

SISTEMA TERMOREGULATÓRIO DE CAVALOS ATLETAS - REVISÃO

THERMOREGULATORY SYSTEM OF SPORT HORSES - REVISION

Jéssica Carvalho Seabra¹; João Ricardo Dittrich²

¹ Aluna de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFPR

² Professor do Departamento de Zootecnia da UFPR

RESUMO

Em organismos homeotérmicos, a temperatura interna é normalmente mantida dentro o intervalo de temperatura estreito ideal para o funcionamento do organismo. Em temperaturas abaixo da zona termoneutra, a perda de calor total será maior do que a produção de calor, e o animal terá que aumentar a produção de calor para manter sua temperatura interna. Quando há exposição do animal a temperaturas acima da sua zona termoneutra, ou quando submetido ao exercício, ocorre o aumento da temperatura corporal interna e o acionamento do sistema termorregulador. Apesar dos fatores ambientais exercerem grande influência sobre a homeostase de um organismo, o maior desbalanço térmico ocorre durante o exercício, devido principalmente a ineficiência da conversão de energia química para energia mecânica, com aproximadamente 75-80% da energia química total sendo liberada em forma de calor em vez de trabalho físico. Além das condições ambientais, outros fatores que podem influenciar a produção de metabólica de calor em cavalos são o condicionamento físico, a composição da dieta e o nível de hidratação. Sendo assim, para que haja melhor desempenho atlético do animal, faz-se necessário o conhecimento profundo de todo seu sistema termoregulatório, com o objetivo de fornecer ao animal condições que facilitem a sua aclimatação, para garantir bons resultados em competições e evitar riscos a sua saúde e bem-estar.

Palavras-chave: fisiologia do exercício, equinos, calor, conforto térmico, dissipação de calor.

ABSTRACT:

In homeothermic animals, the internal temperature is normally maintained within a narrow temperature range ideal for the functioning of the organism. At temperatures below the thermoneutral zone, total heat loss will be greater than the thermoneutral heat production and the animal has to increase heat production to maintain the body core temperature. When an animal is exposed to temperatures above its thermoneutral zone, or when subjected to exercise, the internal body temperature increases and the thermoregulatory system will provoke mechanisms for heat loss. Although environmental factors exert a big influence on the organism homeostasis, the greatest thermal imbalance occurs during exercise due to the inefficiency of the conversion of chemical energy to mechanical energy, about 75-80% % of the total chemical energy released as heat rather than physical work. In addition to environmental conditions, there are other factors that can influence the metabolic production of heat in horses like physical conditioning, the diet composition and the hydration level. Therefore, in order to improve the animal's athletic performance, it is necessary to own large knowledge about the thermoregulatory system, objectivating to provide the horse with the best conditions for a successful acclimation, thus guaranteeing good results in competitions and avoiding health issues and improving the welfare.

Keywords: exercise physiology, equines, heat, thermal comfort, heat dissipation.

INTRODUÇÃO

O calor corporal é produzido pelo metabolismo e também pode ser obtido através do meio ambiente. Em organismos homeotérmicos, a temperatura interna é normalmente mantida dentro de um intervalo estreito (37-40C°) por mecanismos neurofisiológicos integrados que mantêm a produção e a perda de calor em equilíbrio (McCutcheon & Geor, 2007). A zona termoneutra de um animal pode ser definida como o intervalo de variação da temperatura no qual é possível manter a temperatura corporal com pouco ou nenhum gasto energético além da taxa metabólica basal. Estudos realizados com cavalos estimaram que a zona termoneutra da espécie está entre as temperaturas de 5 a 25°C (Morgan et all, 1997).

A termorregulação é o processo fisiológico no qual a temperatura interna é regulada para se manter dentro do intervalo biológico ideal para o funcionamento do organismo. Em temperaturas abaixo da zona termoneutra, a perda de calor total será maior do que a produção de calor, e o animal terá que aumentar a produção de calor para manter sua temperatura interna. Mudanças comportamentais e fisiológicas, tais como tremores, visam aumentar temperatura corporal do animal, elevando a demanda energética e conseqüentemente, aumentando o consumo de alimentos. Quando há exposição do animal a temperaturas acima da sua zona termoneutra, ou quando submetido ao exercício, ocorre o aumento da temperatura corporal interna e o acionamento do sistema termorregulador (Morgan et al., 1997).

Os quatro mecanismos básicos para dissipação de calor são por condução, convecção, radiação e evaporação. A perda de calor por condução envolve a transferência direta de calor de uma molécula para outra em um meio líquido, sólido ou gasoso. Embora a maior parte do calor do corpo seja transferida para a periferia pela circulação, uma pequena quantidade move-se por condução diretamente através dos tecidos mais profundos em direção a uma superfície mais fria. A perda de calor por condução também ocorre pelo aquecimento de moléculas de ar que estão em contato com a superfície da pele. A taxa de perda de calor condutora é diretamente proporcional a diferença de temperatura entre a pele e as superfícies circundantes, e inversamente proporcional à espessura da camada de pelos do animal (McCutcheon & Geor, 2007).

Nos mamíferos, diversas pesquisas revelaram a existência de uma relação proporcional entre o peso corporal e a produção de calor em repouso. Entretanto, a espécie equina possui grande número de raças com enorme variação de tamanhos e pesos, sendo assim, raças mais leves podem ter uma produção de calor em repouso significativamente menor quando comparadas as raças mais pesadas. A perda de calor por condução a partir das superfícies dos membros e da cabeça também se mostrou mais efetiva do que do resto do corpo devido a maior relação superfície/massa dessas regiões (McConaghy et al., 1995, McCutcheon et al., 1995).

A dissipação do calor por condução é mais eficaz quando o ar quente ao redor do corpo é continuamente substituído pelo ar mais frio, enquanto o cavalo se move rapidamente através do ar e/ou a velocidade do vento é de moderada a alta. Entretanto, a existência de uma camada de ar presa dentro da cobertura de pelos longos impedirá a transferência de calor convectivo para o meio ambiente. A transferência de calor convectivo também ocorre no trato

respiratório, cuja taxa de perda de calor depende da ventilação pulmonar e da diferença de temperatura entre o ar inspirado e o expirado (McCutcheon & Geor, 2007).

A transferência de calor radiativo ocorre quando a radiação eletromagnética é emitida ou absorvida na superfície da pele. Como a temperatura corporal é normalmente superior ao ambiente, há uma perda líquida de energia irradiada da superfície da pele. No entanto, em condições ambientais quentes, quando a temperatura dos objetos no ambiente excede a temperatura da pele, a energia do calor radiante é absorvida pelos animais. Nestas condições, a única via para a perda de calor é o resfriamento por evaporação (McCutcheon & Geor, 2007).

Para o cavalo, o mecanismo mais importante para a perda de calor é o resfriamento evaporativo, incluindo a evaporação do suor das superfícies da pele e da água do trato respiratório. No entanto, vários fatores ambientais influenciarão a eficácia da perda de calor por meio evaporativo. Estes incluem a temperatura ambiente e a umidade relativa, a extensão do gradiente de pressão do vapor entre a superfície da pele e a velocidade do vento (Geor et al., 1995; McCutcheon et al., 1995). Com alta umidade ambiente, o gradiente de pressão do vapor entre a superfície do corpo e o ambiente se estreita, restringindo assim a evaporação, e aumentando a taxa de armazenamento de calor. A extensa área superficial do trato respiratório também constitui um mecanismo para a dissipação de calor. As narinas externas do cavalo contribuem para a troca de calor devido a extensa área superficial do trato respiratório superior, incluindo as narinas internas e os cornetos nasais, fornecendo um ambiente no qual o ar entra em contato com o epitélio altamente vascularizado do trato respiratório superior (Geor et al., 1995).

Apesar dos fatores ambientais exercerem grande influência sobre a homeostase de um organismo, o maior desbalanço térmico ocorre durante o exercício. A conversão de energia química (ou seja, substratos armazenados) para energia mecânica (por exemplo, contração muscular) é ineficiente, e aproximadamente 75 a 80% da energia química total é liberada em forma de calor, ao invés de trabalho físico (BRODY, 1945). Com o início do exercício físico, há aumento da taxa de produção de calor metabólico, acompanhada por elevação da temperatura muscular e temperatura corporal interna que, se não efetivamente dissipada, resulta em hipertermia. O calor gerado por uma sessão de exercício em um cavalo é suficiente para aumentar a sua temperatura corporal em 3 a 5°C. Se o exercício for prolongado e não acompanhado de dissipação efetiva de calor, a temperatura retal pode exceder os 42°C, que é uma temperatura associada ao aumento acentuado do risco de choque térmico e outros

distúrbios fisiológicos. Dessa maneira, o aumento da temperatura corporal interna provoca a ativação de mecanismos dissipadores de calor, de modo que o aumento da temperatura corporal seja atenuado. No entanto, o restabelecimento do equilíbrio entre o ganho e dissipação de calor irá depender da eficiência desse processo fisiológico e da duração e intensidade do exercício. A eficiência dos mecanismos dissipação de calor vão ser principalmente influenciado por condições ambientais, mas também podem ser melhoradas por meio de adaptações fisiológicas decorrentes principalmente do condicionamento físico e aclimatação ao calor (McCutcheon & Geor, 2007).

TERMORREGULAÇÃO DURANTE O EXERCÍCIO

Em contraste com a maioria das outras grandes espécies domésticas em que o músculo esquelético compreende apenas 30-40% do peso corporal, metade do peso corporal total do cavalo da raça Puro-sangue Inglês é composto por musculatura esquelética. Em razão da maior porcentagem de músculos por Kg de peso corporal, o cavalo possui um VO_2 máximo superior ao de outras espécies com aptidão atléticas, inclusive humanos. Além disso, um cavalo ao correr usa maior proporção de sua massa corporal para realizar os movimentos de locomoção quando comparado a um ser humano ao correr ou praticar ciclismo. Sendo assim, a carga de calor gerada pelo mesmo tipo de exercício é de 2 a 3 vezes maior para o cavalo do que para seres humanos. Apesar da taxa substancialmente mais elevada de produção de calor no cavalo, a proporção entre área superficial e massa corporal é aproximadamente 50% menor do que a dos seres humanos (homem = 1: 35-40 m^2/kg ; cavalo = 1: 90-100 m^2/Kg). Sendo assim, a área de superfície do cavalo para dissipação de calor é menor, ao mesmo tempo que a sua produção metabólica de calor é relativamente maior. Isso significa que o cavalo tem que dissipar aproximadamente quatro vezes mais calor por unidade de superfície corporal do que um atleta humano praticando o mesmo tipo de exercício. Para compensar a baixa área de superfície corporal por peso, é necessário aumentar as taxas de perda de calor cutânea e respiratória, o que faz com que o exercício prolongado se torne um considerável desafio termorregulador para o cavalo (Hodgson et al., 1994, Jones et al., 1995).

Em condições climáticas favoráveis, onde a temperatura do ambiente é inferior a temperatura corporal do animal, o calor metabólico produzido pela contração muscular é levado até a pele, onde será dissipado para o meio ambiente. Entretanto, quando um cavalo é exercitado em condições ambientais desfavoráveis, a dificuldade de dissipação do calor

produzido e o consequente aumento da temperatura corporal interna podem ter grande impacto negativo sobre o desempenho atlético do animal.

Com o início do exercício, há o aumento do débito cardíaco que tem por objetivo levar maior aporte sanguíneo aos músculos em contração. Ao entrar em contato com a musculatura esquelética, o fluxo sanguíneo também remove o excesso de calor produzido pelas contrações musculares e o leva para os órgãos internos, o que aumenta a temperatura interna do organismo e envia um sinal ao cérebro para que sejam acionados os mecanismos termoregulatórios primários que são o aumento do fluxo sanguíneo para a superfície da pele, facilitando a dissipação do calor para o meio ambiente, e o início da sudorese. Se a intensidade das contrações musculares é muito alta e a taxa de dissipação de calor é insuficiente, ocorre o aumento excessivo da temperatura dentro dos músculos, o que pode resultar em lesão celular e prejudicar o desempenho atlético do animal (Brinnel et al., 1993). O desempenho atlético do cavalo também pode ser limitado caso haja aumento na temperatura do cérebro suficiente para resultar em fadiga (Nielsen et al., 1993). Quando o animal está em repouso em um ambiente quente, a temperatura no cérebro pode ser elevada por meio de dois mecanismos principais: aumento da carga de calor radiante e aumento da temperatura do sangue devido ao aquecimento da pele. Com a prática do exercício físico em ambientes quentes, um terceiro mecanismo torna-se importante: o fluxo convectivo de sangue que é aquecido ao passar pelos músculos em contração e que contribui para o aumento da temperatura do cérebro. Existem limites térmicos que o cérebro pode tolerar, porém além desses limites, há o desencadeamento de uma série de reações fisiológicas que objetivam reduzir a velocidade do aquecimento cerebral, que quando não efetivas, resultam em insolação. Uma dessas reações fisiológicas é a cessação da atividade física, que reduz acentuadamente a taxa de produção de calor metabólico. Os cavalos também têm um arranjo anatômico único pelo qual suas artérias carótidas internas são envolvidas por um par de bolsas guturais preenchidas com ar. Estudos preliminares sugerem que cavalos atletas podem usar suas bolsas guturais para esfriar sangue que está sendo levado para o cérebro (Baptiste et al., 2000).

Existe uma temperatura corporal crítica acima da qual os mamíferos não continuarão o exercício voluntariamente. Estudos realizados na área de medicina humana indicaram que a fadiga voluntária ocorre em uma temperatura interna de cerca de 40°C (Gisolf & Copping, 1974), no entanto, em cavalos o cansaço voluntário não ocorreu até a temperatura retal de 42°C (Hodgson et al., 1993).

Durante o exercício de curta duração e de alta intensidade, por exemplo uma corrida de 1000 metros, a taxa de produção de calor excederá a sua taxa de dissipação e a temperatura corporal continuará a aumentar até cessar o exercício, sendo que grande parte da carga metabólica de calor será dissipada durante o período de recuperação, com o animal em repouso (McCutcheon & Geor, 2007).

Por outro lado, durante o exercício prolongado de baixa a moderada intensidade em condições ambientais temperadas, a ativação de mecanismos dissipadores de calor atenua progressivamente a taxa de aumento da temperatura corporal. Eventualmente, a taxa de perda de calor aumenta o suficiente para equilibrar a produção de calor metabólico produzido, permitindo alcançar uma temperatura interna estável, mantendo o organismo em uma condição chamada de estado estável (Nadel, 1998).

Devido às limitações físicas da área de superfície para a dissipação de calor nos cavalos, a perda de calor condutora e convectiva é menor do que em humanos, compreendendo 9 a 13% da perda de calor total com exercício de intensidade moderada em condições climáticas amenas e secas (Hodgson et al., 1993). Como nos seres humanos, o resfriamento evaporativo em cavalos é responsável por cerca de 50% da perda de calor total durante o exercício de intensidade moderada e em condições amenas e secas, entretanto, nos seres humanos a perda de calor pelo sistema respiratório pode chegar a no máximo 10%, enquanto para cavalos, esse valor é de até 30% de todo o calor produzido durante o exercício. Portanto, a taxa de acúmulo de calor ao se exercitar em condições quentes e úmidas pode ser até duas vezes maior do que a do mesmo exercício quando praticado em condições amenas e secas (Lindinger, 1999).

Durante o exercício, o principal estímulo para a transpiração é o aumento da temperatura corporal decorrente da produção de calor metabólico. Normalmente, a transpiração é iniciada a uma temperatura interna específica e continua aumentando conforme a elevação da temperatura corporal. Pesquisadores demonstraram que o aumento da taxa de transpiração em três intensidades de exercício diferentes (40%, 65% e 90% do VO₂ máximo) estavam intimamente relacionados às elevações da temperatura do sangue da artéria carótida. A taxa de aumento da temperatura corporal e a concentração de catecolaminas circulantes associadas a diferentes intensidades de exercício também podem contribuir para a determinação da taxa de transpiração (Hodgson et al., 1993).

A glândula sudorípara é considerada um órgão termorregulador em apenas algumas espécies, entre elas os bovinos, primatas e equinos (Evans, 1996). No cavalo, as glândulas

sudoríparas estão presentes em partes do corpo com e sem cobertura de pelos, com variação na densidade de concentração das glândulas em algumas regiões. Estruturalmente, a glândula sudorífera do cavalo é semelhante a de outras espécies domésticas, consistindo de um fundo e um ducto que liga o fundo a superfície da pele. Durante a maior parte do seu comprimento, uma única camada de queratinócitos alinha o ducto a superfície da pele (McCutcheon & Geor, 2007).

Ainda não há muitos estudos que comparem a produção de suor de raças diferentes de cavalos, por esse motivo, não se sabe se há diferenças na taxa de transpiração ou na composição do suor. Entretanto, o suor da espécie equina, ao contrário dos seres humanos, pode ser considerado de isotônico a ligeiramente hipertônico em relação ao plasma (McCutcheon et al., 1995; McCutcheon & Geor, 1996). As taxas de transpiração de 20 a 55 ml/m²/min foram medidas nos pescoços e nas costas em cavalos sendo exercitados em uma esteira (Hodgson et al., 1993). Supondo-se que um cavalo adulto de 500 Kg tenha uma superfície corporal de 4,5 a 5,0 m², a taxa de transpiração correspondente seria de 6 a 15 L de suor por hora, sendo assim taxa de transpiração por unidade de área da pele em cavalos é de 2 a 3 vezes maior que as relatadas em seres humanos (Carlson, 1983).

Quando a temperatura ambiente excede a temperatura da pele (> 35 - 36°C), o gradiente para transferência de calor é invertido e o organismo absorve calor do ambiente. Se a umidade for baixa, uma diminuição na perda de calor sensível pode ser compensada por aumento na taxa de transpiração e resfriamento evaporativo. À medida que a umidade aumenta, o gradiente entre a pele e o ponto de orvalho ambiental é reduzido e a perda de calor evaporativa também é prejudicada. A diminuição da taxa evaporativa pode ser percebida através de uma pelagem excessivamente molhada, com acúmulo e gotejamento do suor. Esse gotejamento é capaz de remover apenas de 5 a 10% do calor que poderia ser dissipado por meio da evaporação. Portanto, durante o exercício sob condições quentes e húmidas, a taxa de dissipação de calor pode ser inadequada para evitar o aumento progressivo da temperatura corporal. A taxa de armazenamento de calor ao se exercitar em condições quentes e úmidas pode ser até duas vezes maior do que durante o exercício com a mesma intensidade em condições frescas e secas (Lindinger, 1999; Geor & McCutcheon, 1998). O aumento na frequência respiratória durante e após o exercício é um reflexo da necessidade de aumentar a perda de calor pelo trato respiratório. Com o exercício prolongado no calor, há a diminuição do volume vascular devido à sudação termorreguladora, causando dificultando a termorregulação e a função cardiovascular. A medida que a temperatura do sangue aumenta

progressivamente, o gradiente térmico para a dissipação de calor diminui, de modo que o sangue que sai da circulação cutânea perde menos calor do que o durante o exercício inicial. Os tecidos corporais competem entre si pelo o débito cardíaco disponível, prejudicando o fornecimento de substratos e oxigênio aos músculos em contração, e prejudicando também o funcionamento do sistema termorregulador (McConaghy et al., 1996; Nielsen et al., 1997). Um fator que pode agravar ainda mais essa situação é a realização de exercício prolongado sem a suplementação dos fluidos perdidos.

A desidratação diminui a tolerância ao calor gerado pelo exercício, acelerando a taxa de armazenamento de calor e favorecendo o desenvolvimento de fadiga voluntária em um nível mais baixo de hipertermia. É altamente provável que a desidratação progressiva causada pela perda de fluidos intracelulares durante o exercício realizado em condições climáticas adversas prejudique a função neural de controle dos músculos esqueléticos e contribua para a diminuição do desempenho atlético e ocorrência da fadiga induzida pelo calor. Portanto, as diminuições progressivas do volume vascular durante o exercício (desidratação induzida pelo exercício) estão associadas ao aumento da temperatura interna corporal e temperatura do músculo esquelético em cavalos (Geor & McCutcheon, 1998). A diminuição do volume vascular também pode provocar aumento na taxa metabólica anaeróbica devido a competição de tecidos por substratos energéticos e oxigênio, causando assim o aumento da utilização de glicogênio muscular e acúmulo de lactato muscular, contribuindo para diminuição do desempenho atlético e fadiga. O exercício praticado no calor também pode ser associado a redução da utilização de ácidos graxos como substrato energético pelo músculo e aumento da taxa de oxidação de carboidratos. (Hargreaves et al., 1996).

A produção de metabólica de calor em cavalos também pode ser influenciada por fatores alimentares, como a composição da dieta e consumo de água. Essas variações ocorrem principalmente devido a diferenças na eficiência de uso de vários nutrientes e metabolitos derivados como substratos para a geração de ATP e podem também afetar a perda de calor corporal, principalmente através da disponibilidade de água e eletrólitos. A substituição de uma parte do feno por uma dieta com maior quantidade de grãos demonstrou diminuir a produção de calor, entretanto essa abordagem pode aumentar significativamente a ocorrência de sobrecarga de carboidratos e conseqüentemente, distúrbios gastrointestinais. Com o objetivo de aumentar ainda mais a densidade energética da dieta, com menor produção de calor e de maneira segura, uma nova abordagem alimentar foi desenvolvida. Ela consiste em substituir progressivamente até 10% da dieta total por óleos vegetais na alimentação do cavalo

atleta (Potter et al., 1992). Quando comparada com uma dieta tradicional, com maior proporção de forragem, uma dieta rica em gordura (8 a 10% da dieta total) pode reduzir a produção metabólica de calor em decorrência de menor fermentação no colón (Kronfeld, 1996). Além disso, a menor ingestão de forragem pode diminuir o "lastro intestinal", o que segundo alguns autores, pode trazer vantagens durante o exercício de alta intensidade. No entanto, os efeitos reais desses arranjos dietéticos sobre a produção de calor em cavalos durante o exercício ainda não foram bem estudados.

Outros fatores que podem influenciar a termorregulação durante o exercício em cavalos atletas incluem a cor e a densidade da camada de pelos que recobre o corpo do animal. A cor da pelagem afetará a quantidade de calor solar absorvido, enquanto uma longa camada de pelos limitará a perda de calor evaporativa. Além dessas características, agora há evidências de que outros fatores fisiológicos como o condicionamento físico e aclimação ao calor modificam a capacidade de termorregulação dos cavalos, melhorando a tolerância ao exercício praticado em condições quentes (McCutcheon & Geor, 2007).

O termo "tolerância ao calor do exercício" refere-se à habilidade de suportar altas temperaturas internas e externas durante o exercício. As modificações fisiológicas geradas pelo processo de aclimação foram profundamente estudadas em seres humanos, e podem incluir o aumento do volume do plasma sanguíneo, diminuição da temperatura corporal em repouso e durante o exercício, diminuição do ritmo cardíaco, melhora do fluxo sanguíneo para a pele, distribuição mais apropriada do débito cardíaco entre pele, músculo e capilares superficiais, aumentos sutis da temperatura interna dão início a transpiração mais rapidamente, melhoria do sistema de distribuição de suor, aumento da produção de suor, diminuição do conteúdo de eletrólitos na composição do suor, redução da utilização de glicogênio, diminuição da taxa de armazenamento de calor, aumento da duração do exercício antes da fadiga voluntária e melhoria da capacidade de suportar níveis mais elevados de hipertermia quando comparados a indivíduos não treinados. (Armstrong & Maresh, 1991; Maughan & Lindinger, 1995; Lindinger & Marlin, 1995). Entretanto, ainda são necessários mais estudos para afirmar se estas mesmas modificações fisiológicas ocorrem em cavalos.

Apesar do condicionamento físico induzir maiores taxas de transpiração para uma determinada temperatura interna durante o exercício, há diminuição da taxa de transpiração durante o período de recuperação em repouso, o que resulta na redução geral da perda de líquidos pelo suor (McCutcheon & Geor, 2000). Essa economia de fluidos gerada pela diminuição da sudorese é resultado do treinamento, minimizando assim os problemas

circulatórios gerados pela desidratação. O volume de plasma expandido no atleta treinado também melhora a capacidade de termorregulação, melhorando o fluxo sanguíneo cutâneo, o que facilita a dissipação do calor.

O treinamento físico em clima ameno se mostrou eficaz para melhorar a tolerância ao calor durante o exercício. Até mesmo o treinamento em climas frios pode gerar o aumento da temperatura interna e, conseqüente, gerar o estímulo para a ativação dos mecanismos fisiológicos de dissipação de calor, sendo que a eficácia do treinamento em melhorar a tolerância ao calor produzido pelo exercício vai depender da duração e intensidade desse estímulo. Entretanto, as condições climáticas quentes são normalmente consideradas aquelas que induzirão o maior desafio termorregulador para cavalos, resultando em adaptações termorreguladoras de maior magnitude (Armstrong & Maresh, 1991; Wenger, 1988).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cavalo é uma espécie que possui grande capacidade atlética inata evidenciada pela habilidade de se adaptar a pesadas cargas de trabalho em ambientes desfavoráveis. Como um atleta, os cavalos têm muitas vezes a necessidade de viajar e competir em condições climáticas adversas, diferentes das quais está acostumado. A preparação adequada desse animal, com uma rotina planejada de treinamento e a chegada prévia ao local de competição são fatores que podem contribuir para uma melhor aclimação do atleta e favorecer assim um melhor desempenho atlético. Além disso, fatores como uma dieta adequada e bons níveis de hidratação são fundamentais para a saúde do animal, podendo diminuir a produção de calor metabólico e contribuir com melhor funcionamento do sistema termoregulatório.

REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, L.E.; MARESH, C.M. The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. **Sports Medicine**. V. 12, p. 302–312, 1991.
- BAPTISTE, K.E.; NAYLOR, J. M., BAILEY, J.; BARBER E.M.; POST, K.; THORNHILL, J. A function for guttural pouches in the horse. **Nature**; V. 403. p 382–383, 2000.
- BRINNEL, H.; CABANNAC, M.; HALES, J.R.S. Critical upper levels of body temperature, tissue thermosensitivity and selective brain cooling in hyperthermia. In: J.R.S. Hales and D.A.B. Richards (Eds.), **Heat Stress: Physical Exertion and Environment**, pp. 209-222. Amsterdam: Elsevier Scientific. 1987.

- BRODY S. Bioenergetics and growth. New York: Reinhold; 1945.
- CARLSON, G.P. Thermoregulation, fluid and electrolyte balance. In: Snow DH, Persson GB, Rose RJ, eds. **Equine exercise physiology**. Cambridge: Granta; 1983; p. 291–309.
- EVANS, C.L. Physiological mechanisms that underlie sweating in the horse. **The British veterinary journal**, V. 122, p.117–123,1966.
- GEOR, R.; McCUTCHEON, L.J. Hydration effects on physiological strain of horses during exercise-heat stress. **Journal of Applied Physiology**, V. 84, no. 6, p. 2042-2051, 1998.
- GEOR, R.J.; McCUTCHEON L.J.; ECKER, G.L.; LINDINGER, M.I. Thermal and cardiorespiratory responses of horses to submaximal exercise under hot and humid conditions. **Equine Veterinary Journal**. V 20. p.125–132, 1995.
- GEOR, R.J.; McCUTCHEON, L.J. Hydration effects on physiological strain of horses during exercise-heat stress. **Journal of Applied Physiology**. V. 84 no. 6, p.2042-2051, 1998.
- GISOLF, C.V.; COPPING, J.R.; Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. **Medicine and Science in Sports**. Vol. 6, No 2, p. 108-113, 1974.
- HARGREAVES, M.; ANGUS, D.; HOWLETT, K.; CONUS, N.M.; FEBBRAIO, M.; Effect of heat stress on glucose kinetics during exercise. **Journal of Applied Physiology**. V. 81, no. 4, p. 1594-1597, 1996.
- HODGSON, D.R.; DAVIS, R.E.; McCONAGHY, F.F. Thermoregulation in the horse in response to exercise. **British Veterinary Journal**. V. 150, p. 219–235, 1994.
- HODGSON, D.R.; McCUTCHEON, L.J.; BYRD, S.K.; BROWN, W.S.; BAYLY, W.M.; BRENGELMANN, G.L.; GOLLNICK, P.D. Dissipation of metabolic heat in the horse during exercise. **Journal of Applied Physiology**. V. 74, no 3, p. 1161-1170, 1993.
- HODGSON, D.R.; McCUTCHEON, L.J.; BYRD, S.K.; BROWN, W.S.; BAYLY, W.M.; BRENGELMANN, G.L.; GOLLNICK, P.D. Dissipation of metabolic heat in the horse during exercise. **Journal of Applied Physiology**. V. 74 no. 3, p. 1161-1170, 1993.
- JONES, J.H.; CARLSON, G.P. Estimation of metabolic energy costs and heat production during a 3-day event. **Equine Veterinary Journal**. V. 20, p. 23–30, 1995.

- KRONFELD, S.D. Dietary fat affects heat production and other variables of equine performance under hot and humid conditions. **Equine Veterinary Journal**. V. 28, p. 24–34, 1996.
- LINDINGER, M.I. Exercise in the Heat: Thermoregulatory Limitations to Performance in Humans and Horses. **Canadian Journal of Applied Physiology**. V. 24, no. 2, p. 152-163, 1999.
- LINDINGER, M.I.; MARLIN, D.J. Heat stress and acclimation in the performance horse: where we are and where we are going. **Equine Veterinary Journal**. V. 7, p. 256–262, 1995.
- MAUGHAN. R.J.; LINDINGER, M.I. Preparing for and competing in the heat: the human perspective. **Equine Veterinary Journal**. V. 27, p. 8–15, 1995.
- McCONAGHY, F.F.; HALES, J.R.; ROSE, R.J.; HODGSON, D.R. Selective brain cooling in the horse during exercise and environmental heat stress. **Journal of Applied Physiology**. V.79, p.1849–1854, 1995.
- McCONAGHY, F.F.; HODGSON, D.R.; ROSE, R.J.; HALES, J.R.S. Redistribution of cardiac output in response to heat exposure in the pony. **Equine Veterinary Journal**. V.28: p.42–46, 1996.
- McCUTCHEON, L.J.; GEOR, R. J.; HARE, J.M.; ECKER, G.L.; LINDINGER, M. I. Sweating rate and sweat composition during exercise and recovery in ambient heat and humidity. **Equine Veterinary Journal**, V.20, p.153–157, 1995.
- McCUTCHEON, L.J.; GEOR, R. J. Sweat fluid and ion losses during training and competition in cool vs. hot conditions: implications for ion supplementation. **Equine Veterinary Journal**. V. 28, p. 54–62, 1996.
- McCUTCHEON, L.J.; GEOR, R.J. Influence of training on sweating responses during submaximal exercise in horses. **Journal of Applied Physiology**. V. 89 no. 6, p. 2463-2471, 2000.
- McCUTCHEON, L.J.; GEOR, R.J. Thermoregulation and exercise associated heat stress. Em: HINCHCLIFF, K.W; GEOR e R. J KANEPS A.J. **Equine exercise physiology: The science of exercise in the athletic horse**. Saunders Ltd, 2007. Cap. 6.3, p 382.

- McCUTCHEON, L.J.; GEOR, R.J.; HARE, M.J; ECKER,G.L.; LINDINGER, M.I. Sweating rate and sweat composition during exercise and recovery in ambient heat and humidity. **Equine Veterinary Journal**. V. 27, p. 153–157, 1995.
- MORGAN, K.; EHRLEMARK, A. and SALLVIK, K. Dissipation of heat from standing horses exposed to ambient temperatures between – 3°C and 37°C. **Journal of Thermal Biology**, V. 22, no. 3, p. 177-186, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(97\)00007-7](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(97)00007-7). Acesso em: 30 junho 2017.
- NADEL, E.R. Temperature regulation and prolonged exercise. In: Gisolfi CV, Lamb DR, Nadel ER, eds. **Perspectives in exercise science and sports medicine. Exercise, heat, and thermoregulation**. Dubuque, IA: Brown; 1988; 125–146.
- NIELSEN, B.; HALES, J.R.; STRANGE, S.; CHRISTENSEN, N.J.; WARBERG J.; SALTIN, B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. **The Journal of Physiology**. V. 460, p. 467–485, 1993.
- NIELSEN, B.; STRANGE, S.; CHRISTENSEN, N.; WARBERG, J.; SALTI, B. Acute and adaptive responses in humans to exercise in a warm, humid environment. **Pflügers Arch**. V. 434, p. 49–56, 1997.
- POTTER, G.D.; HUGHES, S.L.; JULEN, T.R.; SWINNEY, D.L. A review of research on digestion and utilization of dietary fat by the equine. **Pferdeheilkunde**, V. 1, p. 119-123, 1992.
- WENGER, C.B. Human heat acclimatization. In: Pandolf KB, Sawka MN, Gonzalez RR, eds. **Human performance physiology and environmental medicine at terrestrial extremes**. Indianapolis: Benchmark; p.153–197, 1988.