PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DA FADIGA EM CAVALOS DE PROVAS DE RESISTÊNCIA

Autores: Lara Vitória Mendes Costa, Maria Eduarda Quírico Valente, Isabella Xayene Borges Amorim, Ana Beatriz de Azevedo Xavier, Evelyn Freitas Penitente, Graziela Barioni, Felipe Berbari Neto.

Universidade Federal do Espírito Santo/ Departamento de Medicina Veterinária/CCAE/UFES, - Caixa postal 16, Alto Universitário - 29500-000, Alegre - ES, Brasil, laracosta.vet@gmail.com, mariaeduardavalente02@gmailcom, isabella.x.amorim@edu.ufes.br,anabeatrizxavier@gmail.com, eve.penitente@hotmail.com, grazibari@gmail.com, berbarineto@hotmail.com.

Resumo
A fadiga em equinos de resistência decorre de uma complexa interação entre alterações metabólicas, cardiovasculares, musculares e hidroeletrolíticas. Ao analisar parâmetros como frequência cardíaca, metabolômica, hidratação, lactato, glicose, eletrólitos e enzimas musculares, esta revisão evidenciou que o exercício prolongado promove intensa mobilização energética, desidratação, perdas eletrolíticas e desgaste muscular. Contudo, embora esses marcadores sejam úteis para acompanhar a resposta ao esforço, nenhum parâmetro isolado é suficiente para diagnosticar a exaustão. A interpretação precisa dos dados exige contextualizar o momento da coleta, a distância, a intensidade do treino e o condicionamento do animal, além de variáveis ambientais críticas como temperatura e umidade. Portanto, o monitoramento eficaz deve integrar a avaliação clínica, exames de laboratório e a taxa de recuperação, reforçando a necessidade de estudos padronizados que estabeleçam modelos individualizados para a avaliação do desempenho e do bem-estar equino.
Palavras-chave: Equinos. Endurance. Fisiologia do exercício. Metabolismo.

Área do Conhecimento: Ciências da Saúde - Medicina Veterinária

Introdução

As provas de resistência equestre, ou endurance, caracterizam-se pela realização de exercícios prolongados em diferentes terrenos, velocidades e condições climáticas, submetendo o cavalo atleta a demandas fisiológicas intensas, envolvendo o sistemas cardiovascular, respiratório, muscular, metabólico e o termorregulatório. Neste cenário, a resistência aeróbica exige a sustentação contínua de um esforço de média intensidade, gerando adaptações fisiológicas progressivas nos sistemas metabólico e circulatório ao longo do treino. Por esse motivo, a avaliação da fadiga nesses animais exige a consideração conjunta da intensidade, da duração do esforço, do condicionamento físico, da aclimatação e das condições ambientais (Rose, 1986; Nagy; Dyson; Murray, 2012).

Definida como a redução reversível da capacidade de manter o desempenho físico, a fadiga envolve fatores centrais e periféricos impulsionados pela depleção energética, acúmulo de metabólitos, desequilíbrio ácido-base e perda de água e eletrólitos pelo suor. Quando essas alterações superam a capacidade compensatória do organismo, o quadro evolui para a exaustão, comprometendo gravemente a homeostase (Foreman, 1998; Miller; Lawrence, 1986). Assim, o estudo da fadiga vai além do rendimento esportivo e atua na prevenção de emergências médicas, como colapso, rabdomiólise e cólica, causados por desidratação e hipertermia. O monitoramento fisiológico contínuo nos pontos de controle identifica precocemente o estresse metabólico, orientando decisões veterinárias essenciais para a integridade do atleta (Foreman, 1998; Flaminio; Rush, 1998).

A avaliação da resposta fisiológica e da fadiga em equinos exige a análise integrada de parâmetros cardiorrespiratórios, bioquímicos e do estado de hidratação. Variáveis como frequência cardíaca, hematócrito e marcadores musculares (CK, AST, LDH) refletem a adaptação ou o estresse orgânico, mas exigem cautela: elevações enzimáticas nem sempre indicam lesões patológicas (Balarin et al., 2008). Ademais, a perda eletrolítica pela sudorese compromete a estabilidade circulatória e a função muscular, sobretudo sob estresse térmico. Paralelamente, o lactato e novas abordagens

metabolômicas evidenciam a dinâmica energética e o catabolismo proteico e lipídico (Balarin et al., 2008).

Apesar da relevância dos parâmetros avaliados, a heterogeneidade metodológica — incluindo variações em raças, formas de coleta, treinamento, distâncias e ambiente — dificulta a padronização de valores de referência e limita a comparação científica. Essas limitações indicam que a avaliação da fadiga deve ser individualizada e baseada em múltiplos parâmetros, em vez de depender de valores isolados ou de referências fixas. Frente a isso, esta revisão bibliográfica objetivou analisar os indicadores fisiológicos associados à fadiga, discutindo seu papel no desempenho, na recuperação e na prevenção da exaustão. Ademais, abordam-se as limitações atuais, visando impulsionar protocolos integrados e aplicáveis à rotina clínica veterinária esportiva.

Metodologia

Para elaboração do presente trabalho, realizou-se análise da literatura publicada sobre os parâmetros fisiológicos associados à fadiga em cavalos de provas de resistência. Foram consultados artigos científicos e revisões disponíveis nas bases PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO e Portal de Periódicos CAPES preferencialmente entre 2013 e 2026, em português e inglês, utilizando-se os descritores “cavalos de resistência”, “endurance horses”, “fadiga fisiológica”, “exercise fatigue”, “equine exercise physiology”, “physiological parameters”, “lactate”, “heart rate”, “dehydration” e “metabolic disorders”. Por conseguinte, foi feita a revisão de tais literaturas e síntese das principais considerações sobre o assunto.

Resultados

Após a análise dos estudos selecionados, foram identificadas pesquisas que avaliaram respostas cardiovasculares, metabólicas, hidroeletrolíticas, musculares e moleculares em cavalos submetidos a provas de resistência ou a exercícios prolongados. Os resultados demonstraram que a fadiga está relacionada à interação entre o metabolismo energético, a disponibilidade de fluidos e eletrólitos, a função muscular, a recuperação cardiovascular e as condições individuais do animal. Os principais achados encontram-se listados na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros fisiológicos associados à fadiga em cavalos de provas de resistência

Parâmetro fisiológico ou marcador	Modalidade	Avaliações	Relação com fadiga ou recuperação	Referência
Frequência cardíaca (Fc)	Resistência / 100 km	Análise associada de Fc, parâmetros sanguíneos e desempenho.	Auxilia na avaliação da resposta cardiovascular, mas não deve ser usada isoladamente.	Rose et al., 1983
Frequência cardíaca e recuperação	Longa distância	Análise cardíaca completa no período de recuperação.	Complemento de avaliação final.	Flethøj et al., 2016
Lactato sanguíneo (Ls)	Resistência / 44 km	Ls após a prova e e durante a recuperação inicial.	Avaliação da demanda energética e da participação glicolítica.	Arfuso et al., 2021
Glicose e ácidos graxos	Resistência / 44 km	Foram observadas alterações na glicose e nos ácidos graxos não esterificados.	Indicam utilização de carboidratos e mobilização de lipídios.	Arfuso et al., 2021
Aminoácidos de cadeia ramificada	Resistência / 44 km	Alterações constatadas após exercício.	Participação do metabolismo proteico no esforço prolongado.	Arfuso et al., 2021
Hematócrito, hemoglobina e proteínas	Resistência / 65 a 120 km	Alterações após o exercício.	Auxiliam na avaliação da redistribuição de fluidos e da hidratação.	Larsson et al., 2013

plasmáticas				
Sódio, potássio e cloro	Longa distância	Alterações nas concentrações eletrolíticas após o esforço.	Alteração na função neuromuscular e a recuperação.	Flaminio; Rush, 1998; Larsson et al., 2013
Hidratação e eletrólitos	Resistência / 160 km	Cavalos eliminados por razões metabólicas.	Comprometimento fisiológico e risco de exaustão.	Nolen-Walston et al., 2010
Creatina quinase, AST e LDH	Longa distância	Aumento de enzimas musculares após o exercício e diferentes tempos de recuperação.	Indicam estresse muscular, mas não confirmam isoladamente lesão patológica.	Balarin et al., 2008
Perfil de acilcarnitinas	Resistência	O perfil plasmático foi utilizado para investigar o metabolismo de ácidos graxos.	Potencial para identificar alterações na beta-oxidação.	Van der Kolk et al., 2020
Metabólitos relacionados ao desempenho	Resistência	Identificação de metabólitos associados ao desempenho, sem marcador único de prontidão.	Reforça a necessidade de avaliação metabólica integrada.	Halama et al., 2021
Perfil metabolômico	Resistência / 90, 120 e 160 km	Alterações em metabólitos das vias energética, lipídica e proteica.	A distância modifica a resposta metabólica.	Le Moyec et al., 2019
Metabolômica de longa distância	Resistência / 130 a 160 km	A análise revelou alterações no metabolismo lipídico e no catabolismo proteico.	Evidencia a adaptação energética ao exercício prolongado.	Le Moyec et al., 2014
Metabolômica, transcriptômica e microRNAs	Longa distância	Alterações relacionadas à energia, inflamação e estresse oxidativo.	Confirma a natureza multifatorial da fadiga.	Mach et al., 2017
Biomarcadores de fase aguda	Cavalos participantes de provas de resistência	A competição promoveu alterações em biomarcadores de fase aguda.	Sugere resposta inflamatória transitória e necessidade de monitorar a recuperação.	Mihelić et al., 2022
Frequência cardíaca e variabilidade cardíaca	Resistência para cavalos iniciantes	Respostas cardiovasculares e sanguíneas antes e após a prova.	Diferenciação entre adaptação e comprometimento fisiológico.	Huangsaksri et al., 2024
Estresse oxidativo	Cavalos Mongóis submetidos a exercício de 20 km	Alterações em parâmetros metabólicos e antioxidantes.	Estresse oxidativo como mecanismo da resposta à fadiga.	Zhang et al., 2025
Lipidômica	Cavalos Yili submetidos a prova de 26 km	Alterações no metabolismo lipídico e no perfil bioquímico plasmático.	Importância da mobilização lipídica durante a resistência.	Chang et al., 2025

Fonte: Elaborada pelo autor.

Discussão

No âmbito metabólico, observa-se a utilização concomitante de múltiplos substratos. Em provas de curta e longa distância, a glicólise atende a demandas pontuais, enquanto a mobilização de lipídios e o catabolismo proteico sustentam o esforço contínuo (Arfuso et al., 2021; Le Moyec et al., 2014; Le Moyec et al., 2019). Contudo, a alta variabilidade de fatores como clima, terreno, raça e treinamento impede a definição de um marcador único de performance ou fadiga, exigindo análises individualizadas (Halama et al., 2021).

A hidratação e o equilíbrio eletrolítico são cruciais. A sudorese excessiva reduz o volume plasmático e compromete a termorregulação. Animais eliminados por razões metabólicas em provas severas apresentam acentuada desidratação e depleção eletrolítica (Nolen-Walston et al., 2010), justificando a avaliação conjunta de exame clínico, hematócrito e eletrólitos (Flaminio; Rush, 1998).

Em relação a função cardíaca, a frequência cardíaca (FC) e sua variabilidade (VFC) refletem o estresse térmico e físico, mas parâmetros isolados não determinam o desempenho final (Larsson et al., 2013). A análise do período de recuperação amplia o entendimento da resposta autonômica (Flethøj et al., 2016). Além disso, a raça influencia essas respostas, como demonstrado entre cavalos Árabes e Žemaitukai (Poškienė et al., 2021), o que desencoraja o uso de valores de referência universais.

Marcadores musculares como CK, AST e LDH sobem após o exercício. Devido às suas cinéticas distintas, esse aumento costuma indicar estresse fisiológico adaptativo e não necessariamente miopatia (Balarin et al., 2008). Paralelamente, alterações em biomarcadores inflamatórios de fase aguda, parâmetros antioxidantes e perfil de estresse oxidativo apontam para uma resposta inflamatória transitória durante o esforço (Mihelić et al., 2022; Zhang et al., 2025).

Avanços em metabolômica, lipidômica, transcriptômica e microRNAs revelam uma integração complexa entre produção energética, inflamação e resposta imune (Mach et al., 2017). Perfis de acilcarnitinas e alterações lipídicas em raças específicas, como os cavalos Yili, reforçam a ativação do metabolismo de ácidos graxos (Van der Kolk et al., 2020; Chang et al., 2025). Embora promissoras, tais abordagens ainda necessitam de padronização metodológica.

A recuperação clínica aparente não sinaliza restauração fisiológica plena: enquanto FC e lactato normalizam rapidamente, processos inflamatórios e oxidativos persistem. Por isso, a principal implicação prática é substituir avaliações isoladas por diagnósticos integrados e seriados.

Conclusão

A literatura analisada demonstra que a fadiga em cavalos de provas de resistência resulta da interação entre alterações metabólicas, cardiovasculares, musculares, hidroeletrolíticas e termorregulatórias. Embora lactato, frequência cardíaca, creatina quinase, hematócrito e eletrólitos sejam úteis no acompanhamento do exercício, nenhum desses parâmetros é suficientemente específico para identificar isoladamente fadiga ou exaustão. A desidratação e a depleção de sódio e cloro destacam-se como alterações particularmente relevantes em animais com comprometimento metabólico, reforçando a importância da avaliação clínica associada aos exames laboratoriais

Por fim, conclui-se que o monitoramento de cavalos de resistência deve ser seriado e integrado, considerando o estado basal, as respostas durante a prova e a recuperação pós-exercício. Entretanto, a heterogeneidade dos protocolos, das distâncias, das condições ambientais e dos critérios de avaliação limita a comparação entre os estudos e dificulta a definição de valores de referência universais. Portanto, pesquisas futuras devem priorizar a padronização metodológica e o desenvolvimento de modelos individualizados que relacionem biomarcadores fisiológicos ao desempenho, à recuperação, ao risco de exaustão e ao bem-estar equino.

Referências

Arfuso, F.; Giannetto, C.; Interlandi, C.; Giudice, E.; Bruschetta, A.; Panzera, M. F.; Piccione, G. Dynamic metabolic response, clotting times and peripheral indices of central fatigue in horse competing in a 44 km endurance race. *Journal of Equine Veterinary Science*, v. 106, artigo 103753, 2021. DOI: 10.1016/j.jevs.2021.103753. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34670693/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Balarin, M. R. S.; Lopes, R. S.; Kohayagawa, A.; Larsson, M. H. M. A.; Pereira, G. T. Alterations in muscular enzymes of horses competing long-distance endurance rides under tropical climate. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 60, n. 3, p. 543–549, 2008. DOI: 10.1590/S0102-09352008000300004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/abmvz/a/Y764yD6vRRnm4Y4hR8GZqHp/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Cappelli, K.; Mecocci, S.; Capomaccio, S.; Beccati, F.; Palumbo, A. R.; Tognoloni, A.; Pepe, M.; Chiaradia, E. Circulating transcriptional profile modulation in response to metabolic unbalance due to long-term exercise in equine athletes: a pilot study. *Animals*, v. 11, n. 12, artigo 3566, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34946914/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Chang, X.; Zhang, Z.; Yao, X.; Meng, J.; Ren, W.; Zeng, Y. Lipidomics and biochemical profiling of adult Yili horses in a 26 km endurance race: exploring metabolic adaptations. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 12, artigo 1597739, 2025. DOI: 10.3389/fvets.2025.1597739. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12052713/. Acesso em: 15 ago. 2026.

Flethøj, M.; Sattler, S. M.; Vestergaard, S.; et al. Changes in heart rate, arrhythmia frequency, and cardiac biomarker values in horses during recovery after a long-distance endurance ride. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, v. 248, n. 9, p. 1034–1042, 2016. DOI: 10.2460/javma.248.9.1034. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27074612/. Acesso em: 10 ago. 2026.

Flaminio, M. J. B.; Rush, B. R. Fluid and electrolyte balance in endurance horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, v. 14, n. 1, p. 147–158, 1998. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9561693/. Acesso em: 12 ago. 2026.

Foreman, J. H. The exhausted horse syndrome. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, v. 14, n. 1, p. 205–219, 1998. DOI: 10.1016/S0749-0739(17)30220-1. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9561696/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Halama, A.; Oliveira, J. M.; Filho, S. A.; Qasim, M.; Achkar, I. W.; Johnson, S.; Suhre, K.; Vinardell, T. Metabolic predictors of equine performance in endurance racing. *Metabolites*, v. 11, n. 2, artigo 82, 2021. DOI: 10.3390/metabo11020082. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33572513/. Acesso em: 19 ago. 2026.

Huangsaksri, O.; Sanigavatee, K.; Poochipakorn, C.; Wonghanchao, T.; Yalong, M.; Thongcham, K.; Srirattanamongkol, C.; Pornkittiwattanakul, S.; Sittiananwong, T.; Ithisariyanont, M.; et al. Physiological stress responses in horses participating in novice endurance rides. *Heliyon*, v. 10, n. 11, artigo e31874, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e31874. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11153225/. Acesso em: 01 ago. 2026.

Larsson, J.; Pilborg, P. H.; Johansen, M.; Christophersen, M. T.; Holte, A.; Roepstorff, L.; Olsen, L. H.; Harrison, A. P. Physiological parameters of endurance horses pre-compared to post-race, correlated with performance: a two race study from Scandinavia. *ISRN Veterinary Science*, v. 2013, artigo 684353, 2013. DOI: 10.1155/2013/684353. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24167733/. Acesso em: 12 ago. 2026.

Le Moyec, L.; Robert, C.; Triba, M. N.; Billat, V. L.; Mata, X.; Schibler, L.; Barrey, E. Protein catabolism and high lipid metabolism associated with long-distance exercise are revealed by plasma NMR metabolomics in endurance horses. *PLoS ONE*, v. 9, n. 3, artigo e90730, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0090730. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3962349/. Acesso em: 01 ago. 2026.

Le Moyec, L.; Robert, C.; Triba, M. N.; Bouchemal, N.; Mach, N.; Rivière, J.; Zalachas-Rebours, E.; Barrey, E. A first step toward unraveling the energy metabolism in endurance horses: comparison of

plasma nuclear magnetic resonance metabolomic profiles before and after different endurance race distances. *Frontiers in Molecular Biosciences*, v. 6, artigo 45, 2019. DOI: 10.3389/fmolb.2019.00045. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31245385/. Acesso em: 05 ago. 2026.

Mach, N.; Ramayo-Caldas, Y.; Clark, A.; Moroldo, M.; Robert, C.; Barrey, E.; López, J. M.; Le Moyec, L. Understanding the response to endurance exercise using a systems biology approach: combining blood metabolomics, transcriptomics and miRNomics in horses. *BMC Genomics*, v. 18, artigo 187, 2017. DOI: 10.1186/s12864-017-3571-3. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28212624/. Acesso em: 08 ago. 2026.

Mihelić, K.; Matković, K.; Vučković, A.; et al. Changes in acute phase response biomarkers in racing endurance horses. *Animals*, v. 12, n. 21, artigo 2993, 2022. DOI: 10.3390/ani12212993. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9657625/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Nagy, A.; Dyson, S. J.; Murray, J. K. A veterinary review of endurance riding as an international competitive sport. *The Veterinary Journal*, v. 194, n. 3, p. 288–293, 2012. DOI: 10.1016/j.tvjl.2012.06.022. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22819800/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Nolen-Walston, R. D.; Wan, H.; Kamm, J. L.; et al. Endurance veterinarians detect physiologically compromised horses in a 160 km ride. *Equine Veterinary Journal*, v. 42, suplemento 38, p. 6–11, 2010. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2010.00225.x. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21058975/. Acesso em: 19 ago. 2026.

Poškienė, I.; Gruodytė, R.; Autukaitė, J.; Juozaitytė, V.; Antanaitis, R. Speed and blood parameters differ between Arabian and Žemaitukai horses during endurance racing. *Animals*, v. 11, n. 4, artigo 995, 2021. DOI: 10.3390/ani11040995. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33916255/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Rose, R. J. Endurance exercise in the horse: a review. Part I. *British Veterinary Journal*, v. 142, n. 6, p. 532–541, 1986. DOI: 10.1016/0007-1935(86)90111-9. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3297239/. Acesso em: 22 ago. 2026.

Van der Kolk, J. H.; Thomas, S.; Mach, N.; Ramseyer, A.; Burger, D.; Gerber, V.; Nuoffer, J. M. Serum acylcarnitine profile in endurance horses with and without metabolic dysfunction. *The Veterinary Journal*, v. 255, artigo 105419, 2020. DOI: 10.1016/j.tvjl.2019.105419. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31982078/. Acesso em: 20 ago. 2026.

Zhang, X.; Liu, Y.; Li, L.; Ma, W.; Bai, D.; Dugarjaviin, M. Physiological and metabolic responses of Mongolian horses to a 20 km endurance exercise and screening for new oxidative-imbalance biomarkers. *Animals*, v. 15, n. 9, artigo 1350, 2025. DOI: 10.3390/ani15091350. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12071025/. Acesso em: 02 ago. 2026.