Revista COOPEX (ISSN:2177-5052)

Termorregulação em ovinos, gradientes térmicos e termografia

Thermoregulation in sheep, thermal gradients and thermography

Claudiney Felipe Almeida Inô [1]
Bernadin Fonrose [2]
Vinicius Pessoa Batista dos Santos [3]
Luiz Henrique de Souza Rodrigues [4]
Rebeca Castelo Branco Brasileiro [5]
Francinaldo Nunes Pessoa Filho [6]
Maria Araceli Silva de Araújo [7]
Bonifácio Benicio de Souza [8*]

Resumo: A termorregulação em ovinos é crucial para a adaptação às mudanças ambientais. Os gradientes térmicos e termografia são ferramentas essenciais para avaliar o estresse térmico, essa resposta dos ovinos ao estresse térmico afeta a produtividade e o bem-estar, já a adaptação ao estresse térmico afeta o consumo de ração e o crescimento animal. Este trabalho teve como objetivo investigar mecanismos de termorregulação em ovinos sob condições de estresse térmico. As principais limitações de ovinos expostos à alta temperatura é afetar os níveis de glicose e colesterol em ovelhas outra limitação é a cor da pelagem que influencia a absorção de calor nos ovinos. Os principais destaques desta revisão são os mecanismos de termorregulação em ovinos sob condições de estresse térmico e a importância dos gradientes térmicos e da termografia na avaliação do bem-estar dos ovinos.

Palavras-chaves: Marcadores genéticos; Resposta ao estresse; Traços fenotípicos;

Abstract: Thermoregulation in sheep is crucial for adaptation to environmental changes. Thermal gradients and thermography are essential tools for evaluating heat stress. This response of sheep to heat stress affects productivity and well-being, while adaptation to heat stress affects feed consumption and animal growth. This work aimed to investigate thermoregulation mechanisms in sheep under conditions of heat stress. The main limitations of sheep exposed to high temperature is affecting glucose and cholesterol levels in sheep. Another limitation is the color of the coat, which influences heat absorption in sheep. The main highlights of this review are the mechanisms of thermoregulation in sheep under conditions of heat stress and the importance of thermal gradients and thermography in assessing sheep welfare.

Keywords: Genetic markers; Phenotypic traits; Stress response;

DOI: 10.61223/coopex.v15i3.992

[1] Mestre em Ciência Animal, pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, E-mail: claudiney.felipe@estudante.ufcg.edu.br;
[2] Agronomo, pelo Campus Henry Christophe de L'Université D'État D'Haïti à Limonade (CHC-UEHL), E-mail: fbernadin87@gmail.com;
[3] Médico veterinário, Mestrando pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, E-mail: viniciusvet@icloud.com;
[4] Médico veterinário, Mestrando pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, E-mail: luiz.veterinaria@gmail.com;
[5] Médica veterinária, Mestranda pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, E-mail: medvet.rebecacastelo@gmail.com;
[6] Médico veterinário, Mestrando pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, E-mail: francinaldo.nunes2345@gmail.com;
[7] Médica veterinária, Mestranda pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, E-mail: maria-araceli2020@hotmail.com;
[8*] Autor correspondente. Professor Titular da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Bolsista de produtividade do CNPq. E-mail: bonifacio.ufcg@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A resistência de ovinos e caprinos a climas mais quentes é evidenciada pelo fato de que cerca de metade da população mundial desses animais habitarem em regiões áridas, conforme apontado por (Joy et al., 2020). No contexto brasileiro, em que a maioria está localizado em clima tropical, essa resistência é particularmente relevante. O país abriga aproximadamente 27 raças ovinas registradas, esses dados reforçam a importância da realização de estudos científicos sobre o tema, como destacado por (McManus et al., 2016).

Em regiões semiáridas, caracterizadas por altas temperaturas e umidade durante o verão, observa-se uma redução no desempenho reprodutivo e no crescimento dos animais. Este fenômeno é atribuído às mudanças climáticas contínuas que vêm ocorrendo ao longo dos anos, as quais têm impactos diretos tanto na vida animal quanto na humana, conforme destacado por (Nardone et al., 2010).

No Nordeste do Brasil, os animais enfrentam desafios significativos devido ao estresse térmico causado pelas altas temperaturas que prevalecem ao longo do ano. A região semiárida é particularmente notável por sua alta incidência de radiação solar e temperaturas extremas, que submetem os animais a condições estressantes na maior parte do ano. Isso se aplica mesmo às raças que são consideradas mais adaptadas ao clima da região.

Para sobreviver nessas condições ambientais e manter a temperatura corporal, os animais precisam passar por mudanças fisiológicas e comportamentais. No entanto, essas adaptações podem ter um impacto negativo na saúde e produtividade dos animais.

Quando há uma diferença de temperatura entre o animal e o ambiente significativa, com gradiente térmico favorável a dissipação de calor, as formas sensíveis de perda de calor, como condução, convecção e radiação, são mais eficazes. Os animais destinados à produção têm uma gama de zonas de conforto térmico nas quais podem viver, produzir e se reproduzir de maneira ideal. Essa gama varia dependendo de fatores como espécie, raça, idade e estado fisiológico do animal (Pawar et al., 2022).

No entanto, em condições de altas temperaturas e um gradiente térmico reduzido, as formas insensíveis ou evaporativas de dissipação de calor, como a frequência respiratória e a sudorese, tornam-se mais relevante no processo de termorregulação. Em particular, algumas raças de ovinos e caprinos demonstraram uma boa adaptação a ambientes quentes, o que contribui para manter níveis de produtividade satisfatórios (Silanikove e Koluman, 2015).

Como resultado, os problemas relacionados à produção animal em regiões tropicais estão se tornando cada vez mais comuns. Isso levou ao desenvolvimento de estratégias de manejo para manter ou garantir uma boa produtividade.

A estratégia de identificar raças ovinas e indivíduos que possuem uma maior capacidade de adaptação às condições ambientais extremas, como altas temperaturas, falta de alimentos ou água, tem sido sugerida para minimizar os efeitos negativos das mudanças climáticas e do estresse térmico na reprodução de pequenos ruminantes. Esta abordagem é respaldada por Joy et al. (2020), destacando a importância de tais medidas adaptativas em resposta aos desafios ambientais. Esta revisão teve como objetivo investigar mecanismos de termorregulação em ovinos sob condições de estresse térmico.

FISIOLOGIA DA TERMORREGULAÇÃO

A termorregulação, conforme definido por Souza e Batista (2012), é um mecanismo crucial que permite aos animais adaptarem-se a uma variedade de habitats. Este mecanismo envolve um conjunto de estratégias que os seres vivos utilizam para controlar sua temperatura corporal. Além disso, os animais podem ser comparados a sistemas físicos que têm a capacidade de produzir energia térmica. Eles possuem a habilidade de regular sua temperatura corporal dentro de determinados limites de temperatura. Isso demonstra a incrível capacidade dos animais de se adaptarem a diferentes condições ambientais.

No que diz respeito ao processo de termorregulação, Bridi (2015) classifica os animais em duas categorias principais: endotérmicos e ectotérmicos. Essa classificação é baseada na principal fonte de calor que os animais utilizam para manter a homeotermia. Os animais endotérmicos, por exemplo, têm a capacidade de manter sua temperatura corporal dentro de limites relativamente estreitos. Isso ocorre mesmo quando há oscilações na temperatura ambiente ou quando a atividade do animal muda drasticamente. Esta é uma demonstração da complexidade e eficácia dos mecanismos de termorregulação nos animais.

De acordo com os estudos realizados por Baeta e Souza (1997), foi observado que a temperatura corporal média de vários animais de produção apresenta variações específicas. Para os bovinos de corte, a temperatura média é de 38,3 °C, enquanto para os bovinos de leite é de 38,6 °C. As cabras e as ovelhas, por outro lado, têm uma temperatura corporal média de 39,1 °C.

Além disso, esses animais têm temperaturas limitantes específicas dentro das quais conseguem expressar seu potencial genético de forma natural. Para os bovinos de corte, essa

faixa de temperatura é de 37,7 a 39,1 °C. Para os bovinos de leite, a faixa é ligeiramente mais alta, variando de 38,0 a 39,3 °C. As cabras e as ovelhas têm uma faixa de temperatura limitante ainda mais alta, variando de 38,5 a 39,7 °C e 38,5 a 39,9 °C, respectivamente (Baeta e Souza em 1997).

Segundo Bridi (2015), a manutenção da temperatura corporal constante nos animais é um processo complexo que envolve uma série de variações comportamentais, fisiológicas e metabólicas. Essas variações permitem que os animais ajustem sua temperatura corporal de acordo com as mudanças no ambiente.

Quando a temperatura corporal de um animal diminui, ele precisa produzir calor para elevá-la novamente. Isso é conseguido através de uma série de processos metabólicos que geram calor. Por outro lado, quando a temperatura corporal de um animal aumenta, ele precisa perder calor para o meio ambiente para evitar o superaquecimento. Isso é geralmente realizado através de comportamentos como a busca por sombra ou água para se refrescar (Bridi, 2015).

De acordo com um estudo realizado por Nobre et al. (2013), a eficiência das formas evaporativas de perda de calor, como a respiração e a sudorese, varia entre diferentes espécies animais. Algumas espécies são mais eficientes nesses processos do que outras. Os autores também destacam que existem vários fatores ambientais que podem causar estresse térmico nos animais, seja por calor ou frio, entre esses fatores estão à umidade do ar, temperaturas elevadas e a radiação solar, esses elementos podem afetar significativamente o conforto térmico dos animais e, consequentemente, sua saúde e produtividade.

Conforme destacado por Souza e Batista (2012), o hipotálamo desempenha um papel crucial na regulação da temperatura corporal. Este órgão do cérebro não apenas responde à temperatura corporal média, mas também aos impulsos térmicos que emanam de quase todos os tecidos do organismo, mantendo-a dentro de uma faixa saudável, independentemente das flutuações na temperatura ambiente ou das demandas metabólicas do corpo.

INFLUÊNCIA DA COR DA PELAGEM NA TERMORREGULAÇÃO

As características biológicas, como a cor do pelo ou lã e da pele em animais adultos, desempenham um papel econômico significativo, especialmente em relação aos animais que produzem lã, conforme destacado por Utzeri et al., (2014). Em particular, as ovelhas, que são reconhecidas como importantes produtoras de fibra em escala global (Dong et al., 2017), têm um impacto direto na economia. Além disso, a fibra de lã, que é amplamente utilizada e apreciada pelos consumidores, tem uma presença marcante em nosso cotidiano.

A pele, conforme descrito por Ahmad e Mukhtar, (2004), atua como o principal órgão de termorregulação e desempenha funções cruciais na defesa contra condições ambientais hostis, invasões microbianas e danos físicos. Além disso, é interessante notar que as populações nativas do Tibete, que vivem em altitudes elevadas e estão sujeitas a intensa radiação ultravioleta, desenvolveram adaptações notáveis na pigmentação da pele para lidar com essas condições extremas, conforme observado por (Yang et al., 2022).

A coloração da pelagem dos animais é determinada por dois pigmentos específicos, produzidos por células especializadas chamadas melanócitos, localizadas na epiderme da pele, conforme descrito por Barsh e Cotsarelis, (2007). Esses melanócitos são capazes de produzir um pigmento chamado melanina, que se apresenta em duas formas: feomelanina e eumelanina. A feomelanina exibe uma coloração que varia do amarelo ao vermelho, enquanto a eumelanina apresenta uma tonalidade que vai do preto ao marrom, conforme explicado por (Yang et al., 2022).

A melanina, um pigmento produzido pelos melanócitos, é sintetizada e acumulada nessas células devido a uma combinação de fatores genéticos, também conhecidos como ação genética (Shi et al., 2022), e fatores ambientais (Lin et al., 2015). Existem vários genes que foram identificados como reguladores do processo de produção de melanina.

Entre eles estão a proteína 1 relacionada à tirosinase (Utzeri et al., 2014), o receptor de melanocortina-1 (Abitbol et al., 2014) e o fator de transcrição associado à microftalmia (Haase et al., 2013). Esses genes desempenham um papel crucial na transdução de sinal nos folículos capilares, contribuindo para a regulação da produção de melanina.

Em estudos conduzidos por Wu et al. (2021), foi revelado que os miRNAs desempenham um papel relevante na regulação da expressão da melanina. Esses pesquisadores, utilizando técnicas de sequenciamento profundo, descobriram que os miRNAs influenciam a expressão da melanina no nível pós-transcricional. Portanto, essas descobertas destacam a importância dos miRNAs na regulação da melanina.

Em um estudo realizado por McManus et al. (2016), foi observado que o fenótipo, ou seja, as características físicas observáveis das ovelhas, tem um impacto significativo em sua tolerância ao calor. Eles descobriram que ovelhas com pelos, por exemplo, geralmente têm uma maior resistência ao calor em comparação com as ovelhas com lã.

Além disso, Gerken (2010) destacou que a cor da pelagem de um animal pode afetar a quantidade de radiação que é absorvida e refletida, o que, por sua vez, influencia a quantidade de transferência de calor entre o animal e seu ambiente. McManus et al. (2016) também relataram que a pelagem escura tende a absorver mais energia da radiação solar do que a

pelagem clara, reforçando a ideia de que a cor da pelagem pode ter um papel importante na tolerância ao calor das ovelhas.

Silva (2000) destacou que a capacidade de um animal se adaptar ao calor pode ser influenciada por várias características morfológicas. Isso inclui aspectos da pele, como cor, espessura e a presença de glândulas sudoríparas, bem como características da pelagem, como a espessura da pelagem, o comprimento do pelo, e o diâmetro e densidade dos pelos. Esses fatores determinam a capacidade dos animais de dissipar o calor através de meios sensíveis e latentes.

Além disso, um estudo de Stuart-Fox et al. (2017) revelou uma descoberta interessante sobre os efeitos térmicos da cor da pelagem. Eles relataram que a absorção de calor pela cor da pelagem depende mais da absorvância da faixa do infravermelho próximo de comprimento de onda longo, em vez dos comprimentos de onda curtos visíveis da luz solar direta. Isso sugere que a cor da pelagem pode ter um papel importante na regulação da temperatura corporal dos animais em resposta ao calor.

ZONA DE CONFORTO TÉRMICO PARA OVINOS

Esse estudo da zona de conforto é de grande interesse para o entendimento do desenvolvimento animal. Segundo Afsal et al. (2018) em seu estudo observaram que, na pecuária, um aumento nas temperaturas externas pode levar a uma redução no consumo de ração pelos animais. Isso é feito com o objetivo de diminuir a produção de calor resultante do metabolismo, o que pode resultar em uma diminuição no crescimento e produção animal.

No entanto, é interessante notar que os animais que estão bem adaptados ao estresse térmico conseguem manter um equilíbrio entre a ingestão de alimentos e a dissipação da carga de calor. Isso é feito para regular a temperatura corporal e proteger contra o estresse térmico.

Além disso, Brown-Brandl et al. (2005) relataram que, durante condições de clima extremamente quente, as ovelhas que são termotolerantes apresentam uma taxa de conversão alimentar melhorada e um crescimento aprimorado. Isso sugere que a termotolerância pode ter um impacto significativo na eficiência e produtividade da pecuária em climas quentes.

Os parâmetros ambientais, como a temperatura e a umidade relativa do ar, desempenham um papel crucial na vida dos animais de produção. De acordo com Vieira et al., 2022, esses fatores têm um impacto direto na produtividade, reprodução e desenvolvimento geral desses animais. A flutuação na temperatura e umidade pode resultar em estresse térmico nos animais, seja por temperaturas extremamente baixas ou altas, especialmente quando acompanhadas por um aumento na umidade relativa do ar.

No entanto, é importante notar que os animais têm a capacidade de se adaptar a essas variações climáticas, desde que não sejam extremas (Godde et al., 2021). Mas, em situações em que essas mudanças são rápidas ou severas, os animais são forçados a recorrer a mecanismos comportamentais e fisiológicos para tentar se adaptar às novas condições.

GRADIENTES TÉRMICOS EM OVINOS

A temperatura retal (TR) é um indicador valioso da temperatura central do corpo, conforme destacado por (Omran et al., 2011). Este indicador é frequentemente usado para avaliar o nível de desconforto de um indivíduo. Além disso, a variação na TR é vista como um fenótipo significativo na avaliação de como um indivíduo responde ao estresse térmico, de acordo com (Otto et al., 2019). Portanto, a TR e sua variação são ferramentas essenciais na avaliação do bem-estar de um indivíduo em condições de estresse térmico.

Para a realização de um estudo genômico eficiente, é essencial estabelecer estratégias adequadas para identificar e monitorar medidas apropriadas de estresse térmico, conforme enfatizado por (Sejian et al., 2018). No caso das ovelhas, a resposta ao estresse térmico é principalmente quantificada através de medidas fenotípicas fisiológicas. Estas incluem a temperatura retal (TR), a frequência respiratória (FR) e a presença de hormônios relacionados ao estresse, como cortisol, triiodotironina e tiroxina.

Estas medidas são consideradas indicadores de termotolerância, sendo a TR particularmente útil do ponto de vista prático. A TR ou corporal reflete todos os mecanismos termorreguladores internos em animais que são ativados para manter a homeostase. Portanto, a TR é vista como um indicador ideal da resposta imediata do animal para se proteger contra o estresse térmico, conforme destacado por (Taylor et al., 2014).

A identificação de fenótipos induzidos por estresse térmico em animais de importância agrícola é um elemento chave na determinação da termotolerância Luo et al. (2021) sugerem que a TR é uma característica fenotípica valiosa que indica a tolerância ao calor.

Quando a TR está dentro de uma zona termoneutra, todos os animais conseguem manter seu comportamento e funções fisiológicas normais. No entanto, quando há um aumento na TR devido à exposição ao estresse térmico, a fisiologia normal é alterada. Isso se reflete em reduções na ingestão de alimentos e um aumento na FR, o que pode afetar o desempenho produtivo dos animais, conforme observado por (Afsal et al., 2018).

O coeficiente de regressão, que representa a variação no índice de infertilidade para cada unidade de aumento na TR, foi sugerido como um marcador de termotolerância (Luna-

Nevarez et al., 2020). Os mecanismos fisiológicos observados em ovelhas, que incluem um aumento na FR e na pulsação, auxiliam na dissipação do excesso de calor, contribuindo para a manutenção de uma TR normal. Este fenômeno foi investigado por (DiGiacomo et al., 2016).

Além disso, ovelhas que conseguem manter uma TR normal ou inferior, mesmo sob estresse térmico, são identificadas como termotolerantes. Isso ocorre porque esses animais são capazes de dissipar o calor corporal de maneira mais eficiente em comparação com aqueles que apresentam uma TR mais elevada (Shilja et al., 2017).

Após a exposição ao estresse térmico, as ovelhas conseguem manter um índice de infertilidade (FI) constante por vários dias, apesar de pequenos aumentos na TR. No entanto, quando a TR atinge e ultrapassa 39,8 °C, uma resposta adaptativa adicional é acionada, que envolve uma redução significativa no FI, juntamente com um aumento na TR. Acredita-se que a diminuição no FI seja uma tentativa do organismo de reduzir a produção interna de calor resultante do metabolismo (Sejian et al., 2018).

O Índice de Temperatura de Inflexão é uma medida que indica a TR na qual as ovelhas conseguem manter constante o seu FI. Este limiar varia entre os animais, o que sugere a existência de um componente genético associado a esta característica. Quando a TR atinge o ponto de inflexão, observa-se uma redução no FI, que parece ser uma resposta adaptativa das ovelhas ao estresse térmico. Esta redução no FI permite que as ovelhas lidem com altas temperaturas ambientais, através da diminuição da carga térmica interna resultante do metabolismo (DiGiacomo et al., 2016).

Portanto, um FI mais baixo é considerado uma estratégia adaptativa para minimizar a produção de calor. No entanto, uma maior tolerância térmica, refletida por uma TR mais baixa, indica a presença de um potencial genético para dissipar o calor de forma mais eficiente. Isso permite que o FI permaneça estável, mesmo em condições de estresse térmico (Sejian et al., 2018).

Além disso, foi observado que ovinos tolerantes ao calor, quando expostos ao estresse térmico, apresentam uma maior digestibilidade da matéria seca e uma melhor conversão alimentar. Isso sugere que esses animais são capazes de atender às suas necessidades nutricionais de forma mais eficaz, mesmo quando expostos a condições climáticas adversas (Wilkes et al., 2012).

Conforme relatado por Swenson e Reece (2006), a TR em pequenos ruminantes pode variar entre 38,3 °C e 40,0 °C. Essa medida é comumente usada como um indicador da temperatura corporal desses animais, apesar da temperatura corporal poder variar em diferentes partes do corpo ao longo do dia.

VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS SANGUÍNEAS

Para uma interpretação precisa do perfil metabólico, é essencial conhecer os valores de referência adequados para a região e população específica, bem como estabelecer intervalos de referência para animais de diferentes raças e idades em cada espécie animal (Karthik et al., 2021). Há uma necessidade de expandir as pesquisas para determinar os valores de referência para ovinos, considerando fatores que causam variações nas concentrações metabólicas, como idade, estado fisiológico e respostas metabólicas (Varanis, 2018).

Os lipídios do plasma sanguíneo são compostos por colesterol, fosfolipídios e triglicerídeos. Os triglicerídeos são mobilizados como fonte de energia quando há deficiências nas necessidades de glicose (Payne e Payne, 1987). Em ambientes de alta temperatura, os níveis de glicose e colesterol no sangue diminuem, indicando falha na homeostase dos animais (Ribeiro et al., 2016; 2018). A manutenção de níveis estáveis de glicose no sangue é regulada pelo fígado, tecidos extra-hepáticos e hormônios, incluindo insulina, glucagon, adrenalina, cortisol e hormônios tireoidianos (Swenson e Reece, 2006).

Em ruminantes, a manutenção da concentração de glicose plasmática está relacionada à estabilidade glicêmica, uma vez que os carboidratos da dieta são quase totalmente utilizados no rúmen (Gressler et al., 2015). Alterações fisiológicas, como a gravidez, também influenciam a concentração sanguínea de glicose, assim como fatores ambientais, como o estresse, que podem alterar a dinâmica hormonal que regula a gliconeogênese e o uso celular de glicose (Angeli, 2014).

O estresse térmico tem um grande efeito sobre os níveis de colesterol total, possivelmente devido ao aumento do uso de ácidos graxos para produção de energia como resultado da redução da concentração de glicose em animais submetidos ao estresse térmico (Mundim et al., 2007). Segundo Silva et al. (2020), os níveis de colesterol plasmático são um bom indicador do balanço energético. Em ruminantes, a biossíntese do colesterol ocorre principalmente no intestino delgado e no tecido adiposo, a partir do acetil-CoA derivado do ácido acético, que é produzido no rúmen através da fermentação da fibra (Kaneko et al., 2008).

Os triglicerídeos são a principal forma de armazenamento de energia no organismo animal, sendo sintetizados em quase todos os tecidos, com destaque para o fígado e o tecido adiposo. A biossíntese dos triglicerídeos é feita a partir da glicose circulante e do glicerol, portanto, suas concentrações estão relacionadas às de glicose (Angeli, 2014).

Em relação às proteínas, pode haver um aumento geral em animais submetidos a estresse térmico (Ribeiro et al., 2016; 2018). A concentração de proteínas totais no sangue reflete de maneira muito confiável o status nutricional proteico e, em animais não lactantes, uma diminuição nos níveis deste metabólito pode indicar deficiência proteica na dieta (Rodrigues et al., 2017).

Segundo Gressler et al. (2015), trabalhando com ovinos Santa Inês adultas em Mato Grosso do Sul, encontraram valores médios de proteína entre 6,62 e 7,01 g dL-1. A albumina é a proteína mais abundante no plasma e suas alterações lentas indicam o aporte proteico da dieta fornecida ao animal. Para observar alterações significativas na sua concentração, é necessário um período de observação de pelo menos 30 dias (Silva et al., 2020). Autores como Gouveia et al. (2015) citaram valores médios de 3,13 g dL-1 para albumina em animais sem padrão racial definido com idade média de seis meses.

Aproximadamente 70% da proteína consumida são convertidas em amônia no rúmen, que é usada como fonte de nitrogênio na síntese de aminoácidos e proteína microbiana. A fração de amônia não utilizada no rúmen é absorvida e encaminhada ao fígado para ser convertida em ureia, que circula na corrente sanguínea (Gressler et al., 2015). Portanto, a concentração de ureia plasmática está diretamente relacionada com a ingestão de proteínas e a proporção de proteína degradável no rúmen presente na ração (Gonsalves Neto et al., 2017).

A creatinina, uma substância encontrada no músculo, está envolvida no metabolismo energético. O catabolismo da creatinina é lento e constante, e essa taxa é diretamente proporcional à massa muscular do animal. De fato, há um influxo constante de creatinina para o plasma que não é afetado por qualquer alteração na atividade muscular ou lesão muscular (Kerr, 2003).

A concentração sanguínea dos metabólitos pode sofrer alterações devido a vários fatores intrínsecos ao animal e ao ambiente, principalmente a dieta. A adaptação do organismo animal a um determinado ambiente influencia o funcionamento das vias metabólicas, podendo causar variações nos níveis considerados normais. No entanto, essas variações não são necessariamente sinônimos de doenças ou desordens metabólicas e devem ser analisadas levando em consideração o ambiente em que o animal se encontra (Silva et al., 2020).

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM OVINOS

A Termografia Infravermelha (TIV) é uma técnica não invasiva que mede a temperatura da superfície corporal de um animal, captando a radiação infravermelha que ele emite. Em meio a preocupações crescentes com o bem-estar animal, a necessidade de métodos

não invasivos, rápidos, eficientes e confiáveis para a obtenção da temperatura corporal tem sido objeto de investigação (Lees et al., 2018).

A TIV funciona com base no princípio de que todos os objetos emitem radiação infravermelha característica em função de sua temperatura (Kastberger e Stachl, 2003). Essa radiação é proporcional à temperatura da superfície do corpo (Bitar et al., 2009) e é avaliada por meio de uma câmera termográfica, que produz imagens com diferentes padrões de cores dependendo da temperatura dos objetos fotografados. Os valores de temperatura nas imagens estão fortemente relacionados com a emissividade do objeto, que é definida como a capacidade relativa de uma superfície em emitir e absorver radiação (Rodríguez-Prieto et al., 2013).

A TIV oferece uma alternativa para quantificar a temperatura corporal dos animais, medindo a temperatura da superfície com base nas emissões proporcionais de radiação de calor do corpo (Macmillan et al., 2019). Imagens infravermelhas também podem indicar a diferença no fluxo sanguíneo resultante da alta temperatura corporal sob condições ambientais estressantes (McManus et al., 2015).

A temperatura de diferentes partes do corpo, como olho (Daltro et al., 2017), testa (Peng et al., 2019), focinho (Fuentes et al., 2020), alcatra (Baida et al., 2021), flanco (McManus et al., 2015), pés (Montanholi et al., 2008) e temperaturas do úbere (Osei-Amponsah et al., 2020), medidas usando TIV, têm sido usadas para quantificar parâmetros fisiológicos e estresse em várias espécies animais.

No entanto, existem algumas limitações e fatores que devem ser levados em consideração ao usar a TIV. A medição precisa do TIV geralmente requer um ângulo de imagem consistente e uma distância do objeto, juntamente com temperatura ambiente constante, velocidade do vento e luz solar direta (Idris et al., 2021).

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A termorregulação em ovinos é crucial para a produtividade e o bem-estar, assim como os gradientes térmicos e termografia são ferramentas essenciais para avaliação de estresse. A resistência térmica indica tolerância ao calor e afeta o desempenho do animal e a termotolerância afeta a conversão alimentar e o crescimento em climas quentes.

Em suma, para sustentar a produção pecuária e garantir a segurança alimentar global num cenário climático em mudança, são necessários esforços significativos para desenvolver ou selecionar raças que possa resistir às tensões climáticas, sustentar a produção e emitir pouco

metano. Estes esforços representam um desafio, mas também uma oportunidade para a pesquisa futura na área de termorregulação em ovinos.

REFERENCIAS

ABITBOL, M., LEGRAND, R., TIRET, L. A missense mutation in melanocortin 1 receptor is associated with the red coat colour in donkeys. **Animal Genetics**, v. 45, p. 878–880, 2014.

AFSAL, A.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; DEVARAJ, C. Bhatta Heat stress and livestock adaptation: neuro-endocrine regulation. **International Journal of Veterinary and Animal Medicine**, v.1, p.2, 2018.

AHMAD, N.; MUKHTAR, H. Cytochrome p450: a target for drug development for skin diseases. **Journal of Investigative Dermatology**, v.123, (n. 3), p. 417-425, 2004.

ANGELI, N. C. Metabolismo de lipídeos em ruminantes. In: Seminário apresentado na disciplina Bioquímica do Tecido Animal. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 6, 2014.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C. F. Ambiência em edificações rurais – conforto animal. Ed. UFV, Viçosa – MG. p. 246, 1997.

BAIDA, B. E. L.; SWINBOURNE, A. M.; BARWICK, J.; LEU, S. T.; VAN WETTERE, W. H. Technologies for the automated collection of heat stress data in sheep. **Animal Biotelemetry**, v. 9, p. 1-15, 2021.

BARSH, G., COTSARELIS, G. How hair gets its pigment. Cell 130, p. 779–781, 2007.

BITAR, D.; GOUBAR, A.; DESENCLOS, J. C. Viagens internacionais e triagem de febre durante epidemias: uma revisão da literatura sobre a eficácia e o uso potencial de termômetros infravermelhos sem contato. **Eurovigilância**, p. 14, 2009.

BRIDI, A. M.; Adaptação e Aclimatação Animal. Apostila de Bioclimatologia. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/RmuloAlexandrinoSilva/apostila-conforto-termico2012 > Acesso em 05/05/15.

BROWN-BRANDL, T. M.; EIGENBERG, R. A.; HAHN, G. L.; NIENABER, J. A.; MADR, T. L. Analyses of thermoregulatory responses of feeder cattle exposed to simulated heat waves. **International Journal of Biometeorology**., v. 49, p. 285-296, 2005.

DALTRO, D. D. S.; FISCHER, V.; ALFONZO, E. P. M.; DALCIN, V. C.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; SILVA, M. V. G. B. D. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, p. 374-383, 2017.

DIGIACOMO, K.; SIMPSON, S.; LEURY, B. J.; DUNSHEA, F. R. Dietary betaine impacts the physiological responses to moderate heat conditions in a dose dependent manner in sheep. **Animals**, v. 6, p. 51, 2016.

DONG, C., YANG, S., FAN, R., JI, K., ZHANG, J., LIU, X. Functional role of cyclindependent kinase 5 in the regulation of Melanogenesis and epidermal structure. **Scientific Reports**, v. 7, p. 13783, 2017.

FUENTES, S.; GONZALEZ VIEJO, C.; CHAUHAN, S. S.; JOY, A.; TONGSON, E.; DUNSHEA, F. R. Non-invasive sheep biometrics obtained by computer vision algorithms and machine learning modeling using integrated Visible/Infrared thermal cameras. **Sensors**, v. 20, p. 6334, 2020.

GERKEN, M. Relationships between integument characteristics and thermoregulation in South American camelids. **Animal**, v. 4, p. 1451-1459, 2010.

GODDE, C. M.; MASON-D′CROZ, D.; MAYBERRY, D. E.; THORNTON, P. K.; HERRERO, M. Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. **Global Food Security**, v. 28, 2021.

GONSALVES NETO, J.; PEDREIRA, M. S.; SILVA, H. G. O.; ALVES, E. M.; SANTOS, E. D. J.; SILVA, Á. C.; CORRÊA, Y. R. Tipos de ureia e fontes de carboidratos nas dietas de cordeiros: síntese de proteína microbiana e balanço de nitrogênio. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, p. 1-15, 2017.

GOUVEIA, L. N. F.; MACIEL, M. V.; SOARES, P. C.; SILVA NETO, I. F.; GONÇALVES, D. N. A.; BATISTA, A. M. V.; CARVALHO, F. F. R. Perfil metabólico de ovinos em crescimento alimentados com dietas constituídas de feno ou silagem de maniçoba e palma forrageira. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 35, p. 5-9, 2015.

GRESSLER, M. A. L.; SOUZA, M. I. L.; SOUZA, A. S.; FILIÚ, W. F. O.; AGUENA, S. M.; FRANCO, G. L. Respostas bioquímicas de ovelhas submetidas à flushing de curto prazo em região subtropical. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 16, p. 210-222, 2015.

HAASE, B., SIGNER-HASLER, H., BINNS, M.M., OBEXER-RUFF, G., HAUSWIRTH, R., BELLONE, R.R. Accumulating mutations in series of haplotypes at the KIT and MITF loci are major determinants of white markings in Franches-Montagnes horses. **PLoS One**, v. 8, (n. 9), p. 75071, 2013.

IDRIS, M.; UDDIN, J.; SULLIVAN, M.; MCNEILL, D. M.; PHILLIPS, C. J. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. **Animals**, v. 11, p. 71, 2021.

JOY, A.; DUNSHEA, F.R.; LEURY, B.J.; CLARKE, I.J.; DIGIACOMO, K.; CHAUHAN, S.S. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: a review. **Animals**, v. 10, 2020.

KANEKO, J. J.; HARVEY, J. W.; BRUSS, M. L. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 6. ed. Academic Press, San Diego, 2008.

KARTHIK, D.; SURESH, J.; REDDY, Y. R.; SHARMA, G.; RAMANA, J.; GANGARAJU, G.; REDDY, P. P. R.; REDDY, Y. P. K.; YASASWINI, D.; ADEGBEYE, M. Adaptive profiles of Nellore sheep with reference to farming system and season: physiological,

hemato-biochemical, hormonal, oxidative-enzymatic and reproductive standpoint. **Heliyon**, v. 7, p. 07117, 2021.

KASTBERGER, G.; STACHL, R. Tecnologia de imagem infravermelha e aplicações biológicas. Métodos de Pesquisa de Comportamento, Instrumentos e Computadores, v. 35, p. 429-439, 2003.

KERR, G. M. Exames laboratoriais em Medicina Veterinária**.** 2.ed. São Paulo: Roca. 2003.

LEES, A. M.; LEES, J. C.; SEJIAN, V.; WALLAGE, A. L.; GAUGHAN, J. Short communication: using infrared thermography as an in situ measure of core body temperature in lot-fed Angus steers. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, p. 3-8, 2018.

LIN, B. D.; MBAREK, H.; WILLEMSEN, G.; DOLAN, C. V.; FEDKO, I. O.; ABDELLAOUI, A. Heritability and genome-wide association studies for hair color in a dutch twin family based sample. **Genes** (Basel), v. 6, p. 559–576, 2015.

LUNA-NEVAREZ, G.; KELLY, A. C.; CAMACHO, L. E.; LIMESAND, S. W.; REYNA-GRANADOS, J. R.; LUNA-NEVAREZ, P. Discovery and validation of candidate SNP markers associated to heat stress response in pregnant ewes managed inside a climate-controlled chamber. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 3457-3466, 2020.

LUO, H.; LI, X.; HU, L.; XU, W.; CHU, Q.; LIU, A.; GUO, G.; LIU, L.; BRITO, L. F.; WANG, Y.Genomic analyses and biological validation of candidate genes for rectal temperature as an indicator of heat stress in Holstein cattle. **Dairy Science**, v. 104, (n. 4), p. 4441-4451, 2021.

MCMANUS, C.; BIANCHINI, E.; PAIM, T. D. P.; DE LIMA, F. G.; NETO, J. B.; CASTANHEIRA, M.; ESTEVES, G. I. F.; CARDOSO, C. C.; DALCIN, V. C. Infrared thermography to evaluate heat tolerance in different genetic groups of lambs. **Sensors**, v. 15, p. 17258-17273, 2015.

MCMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; SEIXAS, L.; FISCHER, V.; GABBI, A. M.; MENEGASSI, S. R.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; DIAS, E.; COSTA JR, J. B. G. Infrared thermography in animal production: an overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

MACMILLAN, K.; COLAZO, M.; COOK, N. Evaluation of infrared thermography compared to rectal temperature to identify illness in early postpartum dairy cows. **Research in Veterinary Science**, v. 125, p. 315-322, 2019.

MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; MILLER, S. P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, (n. 8), p. 468-475, 2008.

MUNDIM, A. V.; COSTA, A. S.; MUNDIM, S. A. P.; GUIMARÃES, E. C.; ESPINDOLA, F. S. Influência da ordem e estádios da lactação no perfil bioquímico sanguíneo de cabras da raça Saanen. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, p. 306-312, 2007.

NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate change on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, v. 130, p. 57-69, 2010.

NOBRE, I. S.; SOUZA, B. B.; MARQUES, B. A. A.; BATISTA, N. L. Efeito de diferentes níveis de concentrado e inclusão de gordura protegida na dieta sobre o desempenho produtivo e termorregulação de ovinos. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 14 - 20, 2013.

OMRAN, F. I.; ASHOUR, G.; YOUSSEF, M. M.; SHAFIE, M. M. Responses of hematology, blood metabolites, mineral ions and hormonal profile to heat stress for Egyptian buffalo-calves. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, v. 89, (n. 3), p. 1129-1138, 2011.

OSEI-AMPONSAH, R.; DUNSHEA, F. R.; LEURY, B. J.; CHENG, L.; CULLEN, B.; JOY, A.; ABHIJITH, A.; ZHANG, M. H.; CHAUHAN, S. S. Heat stress impacts on lactating cows grazing australian summer pastures on an automatic robotic dairy. **Animals**, v. 10, p. 869, 2020.

OTTO, P. I.; GUIMARÃES, S. E.; VERARDO, L. L.; AZEVEDO, A. L. S.; VANDENPLAS, J.; SEVILLANO, C. A.; MARQUES, D. B.; MARIA DE FATIMA, A. P.; DE FREITAS, C.; VERNEQUE, R. S.; MARTINS, M. F. Genome-wide association studies for heat stress response in *Bos taurus* x *Bos indicus* crossbred cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 102 (n. 9), p. 8148-8158, 2019.

PAYNE, J. M.; PAYNE, S. The metabolic profile test. New York: Oxford University. 1987.

PAWAR, A. B.; JAIN, S. K.; CHAVAN, M. M.; GURAV, A. A.; MHADE, R. R. A response of dairy animals to heat stress and mitigation strategies: a literature review. **Journal of Pharmaceutical Innovation**, v. 11, p. 742-749, 2022.

PENG, D.; CHEN, S.; LI, G.; CHEN, J.; WANG, J.; GU, X. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. **International Journal of Biometeorology**, v. 63, p. 327-336, 2019.

RIBEIRO, M. N.; RIBEIRO, N. L.; BOZZI, R.; COSTA, R. G. Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress – A review. **Journal of Applied Animal Research**, v.46, p.1036-1041, 2018.

RIBEIRO, N. L.; COSTA, R. G.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, M. N.; CROVETTI, A.; SARAIVA, E. P.; BOZZI, R. Adaptive profile of Garfagnina goat breed assessed through physiological, haematological, biochemical and hormonal parameters. **Small Ruminant Research**, v.144, p.236-241, 2016.

RODRIGUES, O. G.; MARQUES, K. B.; SOUSA, B. B. Perfil mineral sérico de cordeiros submetidos a diferentes suplementações alimentares e a diferentes tipos de ambientes em pastejo no semiárido. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 12, p. 332–338, 2017.

RODRÍGUEZ-PRIETO, V.; RUBIO-GARCÍA, A.; MELERO, M.; GARCÍA, D.; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. Identificação do padrão de aparecimento e desenvolvimento de janelas térmicas na pele de morsas juvenis do Pacífico (*Odobenus rosmarus divergens*) em ambiente controlado. **Ciência dos Mamíferos Marinhos**, v. 29, p. 167-176, 2013.

SEJIAN, V.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J. B.; DUNSHEA, F. R.; LACETRA, N. Review: adaptation of animals to heat stress. **Animal**, v. 12, (n. S2), p. 431-444, 2018.

SHILJA, S.; SEJIAN, V.; BAGATH, M.; MANJUNATHAREDDY, G. B.; KURIEN, E. K.; VARMA, G. E.; BHATTA, R. Estresses nutricionais e de calor relacionados à estação de verão na capacidade adaptativa de cabras com base na resposta bioquímica do sangue e na expressão do gene HSP70 hepático. **Biological Rhythms Research**, v. 48, p. 65–83, 2017.

SHI, R.; LI, S.; LIU, P.; ZHANG, S.; WU, Z.; WU, T.; WAN, Y. Identificação de genes-chave e vias de sinalização relacionadas à densidade da lã de ovelha Hetian por tecnologia de RNA-seq. **PLoS One**, v. 17, (n. 5), p. 0265989, 2022.

SILANIKOVE, N.; KOLUMAN, D. N. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. **Small Ruminant Research**, v. 123, p. 27-34, 2015.

SILVA, R.G. Introdução à bioclimatologia animal. Editora Nobel, São Paulo. 2000.

SILVA, D. A. P.; VARANIS, L. F. M.; OLIVEIRA, K. A.; SOUSA, L. M.; SIQUEIRA, M. T. S.; MACEDO JÚNIOR, G. L. Parâmetros de metabólitos bioquímicos em ovinos criados no Brasil. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-5, 2020.

SOUZA, B. B.; BATISTA, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. Agropecuária Científica no Semiárido, v. 8, n. 3, p. 06-10, 2012.

STUART-FOX, D.; NEWTON, E.; CLUSELLA-TRULLAS, S. Thermal consequences of color and near-infrared reflectance. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 372, p. 1-8, 2017.

SWENSON, M. J.; REECE, W. O. Dukes – Fisiologia dos Animais Domésticos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan AS, 2006.

TAYLOR, N. A.; TIPTON, M. J.; KENNY, G. P. Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. **Journal of Thermal Biology**, v. 46, p. 72-101, 2014.

UTZERI, V. J.; RIBANI, A.; FONTANESI, L. A premature stop codon in the TYRP1 gene is associated with brown coat colour in the European rabbit (Oryctolagus cuniculus). **Animal Genetics**, v. 45, p. 600–603, 2014.

VARANIS, L. F. M. Prospecção de metabólitos sanguíneos referenciais para ovinos em distintas categorias. 88 f. **Dissertação**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.

VIEIRA, R.; LOUVANDINI, H.; BARCELLOS, J.; MARTINS, C. F.; MCMANUS, C. Path and logistic analysis for heat tolerance in adapted breeds of cattle in Brazil. **Livestock Science**, v. 258, 2022.

WILKES, M.; HYND, P.; PITCHFORD, W. Damara sheep have higher digestible energy intake than merino sheep when fed low-quality or high-quality feed. **Animal Production Science**, v. 52, p. 30-34, 2012.

WU, S.; LI, J.; MA, T.; LI, J.; LI, Y.; JIANG, H.; ZHANG, Q. MiR-27a regulates WNT3A and KITLG expression in Cashmere goats with different coat colors. **Animal Biotechnology**, v. 32, (n. 2), p. 205-212, 2021.

YANG, Z.; BAI, C.; PU, Y.; KONG, Q.; GUO, Y.; OUZHULUOBU; SU, B. Genetic adaptation of skin pigmentation in highland Tibetans. **PNAS**, v. 119, (n. 40), 2022.