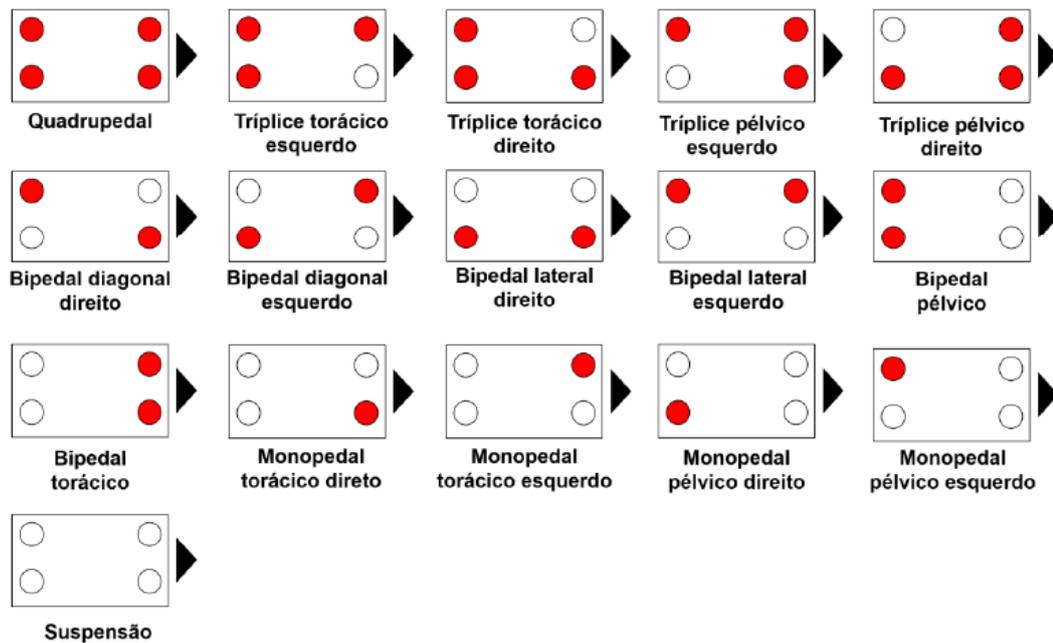


Figura 1: Tipos de apoios possíveis nos equinos. Fonte: Fonseca (2018)

A distribuição dos tempos de apoio na marcha sofre grande variação. Hussini et al. (1996) avaliaram 104 equinos Mangalarga Marchador e encontraram 8 combinações na sequência de apoios durante a marcha. Segundo os autores, entre os animais avaliados, 100% apresentavam em algum momento apoios diagonais, 78,85% apoios laterais, 93,27% tripedais de anterior, 39,42% tripedais de posterior, 3,85% monopodais de anterior, 66,35% monopodais de posterior, 2,88% suspensão e 0% quadrupedal. Nicodemus e Clayton (2003) avaliaram três equinos de cada um de 16 andamentos marchados a quatro tempos de diferentes raças no mundo. Com base nos resultados, classificaram a marcha picada do Mangalarga Marchador como simétrica, marchada, de ritmo regular a quatro tempos, com diagrama composto por apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados por momentos de tríplíce apoio. A marcha batida foi classificada como simétrica, marchada, de ritmo irregular a quatro tempos, com acoplamento diagonal e diagrama composto por alternância de apoios diagonais e quadrupedais intercalados por momentos de tríplíce apoio, sem ocorrência de apoio lateral. Essa descrição contradiz os achados de Hussini et al. (1996), que não observaram ocorrência de apoio quadrupedal nos equinos marchadores por eles avaliados.

Procópio (2005) realizou avaliação cinemática de 38 equinos Mangalarga Marchador, e não observou ocorrência de tríplice apoio ou de apoio quadrupedal nos animais. O autor atribuiu esse efeito à velocidade em que os animais foram conduzidos na avaliação (média de 17,33 km/h), e alertou para a interferência negativa da velocidade sobre o diagrama da marcha. Fonseca (2018), ao avaliar 29 equinos de marcha batida que foram campeões ou reservados campeões em exposições oficiais especializadas, observou que a maior porcentagem de tempo da passada foi de apoios bipedal diagonal, seguido por monopedal de membro pélvico, tríplice apoio de membro torácico, bipedal lateral e bipedal de membros pélvicos. Os apoios quadrupedal, tríplice de membro pélvico, monopedal de membro torácico e suspensão ocorreram em, no máximo, 1,93% do tempo total da passada.

Entre os fatores que interferem na distribuição dos tempos de apoio, Procópio (2005) apontou a velocidade como um fator crítico pois não houve ocorrência de tríplice apoio quando os animais se locomoveram acima de 17 km/h. O autor propôs que, para a manutenção do andamento marchado e preservação do tríplice apoio, a velocidade de condução dos animais deve estar entre 11 e 14 km/h.

Não se sabe qual a interferência do condicionamento físico na distribuição dos tempos de apoio durante a marcha. Uma vez que cada animal apresenta uma distribuição única dos tempos de apoio, são necessários estudos que comparem a evolução dos animais ao longo de um programa de treinamento, bem como possíveis efeitos de terapias auxiliares sobre essa variável.

2.9. Eletroterapia

2.9.1. Histórico

A eletricidade é a entidade fundamental da natureza, consistindo em cargas negativas e positivas, observadas na atração e repulsão de corpos eletrificados por fricção ou fenômenos naturais, e, é usualmente utilizada na forma de correntes elétricas (Fodstad e Hariz, 2007). A eletroterapia tem seus fundamentos defendidos numa longa história do emprego da corrente elétrica com efeitos terapêuticos, mesmo na época em que os reais efeitos dessa energia eram desconhecidos (Ferrareze e Ramos, 2017).

O primeiro uso da eletricidade na medicina foi em 46 AC, quando Scribonius Largus, médico do imperador romano Claudius, aplicou correntes elétricas do peixe torpedo para tratar dores de cabeça e dores de gota (Fodstad e Hariz, 2007). As dores de cabeça eram tratadas com aplicação do peixe elétrico vivo sobre o local da dor. Com a chegada da sensação de dormência, o peixe era removido (Ferrareze e Ramos, 2017). Em 1791, Luigi Galvani publicou seus comentários sobre o efeito da eletricidade sobre o movimento muscular, descrevendo estudos de estimulação elétrica nas patas traseiras de rãs com carga estática proveniente de duas superfícies metálicas distintas (Krueger-Beck et al., 2010).

Entre 1960-1970, Yakov Kotz, fisiologista russo, iniciou a utilização de eletroestimulação com a finalidade de buscar aumento de força e massa muscular (Corrente Russa). Em 1995, surgiram os primeiros eletroestimuladores profissionais, com diferentes formas de estímulo elétrico e distintas aplicações nos grupos musculares. Ao longo dos anos, o uso da eletricidade com finalidades terapêuticas foi aprimorado, até a implantação de chips neuromoduladores e neuropróteses, capazes de provocar movimentos em pacientes com lesões medulares (Fodstad e Hariz, 2007; Popovic et al., 2001).

2.9.2. Cadeia de eventos na contração muscular voluntária

Para Ferrareze e Ramos (2017) as contrações musculares voluntárias iniciam-se com o disparo de impulso nervoso pelo sistema nervoso central, o qual é conduzido por seus nervos periféricos. Os sinais são transmitidos para a junção neuromuscular, onde ocorre liberação de acetilcolina. O acoplamento de quantidade suficiente de acetilcolina à placa motora resulta na produção de um potencial de ação, que é propagado ao longo da membrana da fibra muscular. Essa excitação se espalha como uma onda através da membrana e é transmitida para o interior da fibra através dos túbulos transversos (túbulos T). A despolarização da membrana do túbulo T resulta na liberação de íons de cálcio das reservas armazenadas do retículo sarcoplasmático. Os íons cálcio liberados ligam-se às moléculas de troponina e esta ligação ativa a ciclagem da ponte cruzada de actina-miosina com o uso de ATP como fonte de energia.

O sistema nervoso pode aumentar a força de contração muscular por meio do aumento do número de unidades motoras que promovem uma contração simultânea (somação espacial), ou pelo aumento da frequência de contrações dentro de uma mesma unidade motora (somação

temporal) sendo que, quando a contração de toda a massa muscular ocorre sem que haja relaxamento, diz-se que o músculo está em tetania (Cunningham, 2004).

2.9.3. Fundamentação fisiológica da eletroestimulação neuromuscular

A eletroestimulação é uma técnica amplamente utilizada como recurso terapêutico e para treinamento muscular. O equipamento de eletroestimulação produz uma corrente elétrica que resulta na despolarização de nervos motores (Schils, 2009), de forma semelhante a um estímulo fisiológico, gerando contração muscular.

O fortalecimento muscular por meio do estímulo elétrico é denominado Eletroestimulação Neuromuscular, conhecida como NMES (*Neuromuscular Electrical Stimulation*), sendo necessária a integridade da inervação motora periférica. Quando o estímulo elétrico é aplicado sobre a musculatura desnervada para provocar o reestabelecimento de uma função prejudicada, recebe o nome de Estimulação Elétrica Funcional, ou FES (*Functional Electrical Stimulation*). O limiar de excitabilidade dos axônios é cerca de 20 vezes mais baixo do que o da musculatura, portanto a corrente elétrica provoca a ativação de nervos antes da ativação direta da musculatura (Paillard, 2008).

2.9.4. Conceitos na eletroterapia e características das correntes utilizadas na NMES

2.9.4.1. Resistência ao estímulo elétrico

Toda a matéria tem a propriedade de se opor à passagem da corrente elétrica. Na matéria viva, a resistência apresenta-se bastante variável, dependendo de sua composição e do tipo de corrente que circula nesse tecido (Cisneros e Salgado, 2006). Substâncias ricas em líquidos e soluções salinas são boas condutoras. O sangue é um meio rico em íons, portanto, quanto mais irrigado o tecido, melhor é a condução da corrente elétrica. Os nervos e músculos são bons condutores, enquanto a pele e tecido adiposo são condutores fracos. O principal obstáculo para passagem da corrente elétrica durante o tratamento com eletroestimulação é a resistência cutânea, que pode ser reduzida pelo uso de gel condutor ou pelo umedecimento dos eletrodos. O aquecimento da pele também auxilia na redução da resistência, pelo aumento da circulação cutânea (Cisneros e Salgado, 2006). Segundo Martellucci (2014), a capacidade de um tecido biológico de se opor à passagem de correntes alternadas é chamada impedância. A impedância de um tecido depende da resistência do mesmo e da capacidade de armazenamento da carga

elétrica (capacitância). Quanto maior for a frequência utilizada na eletroestimulação, menor será a impedância.

2.9.4.2. Intensidade do estímulo

De acordo com Cisneros e Salgado (2006), o fluxo de elétrons que atravessa um condutor num espaço de tempo é chamado de intensidade, a qual, em milliamperagem (mA), varia de acordo com a duração do pulso para promover a contração muscular, uma vez que a carga total de corrente elétrica oferecida vai depender da área gerada pelo produto da intensidade (amplitude) do pulso com o tempo que irá durar. Pulsos curtos requisitam intensidades relativamente altas, enquanto pulsos longos requerem intensidade mais baixa. O incremento na intensidade da corrente gera um estímulo elétrico mais profundo, recrutando mais unidades motoras, gerando maior contração muscular. No entanto, a utilização de intensidades maiores e duração de pulso mais longas podem causar desconforto por estimulação da inervação nociceptiva. A amplitude do pulso é, portanto, usualmente ajustada de acordo com o nível de conforto do paciente e com os objetivos do treinamento. Não se sabe até o momento se existe um limiar de intensidade de estimulação abaixo do qual a NMES perde sua eficácia para melhorar força, massa muscular e capacidade aeróbia. Por essa razão, preconiza-se que, durante o treinamento com NMES, a intensidade da corrente seja aumentada até o nível máximo tolerado pelo paciente (Ferrareze e Ramos, 2017).

2.9.4.3. Formas de correntes elétricas

Usualmente são utilizadas três formas de corrente elétrica: correntes contínuas, correntes alternadas e correntes pulsadas.

Correntes contínuas: apresentam fluxo de elétrons no mesmo sentido e de maneira ininterrupta com a definição fixa de um eletrodo positivo e outro negativo. Esse tipo de corrente, chamada na prática clínica de Corrente Galvânica, tem pouca aplicabilidade prática como ferramenta excitomotora, e apresenta maior risco de lesões de pele (queimaduras) causadas pela maior concentração de íons logo abaixo dos eletrodos, chamado de Efeito Galvânico (Ferrareze e Ramos, 2017).

Correntes alternadas: não possuem um polo positivo e outro negativo definidos, portanto, o movimento de elétrons pode ocorrer nos dois sentidos entre os eletrodos, diminuindo o Efeito

Galvânico, tornando a corrente mais confortável. Os pulsos são ligados de forma contínua, não havendo intervalo entre eles (Ferrareze e Ramos, 2017).

Correntes pulsadas: o pulso é um evento elétrico isolado, separado do próximo evento por um tempo finito (Cisneros e Salgado, 2006). As correntes elétricas podem ser oferecidas em pulsos, que podem ser monofásicos (unidirecionais) ou bifásicos (bidirecionais). Portanto, tanto as correntes contínuas quanto as alternadas podem ser oferecidas em forma de pulsos sendo definidas, respectivamente, como monofásicas ou bifásicas.

2.9.4.4. Formas de ondas dos pulsos elétricos

As correntes elétricas podem apresentar formato de onda retangular, triangular ou senoidal. Segundo Cisneros e Salgado (2006), ondas triangulares são mais indicadas para estimular a fibra muscular sem estimular fibras nervosas. Pulsos exponenciais de subida lenta são utilizados para a estimulação seletiva de músculos desnervados.

As ondas retangulares são as que oferecem maior poder excitável sobre as fibras nervosas, sendo as mais indicadas para a estimulação neuromuscular. Sua maior eficiência se justifica pelo fato de o aumento brusco do fluxo de corrente ao seu nível máximo proporcionar maior chance para a ocorrência de um potencial de ação, sem oferecer tempo para acomodação nervosa (Ferrareze e Ramos, 2017).

2.9.4.5. Tempo de contração e relaxamento

Ainda segundo Ferrareze e Ramos (2017), a corrente elétrica pode ser oferecida na forma de trens de pulso ou *bursts*. O *burst* é uma sequência de pulsos elétricos com o mesmo formato (forma, tempo e intensidade) repetidos numa frequência (frequência de pulso), de forma a manter uma contração muscular periódica, conhecida como tempo *on*. O tempo *on* é intervalado por um período de interrupção dos pulsos elétricos (tempo *off*), que determinam o ciclo de contração e relaxamento muscular durante a eletroestimulação.

O ciclo de trabalho *on/off* é definido como a relação do tempo de contração (*on*) pelo tempo total (*on + off*), e deve ser ajustado para permitir um ótimo trabalho muscular sem gerar fadiga muscular excessiva. A configuração de ciclos de trabalhos maiores que 50% em geral são utilizados para treinamentos de *endurance* (trabalho de resistência aeróbia), com densidades de correntes e frequências de pulso mais baixas. Já os ajustes de ciclos de trabalho menores do que

50% permitem a configuração de estímulos com maior intensidade e maiores frequências de pulso, as quais são mais fatigantes e direcionadas para o treinamento de força.

2.9.4.6. Tempo de subida (*ramp up*) e de descida (*ramp down*) do *burst*

O tempo de subida (*ramp up*) é o tempo (segundos) em que a amplitude de pulsos se eleva do zero até o ponto em que é máxima (Cisneros e Salgado, 2006). O ajuste do tempo de subida da amplitude do impulso elétrico permite aumento gradual do impulso, evitando a sensação de susto que alguns pacientes podem apresentar com a passagem da corrente (Ferrareze e Ramos, 2017). O tempo de descida (*ramp down*) é o tempo em que a amplitude dos pulsos retorna do ponto máximo ao zero, permitindo ao músculo retorno gradual à posição de relaxamento (Cisneros e Salgado, 2006).

2.9.4.7. Largura de pulso

A duração de pulso, ou largura de pulso, recomendada varia de acordo com o tamanho do grupo muscular a ser estimulado e do efeito pretendido. Para Agne (2009), pulsos de 20 a 250 microssegundos (μs) são preconizados para eletroanalgesia, enquanto pulsos de 150 a 400 μs são preconizados para o fortalecimento muscular. Pulsos de curta duração requerem maior intensidade de corrente para promover contração muscular. Larguras de pulso maiores são recomendadas para os maiores grupos musculares, os quais precisam de maior carga de corrente para gerar recrutamento muscular efetivo. A largura de pulso de 100 a 300 μs geralmente é preferida para uso em pequenos grupos musculares, como bíceps, deltoide e tríceps, enquanto larguras de 300 a 400 μs são indicadas para grupos musculares maiores, como quadríceps, gastrocnêmico e glúteo (Ferrareze e Ramos, 2017). Nos equipamentos que realizam eletroestimulação de corpo inteiro, não é possível individualizar as larguras de pulso por grupamento muscular, assim, a estratégia utilizada é controlar de maneira independente a amplitude de pulso de cada região. Segundo Martellucci (2014), quanto maior for a largura de pulso utilizada, mais “agressiva” é a sensação do estímulo elétrico.

2.9.4.8. Frequência de pulsos:

Ainda de acordo com Martellucci (2014), a frequência de pulsos caracteriza-se pelo número de pulsos produzida por segundo durante a eletroestimulação, e é expressa em Hertz (Hz). O ajuste

da frequência de pulsos é fundamental para a especificação do tecido e tipo de fibra muscular a ser trabalhado. A frequência de pulsos determina o grau de força gerado pela musculatura, cada pulso oferecido determina um potencial de ação e produz uma contração muscular isolada (abalo muscular). A frequência de pulsos entre 1 e 10 Hz produz abalos musculares isolados. Acima desse valor, não havendo mais tempo suficiente para relaxamento entre um estímulo e outro, a contração muscular passa a ser tetânica, aumentando progressivamente o torque e força à medida que se aumenta a frequência. Valores entre 10 e 25 Hz produzem as chamadas contrações quase tetânicas e, acima desse valor, ocorrem contrações estáveis na grande maioria dos grupos musculares, onde a contração gerada é tetânica e tônica (Ferrareze e Ramos, 2017).

A aplicação de estímulos elétricos com frequência de pulsos entre 1 e 10 Hz também são preconizadas para analgesia, liberação de endorfinas, melhora na perfusão muscular e reparação tecidual. Frequências entre 10 e 35 Hz promovem maior estimulação de fibras musculares de contração lenta e metabolismo oxidativo, enquanto o ajuste entre 35 e 80 Hz estimula principalmente fibras de contração rápida e metabolismo glicolítico (Agne, 2009).

A frequência de pulsos também determina a liberação de diferentes neurotransmissores. Segundo Parker et al. (2003), estímulos de 2 a 10 Hz provocam liberação de beta-endorfina, responsável pela sensação de relaxamento, enquanto frequências de 10 a 150 Hz provocam liberação de encefalinas e dinorfinas, responsáveis pela sensação de bem-estar e euforia.

2.9.4.9. Fadiga de alta frequência

Segundo Martellucci (2014), quando as sinapses são repetidamente estimuladas de forma rápida, o número de descargas do neurônio pós-sináptico reduz progressivamente, fenômeno conhecido como fadiga da transmissão sináptica.

O torque de força muscular pode ser aumentado até frequências de, no máximo, 60 a 80 Hz. Estimulações com frequência acima desses valores podem promover rapidamente fadiga muscular (fadiga de alta frequência) por depleção de acetilcolina na terminação do axônio motor, não permitindo tempo suficiente para reposição dos mesmos entre uma contração e outra (Ferrareze e Ramos, 2017). O aumento da frequência de pulsos acima desses valores requer, portanto, aumento do tempo *off*, permitindo a reposição da acetilcolina para a próxima contração muscular. Segundo Pano-Rodriguez et al. (2019), é recomendável utilizar a menor

frequência possível, dentro dos objetivos pretendidos com a NMES, para evitar a ocorrência de fadiga muscular.

2.9.5. Diferenças entre as contrações musculares voluntárias e as evocadas pelo estímulo elétrico:

A contração muscular evocada pelo estímulo elétrico é muito diferente, em sua natureza, da contração muscular voluntária, e isso oferece implicações importantes na aplicação da eletroestimulação como método de treinamento.

Ao contrário da ordem de recrutamento da contração voluntária, em que fibras tipo I, de diâmetro pequeno, são recrutadas antes das fibras tipo II, de diâmetro maior, a contração eliciada eletricamente é provavelmente aleatória e inclui uma combinação de fibras nervosas pequenas, médias e grandes (Cisnero e Salgado, 2006). Os nervos motores periféricos diferem em diâmetro de acordo com o tipo de fibras musculares que inervam. As fibras musculares lentas (tipo I) são inervadas por nervos motores de menor diâmetro que, em geral, ficam localizados em regiões anatômicas mais profundas, enquanto a inervação de fibras musculares de contração rápida ocorre através de fibras nervosas de maior diâmetro com localização mais superficial e mais próxima aos eletrodos posicionados na pele (Ferrareze e Ramos, 2017).

Embora alguns autores relataram que, em contrações evocadas pela NMES, há primeiro o recrutamento das fibras de contração rápida (tipos IIA e IIX) e, depois, das de contração lenta, devido à diferença de diâmetro dos axônios que inervam essas fibras, o que permite uma passagem mais fácil da corrente pelas fibras tipo II (Bergh et al., 2010), Cisnero e Salgado (2006) afirmam que esse conceito é errôneo, pois o estímulo elétrico provoca despolarização simultânea dos dois tipos de fibra, porém a despolarização ocorre primeiro nas fibras mais próximas aos eletrodos. Como as fibras tipo II são mais superficiais e, portanto, estão mais próximas aos eletrodos, essa seria a principal razão para a diferença na ordem de recrutamento (Cisneros e Salgado, 2006; Paillard, 2008; Ferrareze e Ramos, 2017). Segundo Vanderthommen e Duchateau (2007), além do diâmetro dos axônios, a distância entre os axônios e os eletrodos, e a organização morfológica dos ramos dos axônios também são fatores importantes para determinar a ordem de recrutamento de unidades motoras na NMES.

Outro aspecto importante em relação às diferenças no padrão de recrutamento muscular entre as contrações voluntárias ou as evocadas eletricamente está relacionado ao fato de que as

contrações voluntárias promovem uma ativação assíncrona, regulada por reflexos segmentares, permitindo uma alternância entre unidades motoras ativas e inativas (musculatura agonista e antagonista ao movimento executado), garantindo a recuperação de unidades motoras anteriormente ativadas. Já o estímulo elétrico produz contração sincrônica de grupos musculares antagônicos, gerando maior fadiga do que contração voluntária (Ferrareze e Ramos, 2017).

2.9.6. Associação entre NMES e contração voluntária

Segundo Paillard (2008), as adaptações neuromusculares provocadas pela NMES na musculatura podem ser similares, mas não superiores, àquelas provocadas pelo exercício voluntário. A associação de contração muscular voluntária com a contração evocada eletricamente promove maior recrutamento das diversas unidades motoras envolvidas em determinado grupo muscular. Esse fato se dá principalmente pelo padrão inverso e/ou aleatório de recrutamento muscular proporcionado pela contração evocada pela eletroestimulação (Ferrareze e Ramos, 2017).

Diversos estudos comprovaram a eficiência dessa associação. Brocherie et al. (2005), ao aplicar NMES associada ao exercício voluntário, ou apenas exercício voluntário, em jogadores de *hockey* no gelo, obteve aumento da força isocinética de contração concêntrica e excêntrica de músculos extensores do joelho. Silva et al. (2007), comparou o uso de NMES associado ao treino de força, ou somente treino de força, em exercícios de membros inferiores, concluindo que a associação entre NMES e treino de força foi mais eficaz para aumentar a força máxima. Paillard (2008) relatou maior ganho de força e melhoria na performance de movimentos complexos, além de uma redução no tempo de reabilitação de pessoas com atrofia muscular.

Na medicina veterinária, especialmente na medicina equina, não há relatos do uso da NMES associada a exercícios voluntários, devido à dificuldade de manutenção dos eletrodos no posicionamento correto durante o exercício.

2.9.7. NMES de corpo inteiro (WB-EMS)

Em humanos, a NMES pode ser realizada com os eletrodos isolados colocados sobre a pele ou com eletroestimulação no corpo inteiro, em que coletes com eletrodos são utilizados, permitindo a estimulação simultânea de diversos grupos musculares. Segundo Evangelista et al. (2020), a eletroestimulação neuromuscular de corpo inteiro (WB-EMS) surgiu como a

evolução da estimulação elétrica tradicional do músculo (EMS), aplicada localmente em sessões de reabilitação na fisioterapia. Com o avanço da tecnologia, equipamentos mais novos permitem ativar vários grupos musculares de maneira sincronizada, o que permite obter resultados similares a outros modelos de treinamento (como a musculação, por exemplo). O sistema utilizado nos equipamentos para WB-EMS trabalha usando um estimulador elétrico que possui diversos canais de ativação muscular. Esses canais geralmente permitem a ativação dos músculos das coxas, braços, glúteos, abdômen, peitorais e região dorsal (costas) em uma área total de eletrodos de até 2800 cm².

A eletroestimulação de corpo inteiro é uma ferramenta muito utilizada em humanos, com a finalidade de reduzir o tempo de treinamento e aumentar força muscular, tanto em atletas profissionais ou em amadores. A utilização de até 11 pares de eletrodos dispostos ao longo do corpo, contra cerca de 1 a 4 quando a NMES é localizada, permite a ativação de mais de 1/6 da musculatura total do corpo, proporcionando adaptações cardiorrespiratórias evidenciadas pelo aumento da VO₂máx (Amaro-Gahete et al., 2018). O uso de eletrodos maiores permite maior profundidade do estímulo, ao mesmo tempo em que há uma redução na densidade da corrente, proporcionando maior conforto ao usuário (Ferrareze e Ramos, 2017).

A contração simultânea de grupos musculares antagônicos provocada pelo estímulo elétrico, na WB-NMES, aumenta a dificuldade de realização do exercício voluntário, aumentando a intensidade do treinamento quando as duas técnicas são associadas. Segundo Pano-Rodriguez et al. (2019), a ativação da musculatura antagonista, que estaria relaxada durante a contração voluntária, pode contribuir para o aumento da capacidade aeróbia da musculatura. Kemmler et al. (2012), ao avaliarem o efeito da WB-EMS associada ao exercício voluntário ou apenas exercício voluntário, verificaram aumento significativo do gasto energético (17%) no primeiro grupo. Filipovic et al. (2015) evidenciaram aumento na força máxima muscular e aumento na deformabilidade de eritrócitos, característica que permite melhor oxigenação tecidual durante o exercício físico, em jogadores de futebol que incluíram sessões de WB-EMS associadas ao treino de salto, em comparação aos outros jogadores que realizaram apenas treino de salto, sendo que ambos os grupos realizavam treino convencional de futebol de 6 a 7 vezes na semana e competiam uma vez por semana. Outro trabalho dos mesmos autores (Filipovic et al., 2016) evidenciou aumento da força máxima no equipamento de *leg press*, aumento do *sprint* linear,

aumento do *sprint* com mudanças de direção, aumento da performance no salto vertical e da velocidade de chute em jogadores de futebol treinados com WB-EMS.

Embora a WB-EMS seja utilizada em seres humanos principalmente para ganho de força muscular e com o objetivo específico de aumentar a proporção de fibras glicolíticas, para tanto utilizando frequências acima de 80 Hz, vários equipamentos permitem modular a frequência para alcançar diferentes objetivos, como seleção de fibras tipo I ou relaxamento muscular. Até o presente momento, não há relatos na literatura científica da utilização de WB-EMS em equinos.

2.9.8. Riscos da WB-EMS

Segundo Pano-Rodriguez et al. (2019), a WB-EMS é capaz de provocar tensão muscular muito acima da provocada por contrações voluntárias e, portanto, pode gerar dano muscular muito maior do que o provocado por exercícios voluntários. Esse dano se reflete em elevada concentração de creatina quinase (CK) após a WB-EMS, principalmente após a primeira sessão. Kemmler et al. (2015), encontrou elevação na concentração de CK até 100 vezes os valores basais 72 horas após a primeira exposição à WB-EMS, em 26 praticantes de atividade física, e Filipovic et al. (2016) encontrou elevação significativa de CK 24 horas após a primeira sessão de WB-EMS em 22 jogadores de futebol. A elevação nos níveis de CK, em nenhum dos dois estudos, foi acompanhada por sinais de rabdomiólise, ou alterações na saúde renal. Mesmo raros, há relatos de rabdomiólise associada à WB-EMS (Kastner et al., 2014; Finsterer e Stollberger, 2015), mesmo em atletas, mostrando que a prática prévia de exercícios físicos não impede o efeito adverso da WB-EMS. Para evitar efeitos adversos, é recomendado que o primeiro treino com WB-EMS seja realizado em intensidade de corrente mais baixa e deve priorizar contrações isométricas.

2.9.9. NMES em equinos

Na espécie equina, os trabalhos com NMES são escassos e divergentes. Bergh et al. (2010) não verificaram diferença ($p > 0,05$) na porcentagem, área e níveis de glicogênio de fibras tipo I, IIA e IIX nos músculos glúteo médio e longíssimo dorsal quando utilizaram NMES na frequência de 50 Hz por dia, com 21-39 mA, por 42 dias, todos os dias da semana durante quatro semanas.

Mais tarde, Schils et al. (2015), avaliaram seis cavalos com dor lombar, submetidos a eletroestimulação três vezes por semana, por 8 semanas, e realizaram biópsias do músculo longíssimo dorsal antes e após o tratamento, verificando aumento ($p < 0,05$) na densidade de mitocôndrias em fibras glicolíticas e oxidativas, e redução dos sinais de dor. Riedler et al. (2020) utilizaram uma faixa de eletroestimulação sobre a região lombossacra de dez cavalos, com frequência de 60 Hz, e compararam o grau de flexão dessa região com a flexão provocada por estímulo manual. A flexão provocada pela NMES foi significativamente menor do que a provocada pelo estímulo manual, no entanto, a frequência de movimentos foi maior na eletroestimulação, indicando que essa ferramenta pode ser vantajosa para o fortalecimento e estabilização dessa região nos equinos. Isbell et al. (2020), ao aplicarem a eletroestimulação na região tóraco-lombar de 12 equinos, verificaram redução da assimetria do músculo *multifidus*, sendo que essa redução não foi observada no grupo controle.

Embora vários desses trabalhos apontem que a NMES é uma técnica que pode melhorar o treinamento do cavalo atleta, não há trabalhos que a associem ao condicionamento físico. Todos os trabalhos com NMES em equinos utilizaram o estímulo elétrico de forma localizada para fortalecimento de uma musculatura específica, e ainda não há relatos do uso da NMES de corpo inteiro nessa espécie.

Segundo Schills (2009), algumas características específicas dos equinos devem ser levadas em consideração ao selecionar um equipamento de eletroestimulação. A primeira é que, devido à grande quantidade de massa muscular, a aceitação de maiores amplitudes de corrente é essencial para se obter ativação muscular mais profunda. A segunda refere-se ao desconforto gerado por padrões de estimulação usualmente tolerados por humanos. Enquanto humanos são capazes de racionalizar o desconforto, os equinos podem ter reações comportamentais abruptas a qualquer tipo de desconforto provocado pela corrente elétrica. A terceira diz respeito à segurança e facilidade de aplicação. Os equipamentos de NMES devem ser específicos para o uso em cavalos e fáceis de aplicar em condições de campo.

2.9.10. Equery R6

O Equery R6 é um equipamento de eletroestimulação de corpo inteiro desenvolvido exclusivamente para cavalos, permitindo a contração simultânea dos músculos: braquial, tríceps, trapézio, deltóide, glúteo médio, *Latissimus dorsi*, tensor da fáscia lata e gluteobíceps.

Espera-se que a estimulação muscular profunda proporcionada pelo EQUERY R6, permita a ativação de 3 a 5 vezes mais fibras do que uma sessão de treino convencional. A figura 2 ilustra o posicionamento dos eletrodos deste equipamento sobre a musculatura.



Figura 2: Posicionamento dos eletrodos do Equery R6 sobre a musculatura do cavalo. Pode haver alteração no posicionamento de acordo com o tamanho do animal. Fonte: adaptado de Denoix e Pailloux (2011).

O equipamento possui seis modos de estimulação diferentes, com frequência de pulso, largura de pulso, tempos de contração e relaxamento pré-definidos, de forma que o único parâmetro que pode ser modificado pelo operador é a intensidade da corrente elétrica. Possui seis canais de cada lado, que correspondem aos 12 eletrodos dispostos ao longo da capa. A intensidade da corrente pode ser ajustada no canal principal, que envia o estímulo de forma igual para todos os canais, ou por canal, o que permite moderar a intensidade da corrente de acordo com a resposta de contração e tolerância do animal para cada região estimulada. A relação dos modos de estimulação, com suas características de impulso, está descrita na no quadro 1.

Quadro 1. Modos de estimulação do equipamento de eletroestimulação de corpo inteiro para equinos Equery R6

Modo	Frequência (Hz)	Largura de pulso (μs)	Tempo off (seg)	Tempo on (seg)
Relaxamento	8	210	0,5	10
Aquecimento	20	340	2	5
Força	60	310	2	3
Cardio/ <i>endurance</i>	30	220	2	2
Condicionamento/ massagem profunda	40	360	1,8	2,5
Recuperação	14	380	1	4

Fonte: *Equery R6 User Guide* (2019)

O equipamento conta com o sistema *Impulse Shift Technology* (IST), de forma que o impulso elétrico é enviado para cada canal em tempos diferentes (milissegundos), evitando que a carga total da corrente elétrica seja enviada ao mesmo tempo para o animal, o que permite maior segurança e maior aceitação pelo animal (*Equery R6 User Guide*, 2019).

A operação de seleção do modo, ajuste da intensidade e interrupção do estímulo elétrico são realizados com um controlador sem fio que envia comandos para a unidade acoplada ao corpo do animal, permitindo que todas essas operações sejam realizadas a distância e, até mesmo com o animal em movimento, de forma que é possível associar a terapia de eletroestimulação ao exercício voluntário.

Cada modo de operação tem uma duração de tratamento estipulada em 30 minutos. O fabricante recomenda que as sessões tenham duração de 30 a 60 minutos (*Equery R6 User Guide*, 2019). Recomenda-se também que, para animais iniciantes, as sessões não ultrapassem 30 minutos, e tenham intervalo mínimo de 48 horas entre uma e outra.

Com o uso desse equipamento espera-se trabalhar grupos musculares sem gerar impacto nas articulações, reduzindo o risco de claudicação. Com a utilização de frequência mais baixa (30 Hz – modo Cardio/*Endurance*) pretende-se selecionar as fibras musculares relacionadas à maior capacidade aeróbia (tipo I e IIA). A disposição dos seis pares de eletrodos ao longo dos principais grupos musculares poderá permitir nos equinos, adaptações cardiorrespiratórias, assim como foi relatado em humanos.

3. OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso de um protocolo de treinamento associado a eletroestimulação de corpo inteiro (NMES) pelo Equery 6 no modo Cardio/*Endurance* sobre o tempo para preparação física, a cinemática e sobre os parâmetros fisiológicos avaliados durante a prova de marcha dos equinos da raça Mangalarga Marchador.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o condicionamento físico de equinos marchadores treinados com um protocolo de treinamento convencional associado a eletroestimulação com o daqueles submetidos apenas ao protocolo de treinamento convencional.
- Mensurar alterações nos parâmetros fisiológicos (Frequência Cardíaca, Frequência Respiratória, Temperatura Retal) e nas enzimas musculares em equinos Mangalarga Marchador treinados com o uso da eletroestimulação
- Verificar alterações na biomecânica da movimentação de equinos Mangalarga Marchador treinados com o uso de eletroestimulação.
- Por meio da avaliação subjetiva durante a prova de marcha simulada, verificar os efeitos do uso da eletroestimulação de corpo inteiro sobre a qualidade de movimentação dos animais.

5. HIPÓTESES

O uso da eletroestimulação de corpo inteiro, associado ao treinamento de equinos Mangalarga Marchador, contribui para redução no tempo para sua preparação física visando a participação em Concursos de Marcha.

O uso da eletroestimulação de corpo inteiro, associado ao treinamento de equinos Mangalarga Marchador visando sua participação em provas de marcha, provoca alterações biomecânicas favoráveis ao seu desempenho.

O uso de eletroestimulação de corpo inteiro, associado ao treinamento de equinos Mangalarga marchador provoca alterações favoráveis na avaliação subjetiva do movimento durante o Concurso de Marcha.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Ética no uso de animais

Os procedimentos experimentais realizados foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA – UFMG) de acordo com o protocolo 243/2020.

6.2. Local:

A etapa experimental foi desenvolvida no Haras Morada Nova, localizado no município de Inhaúma, MG. As análises sanguíneas (hemograma e enzimas musculares) foram realizadas no Laboratório de Toxicologia Veterinária da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e as análises de lactato e glicose plasmática foram realizadas no laboratório particular TECSA, em Belo Horizonte.

6.3. Animais:

Foram selecionadas 12 éguas da raça Mangalarga Marchador, do andamento marcha batida, provenientes do mesmo criatório, com idade entre 3 e 4 anos, escore da condição corporal médio de 3 na escala de 0-5 (Carroll & Huntington, 1988) e média de peso de 350 Kg. Os animais que participaram do experimento nunca haviam sido treinados, estavam saudáveis e sem histórico de claudicação.

6.4. Período experimental:

Na etapa pré-experimental, com duração de 30 dias, os animais foram adaptados ao manejo em baias e à dieta. Um profissional realizou a doma e equitação dos animais visando padronizá-los para o início da etapa experimental. Todos os animais receberam medicação anti-helmíntica (Paddock Plus NF. Ceva Saúde Animal) 15 dias antes de iniciar a etapa experimental.

A etapa experimental teve duração de 65 dias, sendo o intervalo entre o primeiro e o último teste de marcha de 62 dias. O período entre o início do protocolo de treinamento até o último teste foi de 42 dias.

6.5. Alimentação

Durante todo o período experimental, as éguas foram mantidas em baias individuais com dimensões de 3 x 4 metros de segunda a sábado. Aos sábados, depois do treinamento, os animais foram soltos no piquete, onde permaneciam até as 7h da segunda-feira. A dieta foi composta por ração concentrada (S-150: Royal Horse Sport) e feno de tifton (*Cynodon spp.*). O alimento concentrado foi oferecido em cochos de alvenaria, em dois fornecimentos diários de 1,5 kg, totalizando 3 kg por animal por dia, e o feno foi oferecido em dois fornecimentos diários, em quantidade suficiente para que ele ficasse sempre à vontade. Água e Sal Mineral (Centaur – Guabi) foram disponibilizados à vontade, tanto nas baias quanto no piquete.

6.6. Tratamentos experimentais

Os animais foram numerados e sorteados em grupos A (GA) e B (GB). O grupo A foi treinado baseado no protocolo de exercícios descrito por Abrantes et al. (2015) e para o grupo B foi adotado o mesmo treinamento com a inclusão de sessões de 30 minutos de eletroestimulação (Equery R6), no modo *cardio/endurance* antes do trabalho montado, que foi realizado em dias alternados.

6.7. Tratamento com NMES

Previamente à aplicação da capa de eletroestimulação nos animais de GB, os eletrodos localizados na capa foram umedecidos com água por meio de um borrifador. Em seguida, a capa foi posicionada no animal e ajustada com fitas elásticas, e após ter a unidade de operação

alojada em um compartimento próprio, foi conectada aos cabos (Figura 3). Para seu funcionamento, inicialmente a unidade controladora foi ligada, e em seguida a unidade de operação foi acionada no modo *cardio/endurance* (Figura 3). A intensidade da corrente foi ajustada por meio do canal principal e dos canais regionais, até aparecerem contrações, que eram visíveis no animal por movimentos discretos da musculatura que estava sendo trabalhada. A partir de então, a intensidade da corrente foi ajustada a cada dois minutos, dentro dos limites de tolerância de cada animal. Caso houvesse reação indesejada por parte do animal, a intensidade era reduzida até o desaparecimento da reação. Após o término da sessão de eletroestimulação, o animal que foi submetido à sessão e um animal do grupo controle foram arreados, equitados e realizavam os exercícios físicos.



Figura 3. Utilização da capa de eletroestimulação de corpo inteiro (WB-EMS) em égua Mangalarga Marchador dentro da baia, logo antes do trabalho montado. Fonte: Arquivo pessoal.

6.8. Treinamento e testes de marcha

Durante o treinamento, realizado de acordo com o protocolo de exercícios adaptado de Abrantes et al. (2015), os animais foram equitados por três cavaleiros com aproximadamente 60 kg em dias alternados, por 3 vezes na semana. Seis animais foram equitados às segundas, quartas e

sextas-feiras, sendo três do grupo controle e três do grupo tratado, e outros seis animais às terças, quintas e sábados, sendo também, três do grupo controle e três do grupo tratado. Nos dias em que não foram equitadas, as éguas fizeram passo no caminhador circular automático, na velocidade de 6 km/h, durante uma hora. Nos sábados, após o trabalho montado ou caminhador, todos os animais foram soltos em um mesmo piquete de tifton (*Cynodon spp*) de aproximadamente 3 hectares, onde permaneciam até a segunda-feira.

Antes de iniciar o treinamento e aos 10, 28 e 42 dias após o início do mesmo, os animais realizaram testes de marcha em velocidade de 12 a 14 km/h. Devido à quantidade de animais, os testes foram realizados em dois dias consecutivos, mas sempre com a mesma quantidade de animais de GA e GB em cada dia. Durante os testes, as éguas utilizaram frequencímetro cardíaco com GPS Polar H10, emparelhado com um relógio de pulso Polar M200 utilizado pela amazona. A cada 10 minutos, a frequência cardíaca (FC) era registrada pelo frequencímetro com o animal em movimento e sempre que atingia valores \geq a 150 bpm o teste foi interrompido. O teste também foi encerrado quando o tempo de marcha alcançava 70 min. Após a interrupção do teste, cada animal foi desaquecido por 5 minutos ao passo e, os parâmetros fisiológicos aferidos e as coletas sanguíneas realizadas. Em seguida, as éguas foram banhadas e encaminhadas para suas baias para o restante do período de recuperação.

O tempo de marcha que cada animal conseguiu atingir durante o teste foi utilizado para prescrever um protocolo de treinamento individual, adaptado de Abrantes et al. (2015): seguindo esse protocolo, as éguas foram equitadas por uma hora, em dias alternados, no passo, marcha, galope e passo novamente. O tempo de marcha executado até o próximo teste foi de 70% do tempo em que a égua teve que interromper o teste de marcha, por ter alcançado FC \geq 150 bpm, sendo que o período máximo estipulado para a marcha durante os 42 dias do treinamento foi de 25 minutos. Na metade do tempo calculado para a marcha, cada animal executou 4 minutos de galope (2 minutos para cada lado), retornando em seguida para a marcha até completar o tempo estabelecido. O restante do tempo para completar uma hora de exercício foi dividido em 2 e desenvolvido ao passo, definindo os períodos aquecimento e desaquecimento com tempos iguais. O cronograma da sequência de avaliações e treinamento está descrito no quadro 2.

Quadro 2. Cronograma das avaliações realizadas

Data	Atividade
25/12/20 a 24/01/21	Período pré-experimental
25 e 26/01/2021	Teste de marcha 1
27/01 a 08/02	Descanso no piquete
9/02/2021	Avaliação qualitativa de movimento da marcha
12/02/2021	Avaliação Cinemática
13 a 21/02/2021	Início dos protocolos de treinamento em GA e GB
22/02/2021	Descanso no Piquete
23 e 24/02/2021	Teste de marcha 2
24 e 25/2021	Descanso no Piquete
26/02/2021 a 09/03/2021	Aplicação dos protocolos de treinamento em GA e GB
10 e 11/02/2021	Descanso no Piquete
12 e 13/03/2021	Teste de marcha 3
14/03/2021	Descanso no Piquete
15 a 27/03/2021	Aplicação dos protocolos de treinamento em GA e GB
28/03/2021	Descanso no Piquete
29 e 30/03/2021	Teste de marcha 4
31/03/2021	Descanso no Piquete
01/04/2021	Avaliação qualitativa de movimento da marcha
01/04/2021	Avaliação Cinemática

6.9. Avaliação do Desempenho

Nos dias anterior e posterior aos testes de marcha, todos os animais descansaram soltos no piquete, sem trabalho montado ou no caminhador. Nos dias de teste de marcha, os animais do grupo B não utilizaram a capa de eletroestimulação. Para padronização do efeito do cavaleiro, a mesma amazona montou cada um dos animais em todos os testes de marcha.

6.9.1. Variáveis Fisiológicas

A frequência cardíaca (FC) foi aferida nos seguintes tempos: basal (pela manhã, com o animal ainda dentro da baía) e nos tempos imediatamente após (final de teste), aos 10 min (R10), 30 min (R30) e 60 min (R60). Durante os testes, os animais utilizaram frequencímetro cardíaco com GPS Polar H10, emparelhado com um relógio de pulso Polar M200 utilizado pela amazona. A cada 10 minutos, a frequência cardíaca foi registrada. Após a prova (nos tempos

10, 30 e 60 min), a FC foi registrada com um estetoscópio veterinário Littmann Master Classic para avaliação do seu tempo de retorno aos valores basais.

A frequência respiratória (FR) foi aferida por meio da observação dos movimentos de inspiração e expiração na região do flanco e a temperatura retal (TR) foi aferida com um termômetro Bioland T104. Os momentos registrados de ambas as variáveis foram: basal, imediatamente após os testes e aos 10, 30 e 60 minutos de recuperação após o teste.

6.9.2. Análises Sanguíneas

As variáveis sanguíneas avaliadas nos testes de marcha foram lactato e as enzimas musculares (CK, AST).

As coletas sanguíneas foram feitas por punção da veia jugular, em 2 tubos de pressão negativa: um sem anticoagulante e outro com fluoreto de sódio. Os momentos da coleta sanguínea foram basal, imediatamente após o teste (final), 10 min (R10), 30 min (R30), 12h e 24h após o exercício. A coleta das amostras sanguíneas no tempo basal foi feita pela manhã antes do fornecimento da ração concentrada.

As amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos para separação de soro e plasma, respectivamente, sendo identificadas e acondicionadas em tubos tipo *ependorf* e congeladas até seu processamento.



Figura 4. Aferição da temperatura retal ao final do teste de marcha em égua Mangalarga Marchador.

Fonte: Arquivo pessoal.

O perfil bioquímico muscular foi obtido por meio das dosagens séricas de creatina quinase (CK), aspartato aminotransferase (AST) por método colorimétrico cinético utilizando kits comerciais (Kovalent®) e leitura em espectrofotômetro (Cobas Mira®). As concentrações plasmáticas de lactato foram determinadas por análise no laboratório TECSA Saúde Animal, pelo método bicromático *endpoint*.



Figura 5. Coleta de sangue venoso no final do teste de marcha em égua Magalarga Marchador. Fonte: Arquivo pessoal.

6.9.3. Avaliação qualitativa do andamento

Para análise da qualidade do andamento dos animais dos dois grupos experimentais nos quesitos avaliados durante um concurso de marcha, foram realizadas duas avaliações por um ex-árbitro da ABCCMM que trabalha atualmente com assessoria no treinamento de equinos Mangalarga Marchador. A análise do avaliador foi feita sem que ele tivesse conhecimento do grupo que cada animal pertencia. A metodologia utilizada foi modificada em relação à metodologia de julgamento, para reduzir a subjetividade e especificar melhor cada item, por opção do próprio técnico, que utiliza essa metodologia em suas assessorias. O quesito “gesto” foi dividido em “diagrama”, “qualidade de movimentação de membros anteriores”, “qualidade de movimentação de membros posteriores”, “estabilidade de membros anteriores”, e “estabilidade de membros posteriores”. O quesito “rendimento” foi substituído por “alongamento” pois, devido à idade precoce dos animais e tempo de treinamento, optou-se por não avaliar os mesmos no andamento reunido. Foi adicionado o item “temperamento”, que normalmente é avaliado dentro dos quesitos “comodidade” e “adestramento”. Além destes, foram também avaliados os itens “estilo” e “regularidade”. A descrição dos quesitos de qualidade da marcha, utilizados no presente experimento, está relacionada abaixo:

Diagrama: relação entre o movimento dos anteriores e posteriores, dissociados, propiciando momentos de tríplice apoio.

Qualidade de movimentação de membros anteriores: Qualidade de flexionamento e extensão dos membros anteriores, que devem formar um semi-círculo. É penalizado o excesso ou falta de flexionamento, assim como a extensão excessiva do membro anterior ao tocar o solo, conhecida como chegada “de sola” dos membros anteriores.

Qualidade de movimentação de membros posteriores: qualidade de flexionamento e extensão dos membros posteriores, com deslocamento para baixo da massa corporal, aproximando-se dos membros anteriores ipsilaterais, sem elevação demasiada. É penalizado o excesso ou falta de flexionamento dos jarretes, e a falta de engajamento dos membros posteriores (retropegada).

Estabilidade de membros anteriores: ausência de movimentos oscilatórios do tronco quando o animal é observado de frente, e ausência de atrito para o cavaleiro proveniente da região das espáduas do animal.

Estabilidade de membros posteriores: ausência de movimentos oscilatórios da garupa e base da cauda, quando o animal é observado por trás.

Comodidade: É resultante da qualidade de movimentação do animal que, mantendo seu tronco estável e sem oscilações, não transmite impactos frontais, laterais ou verticais, torções ou qualquer outro desconforto à posição adequada do cavaleiro sobre a sela. Além da maciez, valoriza-se também características do animal durante seu deslocamento que favoreçam positivamente sua condução pelo cavaleiro, como bom temperamento, equilíbrio, franqueza e apoio leve de rédeas.

Adestramento: É o animal solícito às ajudas do cavaleiro, apoiado levemente na mão do mesmo, com descontração do maxilar, apresentando-se calmo, direito, impulsionado e com harmonia.

Alongamento: capacidade do animal de aumentar a velocidade da marcha com amplitude, elasticidade e equilíbrio das passadas, permitindo percorrer uma maior distância com menor número de passadas.

Estilo: É a postura corporal do animal durante a marcha, considerando a atitude (posicionamento de cabeça e pescoço), o engajamento e o conjunto formado por equilíbrio, harmonia, elegância, energia e nobreza dos movimentos.

Regularidade - É a manutenção do mesmo ritmo, velocidade, gesto, comodidade e estilo durante todo o transcorrer da prova, não procedendo a trocas do andamento inicial e sempre o conservando bem definido e regular.

Para a análise qualitativa do andamento, o avaliador observou inicialmente os animais montados por outro cavaleiro experiente ao passo (2 min para cada lado), depois na marcha (2,5 min. para cada lado). Ao final desse tempo, o avaliador equitou o animal (1 min. para cada lado), o qual, em seguida, foi desaquecido ao passo por 5 minutos e então, depois de retirada a sela, foi resfriado com uma ducha e em seguida conduzido para a baia, no passo. As avaliações foram registradas em uma planilha com a identificação do animal, por um auxiliar que se encontrava dentro da pista, ao lado do avaliador.

6.9.4. Avaliação cinemática:

Todos os animais foram submetidos a uma avaliação cinemática antes de iniciar o treinamento físico e a segunda avaliação cinemática ocorreu 47 dias após a primeira. Todas as éguas selecionadas para o experimento apresentaram naturalmente o andamento marcha batida.

Com fita adesiva dupla-face, foram afixados marcadores coloridos circulares de 1,6 centímetros de diâmetro em 20 pontos anatômicos de cada lado do equino, conforme descrição adaptada de Godoy et al. (2014) e Stark e Clayton (2015), totalizando 40 marcadores (Figura 6).



Figura 6: Descrição anatômica dos pontos de fixação dos marcadores adesivos: M1) Extremidade rostral da crista facial; M2) Articulação têmporo-mandibular, marcada na cabeçada do animal; M3) Porção cranial da face lateral da asa do Atlas; M4) Terço médio do pescoço; M5) Porção dorsal superior da espinha da escápula ; M6) cepilho da sela; M7) Área central da articulação escapuloumeral; M8) Tuberosidade radial logo abaixo da cavidade glenóidea; M9) Terço médio da articulação cárpica; M10) Terço médio da articulação metacarpofalângica; M11) Articulação interfalângica proximal; M12) Face lateral da coroa do casco torácico; M13) Face cranial lateral da tuberosidade ilíaca, tubérculo coxal; M14) Trocânter maior do fêmur; M15) Face caudal lateral da tuberosidade isquiática; M16) Epicôndilo lateral do fêmur; M17) Terço médio na articulação társica; M18) Terço médio da articulação metatarsofalângica; M19) Articulação interfalângica proximal; M20) Face lateral da coroa do casco pélvico. Fonte: Arquivo pessoal.

Após fixação dos marcadores, todos os animais foram equitados pela mesma amazona, e foram realizadas passagens experimentais frente a câmara, ao passo e em marcha para ambientação até estivessem aptos para as filmagens. Os animais foram filmados ao passo médio e na marcha média por ambos os lados (direito e esquerdo). O piso do local de avaliação era plano, de cimento e sem irregularidades.

A câmera (I Pad Pro 2020, 11 polegadas, 2ª geração) foi posicionada a 3 metros perpendicularmente ao plano de filmagem e foi utilizado um quadro de calibração retangular

de 1m x 1m no campo de visão para a escala de coordenadas utilizadas. Procedeu-se à filmagem bidimensional com frequência de 240 quadros por segundo e utilizou-se o programa Tracker 6.0 para digitalização e análise das imagens. O sistema de coordenadas foi definido utilizando a pista como referência: eixo “X” (craniocaudal/ anteroposterior) e eixo “Y” (dorsoventral/vertical).

As variáveis cinemáticas mensuradas, no membro torácico, foram: comprimento da passada, tempo da passada, velocidade, frequência de passadas, deslocamento vertical do casco, deslocamento vertical do ombro, deslocamento vertical da nuca, deslocamento vertical da face, ângulo de boleto, ângulo de quartela e ângulo da nuca. As variáveis cinemáticas mensuradas, no membro pélvico, foram: comprimento da passada, tempo da passada, deslocamento vertical do casco, deslocamento vertical da garupa, ângulo de quartela, ângulo do boleto, ângulo do jarrete e a distância entre os cascos dos membros ipsilaterais. Foram calculadas, também, a porcentagem de distribuição dos tempos de apoio durante a passada, e a dissociação dos bípedes diagonais.

Cálculo do comprimento da passada: O comprimento da passada foi calculado por meio do programa Tracker 6.0, tendo como referência o deslocamento do membro (anterior ou posterior) em dois apoios sucessivos em uma passada completa, utilizando o metro (m) como unidade de medida.

Cálculo do tempo da passada: tempo decorrido entre dois apoios sucessivos de um mesmo membro (anterior ou posterior), em segundos.

Mensuração da velocidade: A velocidade foi calculada por meio da razão entre o deslocamento e o tempo gastos em uma passada.

Cálculo da frequência das passadas: O número de passadas por unidade de tempo (segundos) foi obtido observando-se o tempo necessário para uma passada completa e calculando-se o número de passadas por segundo.

Deslocamento vertical do casco: obtido por meio da coordenada Y, nos marcadores M12 (membro anterior) e M20 (membro posterior), subtraindo-se o menor valor obtido para essa coordenada no marcador, do maior valor obtido para o mesmo marcador.



Figura 7: Aferição do deslocamento vertical do casco torácico (coordenada Y) no aplicativo Tracker 6.0.

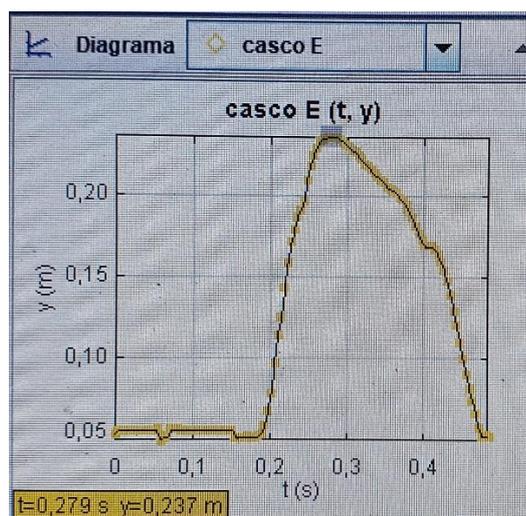


Figura 8: Gráfico formado pelo aplicativo Tracker 6.0, durante a aferição do deslocamento vertical do casco torácico, que corresponde ao valor de Y.

Deslocamento vertical do ombro: obtido por meio da coordenada Y, no marcador M7, subtraindo-se o menor valor obtido para essa coordenada no marcador, do maior valor obtido para o mesmo marcador.

Deslocamento vertical da nuca: obtido por meio da coordenada Y, no marcador M3, subtraindo-se o menor valor obtido para essa coordenada no marcador, do maior valor obtido para o mesmo marcador.

Deslocamento vertical da face: obtido por meio da coordenada Y, no marcador M1, subtraindo-se o menor valor obtido para essa coordenada no marcador, do maior valor obtido para o mesmo marcador.

Deslocamento vertical da garupa: obtido por meio da coordenada Y, no marcador M13, subtraindo-se o menor valor obtido para essa coordenada no marcador, do maior valor obtido para o mesmo marcador.

Ângulo de boleteo: o menor ângulo formado entre os marcadores M9, M10 e M11 (membro anterior), e entre os marcadores M17, M18 e M19 (membro posterior).

Ângulo de quartela: o menor ângulo formado entre os marcadores M10, M11 e M12 (membro anterior), e entre os marcadores M18, M19 e M20 (membro posterior).

Ângulo da nuca: o menor ângulo formado entre os marcadores M1, M3 e M4, no momento de flexão máxima.



Figura 9: medição do ângulo da quartela no Tracker 6.0

Ângulo de jarrete: o menor ângulo formado entre os marcadores M16, M17 e M18.

Distância entre membros ipsilaterais: menor distância entre a pinça do membro anterior em contato com o solo e a pinça do membro posterior ipsilateral em contato com o solo.

As coordenadas bidimensionais (X e Y) e os quadros dos eventos de apoio e decolagem de cada casco foram obtidos de forma visual dos marcadores 12 e 20, utilizando o Tracker 6.0. A fase de apoio de cada membro foi considerada desde o primeiro contato do casco com o solo (pinça, talão ou sola) até o último contato da pinça com o solo no momento da decolagem. Para determinação da porcentagem dos tempos de apoio em uma passada, foi feita uma contagem quadro a quadro desde o momento de apoio (*on*) até o momento de retirada (*off*) de cada membro do solo, segundo Nicodemus e Clayton (2003). A quantidade de quadros em que houve apoio quadrupedal, tripedal de anterior, tripedal de posterior, bipedal diagonal, bipedal lateral,

bipedal de posterior, bipedal de anterior, monopodal de anterior, monopodal de posterior ou suspensão, foi dividida pelo total de frames da passada, para obtenção da porcentagem de distribuição dos diferentes apoios.

Cálculo da dissociação: A dissociação relativa do par diagonal compreendeu o tempo decorrido entre o apoio sucessivo do membro pélvico e do membro torácico contralateral (dissociação de apoio) em relação ao tempo total da passada. Quando o membro torácico apoiou antes do membro pélvico, a dissociação recebeu valor negativo.

6.10. Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

As análises dos Testes de Marcha foram delineadas em delineado inteiramente ao acaso (DIC) em esquema de parcelas subdivididas. Cada teste de marcha foi uma parcela, cada tratamento (A: grupo controle - n=6 e B: Grupo com uso do Equery R6 – n=6) representou uma subparcela e cada momento de coleta foi uma subsubparcela.

Os dados inicialmente foram avaliados quanto à homogeneidade e normalidade (Shapiro-Wilk, $p \leq 0,05$). Os dados de Tempo de Marcha e Variáveis Cinemáticas foram submetidas à ANOVA de dois fatores (tratamento x testes de avaliação) para amostras repetidas (animal) e as demais variáveis à ANOVA de três fatores (tratamento x teste x momento) para amostras repetidas (animal), seguidas de teste de Tukey ($p \leq 0,05$) ou SNK ($p \leq 0,05$). Para avaliação das variáveis cinemáticas, os dados de cada animal foram compostos pela média obtida entre as duas passadas, uma para o lado direito e uma para o esquerdo, realizadas no mesmo teste de avaliação.

As avaliações qualitativas do andamento foram submetidas ao teste de Mann e Whitney para comparação entre GA e GB nos momentos “antes” e “depois”, a ao teste de Wilcoxon para Diferença entre Pares Ordenadas para comparar os momentos “antes” e “depois” de cada grupo ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

7.1. Tolerância ao uso do equipamento

Os animais toleraram bem as sessões de eletroterapia no modo Cardio/Endurance, sem ocorrência de comportamentos como escoicear ou corcovear, cavar o chão ou movimentarem-se excessivamente durante a terapia. Apresentaram-se visivelmente relaxados durante o tratamento, mascando, lambendo os lábios, bocejando ou dormindo. A intensidade da corrente elétrica pôde ser aumentada progressivamente até atingir 100% do total designado no programa. Houve variações esporádicas na tolerância individual, embora esta tenha aumentado ao longo do período experimental. A tolerância ao estímulo elétrico sofre grandes variações entre indivíduos devido a fatores como espessura da pele, gordura subcutânea e massa muscular. Também pode sofrer variações no mesmo indivíduo, dependendo do estado de hidratação e da presença de dor muscular. Por essa razão, a intensidade da corrente deve ser ajustada individualmente, a cada sessão, até o máximo tolerável pelo animal, sem que este apresente sinais de desconforto (Berg et al., 2010).

Algumas características do impulso exercem diferença na tolerância ao uso da NMES. A frequência de pulsos é um desses fatores. Segundo Krueger-Beck et al. (2010), frequências acima de 70 Hz provocam desconforto sensorial em pacientes com sensibilidade nociceptiva (dolorosa) presente. A escolha de parâmetros que permitam boa tolerância do estímulo elétrico é de suma importância ao utilizar NMES em equinos, pois estes são menos tolerantes ao incômodo provocado pela corrente do que humanos, e podem apresentar reações abruptas durante o tratamento (Schills, 2009). Uma dificuldade nessa espécie é conseguir padrões de contração consistentes com o mínimo de desconforto. Segundo Berger et al. (2020), existe uma relação linear entre a intensidade da corrente e o ganho de força, por essa razão, a intensidade deve ser aumentada até o limite máximo de tolerância, e ser continuamente ajustada durante o treino. O modo selecionado para o presente estudo, com frequência de 30 Hz, foi bem tolerado pelos animais, ao mesmo tempo em que foi possível visualizar contrações musculares evidentes, capazes de provocar flexão da região lombossacra. A maior tolerância dos animais permitiu o aumento progressivo da intensidade da corrente, tanto durante a sessão quanto entre sessões consecutivas.

O efeito de relaxamento observado durante as sessões pode ser explicado pela liberação de neurotransmissores responsáveis pela sensação de bem-estar, como beta-endorfinas, encefalinas e dinorfinas. Segundo Parker et al. (2003), correntes de 2 a 10 Hz provocam maior liberação de beta-endorfinas responsáveis pela sensação de relaxamento, enquanto correntes de 10 a 150 Hz provocam liberação de encefalinas e dinorfinas, responsáveis pela sensação de bem-estar e euforia. Essa relação entre a frequência de estímulo e o tipo de neurotransmissor liberado não foi descrita em equinos, porém o efeito de relaxamento e bem-estar durante as sessões de WB-EMS foi evidente.

7.2. Tempo de marcha:

Considerado como o tempo máximo em que, durante o teste, os animais permaneceram marchando até que a frequência cardíaca atingisse valor ≥ 150 bpm. Os resultados do tempo de marcha alcançado nos testes de marcha realizados pelos dois grupos durante todo o período experimental estão descritos na tabela 1.

O tempo de marcha foi maior para o grupo que recebeu eletroestimulação durante o treinamento, nos testes 3 e 4. Apesar desse maior valor numérico alcançado por GB, não houve diferença ($p \geq 0,05$) entre os grupos, em nenhum dos quatro testes realizados. O grupo tratado (GB) apresentou diferença entre o teste 4 e os testes 1 e 2, e entre os testes 3 e 2. O grupo controle apresentou diferença ($p < 0,05$) entre os tempos de marcha do teste 4 para o teste 2, porém não houve diferença ($p < 0,05$) entre os testes 4, 1 e 3.

Tabela 1. Tempo de marcha em minutos (média \pm desvio padrão) obtidos em testes de marcha realizados a cada 14 dias de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação (GB) ou grupo controle (GA).

Grupo	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
GB (n=6)	26,7 \pm 12,1 ^{bc}	11,7 \pm 4,1 ^c	43,3 \pm 25,0 ^{ab}	55,0 \pm 10,5 ^a
GA (n=6)	26,7 \pm 12,1 ^{ab}	16,7 \pm 12,1 ^b	36,7 \pm 21,6 ^{ab}	43,3 \pm 26,6 ^a

^{a-c}Letras minúsculas distintas na linha diferem entre Testes de marcha (Tukey, $p \leq 0,05$); Não houve diferença entre tratamentos (eletroestimulação e controle) em nenhuma das variáveis avaliadas (Tukey, $p > 0,05$).

O teste 2 obteve menor média de tempo do que os demais, tanto para o grupo controle quanto para o grupo tratado. A semana anterior a esse teste teve alta pluviosidade, e a pista do teste estava lamacenta e escorregadia. Embora vários autores tenham citado que as condições da pista

podem interferir nos resultados dos testes de desempenho (Hinchcliff et al., 2014; Coroucé, 1999), poucos estudos foram conduzidos para especificar a interferência do piso no desempenho atlético de equinos. Rooney (1983) avaliou a ocorrência de claudicação em Purosangues treinando em diferentes superfícies e concluiu que animais que treinavam em superfícies rígidas ou escorregadias tinham maior incidência de claudicação. Ratzlaff et al. (1997) verificaram que a força de impacto do membro no solo durante o galope foi menor quando a pista estava com 8% de umidade, e que houve aumento de maneira gradual entre 8,5 e 14% de umidade. A maioria dos estudos foi realizada em cavalos de corrida (Rogers e Firth, 2004; Peterson et al., 2008; Setterbo et al., 2009; Cheetham et al., 2010), nos quais há preocupação sobre os efeitos do impacto na integridade física dos animais. A literatura científica até o presente momento não avaliou o efeito das diferentes superfícies de piso sobre o desempenho de equinos Mangalarga Marchador. Essa relação merece ser alvo de estudos futuros, principalmente se for considerado que os Concursos de Marcha são frequentemente realizados em condições de chuva e com presença de lama na pista. Entre os treinadores da raça Mangalarga Marchador, é comum a queixa de que a lama prejudica o desempenho dos animais, tanto na resistência física quanto na qualidade da movimentação. Em decorrência dessa interferência ambiental, que provocou alteração na padronização entre o teste 2 e os demais testes, os resultados obtidos neste teste devem ser interpretados com cautela.

Embora o tempo de marcha tenha sido superior no grupo que recebeu eletroestimulação em relação ao grupo controle, nos testes 3 e 4, não houve diferença ($p \leq 0,05$) entre os grupos. Ao final do período de 42 dias de treinamento, nenhum dos dois grupos obteve média de tempo suficiente para a execução de uma prova de marcha com a duração máxima prevista no regulamento da ABCCMM, de 70 minutos. Esse resultado corrobora com os resultados de Abrantes et al. (2015), que definiram o período de 63 dias de treinamento como tempo mínimo necessário para os animais adquirirem condicionamento necessário para execução de uma prova de marcha de 70 minutos. A média de tempo de marcha obtida por Abrantes et al. (2015) aos 42 dias de treinamento, de 47,5 minutos, foi intermediária em relação à média de tempo de marcha alcançada por GA (43,3 min.) e GB (55,0 min.) para o mesmo período de treinamento.

Segundo Abrantes et al. (2015), o tempo médio de um concurso de marcha é de 50 min. Farinelli et al. (2021) consideraram que animais que executavam 50 min no teste de marcha com frequência cardíaca inferior a 150 bpm estavam condicionados para uma prova oficial. O

concurso de marcha envolve várias etapas e, em alguns momentos, os animais são conduzidos ao passo ou mantidos em estação. Lage et al. (2017), ao monitorarem duas provas oficiais de marcha utilizando frequencímetro cardíaco com GPS, observaram que os animais se mantiveram na marcha por, aproximadamente 61% do tempo total da prova, e que cerca de 34% do tempo estavam ao passo ou em estação. Esse resultado justifica o fato de que alguns autores utilizam o tempo de teste de marcha máximo de 50 minutos para avaliar o desempenho de equinos Mangalarga Marchador. Se for considerado o tempo de marcha de 50 minutos como parâmetro para determinar a aptidão do animal para a execução de uma prova oficial, então o grupo que recebeu o tratamento (GB) encontrava-se apto, aos 42 dias de treinamento, enquanto o grupo controle (GA) não obteve aptidão física suficiente até essa data.

Ao comparar os resultados obtidos para um mesmo grupo entre os diferentes testes, observou-se que GB teve evolução ($p \leq 0,05$) do teste 4 em relação aos testes 1 e 2. O desvio padrão no teste 4, foi menor para esse grupo, mostrando que os animais apresentaram menor variação individual ao final do período de treinamento. No grupo que recebeu o tratamento (GB), apenas um animal não atingiu o tempo de marcha de 50 minutos, enquanto no grupo controle (GA), três animais não atingiram esse tempo.

O grupo controle (GA) não apresentou evolução ($p \geq 0,05$) durante o período avaliado. As condições da pista durante a execução do teste 2 justificam o baixo desempenho dos dois grupos nesse teste. GA apresentou maior desvio padrão, sendo que, no teste 4, apenas metade dos animais deste grupo conseguiram realizar 50 minutos de marcha. Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Abrantes et al. (2015), que obteve tempo de marcha de 47,5 minutos aos 42 dias de treinamento. A média do tempo de marcha no teste 4, para (GA), foi de 43,3 minutos, abaixo do tempo médio de prova de 50 minutos estabelecido por Farinelli et al. (2021), mas acima de tempo mínimo de 20 min., estabelecido pela ABCCMM (2019) para provas oficiais da raça. Essa variação no ganho de desempenho do grupo controle pode ser justificada quando se considera que a resposta ao treinamento é dependente de fatores diversos. Embora o treinamento tenha sido realizado com base nas respostas fisiológicas individuais, e a alimentação e manejo tenham sido semelhantes para os dois grupos experimentais, outros fatores, como temperamento e genética, também interferem no ganho individual de condicionamento cardiorrespiratório (Hinchcliff et al., 2014). Em um estudo com 400 cavalos

Trotadores Franceses, Barrey et al. (1999) verificaram a interferência de fatores genéticos no desempenho aeróbio. Os autores encontraram herdabilidade de 0,46 para a velocidade na qual a frequência cardíaca de 200 bpm foi atingida, enquanto a velocidade na qual a concentração de lactato atinge 4 mmol/L teve herdabilidade de 0,10. Esses resultados mostram que fatores genéticos exercem maior influência nas respostas cardiovasculares ao exercício do que sobre o metabolismo do lactato, sendo que este está altamente relacionado ao treinamento.

Em GB, a variação individual foi menor ao final do experimento. Os dois grupos iniciaram o experimento com a mesma média e desvio padrão, mas o desvio padrão diminuiu no grupo que foi condicionado com a eletroestimulação (GB) ao longo do período experimental. O grupo GB apresentou evolução ($p \leq 0,05$) do tempo de marcha entre o primeiro e o último teste, diferente de GA, mostrando ganho no condicionamento aeróbio. Os mecanismos pelos quais a WB-EMS pode ter proporcionado maior ganho de condicionamento são diversos. Ravara et al. (2015) não observaram alterações na distribuição de fibras musculares tipo I e II em equinos tratados com NMES na região lombossacra, mas obteve aumento significativo na densidade de mitocôndrias nos dois tipos de fibra após 8 semanas de tratamento. Os autores também observaram redução no diâmetro das fibras musculares após o uso da eletroestimulação. Esse efeito também foi observado após treinamento de enduro em atletas humanos e, embora pareça paradoxal em relação ao ganho de condicionamento, ele possivelmente permite maior difusão de oxigênio dos capilares para o interior das fibras musculares, aumentando a resistência à fadiga.

O efeito positivo da WB-EMS sobre a velocidade máxima de consumo de oxigênio foi comprovado em estudos com humanos (Amaro-Gahhete et al., 2018; Banerjee et al., 2005). Esse efeito, possivelmente, se deve à mobilização de grande parte da musculatura de forma simultânea, provocando adaptações cardiovasculares semelhantes às provocadas pelo exercício físico. A maior proporção de massa muscular no equino do que no ser humano leva ao questionamento se a WB-EMS poderia provocar estímulo suficiente para gerar adaptações cardiovasculares importantes. Embora a velocidade de consumo máximo de oxigênio não tenha sido objeto de estudo do presente experimento, o fato dos animais de GB terem apresentado melhor evolução no ganho de condicionamento e menor desvio-padrão ao final do período experimental sugere que a WB-EMS auxiliou no ganho de condicionamento cardiorrespiratório dos animais.

No experimento conduzido por Paillard et al. (2008), em humanos praticantes de atividade física aeróbia, o uso da NMES, tanto na frequência de 20 Hz quanto na de 85 Hz, proporcionou ganho na performance de salto, sem diferença entre as duas frequências, enquanto o grupo controle teve perda no desempenho. Segundo os autores, a perda de desempenho no grupo controle pode ter ocorrido devido ao acúmulo de práticas esportivas visando condicionamento aeróbio, levando à redução da síntese proteica, o que prejudicou a potência muscular. Em contrapartida, os grupos que utilizaram NMES tiveram maior duração da performance, mostrando que esse recurso permite o aumento da resistência sem deteriorar a potência muscular. No presente experimento, o tempo entre o início do treinamento e o último teste foi de 42 dias. Seria interessante, para estudos futuros, verificar se a associação prolongada de WB-EMS ao treinamento aeróbio de equinos Mangalarga marchador poderia ter efeito semelhante aos obtidos por Paillard et al. (2008), evitando a queda de performance observada por Abrantes et al. (2015) após 63 dias de treinamento.

A escolha do modo de operação teve como base a premissa de que frequências entre 20 e 40 Hz provocam maior ativação de fibras musculares tipo I, responsáveis pela maior resistência para exercícios de longa duração. A literatura, no entanto, é controversa em relação aos padrões de recrutamento de fibras musculares e a frequência utilizada. Berger et al. (2020) não encontraram diferenças ($p \leq 0,05$) no desempenho de pessoas estimuladas com 20 ou 85 Hz, no que diz respeito à altura de salto, velocidade de *Sprint* e ganho de força, embora ambos os grupos tiveram maior ganho de desempenho em relação ao grupo controle. De maneira semelhante, Paillard et al. (2008) não encontraram diferença na altura de salto para pessoas que utilizaram 25 Hz durante 60 minutos ou 85 Hz por 15 minutos. Se, por um lado, a utilização de frequências mais altas proporciona maior tensão muscular, que supostamente gera maior ganho de força, por outro lado também está mais relacionada à ocorrência de fadiga muscular (Dreibati et al., 2010). De acordo com Pano-Rodrigues et al. (2019), a frequência utilizada para WB-EMS deve ser a menor possível, dentro dos objetivos fisiológicos almejados, para evitar a ocorrência de fadiga. A maior parte dos estudos com NMES em equinos utilizaram frequências entre 50 e 60 Hz. No entanto, no presente experimento foram observadas contrações musculares visíveis e resposta de parâmetros cardiovasculares com frequência de 30 Hz, sendo que, nessa frequência, houve excelente aceitação da NMES pelos animais. Mais estudos são necessários

no sentido de comparar o uso de diferentes parâmetros de estimulação sobre as respostas fisiológicas nos equinos, visando ganho de condicionamento aeróbio ou anaeróbio.

7.3. Frequência respiratória:

Os resultados referentes a frequência respiratória e temperatura retal estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Frequência respiratória e temperatura retal (média \pm desvio padrão) obtidas em testes de marcha de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação ou grupo controle.

Variável	Grupo	Teste	Momento				
			Basal	Final	R10	R30	R60
Frequência Respiratória (mpm)	GB (n=6)	Teste 1	23,3 \pm 7,0 ^{ab}	57,0 \pm 11,9 ^{Ca}	43,7 \pm 15,5 ^{ab}	26,0 \pm 11,5 ^{ab}	18,3 \pm 6,6 ^b
		Teste 2	23,2 \pm 4,8 ^b	70,7 \pm 33,8 ^{BCa}	43,7 \pm 12,3 ^{ab}	24,0 \pm 7,5 ^b	16,0 \pm 2,5 ^b
		Teste 3	21,7 \pm 4,5 ^c	91,3 \pm 19,8 ^{Ba}	72,0 \pm 28,4 ^{ab}	33,3 \pm 17,6 ^{bc}	24,0 \pm 10,4 ^c
		Teste 4	22,0 \pm 2,2 ^c	115,0 \pm 26,2 ^{Aa}	75,3 \pm 20,6 ^b	39,7 \pm 36,1 ^c	20,3 \pm 5,3 ^c
	GA (n=6)	Teste 1	26,0 \pm 6,4 ^b	70,0 \pm 17,1 ^{Ba}	43,7 \pm 12,1 ^{ab}	20,7 \pm 4,5 ^b	16,2 \pm 2,9 ^b
		Teste 2	19,0 \pm 1,7 ^b	71,3 \pm 30,8 ^{Ba}	63,5 \pm 20,1 ^a	26,7 \pm 7,1 ^b	16,0 \pm 3,3 ^b
		Teste 3	23,3 \pm 3,3 ^b	96,0 \pm 23,3 ^{ABa}	74,0 \pm 33,4 ^a	30,7 \pm 5,9 ^b	26,7 \pm 7,3 ^b
		Teste 4	22,7 \pm 3,3 ^c	117,0 \pm 45,2 ^{Aa}	75,3 \pm 25,2 ^b	29,7 \pm 11,6 ^c	18,7 \pm 6,7 ^c
Temp. retal (°C)	GB (n=6)	Teste 1	37,6 \pm 0,2 ^c	39,1 \pm 0,6 ^{Ba}	38,5 \pm 0,5 ^{Bab}	38,3 \pm 0,3 ^b	38,0 \pm 0,2 ^{bc}
		Teste 2	37,7 \pm 0,1 ^b	38,7 \pm 0,3 ^{Ba}	38,5 \pm 0,2 ^{Ba}	38,2 \pm 0,2 ^{ab}	38,0 \pm 0,2 ^{ab}
		Teste 3	37,6 \pm 0,2 ^b	39,8 \pm 0,6 ^{Aa}	39,3 \pm 0,6 ^{Aa}	38,2 \pm 0,2 ^b	38,0 \pm 0,3 ^b
		Teste 4	37,4 \pm 0,1 ^d	40,1 \pm 0,6 ^{Aa}	39,5 \pm 0,5 ^{Aab}	38,4 \pm 0,4 ^{bc}	38,0 \pm 0,4 ^{cd}
	GA (n=6)	Teste 1	37,7 \pm 0,2 ^c	39,3 \pm 0,3 ^{Aba}	38,8 \pm 0,2 ^{Aab}	38,3 \pm 0,2 ^{bc}	38,1 \pm 0,1 ^{bc}
		Teste 2	37,6 \pm 0,2 ^c	39,1 \pm 0,7 ^{Ba}	39,1 \pm 0,3 ^{ABa}	38,6 \pm 0,4 ^{ab}	37,9 \pm 0,5 ^{bc}
		Teste 3	37,7 \pm 0,2 ^c	39,9 \pm 0,3 ^{Aa}	39,5 \pm 0,3 ^{Ba}	38,8 \pm 0,1 ^b	38,2 \pm 0,1 ^{bc}
		Teste 4	37,4 \pm 0,2 ^c	39,8 \pm 1,0 ^{ABa}	39,4 \pm 0,7 ^{Aba}	38,4 \pm 0,4 ^b	37,9 \pm 0,2 ^{bc}

^{a-c}Letras minúsculas distintas na linha diferem entre momentos de avaliação (SNK, $p < 0,05$). ^{A-C}Letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre testes de marcha (SNK, $p < 0,05$). Não houve diferença entre tratamentos (controle e eletroestimulação) em nenhuma das variáveis avaliadas (SNK, $p > 0,05$).

A frequência respiratória não diferiu ($p \geq 0,05$) entre GA e GB (tabela 4). Houve diferença ($p \leq 0,05$) entre os momentos de aferição em todos os testes, e entre os testes no momento final da prova. No teste 4, a frequência respiratória ao final do teste foi mais elevada do que nos demais, para GB. Para GA, a frequência respiratória ao final do teste 4 não diferiu significativamente do teste 3, mas foi mais elevada ($p \leq 0,05$) do que nos testes 1 e 2. Os valores no momento final foram maiores ($p \leq 0,05$) em relação ao momento basal nos testes 2, 3 e 4, para GB e nos testes 1, 2, 3 e 4 para GA. Para ambos os grupos, a frequência respiratória retornou aos valores próximos dos basais aos 30 minutos de recuperação.

Em relação aos momentos de coleta, a elevação da frequência respiratória ao final dos testes reflete a maior demanda de oxigênio para a realização da atividade física, bem como a maior produção de calor metabólico. Os valores mais altos ao final dos testes 3 e 4 provavelmente ocorreram em decorrência da maior duração desses testes, gerando maior quantidade de calor metabólico e exigindo maior ação termorregulatória do sistema respiratório.

A velocidade de retorno aos valores basais da frequência respiratória depende da intensidade e duração do exercício, do condicionamento físico do animal e das condições bioclimatológicas, sendo que, em ambientes quentes e úmidos, a permanência da frequência respiratória elevada por mais de 30 minutos após o final da atividade pode ser indicativo de estresse térmico (Farinelli et al., 2021). Aos 30 minutos de recuperação, em todos os testes e para ambos os grupos, a frequência respiratória retornou aos valores próximos dos basais, diferente dos resultados encontrados por Abrantes et al. (2015) que, para o mesmo período de condicionamento (42 dias) e tempo de marcha semelhante (47,5 minutos), não obteve retorno aos valores basais em 30 minutos.

7.4. Temperatura retal:

Não houve diferença ($p \geq 0,05$) nos valores de temperatura retal entre os grupos GA e GB (tabela 2). A temperatura retal foi diferente ($p \leq 0,05$) entre os momentos de aferição para os testes 3 e 4, tanto no grupo controle quanto no grupo tratado, sendo mais elevada nos momentos final e R10, mas já apresentando redução significativa em R30 e R60. Na comparação entre testes, a temperatura nos momentos final e R10 foi mais elevada, para o GB, nos testes 3 e 4. Para GA,

a temperatura diferiu entre os testes 2 e 3, no momento final, e entre os testes 1 e 3, no momento R10.

O aumento da temperatura ao final dos testes 3 e 4 provavelmente esteve relacionado à maior duração destes em relação aos testes 1 e 2. Abrantes et al. (2015) também observaram aumento significativo da temperatura retal ao final dos testes de marcha realizados antes do início do treinamento e após 42 dias de treinamento, e atribuíram essa diferença à maior duração dos testes após esse período. Segundo Clayton (1991) a fadiga pode ocorrer como resultado direto do aumento de temperatura corporal. O sucesso do cavalo em adiar a fadiga depende da habilidade de dissipar calor por meio da sudorese. Deve-se considerar também que quanto maior a velocidade e o tempo do exercício, maior a produção de calor. Jordão et al. (2009) também observaram altos valores de TR ($39,41 \pm 0,61^\circ\text{C}$) em éguas MM após prova de marcha de 50 minutos. Esses autores alegaram que o tempo prolongado de prova faz com que o trabalho muscular libere grandes quantidades de calor metabólico.

Segundo Clayton (1991), a temperatura retal do equino sofre elevação de 1°C no início do exercício físico, provocando maior fluxo sanguíneo para a musculatura, preparando-a para a atividade. Ainda segundo a autora, o pico da temperatura ocorre 10 minutos após o final da atividade, seguido por um declínio entre 10 e 20 minutos de recuperação. Sinais de superaquecimento incluem elevações persistentes da temperatura retal, frequência cardíaca e respiratória, aliados a distúrbios no ritmo respiratório. Se a temperatura retal não começa a declinar em 20-30 minutos pós-exercício ou se estiver com valores maiores que 41°C é necessário resfriar o cavalo.

No presente experimento, a temperatura retal no momento final e R10 foi semelhante, e ocorreu redução ($p \leq 0,05$) aos 30 minutos de recuperação. A temperatura retal não ultrapassou 41°C em nenhum momento de avaliação, e a redução significativa de seus valores em 30 minutos, nos testes 3 e 4, mostra que os animais não sofreram superaquecimento durante os testes.

7.5. Frequência cardíaca:

Os resultados referentes à frequência cardíaca e lactato plasmático estão descritos na tabela 3.

Não houve alterações na frequência cardíaca basal para nenhum dos grupos ao longo do período experimental, concordando com os achados de outros autores que também avaliaram a evolução do condicionamento físico de equinos Mangalarga Marchador (Terra, 2012; Fonseca, 2014; Abrantes et al., 2015).

A frequência cardíaca diferiu entre os momentos, com valores mais elevados no final do teste e aos 10 min após o final (R10). O aumento da frequência cardíaca ao final do exercício reflete a maior demanda de oxigênio para suprir a atividade muscular.

Segundo Clayton (1991), o ganho no condicionamento físico está associado a redução da frequência cardíaca numa mesma velocidade. No presente experimento, essa redução não foi evidente, pois a frequência cardíaca foi considerada parâmetro para a interrupção do teste, de modo que os valores finais se situaram sempre próximos a 150 bpm. O ganho de condicionamento foi, portanto, evidenciado na maior duração da prova de marcha entre os sucessivos testes, sendo que somente em GB essa evolução foi significativa ($p \leq 0,05$).

Segundo Clayton (1991), a FC sofre uma queda acentuada no primeiro minuto após o final do exercício, e o tempo de retorno aos valores basais depende do condicionamento físico do animal e da duração do exercício (Abrantes et al., 2015). No presente experimento, houve redução significativa da frequência cardíaca aos 10 minutos de recuperação, porém, esses valores estavam próximos aos valores basais somente após o teste 1, possivelmente devido à menor duração desse teste. Para os demais testes, em ambos os grupos, a frequência cardíaca retornou aos valores basais em 30 minutos de recuperação.

Tabela 3. Frequência cardíaca e lactato plasmático (média \pm desvio padrão) obtidos em testes de marcha de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação (GB) ou grupo controle (GA).

Variável	Grupo	Teste	Momento				
			Basal	Final	R10	R30	R60
Frequência cardíaca (bpm)	GB (n=6)	Teste 1	41 \pm 4 ^b	142 \pm 42 ^{Ba}	58 \pm 8 ^{Bb}	46 \pm 4 ^b	41 \pm 6 ^b
		Teste 2	42 \pm 7 ^c	168 \pm 25 ^{Aa}	119 \pm 10 ^{Ab}	44 \pm 2 ^c	41 \pm 3 ^c
		Teste 3	38 \pm 7 ^c	151 \pm 8 ^{Ba}	70 \pm 14 ^{‡Bb}	48 \pm 5 ^{bc}	46 \pm 5 ^c
		Teste 4	36 \pm 7 ^c	143 \pm 20 ^{Ba}	79 \pm 19 ^{Bb}	52 \pm 5 ^c	44 \pm 3 ^c
	GA (n=6)	Teste 1	49 \pm 7 ^b	146 \pm 26 ^a	61 \pm 10 ^{Cb}	51 \pm 3 ^b	47 \pm 6 ^b
		Teste 2	47 \pm 9 ^c	160 \pm 14 ^a	117 \pm 5 ^{Ab}	51 \pm 5 ^c	47 \pm 3 ^c
		Teste 3	36 \pm 6 ^c	144 \pm 22 ^a	87 \pm 17 ^{‡Bb}	55 \pm 6 ^c	51 \pm 6 ^c
		Teste 4	39 \pm 7 ^c	142 \pm 23 ^a	88 \pm 12 ^{Bb}	52 \pm 6 ^c	47 \pm 6 ^c
Lactato plasmático (mmol/L)	GB (n=6)	Teste 1	1,5 \pm 0,6 ^a	1,9 \pm 0,4 ^{Ba}	1,3 \pm 0,2 ^{BCa}	1,2 \pm 0,2 ^{Ba}	-
		Teste 2	1,5 \pm 0,5 ^a	1,5 \pm 0,2 ^{Ba}	0,9 \pm 0,2 ^{Ca}	1,1 \pm 0,1 ^{Ba}	-
		Teste 3	1,2 \pm 0,2 ^a	2,6 \pm 0,7 ^{Aba}	2,4 \pm 0,9 ^{ABa}	2,3 \pm 1,0 ^{Aba}	-
		Teste 4	1,8 \pm 0,5 ^b	3,5 \pm 0,8 ^{Aa}	3,1 \pm 0,9 ^{Aab}	2,7 \pm 0,8 ^{Aab}	-
	GA (n=6)	Teste 1	1,4 \pm 0,5 ^b	2,8 \pm 1,5 ^a	1,4 \pm 0,5 ^{bB}	1,4 \pm 0,8 ^b	-
		Teste 2	1,6 \pm 0,6 ^a	2,5 \pm 0,8 ^a	1,5 \pm 0,5 ^{aB}	1,5 \pm 0,5 ^a	-
		Teste 3	1,6 \pm 0,2 ^b	2,9 \pm 0,9 ^a	2,6 \pm 0,8 ^{abAB}	2,2 \pm 0,4 ^{ab}	-
		Teste 4	1,9 \pm 0,5 ^b	3,5 \pm 1,4 ^a	3,1 \pm 1,0 ^{abA}	2,3 \pm 0,7 ^{ab}	-

Letras minúsculas distintas na linha diferem entre momentos de avaliação (SNK, $p < 0,05$). Letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre testes de marcha (SNK, $p < 0,05$). ‡ Difere entre tratamentos (controle e eletroestimulação) no mesmo momento de avaliação do mesmo teste de marcha (SNK, $p < 0,05$).

A frequência cardíaca não diferiu ($p \geq 0,05$) entre os grupos nos momentos basal, final, R30 e R60, em nenhum dos testes. No entanto, houve diferença ($p < 0,05$) entre os grupos no momento R10 do teste 3, em que os valores foram menores para o GB do que para GA. Segundo Clayton (1991), a frequência cardíaca de retorno é um importante indicador do condicionamento físico de equinos. Diversos autores encontraram menor frequência de retorno após um período exercício para condicionamento físico. Garcia et al (2011) verificaram melhora da FC, nos 15 minutos de recuperação, em equinos Mangalarga Marchador, submetidos a teste incremental realizado em esteira ergométrica após 42 dias de treinamento. Prates et al (2009) também trabalharam com éguas MM e verificaram que, durante o período de recuperação, a FC apresentou redução acentuada nos primeiros dez minutos após uma prova de marcha de 50 minutos, atingindo valores próximos aos de repouso após 20 minutos. No entanto, Abrantes et al. (2015) não verificaram diferença ($p \leq 0,05$) na frequência cardíaca aos 10 minutos de recuperação, em testes de marcha realizados ao longo de 93 dias de condicionamento. Isso provavelmente ocorreu devido ao fato de que, no experimento de Abrantes et al. (2015), assim como no presente experimento, o teste foi interrompido com base em respostas fisiológicas ($FC \geq 150$ bpm). No entanto, no presente trabalho, a redução da frequência cardíaca aos 10 minutos de recuperação em GB no teste 3, sugere que esse grupo apresentou melhora no condicionamento físico ao longo dos testes, o que não foi observado em GA. Porém, quando comparadas as médias de GB e GA em R10, a diferença não foi significativa entre os grupos ($p \geq 0,05$).

7.6. Lactato:

Não houve diferença ($p \geq 0,05$) na concentração de lactato entre GA e GB (tabela 3). Ao comparar os diferentes momentos de coleta, GB apresentou elevação ($p < 0,05$) apenas no final do teste 4, e o grupo controle no final dos testes 3 e 4 ($p < 0,05$). Segundo Castejón et al. (1995), a concentração de lactato é um bom indicador da intensidade do exercício pois, quanto mais intensa for a atividade, maior será a participação da via anaeróbia na produção de energia. A diferença observada entre os momentos finais dos diferentes testes reflete o aumento da intensidade (tempo de marcha) entre os testes, na medida em que houve ganho de condicionamento físico dos animais. No entanto, em nenhum momento

foi atingida a concentração de 4 mmol/L, preconizado como “limiar anaeróbio”, sugerindo que os animais utilizaram predominantemente o metabolismo aeróbio durante os testes. Esses resultados diferem dos encontrados por Abrantes et al. (2015), que obtiveram valores de lactato ao final dos testes de marcha entre 4,33 e 6,01 mmol/L, sem retorno aos valores basais em 60 minutos de recuperação. Já Rezende et al. (2009) e Jordão et al. (2011), treinaram éguas MM durante um período de 24 e 29 dias, respectivamente, e observaram antes e depois de uma prova de marcha de 50 minutos, valores de lactato inferiores a 3,0 mmol/L, o que permitiu caracterizar a prova de marcha como um exercício predominantemente aeróbio. Os resultados encontrados no presente estudo corroboram os resultados destes autores, pois, para ambos os grupos, o valor médio de lactato ao final do teste 4 foi de 3,5 mmol/L aos 55 minutos de teste no grupo que recebeu eletroestimulação (GB) e aos 43,3 minutos de teste de marcha no grupo controle (GA).

7.7. Enzimas musculares:

Os resultados das análises das enzimas musculares creatina quinase (CK) e aspartato aminotransferase (AST) estão expressos na tabela 4.

7.7.1. Creatina quinase (CK):

Os valores basais de creatina quinase (CK) foram significativamente maiores no teste 1 no grupo tratado em relação ao controle. No entanto, nesse teste os animais ainda não haviam iniciado o tratamento com eletroestimulação, mostrando que essa elevação não pode ser atribuída ao tratamento. Abrantes et al. (2015) encontraram valores significativamente mais elevados de CK basal no primeiro teste de marcha realizado, e atribuiu esse efeito ao possível estresse dos animais por ainda não estarem acostumados com a equipe e os procedimentos. No presente experimento, é possível que o estresse também tenha influenciado os valores da CK, além de ser o primeiro contato dos animais com a equipe, eles também estavam soltos no piquete e foram trazidos para permanecerem nas baias no dia da realização do teste 1.

Tabela 4. Creatina quinase (CK) e aspartatoaminotransferase (AST) séricas (média \pm desvio padrão) obtidas em testes de marcha de éguas Mangalarga Marchador submetidas a condicionamento físico com uso de eletroestimulação ou grupo controle.

Variável	Grupo	Teste	Momento		
			Basal	12h	24h
CK (UI/L)	GB (n=6)	Teste 1	563,0 \pm 305,7 ^{‡a}	291,9 \pm 131,9 ^b	425,4 \pm 121,7 ^{ab}
		Teste 2	347,3 \pm 102,2 ^a	287,9 \pm 158,6 ^a	430,8 \pm 87,9 ^a
		Teste 3	522,8 \pm 183,6 ^a	373,6 \pm 155,2 ^a	450,2 \pm 104,9 ^a
		Teste 4	420,8 \pm 112,4 ^a	314,2 \pm 76,3 ^a	449,8 \pm 147,2 ^a
	GA (n=6)	Teste 1	185,9 \pm 98,1 ^{‡a}	275,6 \pm 77,8 ^a	222,3 \pm 71,8 ^a
		Teste 2	287,5 \pm 99,1 ^a	273,3 \pm 39,3 ^a	319,9 \pm 124,7 ^a
		Teste 3	410,7 \pm 112,2 ^a	367,9 \pm 109,0 ^a	410,7 \pm 146,8 ^a
		Teste 4	340,5 \pm 63,3 ^a	225,2 \pm 43,1 ^a	258,1 \pm 78,3 ^a
AST (UI/L)	GB (n=6)	Teste 1	342,7 \pm 103,9 ^{‡a}	241,7 \pm 40,0 ^a	271,8 \pm 53,0 ^a
		Teste 2	279,3 \pm 70,1 ^a	238,5 \pm 85,9 ^a	290,9 \pm 38,1 ^a
		Teste 3	359,1 \pm 75,7 ^a	329,0 \pm 62,2 ^a	358,6 \pm 41,9 ^a
		Teste 4	343,1 \pm 56,5 ^a	299,0 \pm 45,5 ^a	312,8 \pm 45,6 ^a
	GA (n=6)	Teste 1	164,2 \pm 68,1 ^{‡Ba}	241,8 \pm 39,5 ^a	221,2 \pm 76,5 ^a
		Teste 2	268,7 \pm 63,7 ^{Aa}	274,9 \pm 45,5 ^a	280,4 \pm 33,7 ^a
		Teste 3	332,4 \pm 33,2 ^{Aa}	352,3 \pm 41,5 ^a	365,7 \pm 69,5 ^a
		Teste 4	281,8 \pm 35,6 ^{Aa}	254,8 \pm 23,8 ^a	263,2 \pm 49,3 ^a

^{a-c}Letras minúsculas distintas na linha diferem entre momentos de avaliação (SNK, $p < 0,05$). ^{A-C}Letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre testes de marcha (SNK, $p < 0,05$). [‡]Difere entre tratamentos (controle e eletroestimulação) no mesmo momento de avaliação do mesmo teste de marcha (SNK, $p < 0,05$).

Para Thomassian et al. (2007), o valor médio basal da creatina quinase (CK) de equinos foi 262 ± 98 UI/L. Para Rose e Hodgson (1994), os valores basais de CK variaram de 100 a 300 UI/L. Os valores médios basais encontrados no presente experimento foram maiores do que os descritos por esses autores, variando de 185,9 até 563,0 UI/L. Porém, foram semelhantes aos encontrados por Abrantes et al. (2015), de 245,97 a 474,55 UI/L. Diversos fatores podem interferir nos valores basais de CK. Franciscato et al. (2006) avaliaram cavalos crioulos e encontraram concentrações mais elevadas para fêmeas não-gestantes do que para machos, e maiores valores também para animais que se exercitavam livremente do que para aqueles submetidos a regime de treinamento. O fato de que as éguas, além de não estarem gestantes, estavam soltas no piquete e se exercitavam

livremente antes de iniciarem o treinamento imposto pelo experimento podem ter contribuído para a ocorrência de valores de CK mais altos no presente experimento em relação aos citados por Thomassian et al. (2007) e Rose e Hodgson (1994)..

Não houve alterações significativas nos valores de CK entre os grupos, entre os testes ou entre os momentos de coleta. Esses resultados indicaram que não houve dano muscular após a execução dos testes de marcha, para nenhum dos grupos. A interrupção do teste de acordo com as respostas fisiológicas dos animais, e a prescrição de treinamento individualizado com base nas respostas dos testes de marcha possivelmente tiveram papel importante na prevenção de lesões musculares. Segundo Franciscato et al. (2006), um programa de treinamento adequado, ajustado ao condicionamento físico do equino, não leva ao aumento acentuado na concentração de enzimas de função muscular.

No entanto, a ausência de elevação de CK após início da utilização da eletroestimulação (GB) difere dos resultados encontrados em humanos, nos quais a concentração de CK elevou-se até 117 vezes acima dos valores basais após a primeira sessão, e permaneceram elevados por até 168 horas sem, contudo, haver sinal de rabdomiólise (Kemmler et al., 2015). Diversos fatores podem ter provocado essa diferença. Primeiramente, a proporção de massa muscular do equino é muito maior do que a do ser humano, além disso, as sessões realizadas no presente experimento foram passivas (sem movimentação do animal), e o modo selecionado foi de baixa frequência (30 Hz). A frequência usualmente utilizada na eletroestimulação em humanos é 85 Hz, e já se associa, nas primeiras sessões, movimentos voluntários à eletroterapia. Embora alguns estudos em humanos tenham utilizado frequência entre 20 e 25 Hz (Paillard et al., 2008; Dreibati et al., 2010; Berger et al., 2020), o efeito da eletroterapia sobre as concentrações de CK não foi objeto de estudo nesses experimentos.

Uma vez que o equipamento utilizado permite a realização de sessões ativas, nas quais o animal pode ser trabalhado na guia concomitantemente à aplicação da eletroestimulação, e o equipamento conta com modos de estimulação mais intensos do que o utilizado no presente experimento, mais estudos são necessários para avaliar se pode ocorrer aumento

significativo na concentração sanguínea de CK em equinos com protocolos de eletroestimulação diferentes.

7.7.2. Aspartato aminotransferase (AST)

Assim como foi observado nos valores de CK, as concentrações sanguíneas basais de AST foram significativamente mais elevadas no Teste 1 no grupo que recebeu eletroestimulação (GB) do que no controle (GA). No entanto, nesse teste os animais ainda não haviam iniciado o treinamento. Possivelmente, essa elevação ocorreu devido ao fato de que o experimento iniciou na segunda-feira, e os animais foram trazidos do piquete nesse dia, além de não estarem familiarizados com a equipe e os procedimentos realizados. Thomassian et al. (2007) verificaram elevação significativa da atividade sérica da AST logo após o término do exercício e alegaram que o processo fisiológico de transferência de fluido do espaço intravascular para o espaço extravascular, observado durante o exercício máximo resulta em maior concentração sanguínea dessa enzima por redução do volume plasmático.

Nos demais momentos e testes, não houve diferença ($p \leq 0,05$) nos valores de AST, e não houve diferença ($p \leq 0,05$) entre GA e GB, o que demonstra que os protocolos de treinamento utilizados não provocaram danos musculares expressivos, em nenhum dos dois grupos.

7.8. Avaliação qualitativa do andamento

Os dados da avaliação qualitativa do andamento estão descritos na tabela 5.

Na análise dos parâmetros para avaliação da qualidade da marcha (avaliação técnica) o grupo submetido à eletroestimulação (GB) foi superior ($p \leq 0,05$) ao grupo controle (GA) nos quesitos “qualidade de movimentação de membros posteriores” e “estabilidade de membros posteriores”, e apenas GB apresentou evolução nesses quesitos, entre os momentos “antes” e “depois”. Nos demais quesitos, não houve diferença ($p > 0,05$) entre os grupos.

O “Diagrama” não sofreu alterações ($p \leq 0,05$) entre os momentos antes e depois, para nenhum dos grupos. Sabe-se que o padrão de movimentação dos membros é controlado pelo sistema nervoso central. Segundo Fonseca (2018), é provável que um conjunto de genes determinem o fenótipo da marcha batida. Não se sabe ao certo quais fatores podem influenciar no diagrama de marcha de um mesmo animal. De acordo com a ABCCMM (2022), a marcha é um andamento marchado, simétrico, a quatro tempos, com apoios alternados dos bípedes laterais e diagonais, intercalados com momentos de tríplice apoio. A marcha deve ser a quatro tempos porque o animal deve apresentar dissociação de apoios no deslocamento diagonal, ou seja, deve apresentar uma diferença de tempo na colocação dos apoios diagonais ao solo. Procópio (2005) verificou que o aumento da velocidade aumentou a frequência de passadas, reduziu progressivamente os tempos de tríplices apoios, até sua ausência total, e aumentou os tempos de apoio monopodal e suspensão. A partir desses resultados, esse autor recomendou que durante a prova de marcha os animais não ultrapassem 14 km/hora. Obedecendo essa recomendação, no presente experimento, a velocidade foi controlada por GPS para não ultrapassar 14 km/h, de forma a preservar o diagrama da marcha. Aparentemente, o treinamento, associado ou não à eletroestimulação, não alterou o diagrama de movimentação de equinos de marcha batida, sugerindo que os fatores genéticos são os principais determinantes dessa característica, quando a velocidade é controlada.

Os quesitos “qualidade de movimentação de membros anteriores” e “estabilidade de membros anteriores” não evoluíram ($p < 0,05$) entre os momentos antes e depois, para nenhum dos grupos. Segundo o regulamento da ABCCMM, os membros anteriores devem descrever a figura de um semicírculo durante o deslocamento e ter qualidade de extensão e flexão. O excesso de flexionamento dos membros anteriores, no entanto, também é penalizado. O equipamento de WB-EMS utilizado possui ação sobre os músculos do membro anterior: Braquial, Trapézio, Latissimus dorsi, Triceps braquial e Deltoide. Segundo Denoix (2014), esses grupos musculares são responsáveis pela propulsão do membro torácico e controle do fechamento dos ângulos articulares durante a recepção do impacto no contato do membro com o solo. Esperava-se, portanto, que a eletroestimulação provocasse evolução nesses quesitos. Possivelmente, a seleção de um

modo de estimulação com frequência e largura de pulso mais baixas (30 Hz e 220 μ s, respectivamente), no modo passivo, embora tenha beneficiado o ganho de condicionamento aeróbio, não provocou alterações musculares suficientes para resultar em alterações visíveis na dinâmica de movimentação dos membros anteriores. Mais estudos precisam ser conduzidos com o uso de diferentes protocolos para verificar se é possível provocar alterações positivas nesses quesitos.

Tabela 5. Notas (1 a 10; mediana, valores mínimos e máximos) da avaliação técnica do andamento de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação.

	Quesito	Antes			Depois		
		Mediana	Mínimo	Máximo	Mediana	Mínimo	Máximo
GA	Diagrama	6,6	3	7,8	6,75	3	7,8
	Qualidade de movimentação de anteriores	4,75	3	6,8	6	4	7,5
	Qualidade de movimentação de posteriores	6,7	2	7,2	6,8 ^B	4	7,6
	Estabilidade anteriores	4,75	3	6,8	5	4	7
	Estabilidade posteriores	6,5	3	7,8	6,85 ^B	5	8
	Comodidade	5,25	4	6,8	6	4	7
	Adestramento	4,75	2	7,0	4,75	4	6,5
	Estilo	4	3	6	5,25	4	6
	Alongamento	5	4	7,5	5,5	4	7,5
	Regularidade	4,25	2	6	4,9	2	6
Temperamento	4,5	3	9	7,25	2	9	
GB	Diagrama	6,55	5,8	7,3	6,8	6	7,8
	Qualidade de movimentação de anteriores	6	4	6,8	7	4,5	7,8
	Qualidade de movimentação de posteriores	6,8 ^b	3,5	7,5	7,6 ^{Aa}	7	8,2
	Estabilidade anteriores	6,5	4,5	7	6,5	4,5	7,5
	Estabilidade posteriores	6,8 ^b	4	8	7,65 ^{Aa}	6	8,5
	Comodidade	5,65	4	6,8	6,25	6	7,5
	Adestramento	4,5	2	7	5	4	7
	Estilo	5,3	4	6,5	5,9	5	6,5
	Alongamento	5	4	7,5	7,15	5	8
	Regularidade	4,75	4	7,6	4,75	4	7,6
Temperamento	7,25	3	9	7,75	6	8	

^{a_b} *Difere entre avaliações (antes e depois) no mesmo tratamento (Wilcoxon para diferenças entre pares ordenadas, $p \leq 0,05$); ^{A-B} Difere entre os grupos GA e GB, para o mesmo momento e mesmo quesito avaliado (Mann & Whitney, $p \leq 0,05$).

A “qualidade de movimentação de posteriores” e “estabilidade de membros posteriores” evoluíram ($p < 0,05$) no grupo que recebeu eletroestimulação durante o período de treinamento (GB), e foram superiores ($p < 0,05$), no momento “depois” para GB em comparação a GA. Segundo o regulamento da ABCCMM, os membros posteriores devem se movimentar com energia, mas com deslocamento linear dos seus jarretes, sem elevação demasiada. Uma qualidade almejada na avaliação do deslocamento dos membros posteriores é o engajamento, que é o posicionamento dos membros abaixo da massa corporal durante a locomoção, o que favorece a força de impulsão do animal. Nos membros pélvicos, o equipamento de WB-EMS utilizado tem ação sobre os músculos glúteo médio, tensor da fáscia lata e gluteobíceps. O músculo glúteo médio é um dos mais importantes para a rotação dos membros pélvicos, e é o mais importante determinante da sua força propulsora (Rhodin, 2008). Segundo Denoix (2014), durante o movimento, o glúteo médio mobiliza a alavanca trocantérica (articulação coxo-femoral), e sua contração traciona o membro pélvico para trás. Durante a chegada do membro ao solo, a contração excêntrica do glúteo médio limita a flexão do quadril, contribuindo para a absorção do impacto. O músculo tensor da fáscia lata se estende entre o íleo e a patela e, durante a fase de voo da passada, contribui ativamente para a flexão do quadril, por meio de contração concêntrica e, junto com o íleopsoas, traciona o membro para baixo do corpo do animal. O músculo gluteobíceps é formado pelos músculos gluteofemoral e bíceps femoral, sendo extremamente importantes para a locomoção. Ainda de acordo com Denoix (2014), suas ações são complexas e variam de acordo com a fase da passada. Assim, durante a fase de voo, atua como flexor da articulação femoro-tibio-patelar, já na fase de apoio, atua como extensor da articulação femoro-tibio-patelar e do quadril. A flexão da articulação femoro-tibial sob ação dos músculos femorais caudais (gluteobíceps, semitendinoso e semimembranoso), promove o fechamento das articulações distais, devido ao aparato recíproco. Durante a parte cranial (protração) da fase de voo, a extensão da articulação femoro-tibial é controlada pela contração do músculo quadríceps. No entanto, essa ação pode ser limitada se houver falta de elasticidade ou alongamento dos músculos femorais caudais. É possível notar, pela descrição das ações dos grupos musculares durante o movimento, que tanto a contração concêntrica quanto a excêntrica são necessárias para garantir amplitude de movimento e, ao mesmo tempo, controle da abertura dos ângulos articulares evitando a movimentação

exagerada dos membros e reduzindo o impacto no contato com o solo. Segundo Clayton (2001), os movimentos da parte superior dos membros são resultado da ação muscular, enquanto as partes inferiores tendem a seguir passivamente, sem contração muscular ativa. Nos membros pélvicos, os movimentos da soldra, jarrete e boletos são acoplados, de forma que as três articulações flexionam e estendem em sincronia devido à ação do aparato recíproco. Possivelmente, o fortalecimento da musculatura superior dos membros pélvicos por meio da WB-EMS possibilitou melhor engajamento e propulsão dos mesmos, com controle da movimentação, que possibilitou a melhoria da qualidade de movimentação dos membros posteriores após o tratamento.

O quesito “adestramento” não sofreu alterações ($p \leq 0,05$), em nenhum dos grupos experimentais, embora nos dois grupos a nota final tenha sido superior à nota dada antes do início do treinamento. O período experimental (42 dias) foi suficiente para provocar o condicionamento cardiorrespiratório do grupo que recebeu eletroestimulação (GB) mas não provocou alteração no adestramento. A explicação para esse achado se deve ao protocolo utilizado para condicionamento dos animais (Abrantes et al., 2015). Esse protocolo foi baseado no planejamento para preparação de equinos visando competição em provas de resistência, onde o treinamento específico destinado ao desenvolvimento de grupos musculares específicos, que influenciariam no quesito adestramento, só deve ser feito em uma fase mais adiantada, quando os animais já apresentarem condicionamento cardiorrespiratório, associado a resistência óssea e de tendões. Portanto, com o período experimental utilizado não era esperado alcançar nenhuma alteração importante no quesito adestramento. Boffi (2007) relatou que o plano de treinamento deve ter a forma de uma pirâmide, em que o pico de rendimento se encontra em sua na ponta. A base da pirâmide é constituída por exercícios de baixa intensidade e longa duração, enquanto a porção intermediária é formada por exercícios de resistência e a ponta por trabalhos de velocidade. Para Evans (2000), todo cavalo deve completar um período de treinamento básico, que envolve exercícios de baixa intensidade e longa duração, visando o aumento da capacidade aeróbia.

O quesito “regularidade” não teve alterações significativas em nenhum dos grupos. O tempo para avaliação desse quesito, no entanto, foi muito menor do que o tempo mínimo

de um concurso de marcha. É possível que uma avaliação mais prolongada desses animais indicasse alterações que não foram possíveis de mensurar nesse trabalho.

O quesito “temperamento” não sofreu alterações ($p \leq 0,05$) para nenhum dos dois grupos, embora ambos tenham tido nota maior na segunda avaliação. Era esperado que os animais estranhassem uso do aparelho de eletroestimulação, o que poderia afetar seu temperamento mas isso não aconteceu. A maior nota obtida pelos animais dos dois grupos no final do período experimental pode ter ocorrido em virtude da maior adaptação desses animais ao treinamento adotado.

O quesito “comodidade” não teve melhora ($p > 0,05$) entre os momentos antes e depois, para ambos os grupos, embora a mediana, valores mínimos e máximos tenham sido numericamente maiores para GB, e o valor de p tenha mostrado uma tendência ($p = 0,059$) à significância, tanto na comparação entre os momentos “antes” e “depois” de GB, quanto na comparação entre GB e GA no momento “depois”. Possivelmente, a utilização de um número maior de animais teria evidenciado diferença entre os momentos e entre os grupos. Segundo o regulamento da ABCCMM (2019), a comodidade é resultante da qualidade de movimentação do animal que, mantendo seu tronco estável e sem oscilações, não transmite impactos frontais, laterais ou verticais, torções ou qualquer outro desconforto à posição adequada do cavaleiro sobre a sela. Além da maciez, valoriza-se também características do animal durante seu deslocamento que favoreçam positivamente sua condução pelo cavaleiro, como bom temperamento, equilíbrio, franqueza e apoio leve de rédeas. Observa-se, portanto, que a comodidade não está relacionada somente à transmissão de atrito ao cavaleiro, mas também ao temperamento e adestramento do animal. Como essas variáveis não sofreram alterações entre os momentos antes e depois, podem ter contribuído para que não houvesse alteração no quesito “comodidade”.

O treinamento, com ou sem eletroestimulação, não influenciou nos quesitos “estilo” e “alongamento”, possivelmente em virtude do protocolo de treinamento utilizado e do curto período experimental (42 dias) que não foram suficientes para fortalecer grupos musculares específicos para melhora desses parâmetros.

7.9. Análise cinemática:

Os resultados médios das avaliações cinemáticas estão descritos nas tabelas 6 a 9.

7.9.1. Distribuição dos tempos de apoio:

Na distribuição dos tempos de apoio na passada (tabela 6), houve diferença ($p < 0,05$) entre o grupo controle (GA) e tratado (GB) na porcentagem de apoios bipedais pélvicos antes de iniciar o treinamento dos animais, sendo que os animais de GA apresentaram valor inferior ($0,31 \pm 0,58$ %) em relação aos de GB ($2,53 \pm 2,01$ %). No entanto, ao final do período de treinamento, houve redução numérica, nesse apoio nos animais de GB ($2,03 \pm 1,53$) e, aumento nos animais de GA ($0,82 \pm 0,95$), de modo que não houve diferença ($p > 0,05$) para esse apoio, entre os grupos, na avaliação final.

O apoio bipedal pélvico não está descrito no padrão da ABCCMM. Ainda assim, Procópio (2005) encontrou porcentagens de 0,40 (marcha reunida), 0,60 (marcha média) e 0,50 (marcha alongada) para esse tipo de apoio. Já Fonseca (2018) encontrou valores medianos de 0,58% para fêmeas, e 1,11% para machos, entre equinos Mangalarga Marchador que já haviam sido campeões em pista o que mostra que esse tipo de apoio acontece durante a execução da marcha pela raça Mangalarga Marchador. No entanto, a distribuição de apoio bipedais pélvicos no presente experimento foi maior em GB, do que os valores encontrados por esses autores, mas esse grupo já apresentava uma distribuição maior desse apoio antes de iniciar o treinamento associado a eletroestimulação e sofreu redução após o mesmo. A literatura consultada não descreve sobre como a maior ou menor distribuição de apoios bipedais pélvicos pode interferir na dinâmica de locomoção dos equinos marchadores e essa questão merece ser alvo de futuros estudos, já que não se sabe se esse apoio é favorável para a qualidade da marcha do Mangalarga Marchador. Deve - se ressaltar, no entanto, que tanto os animais avaliados por Procópio (2005), quanto aqueles avaliados por Fonseca (2018) se encontravam na exposição Nacional da raça, onde só é permitido o julgamento de animais que foram premiados nas exposições regionais, o que sugere a qualidade zootécnica superior desses animais.

Tabela 6. Distribuição do tempo em cada tipo de apoio em relação ao tempo total da passada (%) durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias submetidas a protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação de corpo inteiro.

Tipo de apoio	Avaliação	GB (n=6)	GA (n=6)
Quadrupedal (%)	Antes	0,07±0,17	0,19±0,45
	Depois	0,00±0,00	0,00±0,00
Tripedal torácico (%)	Antes	1,83±1,34	2,18±1,52
	Depois	1,05±1,55	1,16±1,16
Bipedal Diagonal (%)	Antes	90,18±2,71	90,58±3,48
	Depois	89,04±1,70	90,15±2,21
Bipedal Lateral (%)	Antes	1,43±1,33	3,02±2,39
	Depois	0,54±1,32	1,80±2,25
Bipedal pélvico (%)	Antes	2,53±2,01 [‡]	0,31±0,58 [‡]
	Depois	2,03±1,53	0,82±0,95
Monopodal torácico (%)	Antes	0,13±0,20	0,35±0,57
	Depois	0,21±0,34	0,74±1,04
Monopodal pélvico (%)	Antes	3,68±2,50	2,08±1,67
	Depois	6,28±3,04	4,48±2,32
Suspensão (%)	Antes	0,15±0,37	0,53±1,29
	Depois	0,86±1,20	0,78±1,04

[‡]Difere entre tratamentos (controle e eletroestimulação) na mesma avaliação (SNK, $p \leq 0,05$). Não houve diferença entre avaliações (antes e depois) no mesmo tratamento (SNK, $p > 0,05$).

Em relação aos demais apoios, não houve diferença ($p < 0,05$) entre os momentos antes e depois ou entre os grupos GA e GB. Houve ocorrência de apoios quadrupedais na avaliação feita antes que os animais fossem submetidos aos protocolos de treinamento, mas na avaliação realizada ao final do período experimental, não houve nenhuma ocorrência desse apoio (quadrupedal) em ambos os grupos (GA e GB), concordando com os achados de Procópio (2005) e Fonseca (2018), os quais também não encontraram apoios quadrupedais durante a marcha em equinos Mangalarga Marchador. Procópio (2005) e Fonseca (2018) avaliaram equinos durante exposições para competição da raça Mangalarga Marchador e, portanto, já eram animais treinados.

A velocidade média na primeira avaliação foi de 13,93 km/h para GB, e 13,32 km/h para GA. Na avaliação realizada depois que os animais foram submetidos aos protocolos de treinamento, a velocidade média da marcha nos testes realizados com os animais de GB e GA foi de 14,58 e 14,86 km/h, respectivamente. Segundo Procópio (2005), a velocidade

da marcha do Mangalarga Marchador deve ter como limite superior 14 km/h, para preservação do andamento marchado. No entanto, apesar de no final do período experimental os animais terem atingido velocidade superior a 14 km/h, eles preservaram o andamento marchado, o que pode ser constatado quando verificamos na Tabela 8 que não houve momento de suspensão e que o apoio tripedal, característico da marcha, foi mantido após o treinamento, quando os animais atingiram a velocidade média da marcha superior a 14 km/hora.

7.9.2. Comprimento, duração, velocidade, frequência de passadas e dissociação de apoio e decolagem:

Os dados de comprimento, duração, velocidade, frequência de passadas e dissociação relativa de apoio e decolagem estão expressos na tabela 7.

O comprimento de passada aumentou ($p < 0,05$) entre os momentos “antes” e “depois” para ambos os grupos, o que mostra a influência do treinamento no aumento do comprimento da passada. Pode se inferir que esse resultado é consequência da maior eficiência na movimentação dos membros, ocasionada pelo treinamento. No entanto, esses achados diferem dos resultados de Cano et al. (2000), que encontraram maior frequência e menor comprimento de passada em cavalos andaluzes após o treinamento. Tanto as diferenças no andamento (trote ou marcha), quanto as diferenças nos protocolos de treinamento podem ter sido responsáveis por essa variação. Além disso, o aumento da velocidade de apresentação na segunda avaliação do presente estudo também pode justificar o aumento do comprimento da passada. Os valores encontrados estão de acordo com os encontrados por Fonseca (2018), que foram de 1,68 m a 2,07 m, com média de 1,89 m. As demais variáveis não sofreram alterações ($p \geq 0,05$) entre “antes” e “depois”, para nenhum dos grupos avaliados, e estão de acordo com as respostas descritas por Fonseca (2018).

Tabela 7. Comprimento, duração, velocidade, frequência de passadas e dissociação relativa de decolagem e apoio durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação.

Tipo de apoio	Avaliação	GB (n=6)	GA (n=6)
Comprimento (m)	Antes	1,90±0,04*	1,85±0,10*
	Depois	2,08±0,10*	2,07±0,11*
Duração (s)	Antes	0,434±0,173	0,505±0,040
	Depois	0,426±0,147	0,503±0,030
Velocidade (m/s)	Antes	3,87±0,52	3,70±0,22
	Depois	4,05±0,42	4,13±0,22
Frequência (passadas/segundo)	Antes	2,05±0,33	1,91±0,19
	Depois	1,94±0,11	2,00±0,12
Dissociação relativa de decolagem (%)	Antes	-1,50±4,03	-2,31±2,95
	Depois	-2,40±1,35	-1,92±2,09
Dissociação relativa de apoio (%)	Antes	1,20±1,94	-0,19±3,25
	Depois	2,16±1,63	-0,26±2,48

*Difere entre avaliações (antes e depois) no mesmo tratamento (SNK, $p \leq 0,05$); Não houve diferença entre tratamentos (controle e eletroestimulação) em nenhuma variável (SNK, $p > 0,05$).

Não houve diferença na dissociação relativa de apoio e de decolagem dos bípodes diagonais, entre os momentos de avaliação ou entre os grupos (tabela 9). Nos dois grupos, houve alto desvio-padrão, dificultando a interpretação dos resultados. A alta variação da dissociação de apoio também foi observada por Fonseca (2018), que encontrou variações de -4,61 a 3,69% em equinos Mangalarga Marchador campeões de pista. A dissociação relativa de decolagem também não sofreu alterações ($p < 0,05$) entre os momentos ou entre os grupos e foi negativa para ambos, mostrando que o posterior decolou depois do anterior contralateral. Segundo Simonato et al. (2021), essa característica é desejável para o Mangalarga Marchador, pois permite a manutenção de um membro posterior no solo enquanto o anterior decola, evitando a ocorrência de suspensão. Os valores de dissociação relativa de decolagem, encontrados por Fonseca (2018) para equinos Mangalarga Marchador campeões de pista foram de -10,70% até 2,03%, mostrando que há grande variação nesse item entre os animais, o que concorda com os resultados encontrados no presente estudo.

7.9.3. Cinemática do membro torácico:

Os dados de deslocamento vertical do casco torácico, ombro, nuca, e da face, assim como os ângulos de extensão máxima do boleto e quartela torácica, e ângulo de flexão máxima da nuca, estão descritos na tabela 8.

O deslocamento vertical do casco torácico sofreu alteração ($p \leq 0,05$) entre os momentos “antes” e “depois”, para o GA, e não para o GB. No entanto, os resultados dos dois grupos na avaliação final foram semelhantes (25,4 cm para GB e 25,0 cm GA). Aparentemente, o treinamento físico provocou uma maior elevação do casco torácico, em ambos os grupos, porém mais evidente no grupo controle, que apresentava menor valor para essa variável antes de iniciar o treinamento. Embora seja valorizada a boa flexão dos membros anteriores (movimento rolado), não existe um padrão de medidas pelo qual podemos nos guiar para saber se esse deslocamento foi satisfatório ou não, já que tanto os animais que apresentam movimentação excessiva dos membros torácicos quanto aqueles que apresentam pouca movimentação são penalizados. A avaliação técnica não mostrou alteração evidente entre os grupos ou entre os momentos para “qualidade de movimentação de membros anteriores”, mostrando que outros fatores, além da elevação dos membros, são levados em consideração para a avaliação desse quesito.

O deslocamento vertical da nuca reduziu significativamente após o treinamento no grupo controle, mas não no grupo tratado. Mais uma vez, seria necessário associar outras avaliações para saber se esse resultado foi favorável ou não ao grupo controle, pois não há, na literatura parâmetros descritos para essa variável. Esperava-se que essa variável pudesse ser indicativa da comodidade do animal. No entanto, na avaliação qualitativa da marcha, houve tendência para maior comodidade no grupo submetido a eletroestimulação (GB) no momento “depois”, em comparação ao controle (GA). São necessários mais estudos para elucidar quais variáveis cinemáticas podem ser utilizadas para indicar de maneira objetiva as alterações na comodidade.

Tabela 8. Deslocamento vertical de marcadores e ângulos articulares do membro torácico durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com (GB) ou sem (GA) uso de eletroestimulação.

Tipo de apoio	Avaliação	GB (n=6)	GA (n=6)
Deslocamento vertical casco torácico (cm)	Antes	23,8±3,5	20,4±1,6*
	Depois	25,4±4,5	25,0±3,1*
Deslocamento vertical do ombro (cm)	Antes	8,2±1,3	8,7±1,9
	Depois	7,6±1,3	7,4±1,1
Deslocamento vertical da nuca (cm)	Antes	8,0±1,6	8,7±2,1*
	Depois	7,1±2,5	5,9±1,6*
Deslocamento vertical da face (cm)	Antes	9,0±2,8	7,3±2,2
	Depois	7,5±3,4	7,5±1,9
Ângulo do bolete torácico em extensão máxima (°)	Antes	108,89±6,23	100,65±5,26
	Depois	108,71±6,56	107,15±5,37
Ângulo da quartela torácica em extensão máxima (°)	Antes	158,05±11,37	146,39±17,51
	Depois	149,28±8,55	151,51±2,48
Ângulo da nuca flexão máxima (°)	Antes	78,89±6,85	84,77±6,95
	Depois	81,11±5,39	84,16±8,15

*Difere entre avaliações (antes e depois) no mesmo tratamento (SNK, $p \leq 0,05$); Não houve diferença entre tratamentos (controle e eletroestimulação) em nenhuma variável (SNK, $p > 0,05$).

Não houve diferença significativa entre antes e depois, para nenhum dos grupos, no deslocamento vertical do ombro, deslocamento vertical da face, e nos ângulos de bolete, quartela e nuca.

7.9.4. Cinemática de membros pélvicos:

As médias dos deslocamentos verticais dos cascos do membro pélvico, da garupa, dos ângulos de extensão máxima dos boletos e das quartelas nos membros pélvicos, o ângulo de flexão máxima do jarrete e distância entre membros ipsilaterais estão descritos na tabela 9.

Tabela 9. Deslocamento vertical do casco, da garupa, e ângulos articulares do membro pélvico e distância de apoio dos membros torácico e pélvico ipsilateral durante a marcha de éguas Mangalarga Marchador antes e após 42 dias de protocolo de condicionamento físico com uso de eletroestimulação ou grupo controle.

Tipo de apoio	Avaliação	Eletroestimulação (n=6)	Controle (n=6)
Deslocamento vertical casco pélvico (cm)	Antes	14,9±1,0*	15,6±3,7*
	Depois	18,8±2,7*	19,3±3,3*
Deslocamento vertical da garupa (cm)	Antes	7,0±0,9	7,4±2,2
	Depois	7,5±1,9	7,0±2,5
Ângulo do boleto pélvico em extensão máxima (°)	Antes	111,10±5,61	112,48±6,14
	Depois	113,32±8,57	114,55±3,99
Ângulo da quartela pélvica em extensão máxima (°)	Antes	140,17±11,37	145,36±10,47
	Depois	142,63±5,48	140,53±3,92
Ângulo do jarrete em flexão máxima (°)	Antes	95,17±9,48	97,53±5,15
	Depois	98,32±5,06	100,62±7,48
Distância de apoio dos membros torácico e pélvico ipsilateral (cm)	Antes	13,3±3,0	10,4±3,5
	Depois	7,0±3,3	15,2±12,1

*Difere entre avaliações (antes e depois) no mesmo tratamento (SNK, $p \leq 0,05$); Não houve diferença entre tratamentos (controle e eletroestimulação) em nenhuma variável (SNK, $p > 0,05$).

O deslocamento vertical do casco do membro pélvico aumentou significativamente entre os momentos antes e depois, para ambos os grupos, sugerindo que o treinamento influenciou positivamente na movimentação do membro pélvico. Esse parâmetro deve ser avaliado em conjunto com o comprimento da passada do membro pélvico já que, para atender as exigências do padrão racial (ABCCMM, 2019), no julgamento da qualidade da marcha é desejável que o animal tenha elevação e avanço dos posteriores visando o apoio com sobrepegada, ou seja, o animal deve apoiar o casco do membro posterior direito onde estava o anterior esquerdo. O comprimento de passada aumentou ($p \leq 0,05$) nos dois tratamentos, mostrando que o treinamento favoreceu a qualidade de movimentação dos membros posteriores. Ao comparar dados da cinemática do membro posterior com os dados da avaliação técnica, verifica-se que o quesito “qualidade de movimentação de membros posteriores” da avaliação técnica teve melhora ($p \leq 0,05$) apenas no grupo que foi submetido a seções de eletroestimulação durante o período de treinamento (GB), e foi superior para GB em comparação a GA, no momento “depois” enquanto o “deslocamento vertical do casco pélvico” teve melhora ($p \leq 0,05$) em ambos os grupos, mostrando que

outros fatores, que não foram mensurados na avaliação cinemática, podem interferir na avaliação qualitativa do momento. Essa constatação mostra a importância de se associar as duas técnicas para uma melhor avaliação da marcha.

Os demais parâmetros avaliados não apresentaram alterações ($p \leq 0,05$) entre os momentos “antes” e “depois”, ou entre os grupos GA e GB. O quesito “distância entre membros ipsilaterais”, referente à distância entre a pinça do membro anterior e a pinça do membro posterior do mesmo lado, apresentou redução numérica, porém não significativa, para GB, e um aumento numérico, também não significativo, para GA. Embora a diferença média nesse quesito para os dois grupos tenha sido de 8,2 cm, no final do experimento, a grande variação entre os resultados do grupo controle fez com que não houvesse diferença ($p \leq 0,05$) entre os grupos. A menor distância entre os membros ipsilaterais sugere maior engajamento do membro pélvico, que é uma característica desejável para a marcha. No presente experimento, nenhum dos dois grupos apresentaram mudança significativa nesse quesito, porém, como citado anteriormente, o grupo GB apresentou uma tendência de redução nessa variável, enquanto o grupo GA apresentou uma tendência de aumento. Essa tendência está de acordo com os resultados da avaliação técnica, que mostrou maior qualidade de movimentação dos membros posteriores para GB. Seriam necessários mais estudos com tratamento por período mais prolongado que 42 dias para observar se essa tendência poderia ser melhor evidenciada ou excluída.

7.10. Considerações gerais:

Os resultados do presente estudo apontaram para um futuro promissor com o uso da WB-EMS em equinos. O equipamento utilizado foi bem aceito pelos animais, que se mostraram relaxados com a terapia, ao mesmo tempo em que foi possível obter contrações musculares aparentes, além de um visível flexionamento da articulação lombo-sacra, movimento importante para o fortalecimento e estabilização desta região e para a manutenção do flexionamento da coluna como um todo, o que é necessário para a condução da força de contração dos membros posteriores.

A evolução significativa no tempo de marcha mostra que a associação entre WB-EMS e treinamento pode potencializar o ganho de condicionamento físico de equinos Mangalarga Marchador, sendo mais vantajoso do que apenas o treinamento físico, pois além de possibilitar redução do efeito da individualidade sobre o ganho de condicionamento, pode reduzir a incidência de claudicações causadas pelo comprometimento dos ligamentos e articulações que acontecem devido aos exercícios de movimentos repetitivos e com alto impacto das estruturas locomotoras nos treinos convencionais.

A evolução significativa do grupo que recebeu eletroestimulação de corpo inteiro, e superioridade desse grupo em relação ao controle na avaliação qualitativa do andamento avaliados no concurso de marcha, na qualidade de movimentação e estabilidade de membros posteriores, mostra um potencial de melhoria da qualidade da marcha, trazendo benefícios para a funcionalidade dos animais. Os integrantes dos dois grupos não apresentaram decréscimo em nenhum dos quesitos da avaliação técnica, ao se comparar antes e depois do treinamento associado ou não à eletroestimulação, demonstrando a importância do treinamento na qualidade de movimentação dos animais.

A terapia com eletroestimulação de corpo inteiro na forma passiva não provocou qualquer alteração indicativa de lesão muscular, e não provocou, no modo utilizado, elevações drásticas de creatina quinase ou AST, como foi relatado em humanos. Para outros modos de estimulação ou para a forma ativa, na qual o animal é movimentado concomitantemente ao uso da eletroestimulação de corpo inteiro, são necessários outros estudos para verificar as respostas das enzimas musculares.

A eletroestimulação de corpo inteiro não provocou alterações significativas nos parâmetros cinemáticos avaliados. Algumas alterações obtidas nesses parâmetros são justificadas pelo treinamento, pois ocorreram nos dois grupos, como: maior comprimento de passada e maior deslocamento do casco pélvico. As alterações que ocorreram apenas no grupo controle foram: maior deslocamento vertical do membro torácico e menor deslocamento vertical da nuca.

A análise dos dados biomecânicos de forma isolada não traz respostas sobre quais modificações foram favoráveis ou não, e há poucos parâmetros na literatura para comparar com os resultados obtidos no presente experimento. Por essa razão, a avaliação cinemática deve ser interpretada em conjunto com a avaliação qualitativa do andamento, que é no momento o recurso que mais permite a aproximação da avaliação realizada em provas oficiais da raça Mangalarga Marchador.

Esse é o primeiro estudo com eletroestimulação de corpo inteiro em equinos Mangalarga Marchador, e é possível que seu uso associado a outros protocolos de treinamento possa trazer diferentes resultados. Portanto, são necessários mais estudos com a WB-EMS no modo ativo, com outros tempos de duração da sessão, com outros modos de estimulação ou associação entre modos diferentes.

São necessários também mais estudos para comprovação dos efeitos do uso da eletroestimulação sobre a qualidade de movimentação dos equinos da raça Mangalarga Marchador.

8. Conclusões

A Eletroestimulação de Corpo Inteiro no modo *Cardio/endurance* foi bem tolerada pelos animais e não provocou efeitos negativos para nenhum dos quesitos avaliados. A associação do treinamento físico com sessões de eletroestimulação de corpo inteiro melhorou o condicionamento físico, evidenciado pela redução da frequência cardíaca de retorno e pelo aumento do tempo de marcha. Provocou também, melhora na avaliação qualitativa de estabilidade e qualidade de movimentação dos membros posteriores. O treinamento físico resultou em maior comprimento de passada, maior deslocamento vertical dos cascos dos membros anteriores e menor deslocamento vertical da nuca.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCCMM – Sistemas e Metodologias dos Julgamentos - Regulamento da 38ª Exposição Nacional do Cavalo Mangalarga Marchador. 2019: p 58 -67.

ABRANTES, R. G. P.; REZENDE, A. S. C.; SANTIAGO, J. M.; TRIGO, P.; MELO, M. M.; FONSECA, M. G.; LAGE, J.; MOREIRA, D. C. A. *Validation of a training protocol for marcha contests of the Mangalarga Marchador breed*. Bioscience Journal, v. 31, 2015, p.1787–91. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJv31n6a2015-26561>

AGNE, J.E. Eu sei eletroterapia. 2ª ed. Santa Maria, Gráfica Palloti, 2009, 400p.

AINSWORTH, D. M. Lower airway function: responses to exercise and training. In: *Equine Exercise Physiology – The Science of Exercise in the Athletic Horse*. Philadelphia: Elsevier, 2008. p. 193-209.

AMARO-GAHETE, F. J.; DE-LA-O, A.; SANCHEZ-DELGADO, G.; ROBLES-GONZÁLEZ, L.; JURADO-FASOLI, L.; RUIZ, J. R.; GUTIERREZ, A. *Whole-Body Eletrostimulation improves performance related parameters in runners*. Front. Physiology, v. 9: 1576, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01576>

BANERJEE, P.; CAULFIELD, B.; CROWE, L.; CLARK, A. *Prolonged electrical muscle stimulation exercise improves strength and aerobic capacity in healthy sedentary adults*. J. Appl. Physiol., v. 99, 2005, pp. 2307-2311. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00891.2004>

BARCELOS, K. M.; REZENDE, A. C. S.; BIGGI, M.; LANA, A. M. Q.; MARUCH, S.; FALEIROS, R. R. *Prevalence of tarsal diseases in champion mangalarga marchador horses in the marcha picada modality and its association with tarsal angle*. J. Equine Vet. Sci. V. 47, 2016, p. 25-30. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.07.012>

BARREY, E. *Locomotion variables*. Em: BARREY, E.; FASIO, E.; FERLAZZO, A; LINDNER, A.; RIVERO, J. L. L. (Ed.) Performance diagnosis of horses. Netherlands: Wageningen Pears, 1997, cap. 5, p. 72-96.

BARREY, E.; COUROUCE, A.; LANGLOIS, B. *Genetic componente of exercice test parameters in French Trotters: first estimations*. Conference on Equine Sports Medicine and Science, by Arno Lindner (Ed), Córdoba, Espanha, 1999, pp 219-14

BERGH, A.; NORDLÖF, H.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B. *Evaluation of neuromuscular electrical stimulation on fibre characteristics and oxidative capacity in equine skeletal muscles*. *Equine Vet. J.*, v. 42: 38, 2010, pp 671-675. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00180.x>

BOFFI, F. M. *Fisiologia del Ejercicio em Equinos*. Buenos Aires: Inter-Médica, 2007.

BROCHERIE, F.; BABAULT, N.; COMETTI, G.; MAFFIULLETTI, N.; CHATARD, J. C. *Eletrostimulation training effects on Physical Performance of Hockey Players*. *Med. Sci. Sports Exerc.*, v. 37, n 3, 2005, p. 455-460.

CANO, M. R.; MIRÓ, F.; DIZ, A. M.; AGUERA, E.; GALISTEO, A. M. *Influence of training on the biokinematics in Trotting Andalusian Horses*. *Veterinary Research Communications*, v. 24(7), 2000, p. 477-489.

CARROLL, C. L.; HUNTINGTON, P. J. *Body Condition Scoring and Weight Estimation of Horses*. *Equine Vet. J.*, v. 20, n. 1, 1988, p. 41-45.

CASTEJÓN, F.; RIBER, C.; SANTISTTEBAN, P.; TRIGO, P.; AGUERA, S. *Valoración ergométrica y muscular en cinta rodante*. In: *Valoración morfofuncional em la selección de reproductores del Caballo de pura Raza Española*. Foro de Opinion El Caballo Espanol, Sevilla, 1995, p. 168-181.

CHEETHAM, J.; RIORDAN, A. S.; MOHAMMED, H. O.; MC ILWRAITH, C. W.; FORTIER, L. A. *Relationships between race earnings and horse age, sex, gait, track surfasse and number of race starts for Thoroughbreds and Standarbreds race-horses*. North America. *Equine Veterinary Journal*, v. 42 (4), 2010, pp 346-350. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00032.x>

CISNEROS, L.; SALGADO, A. H. I. Guia de Eletroterapia: princípios biofísicos, conceitos e aplicações clínicas. Belo Horizonte: COOPMED, 2006, 96p.

CLAYTON, H.M. *Conditioning Sport Horses*. Mason: Sport Horse Publications, 1991, 242p.

CLAYTON, H. *The dynamic horse. A Biomechanical guide to equine movement and performance*. Mason: Sport Horse Publications, 2004.

COUROUCÉ, A. *Exercise testing for assessing fitness in French Standardbred trotters*. The Veterinary Journal, v. 157 (2), 1999, pp 112-122. Disponível em: <https://doi.org/10.1053/tvjl.1998.0302>

CORREIA E CASTRO, B. Claudicação na nacional: para ler e refletir. Mangalarga marchador, a revista oficial da raça. Revista oficial da ABCCMM. 2011, n. 72, p. 71-4.

CUNNINGHAM, J.G. Tratado de Fisiologia Veterinária. 3ª ed. 2004, Editora Guanabara Koogan, 543p.

DENOIX, J-M., PAILLOUX, J-P. *Physical Therapy and Massage for the Horse*. 2ª edição, CRC Press, 2011, 224p.

DENOIX, J-M. *Biomechanics and Physical Training of the Horse*. 1ª edição, CRC Press, 2014, 191 p.

DREIBATI, B.; LAVET, C.; PINTI, A.; POUMARAT, G. *Influence of electrical stimulation frequency on skeletal muscle force and fatigue*. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, v. 53, 2010, p. 266-277. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.03.004>

Equery R6 User Guide. EQ-UI4010EN rev.4 2019.07.21.

USP ESALQ – Divisão de Comunicação. Mercado do cavalo emprega seis vezes mais que indústria automobilística. Em: <https://cavalus.com.br/geral/mercado-do-cavalo-emprega-seis-vezes-mais-que-industria-automobilistica>. 27/06/2019.

EVANGELISTA, A. L.; GOMES, M. C. S. S.; BARROS, B. M.; PAUNKSNIS, M. R. R.; TEIXEIRA, C.V.L.S.; SANTOS, L. M.; SOUZA, C. R.; BOCALINI, D. S. Eletroestimulação de corpo inteiro: uma breve revisão narrativa sobre seus benefícios e riscos. *Braz. J. of Development*, Curitiba, v. 6, n 11, 2020, p. 85465-85474. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-100>

EVANS, D.L. *Training and fitness in athletic horses*. Sydney: Rural Industries Research & Development Corporation, 2000. 64p.

FARINELLI, F.; REZENDE, A. S. C.; FONSECA, M. G.; LANA, A. M. Q.; PAES LEME, F. O.; KLEIN, B. O. N.; SILVA, R. H. P.; ABREU, A. P.; DAMAZIO, M. J.; MELO, M. M. *Influence of Stretching Exercises, Warm-Up, or Cool-Down on the Physical Performance of Mangalarga Marchador Horses*. *Journal of Equine Veterinary Science*, vol. 106, 103714, 2021.

FERRAREZE, M.; RAMOS, F. F. Curso teórico em WB-EMS. Dignitus Brasil. 1ª edição, 2017.

FILIPOVIC, A.; KLEINODER, H.; HOLLMANN, W.; BLOCH, W.; GRAU, M. *Influence of Whole-Body Electrostimulation on human red blood cell deformability*. *J. Strength Cond. Res.*, v. 29(9), 2015, p. 2570-2578.

FILIPOVIC, A.; GRAU, M.; KLEINODER, H.; ZIMMER, P.; HOLLMANN, W.; BLOCH, W. *Effects of a Whole-Body Electrostimulation Program on Strength, Sprinting, Jumping and Kicking Capacity in Elite Soccer Players*. *J. Sports Sci. Med.*, v. 15(4), 2016, p. 639-648.

FINSTERER, J.; STÖLLBERGER, C. *Severe rhabdomyolysis after Miha-Bodytech electrostimulation with previous mild hyper-CK-emia and noncompaction*. International Journal of Cardiology, v. 180 c, 2014, p. 100-102. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2014.11.148>

FODSTAD, H.; HARIZ, M. *Electricity in the treatment of nervous system disease*. Acta Neurochirurgica Supplements, 2007, p. 11-19. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-211-33079-1_2

FONSECA, M. G.; REZENDE, A. S. C.; JORDÃO, L. R.; LAGE, J.; ALMEIDA, M. L. M.; ANDRADE, J. M.; NETO, A. Q.; FERRAZ, G. C. *Chromium or L-carnitine supplementation during na aerobic conditioning program mildly modified the enrgy metabolismo biomarker response in Mangalarga Marchador fillies*. Livestock Science, vol. 177, pp. 165-174, 2015.

FONSECA, M. G. Mangalarga Marchador: estudo morfométrico, cinemático e genético da marcha batida e da marcha picada. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Jaboticabal, 2018.

FRANCISCATO, C.; LOPES, S. T. A.; VEIGA, A. P. M.; MARTINS, D. B.; EMANUELLI, M. P.; OLIVEIRA, L. S. S. *Atividade sérica das enzimas AST, CK e GGT em cavalos crioulos*. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.41, n.10, 2006, p.1561-1565.

GAMA, J. A. N.; SOUZA, M. S.; PEREIRA NETO, E.; SOUZA, R. C.; COELHO, C. S. *Concentrações séricas de aspartato aminotransferase e creatinoquinase e concentrações plasmáticas de lactato em equinos da raça mangalarga marchador após exercício físico*. Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci., São Paulo, v.9, n. 6, 2012, pp 480-486.

GARCIA, T. R.; CASTEJÓN, F.; FONSECA, M. G.; TERRA, R. A.; SANTIAGO, J. M.; LARANJEIRA, P. V. E. H.; REZENDE, A. S. C. *Lactato plasmático em éguas mangalarga marchador suplementadas com Saccharomyces cerevisiae durante o treinamento*. Revista Veterinária e Zootecnia em Minas, v. 109, 2011, p. 105-106.

GODOI, F.N.; ALMEIDA, F.Q.; TORAL, F.L.B.; MIRANDA, A.L.S.; KAIPPER, R. R.; BERGMANN, J.A.G. *Repeatability of kinematics traits of free jumping in Brazilian sport horses*. Livestock Sci, vol. 168, 2014, p.1-8.

HINCHCLIFF, K. W.; KANEPS, A. J.; GEOR, R. J. *Equine sports medicine and surgery*. Saunders, 2014.

HUSSINI, C. A.; WISSDORF, H.; NICOLETTI, J. L. M. *Variações da marcha em equinos mangalarga marchador*. Ciência Rural. Santa Maria, v. 26, n. 1, 1996, p. 91-95.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa da Pecuária Municipal-2016*

ISBELL, D. A.; SCHILS, S. J.; OAKLEY, S. C.; CARRARO, U.; KNAEBLE, B. R. *Functional electrical stimulation (FES) and the effect on equine multifidi asymmetry*. Journal of Equine Veterinary Science, vol. 95, 2020, 103255. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103255>

JORDÃO, L.R.; BERGMANN, J.A.; MOURA, R.S.; MELO, M.M.; COSTA, M.L.L.; MOSS, P.C.B.; AQUINO NETO, H.M.; REZENDE, A.S.C. *Effect of feed at different times prior to exercise and chelated chromium supplementation on the athletic performance of Mangalarga Marchador mares*. Comparative Exercise Physiology, v. 7(3), 2011, p 133-140. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1755254011000043>

KÄSTNER, A.; BRAUN, M.; MEYER, T. *Two cases of rhabdomyolysis after training with electrostimulation by 2 young male professional soccer players*. Clin. J. Sport Med., v. 25(6), 2015, e71-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/JSM.000000000000153>

KEMMLER, W.; VON STENGEL, S.; SCHWARZ, J.; MAYHEW, J.L. *Effect of whole-body electrostimulation on energy expenditure during exercise*. J. Strength Cond. Res., v. 26(1), 2012, p. 240-245.

KEMMLER, W.; TESCHLER, M.; BEBENEK, M.; VON STENGEL, S. *(Very) high Creatinkinase concentration after exertional whole-body electrostimulation application: health risks and longitudinal adaptations*. Wiener Medizinische Wochenschrift, v. 165, n. 21-22, 2015, p. 427-435.

KRUEGER-BECK, E.; SCHEEREN, E. M.; NOGUEIRA NETO, G. N.; BUTTON, V. L. S. N.; NOHAMA, P. Efeitos da estimulação elétrica funcional no controle neuromuscular artificial. Rev. Neurociência, v. 19(3), 2011, p. 530-541. Disponível em: <https://doi.org/10.4181/RNC.2010.06ip.11>

LAGE, J.; Fonseca, M. G.; DE BARROS, G. G. M.; FERINGER-JÚNIOR, W. H.; PEREIRA, G. T.; FERRAZ, G. C. *Workload of official contests, net cost of transport, and metabolic power of Mangalarga Marchador horses of marcha batida or picada gaits*. Journal of Animal Science, v. 95, 2017, p. 2488.

LEISSON, K; JAAKMA, U; SEENE, T. *Adaptation of Equine Locomotor Muscle Fiber Types to Endurance and Intensive High Speed Training*. Journal of Equine Veterinary Science, v. 28, n. 7, 2008, p 395-401

MARTELLUCCI, J. *Basic Concepts in Electricity and Electrotherapy*. Electrical Stimulation for Pelvic Floor Disorders, 2014, p. 61-74. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06947-0_4

MCCUTCHEON, L. J; GEOR, R. J. *Thermoregulation and exercise-associated heat stress*. In: HINCHCLIFF, K. W.; GEOR R. J.; KANEPS A. J. Equine Exercise Physiology – The Science of Exercise in the Athletic Horse. Philadelphia: Elsevier, 2008. p.382-394.

McGOWAN, C.M. HYYTIÄINEN, H.K. *Muscular and neuromotor control and learning in the athletic horse*. Comparative Exercise Physiology, v. 13 (3), 2017, p. 185-194.

MENDES, A.B. et al. Lombalgia equina: diagnóstico e tratamento. PUBVET, Londrina, v. 7, n. 17, Ed. 240, Art. 1583, Setembro, 2013.

MUÑOZ, A., RIBER, C., TRIGO, P.; CASTEJÓN, F. *Erythrocyte indices in relation to hydration and electrolytes in horses performing exercises of different intensity*. *Com. Clin. Pathol.*, v. 17, n. 4, 2008, p. 213-220.

NADER, G. A. *Concurrent strength and endurance training: from molecules to man*. *Med Sports Exerc* v. 38, 2006, p. 1965-1970.

NICODEMUS, M.C.; CLAYTON, H.M. *Temporal variables of four-beat, stepping gaits of gaited horses*. *Appl Anim Behav Sci*, v. 80, 2003, p. 133-142.

PALUDO, G. R.; McMANUS, C.; MELO, R. Q.; CARDOSO, A. G.; MELLO, F. P. S.; MOREIRA, M.; FUCK, B. H. Efeito do estresse térmico e do exercício sobre parâmetros fisiológicos de cavalos do exército brasileiro. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 3, 2002, pp. 1130-1142.

PAILLARD, T. *Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions*. *Sports Med.*, v. 38(2), 2008, p. 161-77. Disponível em: <https://doi.org/10.2165/00007256-200838020-00005>

PAILLARD, T.; NOE, F.; BERNARD, N.; DUPUI, P.; HAZARD, C. *Effects of two types of neuromuscular electrical stimulation training on vertical jump performance*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 22(4), 2008, p. 1273-1278. Disponível em: <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3181739e9c>

PANO-RODRIGUEZ, A.; BELTRAN-GARRIDO, J. V.; HERNANDEZ-GONZÁLEZ, V.; REVERTER-MASIA, J. *Effects of Whole-Body Electrostimulation on health and performance: a systematic review*. *BMC. Complementary and Alternative Medicine*, v. 19: 87, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2485-9>

PARKER, M. G.; BENNETT, M. J.; HIEB, M. A.; HOLLAR, A. C.; ROE, A. A.; *Strenght response in human muscle during 2 neuromuscular electrical stimulation programs*. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, v. 33, 2003, p. 719-726.

PETERSON, M. L.; McILWRAITH, W.; REISER II, R. F. *Development of a system for the in-situ characterization of Thoroughbred horse racing track surfaces*. Biosystems Engineering, v. 101 (2), 2008, p. 260-269.

POPOVIC, M.R.; CURT, A.; KELLER, T.; DIETZ, V. *Functional electrical stimulation for grasping and walking: indications and limitations*. Spinal Cord, v. 39, 2001, p. 403-412.

PRATES, R. C.; REZENDE, H. H. C.; LANA, A. M. Q.; BORGES, I.; MOSS, P. C. B.; MOURA, R. S.; REZENDE, A. S. C. *Heart rate of Mangalarga Marchador mares under marcha test and supplemented with chrome*. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, n.5, 2009, p.916-922.

PROCÓPIO, A.M. Análise cinemática da locomoção de equinos marchadores. 2005. 69f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PROCÓPIO, A.M.; BERGMANN, J.A.G.; MENZEL, H.J.; BRÊTAS, M. S.; HERR, J.; FANTINI, P. *Curvas ângulo-tempo das articulações dos eqüinos marchadores*. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 59, n. 1, 2007, p. 41-48.

RATZLAFF, M. H.; HYDE, M. L.; HUTTON, D. V.; RATHGEBER, R. A.; BALCH, O. K. *Relationships between moisture content of the track and locomotor forces exerted by galloping horses*. Journal of Equine Veterinary Science, v. 17(1), 1997, p. 35-42. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0737-0806\(97\)80456-x](https://doi.org/10.1016/s0737-0806(97)80456-x)

RAVARA, B.; GOBBO, V.; CARRARO, U.; GELBMANN, L.; PRIBYL, J.; SCHILS, S. *Functional electrical stimulation as a safe and effective treatment for equine epaxial muscle spasms: clinical evaluations and histochemical morphometry of mitochondria in muscle biopsies*. European Journal of Translational Myology, v. 25 (2), 4910, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4081/ejtm.2015.4910>

REZENDE, H. H. C.; PRATES, R. C.; MOURA, R. S.; MOSS, P. C. B.; LANA, A. M.Q.; MELO, M. M.; GARCIA, E. S.; REZENDE, A. S. C. Efeito do cromo sobre o metabolismo energético e a resposta hormonal em éguas Mangalarga Marchador em trabalho de condicionamento para provas de marcha. *Revista Veterinária e Zootecnia em Minas*, v. 100, 2009, p. 81-83.

REZENDE, A.S.C., FONSECA, M.F., JORDÃO, M. F., D'ANGELIS, F.H.F. ALMEIDA, M.L.M., QUEIROZ NETO, A., FERRAZ, G.C., RIVERO, J.L., *Skeletal Muscle Fiber Composition of Untrained Mangalarga Marchador Fillies*, *Jour. Eq. Vet. Sci.*, v. 36, 2016: 101–104, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JEVS.2015.11.005>

RHODIN, M.; *A biomechanical analysis of relationships between the head and neck position, vertebral column and limbs in the horse at walk and trot*. 2008. Doctoral dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences.

RIEDLER, D.C., ZSOLDOS, R.R., ROBEL, M., JOBST, I. D., *Movement caused by Electrical Stimulation of the Lumbosacral region in standing horses*, *Jour. Eq. Vet. Sci.* v. 91, 2020, 103116. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2020.103116>

RIVERO, J. L. L.; DIZ, A. M. *Skeletal muscle histochemistry of andalusian horses: a comparative study with other breeds*. *Arch Zootec* v. 41, 1992, p. 505-512.

ROGERS, C. W.; FIRTH, E. C. *Musculoskeletal responses of 2-year-old Thoroughbred horses to early training. 2. Measurement error and effect of training stage on relationship between objective and subjective criteria of traing workload*. *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 52 (5), 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00480169.2004.36439>

ROONEY, J. R. *Track condition in relation to lameness in Thoroughbred racehorses*. *Equine Veterinary Data*, vol. 9, 1983, p. 134-135.

ROSE, R. J.; HODGSON, D. R. *An overview of Performance and Sports Medicine*. In: HODGSON, D. R. and ROSE, R. J. *The athletic horses: principles and practice of*

equine sports medicine. Philadelphia: Saunders, 1994. p.3 – 25.

SANTOS, S.A., SILVA, R.A.M.S., AZEVEDO, J.R.M., SIBUYA, C.Y., ANARUMA, C.A., SERENO, J.R.B. *Evaluation of performance capacity of pantaneiro horses and other breeds during cavalcade through the pantanal. Archivos de Zootecnia*, v. 51, n. 193-194, p. 121-128, 2002.

SCHILS, S. J. *Review of eletroterapy devices for use in veterinary medicine*. In: ANNUAL CONVENTION OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF EQUINE PRACTITIONERS, v. 55, 2009, Las Vegas.

SCHILS, S.; CARRARO, U.; TURNER, T.; RAVARA, B.; GOBBO, V.; KERN, H.; GELBMANN, L.; PRIBYL, J. *Functional Electrical Stimulation for Equine Muscle Hypertonicity: Histological Changes in Mitochondrial Density and Distribution*. *Journal of Equine Veterinary Science*, v. 35, 2015, p. 907-916. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2015.08.013>

SCHLACHTER, C.; LEWIS, C. *Electrophysical therapies for the equine athlete*. *Vet Clin Equine* v. 32, 2016, p. 127-147. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2015.12.011>

SERRANO, A.L; QUIROZ-ROTHER, E; RIVERO, J.L.L. *Early and long-term changes of equine skeletal muscle in response to endurance training and detraining*. *Pflügers Arch - Eur J Physiol*, v. 441, 2000, p. 263–274.

SETTERBO, J. J.; GARCIA, T. C.; CAMPBELL, L. P.; REESE, J. L.; MORGAN, J. M.; KIM, S. Y.; HUBBARD, M.; STOVER, S. M. *Hoof accelerations and ground reaction forces of Thoroughbred racehorses measured on dirt, synthetic, and turf track surfaces*. *American Journal of Veterinary Research*, v. 70(10), 2009, p. 1220-1229. Disponível em: <https://doi.org/10.2460/ajvr.70.10.1220>

SILVA, R.T.; KNORR, L.F.; LOPES, R.F.; KNORR, L.; NAVARRO, F. *Comparação entre os efeitos do uso de eletroestimulação neuromuscular associada ao treinamento de*

força com somente treinamento de força em exercício de membros inferiores durante oito semanas. *Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício*. São Paulo. V 1, n 5, 2007, pp 01-10.

SIMONATO, S.P.; BERNADINA, G.D.R.; FERREIRA, L.C.R.; SILVATTI, A.P.; BARCELOS, K.M.C.; da FONSECA, B.P.A. *3D kinematic of the thoracolumbar spine in Mangalarga Marchador horses performing the marcha batida gait and being led by hand – A preliminary report*. PLoS ONE, v. 16(7): e0253697, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253697>

SNOW, D. H.; GUY, P. S. *Muscle fibre type composition of a number of limb muscle in different types of horse*. *Res Vet Sci* v. 28, 1980, p. 137-144.

STARKE, S. D.; CLAYTON, H.M. *A universal approach to determine footfall timings from kinematics of a single foot marker in hoofed animals*. *Peer J.*, v. 3: e783, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.783>

TERRA, R.A. Avaliação do treinamento de éguas Mangalarga Marchador submetidas a testes de esforço incremental realizados em esteira e a campo. 2012. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

THOMASSIAN, A.; CARVALHO, F.; WATANABE, M.J.; SILVEIRA, V.F.; ALVES, A.L.G.; HUSSINI, C.A.; NICOLETTI, J.L.M. Atividades séricas da aspartato aminotransferase, creatina quinase e lactato desidrogenase de equinos submetidos ao teste padrão de exercício progressivo em esteira. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.* v.44, n.3, 2007.

VANDERTHOMMEN, M.; DUCHATEAU, J. *Electrical Stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system*. *Exerc. Sports Sci. Rev.*, v. 35, n. 4, 2007, p. 180-185.

VEIGA, A.C.R. Estudo retrospectivo de casuística, abrangendo metodologia diagnóstica da osteoartrite em equinos. 2006. Dissertação(mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Clínica Médica.

VOTION, D. M.; NAVET, R.; LACOMBE, V. A.; SLUSE, F.; ESSEN-GUSTAVSSON, B.; HINCHCLIFF, K. W.; et al. *Muscle energetics in exercising horses*. Equine Comp Exerc Physiol, v. 4, 2007, p. 105-118.