

Impacto do estresse por calor no metabolismo e na qualidade do leite em vacas¹

A produção leiteira vem se desenvolvendo consideravelmente nos últimos anos, com constante ganho genético dos rebanhos, aumento da taxa metabólica e produção de calor pelos animais. Assim surgiram vários problemas de origem metabólica e de manejo, destacando-se o estresse por calor, que é caracterizado pela soma de mecanismos de defesa do animal a um agente estressor, neste caso o calor (Valentin, 2018).

Parte do rebanho bovino leiteiro no Brasil tem origem das raças de clima temperado como a Holandesa, devido sua maior produção de leite, entretanto, não é adaptada ao calor. Devido a isso, esses animais sofrem algumas modificações fisiológicas em condições de estresse térmico, por exemplo, aumentam a frequência respiratória, elevam a taxa de sudção e aumentam a temperatura retal, dentre outros (Ferreira et al., 2006). Neste caso, o estresse por calor pode ser responsável por várias perdas na produção de vacas leiteiras e quando houver temperaturas extremas por calor, pode causar morte dos animais.

A susceptibilidade dos bovinos ao estresse por calor aumenta à medida que a umidade relativa e a temperatura ambiente ultrapassam a zona de conforto térmico, o que dificulta na dissipação de calor que, por sua vez, aumenta a temperatura corporal com efeito negativo sobre o desempenho (Valentin, 2018). Por isso, alguns pontos devem ser enfatizados e analisados para que se possa buscar um entendimento melhor do efeito do estresse por calor em relação à produtividade dos animais.

Estresse por calor

O estresse por calor é definido como a força exercida pelos componentes do ambiente térmico sobre um organismo, causando nela uma reação fisiológica proporcional à intensidade da força aplicada e a capacidade do organismo em compensar os desvios causados pela força (Silva, 2000). Ou seja, um ambiente estressante provoca várias respostas, dependendo da capacidade do animal para adaptar-

¹ Schroeder, B. (2019). Impacto do estresse por calor no metabolismo e na qualidade do leite em vacas. Disciplina de Fundamentos Bioquímicos dos Transtornos Metabólicos. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 11 p.

se. Sendo que as respostas fisiológicas e metabólicas ao meio ambiente resultam de uma combinação de fatores ambientais, que podem afetar a saúde animal, o desempenho e o comportamento geral (Mader et al., 2010). O estresse refere-se também ao que acontece quando um organismo deixa de responder adequadamente às ameaças, o que pode trazer como consequências comprometimento da função imune, do ganho de peso e do desenvolvimento; tornando-se assim relevante a compreensão das interações bioquímicas que constituem a resposta ao estresse (Randall, 2010).

Os animais homeotérmicos, como os ruminantes, devem manter a temperatura corporal dentro de limites estreitos ao longo das 24 horas do dia. Para tanto, deve haver um equilíbrio entre a termogênese (produção de calor) e a termólise (perda de calor) durante esse período. Esses processos são regulados através da modulação da termogênese e da intensificação de diferentes mecanismos de termólise (Barbosa et al., 2004). Quando vacas em lactação são expostas a um ambiente térmico no qual a produção de calor excede a sua eliminação, todas as fontes que geram calor endógeno são inibidas, principalmente o consumo de alimentos e o metabolismo basal e energético, enquanto a temperatura corporal, a frequência respiratória e a taxa de sudorese aumentam (Pires et al, 1998). Essas funções indicam tentativas do animal em minimizar o desequilíbrio térmico para manter a homeotermia, indicando também que o animal está sob a ação de estresse térmico por calor (Azevedo, 2009). Uma das alternativas na tentativa de minimizar esses efeitos, é a dissipação de calor que pode ser por condução, convecção, radiação e evaporação, manifestando-se fisiologicamente pela vasodilatação, variação da taxa respiratória, variação da taxa de sudorese, piloereção, variação da taxa de ingestão de alimentos e alterações comportamentais (Falco, 2001).

A regulação da temperatura corporal é feita a partir da interação entre receptores de temperatura na pele e o hipotálamo, que mantêm a temperatura corporal normal através de mudanças fisiológicas e de comportamento, de forma a aumentar ou reduzir a perda ou a produção de calor (Silanikove, 2000). Portanto, os mecanismos bioquímicos e fisiológicos são dependentes da temperatura corporal, podendo ser citado como exemplo o metabolismo celular, a frequência cardíaca, a frequência respiratória e os processos digestivos (Rodrigues, 2010).

Mecanismo termorregulatório

A manutenção da normotermia nos animais homeotermos é uma função muito importante do sistema nervoso autônomo visto que pequenas alterações da temperatura central podem suscitar alterações metabólicas e enzimáticas. A termorregulação é realizada por um sistema de controle fisiológico, que consiste em termorreceptores centrais e periféricos, um sistema de condução aferente, o controle central de integração dos impulsos térmicos e um sistema de respostas eferentes levando a respostas compensatórias (Braz, 2005). No hipotálamo situa-se o sistema de controle central, que regula a temperatura do corpo ao integrar os impulsos térmicos provenientes de quase todos os tecidos do organismo. Quando o impulso integrado excede ou fica abaixo da faixa limiar de temperatura, ocorrem respostas termorreguladoras autonômicas, que mantêm a temperatura do corpo em valor adequado.

Os impulsos termais aferentes provêm de receptores anatomicamente distintos ao frio e ao calor, os quais podem ser periféricos ou centrais. Também existem receptores termossensíveis localizados na pele e nas membranas mucosas, que medeiam a sensação térmica e contribuem para a ocorrência dos reflexos termorregulatórios. Esses receptores também respondem à sensação mecânica. No hipotálamo anterior é feita a integração das informações aferentes térmicas, enquanto no hipotálamo posterior iniciam-se as respostas efetoras. Na área pré-óptica do hipotálamo existem neurônios sensíveis e não sensíveis à temperatura, sendo que os primeiros podem ser classificados em neurônios sensíveis ao calor e neurônios sensíveis ao frio, estes últimos predominantes. Ressalte-se ainda a presença de neurônios sensíveis à estimulação térmica local no hipotálamo posterior, na formação reticular e na região medular.

Os glicocorticoides são as moléculas responsáveis por regular a intensidade da resposta ao estresse, sendo o cortisol o hormônio primário responsável por restaurar a homeostase, sendo liberado após exposição a situações estressantes (Randall, 2010).

Respostas fisiológicas e metabólicas

O estresse por calor aumenta as perdas de calor por evaporação e provoca um declínio no metabolismo, visando diminuir a produção endógena de calor. Isso ocorre porque os animais possuem quatro vias de perdas de calor conhecidas: radiação, condução, convecção e evaporação, sendo que as três primeiras requerem um gradiente

térmico. Porém, à medida que a temperatura ambiente se aproxima da temperatura da pele, a evaporação se torna a principal via de dissipação de calor. Os ruminantes não transpiram tanto quanto humanos ou equinos, sendo assim, a principal via evaporativa é a respiratória, causando taquipnéia e reduzindo a ingestão de alimentos (Collier et al., 1981).

O estresse por calor causa alterações no metabolismo de ruminantes, as quais estão associadas a alterações no sistema endócrino. Os hormônios associados com a adaptação ao estresse por calor são o hormônio antidiurético (ADH), a prolactina, a somatotropina (GH), a tiroxina, os glicocorticoides e a aldosterona (McDowell, 1985). Aumento na transpiração e evaporação pelos pulmões reflete em aumento nos níveis plasmáticos de ADH (El-Nouty et al., 1980). O aumento de eletrólitos também está associado a concentrações de aldosterona. O suor de bovinos contém grande quantidade de potássio (K) e baixa quantidade de sódio (Na), por isso, quando grande quantidade de suor é produzida, excretando potássio pela pele, há aumento na excreção renal de sódio, visando o equilíbrio eletrolítico (McDowell, 1985). O aumento da frequência respiratória até ofegância resulta em redução da pressão parcial de CO_2 no sangue, causando uma alcalose respiratória e induzindo a uma perda compensatória de íons bicarbonato pelos rins. Perdas de HCO_3 e íons álcalis (Na, K) podem resultar em reduzida capacidade tamponante do ambiente ruminal em razão de o Na_2CO_3 e o K_2CO_3 serem os principais tampões encontrados na saliva (West et al., 1987). Assim, é necessária a inclusão de Na_2CO_3 em dietas como tampão para o ambiente ruminal em animais estressados pelo calor, assim como a inclusão de um agente cetogênico pode auxiliar a manter o equilíbrio cátion-aniônico do sangue (Beede e Collier, 1986). Estresse por calor crônico resulta em baixa taxa metabólica, sendo reflexo das baixas concentrações plasmáticas de GH, tiroxina e glicocorticoides (Mitra et al., 1972; Collier et al., 1982).

Estresse por calor na produção e qualidade do leite

O bem-estar dos animais e seu desempenho produtivo são alterados de acordo com as condições ambientais. Altas temperaturas do ar, sobretudo quando associadas a altas umidades e intensa radiação solar são responsáveis pela diminuição na produção de leite de vacas de média e alta produção (Baccari, 2001; Aguiar et al., 2003). Os animais de alta produção apresentam metabolismo acelerado e alta produção de calor

metabólico, tornando-se mais sensíveis e mais susceptíveis ao estresse térmico. Em consequência de sua ação sobre o consumo de alimentos, o estresse térmico causa efeitos marcantes sobre o metabolismo da glândula mamária e da composição do leite (Arcaro et al., 2003). No caso de temperaturas extremas, vacas de alta produção respondem fisiologicamente com redução da produção de calor metabólico em torno de 18 a 20% (Pires et al., 1999). Para que isso aconteça, esses animais diminuem o consumo de matéria seca e, em consequência, a produção de leite em 25 a 30% (Simas, 1998). Isso porque o aumento da produtividade está associado diretamente com o aumento da produção de calor metabólico, exigindo que o organismo se direcione para compensar o desequilíbrio provocado pelo ambiente (Coelho, 1997).

No entanto, vacas em estresse térmico são inflexíveis do ponto de vista metabólico (Baumgard e Rhoads, 2013). Embora apresentem redução no consumo, esses animais não têm diminuição nas concentrações séricas de insulina, o que impossibilita a mobilização do tecido adiposo. Dessa forma, não se observa elevação das concentrações séricas de ácidos graxos não esterificados (AGNE) (Wheelock et al., 2010; Baumgard et al., 2011), e os tecidos tornam-se dependentes de glicose como fonte de energia. Nesse caso, ocorre vasodilatação periférica com o objetivo de facilitar a dissipação do calor. Com isso o fluxo sanguíneo no trato gastrointestinal é diminuído. Ocorrem mudanças na conformação das células, que aumentam sua permeabilidade (Lambert, 2009). O aumento da permeabilidade intestinal permite a passagem de lipopolissacarídeos (LPS) das membranas celulares de bactérias Gram-negativas da luz do trato gastrointestinal para a circulação. Essa passagem induz o aumento nas concentrações séricas de insulina.

Outro fator que pode influenciar diretamente a redução na produção de leite nas vacas em estresse térmico é a diminuição dos receptores hepáticos de GH. Essa redução leva a menor secreção de IGF-1, potente hormônio lactogênico, que também está relacionado ao consumo de matéria seca nesses animais (Baumgard e Rhoads Jr, 2013).

Além da produção, a composição do leite pode ser alterada em condições de estresse térmico devido às mudanças observadas no metabolismo animal e menor disponibilidade dos precursores da síntese dos componentes do leite (Baumgard et al., 2011). A concentração sanguínea de ácidos graxos voláteis (AGV) e ácidos graxos não esterificados (AGNE), precursores da síntese da gordura do leite, é baixa nesses animais. Por outro lado, a reação do organismo ao estresse térmico leva à produção

intensa de proteínas nos tecidos extra mamários. Os aminoácidos presentes na circulação sanguínea são, por isso, preferencialmente utilizados para produzir proteínas de choque térmico, e em menor proporção, como apoio para obtenção de energia (Baumgard e Rhoads Jr, 2013).

Para exemplificar, um estudo conduzido por Lambertz et al. (2014), com o objetivo de avaliar o efeito do estresse térmico sobre a composição do leite em vacas de raça Holandesa, encontraram efeito negativo do ITU > 60 sobre a composição de gordura e proteína do leite. Eles atribuíram a queda nos componentes do leite à diminuição do consumo de matéria seca e à maior seleção no cocho por concentrado. Essas observações poderiam resultar na diminuição da produção de acetato no rúmen e consequentemente de gordura no leite. A seleção por concentrado associado ao aumento da taxa de respiração e perda de saliva para o ambiente pode gerar quadros de acidose ruminal que levariam a biohidrogenação incompleta dos ácidos graxos insaturados causando redução na síntese de gordura do leite por mecanismos indiretos. Além disso, a maioria dos estudos também relatam uma diminuição na proporção de gordura no leite (Bouraoui et al., 2002; Hammami et al., 2013; Smith et al., 2013) ou gordura total do leite (Lambertz et al., 2014) sob condições de estresse térmico ou aumento da temperatura. Renna et al. (2010) compararam a produção de leite de vacas em pastejo e relataram uma diminuição na produção de gordura e proteína do leite durante os meses de verão. O estresse térmico também afeta drasticamente o perfil de ácidos graxos no leite. Proporções menores de ácidos graxos de cadeia curta e maiores foram relatadas durante os meses quentes (Gallacier et al., 1974; Palmquist et al., 1993).

Para a indústria, o leite produzido durante o verão por vacas criadas em condições climáticas desfavoráveis mostrou piora nas principais características da produção de queijo, em particular a redução da acidez titulável e a piora das propriedades de coagulação do leite, tornando o leite menos adequado para a produção de queijo (Malacarne et al., 2005). O estresse térmico também parece trazer alguma diminuição na porcentagem de lactose e acidez titulável no leite, o que, por sua vez, afeta o ponto de congelamento do leite. O leite produzido sob estresse térmico também apresenta menor cálcio, fósforo e magnésio e maior atividade de pH, cloreto, ponto de congelamento e plasmina (Silanikove et al., 2009; Bernabucci et al., 2010). Também é observado um padrão sazonal para a contagem de células somáticas (CCS). Geralmente, o CCS aumenta durante os meses de verão (Norman et al., 2000). Bouraoui et al. (2002)

observaram uma diminuição significativa na produção de leite, gordura e proteína e um aumento significativo no CCS de vacas de raça Holandesa em lactação durante o verão em comparação com a primavera.

Alternativas para controlar o estresse por calor

As alternativas para amenizar os efeitos do estresse por calor sobre o desempenho de vacas lactantes se baseiam em dois fatores importantes: modificação no ambiente e no manejo nutricional.

As medidas mais adotadas pelos produtores para minimizar seus efeitos é a modificação das instalações para resfriar as vacas (Hansen, 2007). Portanto, o uso de instalações que reduzam o calor pode melhorar tanto a produção de leite. Quando a temperatura do ambiente se apresenta maior do que a temperatura corpórea, o animal pode aumentar sua atividade de esfriamento pela evaporação da água pela via respiratória ou através da sudorese por via cutânea (Barbosa e Damasceno, 2002).

A disponibilidade de sombras aos animais suscetíveis ao estresse térmico também é um recurso de manejo de grande importância. A melhor sombra é a provida por árvores, isoladas ou em grupos, e que devem estar presentes nos pastos e piquetes, para proteger as vacas da alta incidência de radiação solar, principalmente no verão (Barbosa e Damasceno, 2002).

O resfriamento evaporativo de ambientes para gado de leite tem se expandido muito nos últimos anos como outra possível alternativa. A melhor maneira de realizar o resfriamento é utilizar água, pois ela possui alta capacidade calorífica e alto calor latente de vaporização. Além disso, aumentar a taxa de ventilação para a renovação do ar eliminando o calor produzido pelos animais por via convectiva pode ser utilizado para controlar a temperatura de ambientes de gado de leite (Nääs e Acaro JR., 2001).

Faz-se necessário também oferecer aos animais uma dieta com maior densidade de nutrientes para evitar a queda na produção de leite. Dietas com baixo teor calórico reduzem a quantidade de calor, e o decréscimo na relação de forragem com concentrado pode ser considerada uma alternativa, principalmente se a dieta conter uma maior concentração de lipídeos (Pimentel, 2007).

Uma vaca exposta ao estresse térmico se torna mais susceptível à acidose ruminal, então, dietas muito concentradas devem ser oferecidas com extremo cuidado

em épocas de calor. A qualidade da fibra é importante em qualquer período, mas passa a ser vital no verão, por ter capacidade de tamponamento e estimular a produção de saliva. Além desses cuidados, fornecer gordura protegida na dieta é uma estratégia adicional durante o balanço energético negativo, pois resulta em um incremento calórico mais baixo no rúmen, fornecendo energia sem efeito térmico adverso (Bilby et al., 2009).

Referências

- Aguiar, I. S.; Baccari JR. F. Respostas fisiológicas e produção de leite de vacas Holandesas mantidas ao sol e com acesso a sombra natural. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, Julho 2003.
- Arcaro JR, I.; Arcaro, JR. P.; Pozzi, C. R.; Fagundes, H.; Matarazzo, S. V; Oliveira, C. A. Teores plasmáticos de hormônios, produção e composição do leite em sala de espera climatizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 2, 2003.
- Azevedo, DM. M. R.; Alves, A. A. Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos. *Series Documentos n.188*. EMBRAPA Meio-norte, Teresina, PI, 2009.
- Baccari JR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. Editora UEL. Londrina, p. 142, 2001.
- Barbosa, O. R.; Boza, P. R.; Santos, G. T.; Sakagushi, E. S.; Ribas, N. P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. v. 26, n. 1, p. 115-122, 2004.
- Barbosa, O. R.; Damasceno, J. C. Bioclimatologia e bem-estar animal aplicados à bovinocultura de leite. Universidade Estadual de Maringá, Jun 2002.
- Baumgard, L. H.; Rhoads JR., R. P. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, v. 1, p. 311-337, 2013.
- Baumgard, L. H.; Wheelock, J. B.; Sanders, S. R. et al. Postabsorptive carbohydrate adaptations to heat stress and monensin supplementation in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci*, v. 94, p. 5620-5633, 2011.
- Beede, D. K.; Collier, R. J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *Journal of Animal Science*, v. 62, n. 2, p. 543-555, 1986.
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., Nardone, A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal* v. 4, 1167-1183, 2010.
- Bilby, T. R.; Thatcher, W. W.; Hansen, P. J. Estratégias farmacológicas, nutricionais e de manejo para aumentar a fertilidade de vacas leiteiras sob estresse térmico. In: XIII Curso de Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos, 2009, Uberlândia, Anais... 2009, p. 59-71.
- Bouraoui, R.; Lahmar, M.; Majdoub, A.; Djemali, M.; Belyea, R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* v. 51, 479-491, 2002.

- Braz, J. R. C. Fisiologia da termorregulação normal. *Revista Neurociências*. v. 13, n. 3, 2005.
- Coelho, S. G.; Morais, M. D. Nutrição de vacas leiteiras sob condições de estresse calórico. *Caderno Técnico de Medicina Veterinária*. UFMG. n. 21. p. 61-70, 1997.
- Collier, R. J.; Doelger, S. G.; Head, H. H.; Thatcher, W. W.; Wilcox, C. J. Effects of heat stress during pregnancy on maternal hormone concentrations, calf birth weight and postpartum milk yield of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, v. 54, p. 309-319, 1982.
- Collier, R. J.; Eley, R. M.; Sharma, A. K.; Pereira, R. M.; Buffington, D. E. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*. v. 64, n. 5, p. 844-849, 1981.
- El-Nouty, F. D.; Elbanna, I. M.; Davis, T. P.; Johnson, H. D. Aldosterone and ADH response to heat and dehydration in cattle. *Journal Applied Physiology: Respiratory Environmental and Exercise Physiology*. v. 48, n. 2, p. 249-255, 1980.
- Ferreira, F.; Pires, M. F. A.; Martinez, M. L.; Coelho, S. G.; Carvalho, A. U.; Ferreira, P. M.; Facure Filho, E. J. e Campos, W. E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 58, n. 5, p. 732- 738, 2006.
- Gallacier, J. P.; Barbier, J. P.; Kuzdzal-Savoie, S. Seasonal changes of relative proportion of milk fatty acids in d'Ille-et-Vilaine region. *Le Lait*. p. 117-138, 1974.
- Hafez, E. S. E. *Adaptación de los animales domésticos*. Labor, S. A. Barcelona, 1973.
- Hammami, H.; Bormann, J.; M'hamdi, N.; Montaldo, H.; Gengler, N. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. *J. Dairy Sci*. v. 96, p. 1844-1855, 2013.
- Hansen, P. J. Manejo da vaca de leite durante o estresse calórico para aumento da eficiência reprodutiva. In: *XI Curso de Novos Enfoques na Produção e Reprodução de Bovinos*, 2007. Uberlândia, MG Anais... 2007, p. 3-12.
- Lambert, G.P. Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *J Anim Sci*, v. 87, 2009.
- Lambertz, C.; Sanker, C.; Gauly, M. Climatic effects on milk production traits and somatic cell score in lactating Holstein-Friesian cows in different housing systems. *J. Dairy Sci.*, v. 97, p. 319-329, 2014.
- Mader, T. L.; Johnson L. J.; Gaughan, J. B. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*. v. 88, p. 2153-2165, 2010.
- Malacarne, M.; Fieni, S.; Tosi, F.; Franceschi, P.; Formaggioni, P.; Summer, A. Seasonal variations of the rennet-coagulation properties of herd milks in Parmigiano-Reggiano cheese manufacture: comparison between Italian Friesian and Italian Brown cattle breeds. *Ital. J. Anim. Sci*. v. 4, p. 242-244, 2005.
- McDowell, R. E. *Nutrition of grazing ruminants in warm climates*. Orlando. Academic Press. p. 443, 1985.
- Mitra, R.; Christianson, G.I.; Johnson, H.D. Effect of prolonged thermal exposure on growth hormone (GH) secretion in cattle. *Journal of Animal Science*. v.34, n. 5, p. 776-779, 1972.

- Nääs, I. A.; Arcaro JR, I. Influência de ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 1, p. 139-142, 2001.
- Norman, H.D.; Miller, R.H.; Wright, J.R.; Wiggans, G.R. Herd and state means for somatic cell count from dairy herd improvement. *J. Dairy Sci.* v. 83, p. 2782-2788, 2000.
- Palmquist, D. L.; Beaulieu, A. D.; Barbano, D. M. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *J. Dairy Sci.* v. 76, p. 1753-1771, 1993.
- Pimentel, P. G. et al. Consumo, produção de leite e estresse térmico em vacas da raça Pardo-Suíça alimentadas com castanha de caju. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 59, n. 6, p. 1523-1530, 2007.
- Pires, M. F. A.; Ferreira, A. de M. Estresse calórico em bovinos de leite. *Caderno Técnico de Medicina Veterinária e Zootecnia*. n. 29. p. 23-37, 1999.
- Pires, M. F. A.; Vilela, D.; Verneque, R. S.; e Teodoro, R. L. Reflexos do estresse térmico no comportamento das vacas em lactação. In: *Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite*, 1., 1998, Piracicaba. *Produção de leite em clima quente: anais*. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 68-102.
- Randall, M. The Physiology of Stress: Cortisol and the Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis. *DUJS Online - The Dartmouth Undergraduate Journal of Science*. Fall 2010.
- Renna, M.; Lussiana, C.; Malfatto, V.; Mimosi, A.; Battaglini, L. M. 2010. In: Effect of exposure to heat stress conditions on milk yield and quality of dairy cows grazing on Alpine pasture. 9th European IFSA Symp., Vienna, pp. 1338–1348.
- Rodrigues, A. L.; Souza, B.B.; Filho, J. M. P. Influência do sombreamento e dos sistemas de resfriamento no conforto térmico de vacas leiteiras. *Agropecuária Científica no Semiárido*. v. 6, n. 2, p. 14-22, 2010.
- Silanikove, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* v. 67, p.1-18, 2000.
- Silanikove, N.; Shapiro, F.; Shinder, D. Acute heat stress brings down milk secretion in dairy cows by up-regulating the activity of the milk-borne negative feedback regulatory system. *BMC Physiol.* v. 9, p. 13-21, 2009.
- Silva R. G. Termorregulação. In: *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo: Nobel, 2000. p. 119-58.
- Simas, J. M. C. Nutrição de animais em condições de estresse. In: *Simpósio Brasileiro de Ambiência na Produção de Leite*, 1., Piracicaba, 1998. *Anais...* Piracicaba: NUPEA-ESALQ. p. 103-113, 1998.
- Smith, D.L.; Smith, T.; Rude, B.J.; Ward, S.H. Comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cow. *J. Dairy Sci.* v. 96, p. 3028-3033, 2013.
- Valentin J. K., et al. Efeito do estresse térmico por calor em vacas leiteiras. *Revista Nutritime*. v. 15, n. 1, p. 8107-8114, 2018.
- West, J. W.; Coppock, C. E.; Milam, K. Z.; Nave, D. H.; Labore, J. M.; Rowe Junior, L. D. Potassium carbonate as a potassium source and dietary buffer for lactating Holstein cows during hot weather. *Journal of Dairy Science*, v. 70, n. 2, p. 309-320, 1987.

Wheelock, J. B.; Rhoads, R. P.; Vanbaale, M. J. et al. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. J. Dairy Sci., v. 93, p. 644-655, 2010.