



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E ESTIMATIVAS DE TROCAS DE
CALOR EM OVINOS NATIVOS MANTIDOS EM DIFERENTES
TEMPERATURAS DO AR**

RICARDO DE SOUSA SILVA

CAMPINA GRANDE - PB

MARÇO – 2023

RICARDO DE SOUSA SILVA

**VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E ESTIMATIVAS DE TROCAS DE CALOR EM
OVINOS NATIVOS MANTIDOS EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR**

Disertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre, em Engenharia Agrícola, com ênfase na área de Construções Rurais e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado

Área de Concentração: Construções Rurais e Ambiente

CAMPINA GRANDE - PB

MARÇO – 2023

S586v

Silva, Ricardo de Sousa.

Variáveis fisiológicas e estimativas de trocas de calor em ovinos nativos mantidos em diferentes temperaturas do ar / Ricardo de Sousa Silva. – Campina Grande, 2024.

77 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado".

Referências.

1. Construções Rurais e Ambiência. 2. Aclimação Fenotípica. 3. Isolamento Térmico. 4. Ovinos – Criação. I. Furtado, Dermeval Araújo. II. Título.

CDU 631.2(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE POS-GRADUACAO EM
ENGENHARIA AGRICOLA

Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

RICARDO DE SOUSA SILVA

VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E
ESTIMATIVAS DE TROCAS DE CALOR
EM OVINOS NATIVOS MANTIDOS EM
DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 02/03/2023

Dermeval Araújo Furtado - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

José Pinheiro Lopes Neto - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Neila Lidiany Ribeiro - Examinador(a) Externo(a) - INSA

Jordânio Inácio Marques - Examinador(a) Externo(a) - UFMA



Documento assinado eletronicamente por **DERMEVAL ARAUJO FURTADO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 02/03/2023, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Neila Lidiany Ribeiro, Usuário Externo**, em 02/03/2023, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jordânio Inácio Marques, Usuário Externo**, em 02/03/2023, às 16:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO**,
COORDENADOR(A)
ADMINISTRATIVO(A), em 03/03/2023, às 09:05, conforme horário oficial
de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25
de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
<https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador
3148540 e o código CRC **B4209BD2**.

Referência: Processo nº 23096.008084/2023-
16

SEI nº 3148540

DEDICATÓRIA

A Deus, aos meus pais Edmar e Benedito, por sempre terem me apoiado e ajudado nesta longa caminhada, ao meu orientador Dermeval Araújo Furtado e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me acompanha e conhece mais do que ninguém o meu potencial e o que é melhor para mim. Aos meus pais, Benedito e Edmar, pela dedicação, cuidado, carinho e encorajamento.

À Universidade Federal de Campina Grande e ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e pelo espaço cedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor Dr Dermeval Araújo Furtado, meu orientador, pela paciência, dedicação e também pelas contribuições científicas, profissionais e pessoais ao longo destes anos de orientação.

Aos meus amigos que fiz aqui na universidade.

Meu muito obrigado!

EPÍGRAFE

*O período de maior ganho em
conhecimento e experiência é o
período mais difícil da vida de
alguém.*

Dalai Lama

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE ABREVIATURA	
RESUMO	
ABSTRACT	
1. Introdução	15
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Geral	16
1.1.2. Específicos	16
2. Revisão de literatura	18
2.1 Ovinocultura no Brasil	18
2.2 Variáveis ambientais	19
2.3 Variáveis fisiológicas	19
2.3.1 Temperatura retal	20
2.3.2 Frequência respiratória	21
2.3.3 Temperatura superficial	22
2.4 Balanço de energia térmica	23
2.5 Trocas sensíveis	23
2.6 Trocas latentes	24
3. Referências bibliográficas	26
Artigo 1	31
Resumo	32
Abstract	33
1. Introdução	34
2. Materiais e métodos	35
2.1 Local do experimento e câmara climática	35
2.2 Animais e manejo	36
2.3 Delineamento experimental	37
2.4 Variáveis fisiológicas	37
2.5 Trocas de calor	38
2.5.1 Trocas sensíveis	38
2.5.2 Trocas latentes	41
2.6 Propriedades e características do ar	42
2.7 Análise estatística	44
3. Resultados	44
4. Discussão	46
5. Conclusão	49
6. Referências bibliográficas	50
Artigo 2	54
Resumo	55
Abstract	56
1. Introdução	57
2. Materiais e métodos	58
2.1 Local do experimento e câmara climática	58
2.2 Animais e dieta	58

2.3	Variáveis ambientais	59
2.4	Variáveis fisiológicas	59
2.5	Trocas de calor	60
2.6	Propriedades e características do ar	64
2.7	Análise estatística	65
3.	Resultados	66
4.	Discussão	72
5.	Conclusão	74
6.	Referências bibliográficas	75

LISTA DE TABELAS

Artigo 1		31
Tabela 1.	As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, de acordo com cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por (Silva, 2000).	42
Tabela 2.	Valores médios calculados para viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico (C_p), bem como número de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os cinco tratamentos avaliados.	43
Tabela 3.	Variáveis fisiológicas, gradientes térmicos TR-TS e TS-TA, e índice de estresse térmico de ovelhas nativas em diferentes temperaturas	45
Tabela 4.	Médias dos fluxos de calor por radiação, convecção, sensível total, latente do trato respiratório, cutâneo, latente total e troca de calor total de ovelhas nativas em diferentes temperaturas	46
Artigo 2		54
Tabela 1.	As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, de acordo com cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por (Silva, 2000)	64
Tabela 2.	Valores médios de viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico do ar (C_p) e pressão parcial de vapor de ar (e_a), bem como os valores adimensionais de número de Nusselt (Nu), número de Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os cinco tratamentos avaliados	65
Tabela 3.	Variáveis fisiológicas dos ovinos nativos em diferentes temperaturas	66
Tabela 4.	Fluxos de calor medidos por radiação, convecção, sensibilidade total, latência total e troca térmica total de ovinos nativos em diferentes temperaturas	68
Tabela 5.	Componentes principais (CP), autovalor e variação cumulativa das variáveis estudadas nas diferentes raças ovinas em diferentes temperaturas	70

LISTA DE FIGURAS

Artigo 2	54
Figura 2. Correlação entre respostas fisiológicas e trocas térmicas totais sensíveis e latentes totais	79

SILVA Ricardo de Sousa. **VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E ESTIMATIVAS DE TROCAS DE CALOR EM OVINOS NATIVOS MANTIDOS EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR.** 2023. 77f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. CampinaGrande, PB.

RESUMO

Os ovinos, ao serem expostos a temperaturas elevadas, como ocorre em regiões áridas e semiáridas, podem acionar mecanismos fisiológicos e termorregulatórios para elevar a dissipação do calor corporal na forma latente, objetivando manter sua homeotermia, sendo que o estresse calórico é um fator significativo que limita o melhoramento dos ovinos no seu potencial genético de produção e reprodução e, quando sua temperatura ideal é alterada o organismo pode sofrer algum tipo de interferência. Com isso, o objetivo da pesquisa foi quantificar os níveis de estresse térmico, as perdas de calor sensível e latente de ovinos nativos do semiárido brasileiro, mantidos em câmara climática e submetidos a três temperaturas termoneutras (TTN de 20, 24 e 28 °C) e duas de estresse térmico (TES de 32 e 36 °C). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial, sendo cinco temperaturas e vinte e quatro animais. Observou-se que com o aumento da temperatura, os animais elevaram significativamente ($P < 0,05$) a temperatura retal, superficial e a frequência respiratória. Nas TTN as trocas de calor sensíveis corresponderam, em média, a 79,64%, enquanto nas TES a 20,36%, sendo que as trocas de calor latente foram de 19,73% nas TTN e 80,27% nas TES. Na temperatura mais elevada (36 °C), 95,87% das trocas térmicas foram por meios latentes. Ovinos mantidos em condições térmicas estressantes perderam a maioria do excesso de calor metabólico por meios latentes através da pele e do trato respiratório.

Palavras chave: Aclimação fenotípica, isolamento térmico, tegumento.

SILVA Ricardo de Sousa. **PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND ESTIMATES OF HEAT EXCHANGE IN NATIVE SHEEP KEPT IN DIFFERENT AIR TEMPERATURES**. 2023. 77f. Master's Dissertation. Graduate Program in Agricultural Engineering. Federal University of Campina Grande. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

Sheep, when exposed to high temperatures, as occurs in arid and semi-arid regions, can activate physiological and thermoregulatory mechanisms to increase the dissipation of body heat in latent form, aiming to maintain homeothermia, with heat stress being a significant factor that limits the improvement of sheep in their genetic potential for production and reproduction and, when their ideal temperature is changed, the organism may suffer some type of interference. Therefore, the objective of the research was to quantify the levels of thermal stress, losses of sensible and latent heat in sheep native to the Brazilian semi-arid region, kept in a climatic chamber and subjected to three thermoneutral temperatures (TTN of 20, 24 and 28 °C) and two of thermal stress (TES of 32 and 36 °C). The experimental design used was completely randomized in a factorial scheme, with five temperatures and twenty-four animals. It was observed that with the increase in temperature, the animals significantly ($P < 0.05$) increased rectal and superficial temperatures and respiratory rate. In TTN, sensible heat exchanges corresponded, on average, to 79.64%, while in TES to 20.36%, with latent heat exchanges being 19.73% in TTN and 80.27% in TES. At the highest temperature (36 °C), 95.87% of thermal exchanges were through latent media. Sheep kept in stressful thermal conditions lost the majority of excess metabolic heat by latent means through the skin and respiratory tract.

Keywords: Phenotypic acclimatization, thermal insulation, integument.

1. Introdução

A ovinocultura é uma atividade explorada em diversas regiões climáticas e tem notável importância econômica e social (SANTOS et al., 2011), estando presente em todas as regiões do Brasil, sendo que na região Nordeste, nos últimos anos, vem se desenvolvendo de forma expressiva e apresenta grande relevância. Na exploração da ovinocultura, podem ocorrer algumas limitações que podem interferir negativamente na produção e produtividade desses animais, tais como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, que provocam alterações nas variáveis fisiológicas, como temperatura retal e frequência respiratória e cardíaca (BORGES et al., 2016).

A produção de pequenos ruminantes em regiões áridas e semiáridas desempenha papel significativo em termos econômicos, sociais e ambientais, onde os animais são criados em sistemas semi-intensivo e extensivo e podem ser impactados pelas condições ambientais onde são produzidos, já que essas regiões apresentam climas com elevadas temperaturas, fato que vem se agravando em razão das mudanças climáticas (FERREIRA et al., 2019; SILVEIRA et al., 2019).

Uma das consequências do estresse térmico é a reação do corpo a estímulos que podem alterar a homeostase, os quais podem ser nutricionais, químicos, psicológicos ou comportamentais. Dentre os efeitos do clima, a radiação solar, elevada temperatura e a umidade relativa do ar podendo ser um elemento estressante, normalmente associados ao baixo desempenho dos ruminantes nas regiões tropicais (RIBEIRO et al., 2008). Em ambientes com temperaturas elevadas, entre os fatores que afetam os animais, destaca-se o aporte térmico devido à radiação solar intensa, tanto de forma direta quanto indireta (re-irradiação da energia térmica pelas superfícies ambientes circunvizinhos) (MEDEIROS et al., 2015).

O estresse calórico é um fator significativo que limita o melhoramento dos ovinos no seu potencial genético de produção e reprodução e, quando sua temperatura ideal é alterada, o organismo pode sofrer algum tipo de interferência (MATSUKUMA et al., 2010). Animais que são mantidos em estado de estresse térmico demonstram alterações comportamentais, seguidas de alterações fisiológicas, taxa metabólica e na capacidade de transformar em carne, leite ou energia os nutrientes que ingerem (CRUZ JUNIOR, 2011; EUSTÁQUIO FILHO

et al., 2011).

Sob estresse térmico, os animais podem elevar a temperatura superficial corpórea através da vasodilatação, que aumenta o aporte do fluxo sanguíneo periférico e, conseqüentemente, a temperatura da pele. No entanto, caso a temperatura ambiente continue a se elevar, o animal passa a depender dos mecanismos evaporativos para a perda de calor (INGRAM & MOUNT, 1975; SOUZA et al., 2008). Quando a temperatura aumenta e está acompanhada de alta umidade relativa do ar, o efeito do estresse térmico sobre o animal é agravado, já que a forma insensível de dissipação de calor é controlada pela umidade. Dessa forma, quanto maior for a umidade, mais comprometido será esse mecanismo (MARAI et al., 2007).

O principal benefício relacionado às estratégias para amenizar os efeitos do clima sobre a produção animal consiste na redução do incremento calórico, seja ele proveniente de fatores climáticos, ambientais ou nutricionais (SILVA et al., 2015). Entretanto, na avaliação da adaptabilidade, precisa-se entender o conjunto de variáveis fisiológicas, comportamentais, hormonais e realizar testes de adaptabilidade, a fim de facilitar a compreensão do processo de adaptação dos animais (FAÇANHA et al., 2013).

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

Avaliar os índices de conforto térmico, as variáveis fisiológicas, trocas de calor e quantificar os níveis de estresse térmico de ovinos das raças nativas, submetidos a diferentes temperaturas do ar em câmara climática.

1.1.2. Específicos

- Avaliar as condições climáticas do ambiente através do índice de temperatura e umidade;
- Avaliar a temperatura retal, superficial e frequência respiratória dos ovinos submetidos a temperaturas termoneutras (20, 24 e 28 °C) e estresse térmico (32 e 36 °C);
- Estimar as trocas de calor sensíveis e latentes dos ovinos com o ambiente, nas diferentes condições ambientais;

- Correlacionar a intensidade das trocas de calor sensível total e latente total, com a temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória dos animais nas condições térmicas avaliadas.

2. Revisão de literatura

2.1 Ovinocultura no Brasil

A criação de pequenos ruminantes é uma atividade relevante no aspecto socioeconômico na região semiárida brasileira, país que possui um rebanho de ovinos de 19,7 milhões de cabeças, com destaque de produção para a região Nordeste, responsável por 68,54% do total do rebanho, sendo o estado da Bahia o principal produtor, com 22,8% do rebanho, já a Paraíba possui um rebanho de 668.858 de cabeças, representando 3,5% do rebanho (IBGE, 2020).

O menor desempenho produtivo de grande parte dos rebanhos de ovinos da região Nordeste pode estar diretamente relacionado às condições climáticas nas quais os animais estão submetidos. Esses problemas dificultam a obtenção de altos índices zootécnicos decorrentes do ambiente com clima quente (RIBEIRO et al., 2008).

A criação de ovinos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil tem seu foco na produção de carne e pele, sendo escolhidas raças deslanadas que possuem boa adaptação ao clima quente e rusticidade para suportar as condições adversas destes climas (SOUZA et al., 2015). Em relação às condições climáticas, o estresse calórico é reconhecido como importante fator limitante da produção animal. Há portanto, uma necessidade de se conhecer a tolerância e a capacidade de adaptação das raças como forma de embasamento técnico para a exploração animal em uma determinada região e, por apresentarem ótimos índices de adaptação e tolerância ao calor, destacam-se o uso de ovinos, como o Santa Inês, Morada Nova, Soinga, Somalis Brasileira, Rabo Largo, Cariri e Dorper e Sem Padrão Racial Definido (SOUZA et al., 2015).

Os ovinos das raças Morada Nova e Santa Inês são caracterizados por conseguirem se adaptar às condições ambientais no semiárido brasileiro. Isso ocorre devido à decorrência de longo processo de seleção natural, no qual esses animais obtiveram características morfofisiológicas que lhes asseguram sobrevivência diante dos desafios que estão presentes nesse ambiente, principalmente os de ordem climática (EUSTÁQUIO FILHO et al., 2011; COSTA et al., 2015; AMORIM et al., 2019).

Animais nativos das raças Morada Nova e Santa Inês demonstram capacidade superior em condições de tolerância ao calor quando comparados com ovinos exóticos e, por se tratarem de animais que estão mais habituados a faixa de temperatura mais elevadas, podem ser explorados em ambientes como a região semiárida brasileira, com

pequenas perdas na produção, sendo preciso um aprofundamento de estudos com índices de conforto térmico (COSTA et al., 2015).

2.2 Variáveis ambientais

Existem fatores que podem intervir de forma negativa nos processos produtivos dos animais, como as variáveis ambientais, através da radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar. Essas variáveis podem ser usadas para determinar a zona de conforto térmico dos animais. Quando os ovinos estão em condições de desconforto térmico, a movimentação do ar é tida como um fator indispensável para melhorar as condições ambientais (BATISTA et al., 2014).

A temperatura do ar é um elemento climático muito determinante na avaliação da condição térmica do ambiente, podendo causar alterações comportamentais, metabólicas e fisiológicas nos animais. No entanto, o efeito da temperatura está diretamente ligado e dependente da concentração da umidade atmosférica (LEITÃO et al., 2013), sendo que a umidade interfere diretamente nos mecanismos de perda d'água do organismo, por difusão de vapor d'água por meio da pele, evaporação do suor da pele e pela umidificação do ar respirado (SALLES, 2010).

Quando os ovinos são submetidos a temperaturas que estão acima da sua temperatura crítica máxima, ou seja, acima da sua zona de conforto térmico, precisam fazer modificações fisiológicas com finalidade de manter sua temperatura corporal controlada. Ocorre uma relação negativa entre o tempo de ruminância e consumo de ração com a temperatura do ar, ou seja, com a elevação da temperatura, o animal tende a permanecer parado e deixa de consumir o alimento, na tentativa de preservar a sua termorregulação. Pode ocorrer uma elevação na ingestão de água no esforço de repor as perdas causadas pela sudorese e pelo aumento da frequência respiratória (MANNO et al., 2019).

2.3 Variáveis fisiológicas

Adversidades climáticas podem alterar as variáveis fisiológicas dos animais, o que pode ocasionar declínio da produção (FURTADO et al., 2017; TORRES et al., 2017) e, as variáveis comumente avaliadas em estudos de adaptabilidade em pequenos ruminantes são a temperatura retal, frequência cardíaca, frequência respiratória e temperatura

superficial (RIBEIRO et al., 2008).

2.3.1 Temperatura retal

A temperatura retal representa a temperatura do núcleo central dos animais, indicando sua temperatura corpórea, sendo utilizada como critério de diagnóstico de doenças e para verificar o grau de adaptabilidade dos animais domésticos (PEREIRA et al., 2011). Quando os animais não conseguem dissipar o calor excedente, esta variável pode se elevar, e os animais passam a utilizar mecanismos fisiológicos, comportamentais, morfológicos, hematológicos e bioquímicos para controlar essa temperatura (RIBEIRO et al., 2008).

A temperatura retal dos ovinos pode ser afetada pela época do ano e período do dia, sendo que no período da tarde os ovinos podem apresentar valores da temperatura retal mais elevados em relação à manhã, demonstrando que para manter a homeotermia acionam seus mecanismos termorregulatórios no período de maior calor (LUZ et al., 2014; FURTADO et al., 2017). Poucas alterações no ambiente relacionadas aos dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar são importantes, já que ao serem alteradas podem ocasionar mudanças fisiológicas nos animais, prejudicando o processo de termólise, refletida no crescimento da temperatura retal (ROCHA et al., 2012).

A temperatura retal para ovinos varia entre 38,5 a 39,5 °C (SWENSON; REECE, 1996; EUSTÁQUIO FILHO et al., 2011), e seu aumento já provoca acúmulo de calor. Se este não for dissipado, o estresse calórico surge, sendo que o aumento de 1 °C na temperatura retal já é bastante para diminuir o desempenho na maior parte das espécies de animais domésticos (McDOWELL, 1989). A temperatura retal, em determinados casos pode não ser uma variável sensível para detectar o estresse térmico, como a frequência respiratória e, quando acontece um aumento na temperatura ambiente, os mecanismos termorregulatórios são acionados, elevando a perda de calor na forma latente através da sudorese, com o aumento da frequência respiratória e sudorese (OLIVEIRA; COSTA, 2013; MASCARENHAS et al., 2023).

2.3.2 Frequência respiratória

A frequência respiratória permite a identificação rápida de estresse por calor e, geralmente, é a primeira variável fisiológica a ser ativada (SILVEIRA et al., 2019). Sendo esta variável mais elevada, é uma maneira eficiente de perder calor por curtos períodos; porém, caso seja mantida por longos períodos, poderá resultar em problemas para os animais.

De acordo com SILANIKOVE (2000), a FR pode estimar a severidade do estresse pelo calor nos ovinos, em que uma FR de 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 120 mov/min caracterizam, respectivamente, estresse baixo, médio-alto e alto, e acima de 200 mov/min estresse severo. A FR considerada fisiologicamente ótima para a espécie ovina é entre 20 a 34 mov/min (REECE et al., 2015). EUSTÁQUIO FILHO et al. (2011) obtiveram média de 28 mov/min para ovinos Santa Inês, em trabalhos com ovinos mantidos na temperatura de 30°C. De acordo com SILVA (2013), os animais quando estão em estresse térmico, o principal processo de perda de calor é o evaporativo, que ocorre por meio da elevação da frequência respiratória, demonstrando a primeira via de reação do animal ao estresse térmico.

A elevação da frequência respiratória por longos períodos reduz a pressão de CO₂ sanguínea e promove aumento no calor nos tecidos corporais, principalmente pela aceleração dos músculos da respiração (SILVA; STARLING et al., 2003). Uma respiração acelerada e contínua pode interferir na ingestão de água, alimentos e ruminância, incrementando o calor endógeno do animal, o que poderá afetar seu desempenho (MCDOWELL, 1989). O aumento da FR, em reação às condições das variáveis ambientais, tem como principal propósito a manutenção do equilíbrio térmico (SALLES, 2010), sendo que aumento desta variável resulta na elevação da perda de calor por forma latente (LEITE et al., 2012).

O aumento da FR eleva o crescimento do fluxo evaporativo das vias aéreas, sendo essa uma maneira de maior impacto na perda de calor em ovinos em temperaturas acima de 35 °C, alcançando a 60% do calor total perdido nos ovinos. Este fato justifica o crescimento significativo da FR sob o período de estresse térmico quando comparado ao período fora do estresse térmico (EUSTÁQUIO FILHO et al., 2011).

Ovinos de pelagem preta ou mais escura, expostos à radiação solar direta ou indireta, podem apresentar maior frequência respiratória quando comparados aos animais de pelagem brancas (BATISTA et al., 2014). Nesses casos, os animais acionam os

mecanismos latentes para dissipar calor através da evaporação respiratória, principalmente quando os mecanismos sensíveis (radiação, condução e convecção) não se mostram eficientes.

Desse modo, mesmo que os ovinos consigam se adaptar ao clima quente, os mecanismos de respostas são importantes para sobrevivência, mas podem ser perigosos para seu desempenho produtivo e reprodutivo (KUMAR; DE, 2013), já que a frequência respiratória elevada é uma maneira eficiente de perda de calor. A respiração rápida e contínua pode afetar a ingestão de alimentos e ruminção (SOUZA et al., 2010).

2.3.3 Temperatura superficial

Outra variável importante na análise da dissipação de calor é a temperatura superficial (SANTOS et al, 2005), sendo que quanto mais a temperatura ambiente aumenta, a eficiência dos mecanismos de perda de calor sensível se reduzem. Com isso, a temperatura superficial dos animais pode se elevar com o aumento da temperatura ambiente, o que pode dificultar as trocas de calor sensível em função do menor gradiente térmico entre a pele do animal e o ambiente. ANDRADE et al. (2007) observaram que a temperatura superficial de ovinos Santa Inês no semiárido paraibano foram elevadas (38,55 °C) onde não havia sombra, seguidas da sombra artificial (33,71 °C) e sombra natural (32,17 °C), concluindo que a pequena incidência de radiação solar nos ovinos diminuiu seu aquecimento corporal.

Esse aumento da temperatura superficial é uma forma dos ovinos dissiparem calor para o meio ambiente por meio da vasodilatação periférica, na qual o gradiente entre o núcleo corporal e a pele se expande, e o gradiente térmico entre a pele e o ambiente reduz (EUSTÁQUIO FILHO et al., 2014).

A temperatura superficial e a frequência respiratória são parâmetros usados para medir o nível de estresse térmico em animais e também funcionam como indicadores homeostáticos com finalidade de dissipação de calor, por meio da evaporação respiratória e cutânea (PANTOJA et al., 2017). Há uma relação entre as frequências cardíaca e respiratória com a temperatura superficial, uma vez que a elevação da taxa de respiração e dos batimentos cardíacos está diretamente ligado à taxa de dissipação de calor através de trocas térmicas da superfície do animal com o ar ambiente (REECE, 2015).

Uma das principais condições ambientes que a TS corporal depende são da

temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, assim como as condições fisiológicas, como evaporação pelo suor e vascularização (CUNNINGHAM, 2008). A radiação solar, mesmo de forma indireta, afeta a temperatura superficial, aumentando o seu valor e alterando os gradientes térmicos entre o núcleo central e a superfície corporal, e entre a superfície corporal e o ambiente (MEDEIROS et al., 2001; SILVA et al., 2010).

A elevação da temperatura superficial está diretamente ligada à elevação da temperatura interna do animal, esta última sendo aferida pela temperatura retal (FONSÊCA et al., 2019). Ao avaliarem temperatura superficial de ovinos da raça Santa Inês e seus cruzamentos com Ile de France e Suffolk, SOUZA et al. (2015) encontraram média de 33,21 °C para essa raça e seus cruzamentos. Os animais conseguiram manter a homeotermia sem elevação da temperatura retal para além dos padrões normais da espécie, demonstrando sua capacidade adaptativa às condições ambientais experimentais.

2.4 Balanço de energia térmica

Estudos que incluem trocas térmicas de energia são complexos, pois para a realização desses estudos, necessita-se de ambientes controlados para se obter maior rigor e precisão em seus resultados, também se faz necessário considerar as variáveis ambientais e uma identificação correta das respostas fisiológicas dos animais. Segundo SILVA (2000), os componentes mais importantes que influenciam nas trocas de energia entre o animal e o ambiente são a radiação, condução, convecção e evaporação. OLIVEIRA (2007), estudando a eliminação de calor latente e o fluxo térmico total ao sol e à sombra em cabras da raça Saanen em ambiente tropical, menciona que a termólise evaporativa não foi suficiente para promover o equilíbrio térmico ao sol em temperaturas radiantes acima de 35 °C.

2.5 Trocas sensíveis

Para que ocorra o fluxo de calor sensível, é necessário que haja um gradiente de temperatura entre o animal e o meio, onde a energia térmica é transferida de um corpo com temperatura maior para outro com esta menor (INCROPERA et al., 2008). A manutenção da temperatura corporal acontece através de trocas de calor com o ambiente, onde as temperaturas mais amena, o calor é dissipado para o ambiente na forma sensível, por meio de um gradiente de temperatura entre o animal e o meio ambiente, e quando este

está sob estresse pelo calor, o principal processo de perda é o da evaporação (SILVA, 2013).

Quando a temperatura ambiente se eleva, a eficiência da perda de calor sensível diminui, devido ao menor gradiente de temperatura que ocorre entre a pele do animal e a do ambiente. Nessa situação, até certo ponto, o animal pode manter a temperatura corporal através da vasodilatação, que eleva o fluxo sanguíneo periférico e a temperatura da pele. Porém, se a temperatura ambiente permanecer a aumentar, o animal passa a depender da perda de calor por evaporação, através da respiração e/ou sudorese (SOUZA et al., 2008).

O pelame interfere diretamente nas trocas de calor sensível, constituindo-se em uma barreira à passagem do fluxo de energia devido ao isolamento proporcionado pela estrutura física das suas fibras e pela camada de ar aprisionada entre elas (LIMA, 2016). Portanto, para dissipar a energia térmica produzida pelo metabolismo e a recebida do ambiente, o animal pode recorrer à evaporação ou estocar a energia térmica até um certo limite, conseqüentemente aumentando a temperatura corporal (SILVA, 2000; NEIVA, 2004).

A manutenção da temperatura corporal ocorre mediante trocas de calor com o ambiente, sendo que em temperaturas mais amenas, o calor é dissipado para o ambiente na forma sensível, através de um gradiente de temperatura entre o animal e o meio ambiente. Sob estresse térmico, o principal processo de perda de calor é o da evaporação, através do aumento da frequência respiratória e evaporação cutânea (SILVA, 2013).

2.6 Trocas latentes

A dissipação de calor latente ocorre quando existe uma diferença na quantidade de vapor de água que esteja presente no meio, ou seja, na porcentagem de umidade relativa do ar, já que a transferência de energia térmica de um corpo a outro é feita através da difusão de moléculas sem mudança da sua temperatura. SILVA (2000), citou que a perda de calor latente por meio da evaporação pode ocorrer através da superfície da epiderme (evaporação cutânea) e do trato respiratório (evaporação respiratória).

A perda de calor por evaporação em bovinos e ovinos acontece especialmente na epiderme, respondendo por aproximadamente 80% da perda total (MCLEAN, 1963; SILVA; STARLING, 2003; MAIA et al., 2005). No entanto, a evaporação na parte superior de uma epiderme coberta por pelos não ocorre da mesma maneira que em

superfície lisa e exposta, pois em cima da epiderme encontra-se uma camada de pelame a qual adiciona resistência à difusão do vapor (LIGEIRO et al., 2006). FURTADO et al. (2017) mencionaram que ovinos puros Santa Inês e mestiços ($\frac{1}{2}$ Dorper + $\frac{1}{2}$ Santa Inês), exibiram valores da FR da tarde superiores, devido ao crescimento da TA e baixa da UR, levando os animais a utilizarem mecanismos de perda de calor para o meio ambiente pelo meio dos mecanismos latentes.

3 Referências bibliográficas

AMORIM, M.L.C.M.; SARAIVA, E.P.; FONSÊCA, V.F.C.; GUERRA, R.R.; SANTOS, S.G.C.G.; COSTA, C.C.M.; ALMEIDA, M.E.V.; PINHEIRO, A.C.; PIMENTA FILHO, E.C. Coat and skin morphology of hair sheep breeds in an equatorial semi-arid environment. *Journal of Thermal Biology*, v.84, p.103-110, 2019.

ANDRADE, I.S. Efeito do ambiente e da dieta sobre o comportamento fisiológico e o desempenho de cordeiros em pastejo no semi-árido paraibano. Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande, p. 40, 2016.

BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B.; ROBERTO, J. V. B.; ARAÚJO, R. P.; RIBEIRO, T. L. A.; SILVA, R. A. Tolerância ao calor em ovinos de pelames claro e escuro submetidos ao estresse térmico. *Journal Animal Behavior and Biometeorology*, v.2, p.102-108, 2014.

BORGES, L. S.; EVANGELISTA, A. F.; BARROS JUNIOR, C. P.; SILVA, A. L.; ANDRADE, T. V. O ambiente semiárido brasileiro influencia as respostas fisiológicas de caprinos. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, v.4, p.17-21, 2016.

BUFFINGTON, D. E.; AROCHO, A. C.; CANTON, G. H.; PITT, D. Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE*, v.24, p.711-714, 1981.

COSTA, W. P.; FAÇANHA, D. A. E.; LEITE, J. H. G. M.; SILVA, R. C. B.; SOUZA, C. H.; CHAVES, D. F.; VASCONCELOS, A. M.; SOTO-BLANCO, B.; VALE, A. M.; PIMENTA FILHO, E. C. Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region. *Semina. Ciências Agrárias*, v.36, p.4589- 4600, 2015.

CRUZ, L. V.; ANGRIMANI, D. S. R.; RUI, B. R.; SILVA, M. A. Efeitos do estresse térmico na produção leiteira: Revisão de literatura. *20 Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. n.16, 2011.

CUNNINGHAM, J. *Cunningham's text book of veterinary physiology*. Elsevier, New York; 2008.

EUSTÁQUIO FILHO, A.; TEODORO, S. M.; CHAVES, M. A.; SANTOS, P. E. F.; SILVA, M. W. R.; MURTA, R. M.; CARVALHO, G. G. P.; SOUZA, L. E. B. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1807-1814, 2011.

FAÇANHA, D. A. E.; CHAVES, D. F.; MORAIS, J. H. G.; VASCONCELOS, A. M.; COSTA, W. P.; GUILHERMINO, M. M. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. *Revista brasileira de saúde e produção animal*, v.14, p.91-103, 2013.

FONSÊCA, V. F. C.; MAIA, A. S. C.; SARAIVA, E. P.; COSTA, C. C. M.; SILVA, R.

G.; ABDOUN, K. A.; AL-HAIDARY, A. A.; SAMARA, E. M.; FULLER, A. Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. *Journal of Thermal Biology*, v.84, p.83-91, 2019.

FERREIRA, S. F.; FERNANDES, J. J. R.; PADUA, J. T.; BILEGO, U. O.; FREITAS NETO, M. D.; FURTADO, R. G. Use of virginiamycin and salinomycin in the diet of beef cattle reared under grazing during the rainy season: performance and ruminal metabolism. *Ciência Animal Brasileira*, v.20, 2019.

FURTADO, V. A.; OLIVEIRA, F. M. M.; SOUSA, W. H.; MEDEIROS, G. R.; OLIVEIRA, M. E. C.; VEIGAS, R. R. Thermal comfort indexes and physiological parameters of Santa Inês and crossbreed ewes in the semi-arid. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, v.5, p.72-77, 2017.

HAHN, G. L. Management and housing of farm animals in hot environments. In: YOUSEF, M. K. (Ed.). *Stress physiology in livestock*. Boca Raton: CRC Press, 1985. V.2, p.151-174, 1985.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal. 2020. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em março de 2022.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*, 6. Ed., Rio de Janeiro: Itc, 2008.

INGRAM, D. L.; MOUNT, L. E. *Man and Animals in hot environments* New York: Springer-Verlag, 1975. 185 p.

KUMAR, D.; DE, K. Extreme climatic variables affecting male reproduction in sheep. IN: SAHOO, A.; KUMAR, D.; NAQVI, S. M. K. (EDS). *Climate resilient small ruminant production*. National Initiative on Climate Resilient Agriculture (NICRA), Central Sheep and Wool Research Institute, Izatnagar, India. p.1-106, 2013.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. ; ALMEIDA, A. C.; SOUZA, P. H. F. Conforto e estresse térmico em ovinos no Norte da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.1355-1360, 2013.

LEITE, J. R. D. E. S.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SOUZA, B. B.; SILVA, A. S. . Influência de fatores bioclimáticos nos índices produtivos e fisiológicos de caprinos nativos confinados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.443-448, 2012.

LIGEIRO, E. C.; MAIA, A. S. C.; SILVA, RR. G.; LOUREIRO C. M. B. Perda de calor por evaporação cutânea associada às características morfológicas do pelame de cabras leiteiras criadas em ambiente tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.544- 549, 2006.

LIMA, A. R. C. Investigação sobre o efeito da temperatura na produção de calor em cabras da raça saanen e anglo-nubiana. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, p. 60, 2016.

LUZ, C. S. M.; FONSECA, W. J. L.; BARROS JUNIOR, C. P.; AMORIM, R. B.; SILVA, L. A.; LIMA, L. A.; SANTOS, K. R. Estimativa de características termorreguladoras de ovinos em período seco e chuvoso criados na região do vale do Gurguéia, sul do estado do Piauí. *Acta Veterinária Brasília*, v.8, p.19-24, 2014.

MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G.; LOUREIRO, C. M. B. Sensible and latente heat loss from body surface of holstein cows in a tropical environment. *International journal of biometeorology*, v.50, p.17-22, 2005.

MARAI, I. F. M.; EL-DARAWANY, A. A.; FADIEL, A.; ABDEL-HAFEZ M. A. M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep a review. *Small Ruminant Research*, v.71, p.1-12, 2007.

MATSUKUMA, B. H.; FIDELIS, J.; OTAVIO, L. O. G.; VITRO, W. L.; PERES, L. C. T.; BERARDI, B.; BELLUZZO, C. E.; GARCIA, S. D.; CADIOLI, F. A.; FEITOSA, F. L. F.; PEIRÓ, J. R.; MENDES, L. C. N. Eeffect of shearing on the skin and rectal temperature and other clinical parameters in sheep in aracatuba region, sao paulo state, brazil. In: *World Buiatrics Congress*, 26.,2010.

MCDOWELL, R. E. Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales. São Paulo, Ícone. 1 ed. 183p, 1989.

MENDES, A. M. P.; AZEVEDO, M.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A. Zoneamento bioclimático para a raça ovina Dorper no Estado de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, p.986–993, 2014.

NEIVA, J. N. M.; TEXEIRA, M.; TURCO, S. H. N.; OLIVEIRA, S. M. P.; MOURA, A. A. N. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtores e fisiológicos de ovinos santa inês mantidos em confinamento na região litorânea do nordeste do brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, p. 668-678, 2004.

NEVES, M.L.M.W.; AZEVEDO, M.; BORGES, L.A.B.; GUIM, A.; LEITE, A.M.; CHAGAS, J.C. Níveis críticos do Índice de Conforto Térmico para ovinos da raça Santa Inês criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 31, p. 169-175, 2009.

MANNO, M. C.; RODRIGUES, L. F.S.; LIMA, K. R. S.; CARVALHAL, M. V. L.; RODRIGUES, S. S. ; COSTA, G. L.; MONTEIRO, A. N. G.; BEZERRA, A. M. Behavioral aspects of Santa Inês sheep kept in pasture in a tropical rainforest climate. *Ciência Rural*, v. 49, p. 1-8, 2019.

OLIVEIRA, S. E. O.; COSTA, C. C. M. Respiratory heat loss in Morada Nova sheep in Brazilian semi-arid regions. *Journal Animal Behavior and Biometeorology* v. 1, p. 17-20, 2013.

PEREIRA, U. P.; OLIVEIRA, D. G. S.; MESQUITA, L. R.; COSTA, G. M.; PEREIRA, L. J. Efficacy of *Staphylococcus aureus* vaccines for bovine mastitis: A systematic review. *Veterinary Microbiology*, v. 149, p. 117-124, 2011

REECE, W. O. Respiração nos mamíferos. IN: DUKES, H. H.; SWENSON, M. J.

Fisiologia dos animais domésticos. 10.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p.199-205, 2015.

RIBEIRO, N. L.; COSTA, R. G.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, M. N.; BOZZI, R.. Effects of the dry and the rainy season on endocrine and physiologic profiles goats in the Brazilian semi- arid region. *Italian Journal of Animal Science*, v.17, p.454-461, 2017.

RIBEIRO, N. L.; FURTADO, D. A.; MEDEIROS, A. N.; RIBEIRO, M. N.; SILVA, R. C. B.; SOUZA, C.M.S. Avaliação dos índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de ovinos nativos. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.28, p.614-623, 2008.

ROCHA, D. R.; SALLES M. G. F.; MOURA, A. A. A. N.; ARAÚJO, A. A. Impacto do estresse térmico na reprodução da fêmea bovina. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v.36, p.18–24, 2012.

SALLES, M. G. F.; ROCHA, D. R.; VIANA, N. A. M.; RODRIGUES, I. C. S.; ARAÚJO, A. A. Efeitos do clima tropical sobre os parâmetros reprodutivos de bodes Saanen. *Ciencia Animal*, v. 22, p. 389-392, 2012.

SANTOS, F. C. B.; SOUZA, B. B.; ALFARO, C. E. P.; CÉSAR, M. F.; PIMENTA FILHO, E. C.; COSTA, A. A. A.; SANTOS, J. R. S. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semiárido do nordeste brasileiro. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.142-149, 2005.

SANTOS, M. M.; AZEVEDO, M.; COSTA, L. A. B.; SILVA FILHO, F. P.; MODESTO, E. C.; LANA, A. M. Q. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês, de diferentes pelagens, em pastejo. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v.33, p.287-294, 2011.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* v.67, p.1-18, 2000.

SILVA, A. L.; BORGES, L. S.; SANTANA, M. L. A.; BARROS JÚNIOR, C. P.; SOUZA, P. H. A. A. Avaliação das variáveis fisiológicas de ovinos Santa Inês sob influência do ambiente semiárido piauiense. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, v.3, p.69-72. 2015.

SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; SOUZA, O. B.; SILVA, G. A.; FREITAS, M. M. S. Avaliação da adaptabilidade de caprinos ao semiárido através de parâmetros fisiológicos e estruturas do tegumento. *Revista Caatinga*, v.23, p.142-148, 2010.

SILVA, M. R. Avaliação das características do tegumento e dos índices de tolerância ao calor de ovinos de diferentes grupos genéticos no semiárido brasileiro. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal de Campina Grande, p. 47, 2017.

SILVA, R. G.; STARLING, J. M. C. Evaporação utânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambientais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, p.1-6, 2003.

SILVA, R. G.; LASCALA J. N.; LIMA F. A. E.; CATHARIN, M. C. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. *International Journal of Biometeorology*, v.46,

p.136–140, 2002.

SILVEIRA, R. M. F.; SILVA, B. E. B. E.; VASCONCELOS, A. M.; FAÇANHA, D.A. E.; MARTINS, T. P.; ROGÉRIO, M. C. P.; FERREIRA, J. Does organic selenium supplement affect the thermoregulatory responses of dairy goats? *Biological Rhythm Research*, v.50, p.1-13, 2019.

SOUZA, B. B.; SILVA, R. C.; RODRIGUES, L. R.; RODRIGUES, V. P.; ARRUDA, A. S. Análises do efeito do estresse térmico sobre produção, fisiologia e dieta de aves. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.11, p.22-26, 2015.

SOUZA, B. B.; LOPES, J. J.; ROBERTO, J. V. B.; SILVA, A. M. A.; SILVA, E. M. N.; SILVA, G. A. Efeito do ambiente sobre as respostas fisiológicas de caprinos Saanen e Mestiços ½Saanen + ½Boer no semiárido paraibano. *Agropecuária Científica no Semiárido*. v.6, p.47-51, 2010.

SOUZA, B. B.; SOUZA, E. D.; CEZAR, M. F.; SOUZA, W. H.; SANTOS, J. R. S.; BENICIO, T.M. A. Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no semi-árido nordestino. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.275-280, 2008.

SWENSON, M.; REECE, W. D. *Fisiologia dos animais domésticos*. 11^a ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 856p.1996.

TORRES, T. S.; SILVA, L. O.; BORGES, L. S.; SENA, L. S.; MOREIRA, A. L.; MACHADO, L. P. M.; CARDOSO, J. P. B.; SOUSA JUNIOR, A. Behavioral and thermoregulatory characteristics of Dorper sheep. *Journal Animal Behavior and Biometeorology*, v.5, p.85-90, 2017.

TURCO, S. H. N.; AZEVEDO, D. M. M. R.; OLIVEIRA, P. T. L. O ambiente e a produção de caprinos e ovinos. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). *Produção de caprinos e ovinos no Semiárido*. Petrolina: Embrapa Semiárido. p.145-163, 2011.

YOUSEF, M. K. *Stress physiology in livestock. Basic adaptation of Principles*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL. 1985.

Artigo 1

**VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E ESTIMATIVAS DE TROCAS DE CALOR EM
OVINOS NATIVOS MANTIDOS EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR**

VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E ESTIMATIVAS DE TROCAS DE CALOR EM OVINOS NATIVOS MANTIDOS EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO AR

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi quantificar os níveis de estresse térmico, as variáveis fisiológicas e perdas de calor sensível e latente em ovinos nativos do semiárido brasileiro, mantidos em câmara climática a temperaturas termoneutras (TTN: 20,0; 24,0 e 28,0 °C) e estresse térmico (TES: 32,0 e 36,0 °C). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco temperaturas e 24 ovinos, com idade média de 5 ± 1 meses e peso médio de $15,0 \pm 2,3$ kg. Os valores do índice de estresse térmico (IET) nas temperaturas de 20,0, 24,0 e 28,0 °C apresentaram médias de 45,3, 50,0 e 55,5, respectivamente, ambientes classificados como confortáveis, na temperatura de 32,0 °C, média de 63,5, classificado como desconforto leve a moderado, e 70,2 na temperatura de 36,0 °C, classificado como alerta. Com o aumento da temperatura, os animais aumentaram significativamente ($P < 0,05$) as temperaturas retal e superficial, bem como na frequência respiratória. Nas condições de TTN, as trocas sensíveis de calor corresponderam a uma média de 55,9%, enquanto nas condições de TES corresponderam a 12,9% do total. Na temperatura de 32,0 °C, as trocas de calor sensíveis corresponderam a 17,9% e as trocas de calor latentes corresponderam a 82,1%, enquanto a temperatura de 36,0 °C, 95,8% das trocas térmicas foram devidas a meios latentes, dos quais 85,1% foram cutâneos. Ovinos mantidos em condições térmicas estressantes aumentam suas variáveis fisiológicas e eliminam a maior parte do excesso de calor metabólico por meios latentes (pele e trato respiratório).

Palavras-chave: Aclimatização fenotípica, isolamento térmico, *Ovis aries*, tegumento.

PHYSIOLOGICAL VARIABLES AND ESTIMATES OF HEAT EXCHANGE IN NATIVE SHEEP KEPT AT DIFFERENT AIR TEMPERATURES

Abstract: The objective of this work was to quantify the levels of thermal stress, physiological variables and losses of sensible and latent heat in sheep native to the Brazilian semi-arid region, kept in a climatic chamber at thermoneutral temperatures (TTN: 20.0; 24.0 and 28.0 °C) and thermal stress (TES: 32.0 and 36.0 °C). The experimental design used was completely randomized, with five temperatures and 24 sheep, with an average age of 5±1 months and an average weight of 15.0±2.3 kg. The thermal stress index (TEI) values at temperatures of 20.0, 24.0 and 28.0 °C presented averages of 45.3, 50.0 and 55.5, respectively, environments classified as comfortable, at the temperature of 32.0 °C, an average of 63.5, classified as mild to moderate discomfort, and 70.2 at a temperature of 36.0 °C, classified as alert. With the increase in temperature, the animals significantly increased ($P<0.05$) their rectal and superficial temperatures, as well as their respiratory rate. In TTN conditions, sensible heat exchanges corresponded to an average of 55.9%, while in TES conditions they corresponded to 12.9% of the total. At a temperature of 32.0 °C, sensible heat exchanges corresponded to 17.9% and latent heat exchanges corresponded to 82.1%, while at a temperature of 36.0 °C, 95.8% of thermal exchanges were due to latent media, of which 85.1% were cutaneous. Sheep kept in stressful thermal conditions increase their physiological variables and eliminate most of the excess metabolic heat through latent means (skin and respiratory tract).

Keywords: Phenotypic acclimatization, thermal insulation, *Ovis aries*, integument.

1. Introdução

As mudanças climáticas têm provocado um aumento da temperatura do ar em diversas regiões do planeta (SEJIAN et al., 2017) e, em regiões áridas e semiáridas, podem causar efeitos diretos nos animais, como o estresse térmico (SILVA et al., 2021), em que podem ocorrer efeitos negativos em sua fisiologia, saúde, produção e produtividade, resultando em redução no consumo de ração, aumento do consumo de água e aumento da demanda energética, devido à ativação de mecanismos de termorregulação (PÉREZ et al., 2020; MARQUES et al., 2021).

Em regiões áridas e semiáridas, a criação de pequenos ruminantes é uma atividade relevante, uma vez que são animais adaptados a ambientes quentes com habilidades de sobrevivência, produção e reprodução, destacando-se a criação de ovinos para produção de carne e pele, onde são escolhidas raças nativas sem pelos com boa adaptação e rusticidade (SEIXAS et al., 2017; RODRIGUES et al., 2023). Essas regiões são caracterizadas por um balanço hídrico negativo, resultante de precipitação média anual inferior a 800 mm, insolação com duração de 2800 h ano, temperaturas médias anuais de 23,0 a 28,0 °C, evaporação de 2.000 mm ano e umidade relativa média (UR) em torno de 60,0% (GOIS et al., 2017).

A resistência dos animais a altas temperaturas é definida pela sua capacidade de dissipar o calor excessivo e pela dinâmica de adaptação (MEDEIROS et al., 2015), levando os animais a adotarem comportamentos (LEITE et al. 2019; FUTADO et al., 2021) e respostas fisiológicas para manter a homeotermia (SEJIAN et al., 2017; GUPTA e MONDAL, 2019; FURTADO et al., 2020; FULLER et al., 2021), o que pode culminar em uma redução no desempenho produtivo e bem-estar dos animais. As variáveis fisiológicas em ovinos podem flutuar dependendo de sua composição corporal, idade, estação, sexo, raça, hora do dia e temperatura do ar (FURTADO et al., 2021).

A zona de conforto térmico (ZCT) é definida como a faixa de temperatura na qual o metabolismo normal fornece a energia necessária para manter a temperatura corporal em níveis adequados, com o gasto energético ou a atividade metabólica para aquecer ou resfriar o corpo são mínimos. A ZCT recomendada para ovinos é temperatura do ar entre 20,0 a 26,0 °C e umidade relativa do ar entre 50,0 e 70,0% (EUSTÁQUIO FILHO et al., 2011; SEJIAN et al., 2017; FURTADO et al., 2020), com velocidades do vento entre 1,3 e 1,9 m/s (MCDOWELL, 1989).

A exposição a altas temperaturas do ar induz os animais a tentarem dissipar a carga excessiva de calor metabólico produzido, intensificando o uso de mecanismos latentes de troca de calor (MAIA et al., 2016; MARQUES et al., 2021) e, se os meios de troca de calor sensível e latente não forem suficientes para eliminar essa carga térmica, há um aumento da temperatura do núcleo corporal, refletido no aumento da temperatura retal (FONSÊCA et al., 2019). Para lidar com isso, mecanismos fisiológicos impulsionam maior vasodilatação com aumento do fluxo sanguíneo para a superfície da pele, aumentando também a sudorese e a frequência respiratória (FURTADO et al., 2020; MARQUES et al., 2021). Este trabalho tem como objetivo quantificar as condições fisiológicas e de transferência de calor em função dos níveis de estresse térmico, perdas de calor sensíveis e latentes de ovinos nativos do semiárido brasileiro mantidos em câmara climática e submetidos a temperaturas termoneutras e de estresse térmico.

2. Materiais e métodos

2.1 Local do experimento e câmara climática

O experimento foi conduzido em câmara climática na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Laboratório de Construções Rurais e Ambientada da Universidade Federal de Campina Grande, município de Campina Grande - PB.

A câmara mede 6,14 m de comprimento, 2,77 m de largura, com área construída de 17,00 m², fabricada em chapa de aço laminado com proteção anticorrosiva e preenchida com espuma de poliestireno (EPS). Os sistemas de refrigeração utilizados foram condicionadores de ar SPLIT, desumidificadores e umidificadores. A sala de controle está localizada ao lado da câmara onde se encontra a placa de monitoramento de temperatura e umidade do ar.

Para umidificação e desumidificação, foram utilizados umidificadores e desumidificadores comerciais acoplados ao sistema de controle MT-530 PLUS da Full Gauge Controls®, configurado via software SITRAD, responsável pela aquisição e armazenamento dos dados de temperatura do ar (TA) e umidade relativa do ar (UR). A aquisição de dados pelo software SITRAD foi realizada utilizando-se um termistor e um umidista, ambos localizados em um envelope permeável e posicionados na altura do centro de massa dos animais ($\pm 1,50$ m), e a velocidade do vento foi registrada por meio de um anemômetro.

Para a determinação da umidade relativa, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho (TPO), foram utilizados termohigrômetros® Datalogger Instrutherm HT-500, localizados na altura do centro de massa dos animais. A temperatura de globo negro foi obtida com o auxílio de globos pretos confeccionados com uma esfera plástica e um termômetro de mercúrio, e calibrados com o auxílio de um globo preto padrão com uma esfera de cobre da marca Instrutherm, posicionados no centro da instalação, a aproximadamente 1 metro de altura do piso da instalação. Para o cálculo do índice de estresse térmico (IET), utilizou-se a equação proposta por (MASCARENHAS et al., 2023) para ovelhas:

$$\text{IET} = 24.153 - (0.0523 * \text{TA}) + (0.746 * \text{TGN}) + (4.104 * \text{Eq}) \text{ Equação 1}$$

Onde:

TA -temperatura do ar;

TGN - temperatura de globo negro (°C);

Para verificar a velocidade do vento, um anemômetro foi instalado dentro da câmara climática, na altura do centro de massa dos animais, para que pudesse registrar o movimento do ar causado pelos exaustores.

2.2 Animais e manejo

Os procedimentos de pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, Protocolo CEP nº 097.2019.

Vinte e quatro ovinos machos inteiros, com idade média de $5 \pm 1,0$ meses e peso médio de $15 \pm 2,3$ kg, vermifugados no início do experimento, foram mantidos em 3 baias coletivas dentro da câmara, em grupos de oito animais. A alimentação e o fornecimento de água aos animais foram *ad libitum*, e a ração foi oferecida às 7:00 e 17:00 h, com ajuste diário do consumo com base nas sobras, e o consumo foi quantificado pelo total fornecido menos sobras em um período de 24 h. A água foi fornecida *ad libitum*, e o consumo foi quantificado de acordo com o total fornecido menos as sobras no período de 24 h, a quantidade de água foi pesada em uma balança de precisão.

A dieta constou de feno de Tifton (*Cynodon dactylon* (L) Pers), que constituiu 39,9% do volume total da ração, milho moído (43,4%), farelo de soja 33 (11,2%), ureia (1,0%), calcário calcítico (1,0%) e óleo vegetal (3,5%), conforme composição indicada por NRC, 2007.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com efeito de diferentes temperaturas. Durante 15 dias consecutivos, os animais foram expostos às temperaturas de 20,0; 24,0; 28,0; 32,0 e 36,0 °C com umidade relativa de 65%, com 10 dias de adaptação e 5 dias de coleta de dados. Os animais foram expostos por 8 h à exposição contínua em cada temperatura. Entre exposições e temperaturas, os animais permaneceram ao ar livre por 5 dias para eliminar o efeito residual.

2.4 Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e temperatura superficial (TS) foram mensuradas pela manhã, das 10 às 10h30, e à tarde, das 15 às 15h30.

A temperatura retal foi determinada inserindo-se um termômetro clínico veterinário diretamente no reto do animal (profundidade de 2,0 cm), com o bulbo próximo à mucosa, permanecendo inserido até a estabilização da leitura. A frequência respiratória foi obtida pela contagem direta dos movimentos dos flancos durante um período de 15s, extrapolando para um minuto (movimento por minuto). A frequência cardíaca foi medida com o auxílio de um estetoscópio flexível, posicionado diretamente sobre a região torácica esquerda na altura aproximada do arco aórtico, contando o número de movimentos durante 15s, e o valor coletado foi multiplicado por quatro para determinar a frequência cardíaca em bat/min.

A temperatura superficial foi obtida através de uma câmera de imagem térmica infravermelha (Fluke Ti 25, EUA) com calibração automática, quando os animais permaneceram imóveis, sem qualquer restrição e com mínima manipulação, evitando causar possíveis estresses aos mesmos. Posteriormente, os termogramas foram analisados pelo *software Smartview*, versão 4.1, por meio do qual foram obtidas temperaturas médias de três regiões que cobrem a maior parte do corpo do animal (incluindo pescoço, lateral e coxa), obtendo-se a temperatura média da superfície, considerando-se uma emissividade de 0,98. Com a média das temperaturas superficiais, foram calculados os gradientes térmicos: TR-TS e TS-TA.

2.5 Trocas de calor

O balanço energético dos animais no interior da câmara climática foi feito calculando-se a troca térmica total por unidade de área superficial dos animais, derivada da soma das trocas térmicas sensível (radiação e convecção) e latente (trato cutâneo e respiratório).

2.5.1 Trocas sensíveis

Para determinar as trocas de calor sensível entre o ambiente circundante e os animais, por unidade de superfície corpórea, foi adotado o seguinte modelo (TURNPENNY et al., 2000), de acordo com a Equação 2.

$$G_s = C_R + L \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

G_s - total sensível troca de calor entre o animal e o ambiente (W/m^2);

C_R - troca térmica por convecção (W/m^2);

L - troca de calor por radiação (W/m^2).

A troca de calor sensível não foi incluída na Equação 2, pois os animais estavam alojados em baias metálicas onde havia pouco contato entre os animais e o piso que possuía superfície de tela. A equação 3, proposta por (MCARTHUR, 1987), determinou a troca de calor por convecção, C_R .

$$C_R = \frac{\rho * C_p}{r_h} * (T_S - T_A) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

C_R - troca térmica por convecção (W/m^2);

ρ - densidade do ar (kg/m^3);

C_p - calor específico do ar (J/kg K);

r_h - resistência da camada limite à transferência de calor por convecção ($\text{m}^2 \text{K/W}$);

T_S - temperatura da superfície corpórea (K);

T_A - temperatura do ar (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor sensível depende da velocidade do vento, da geometria do corpo e da natureza da interface (MITCHELL, 1974). Para cabras expostas ao ar em movimento, com o tronco perpendicular ao fluxo aéreo (FRANK & NELSON, 1967) estabeleceu-se uma relação para determinar a

resistência da camada limite à perda de calor por convecção forçada que pode ser expressa pela Equação 4.

$$rh = \frac{\rho * C_p * d_b}{k * Nu} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

rh - resistência da camada limite à transferência de calor por convecção ($\text{m}^2 \text{ K/W}$);

ρ - densidade do ar (kg/m^3);

CP - calor específico do ar ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$);

db - diâmetro médio do tronco do animal (m);

k - condutividade térmica do ar (W/m K);

Nu - número Nusselt.

O número de Nusselt foi determinado pela Equação 5, quando considerada a representação dos corpos dos animais como sendo um cilindro.

$$Nu = 0.3 + 1.01 * Re^{0.48} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

Nu - número Nusselt;

Re – número de Reynolds.

O número de Reynolds foi obtido pela Equação 6.

$$Re = \frac{V * d_t}{\nu} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

Re - número de Reynolds;

V - viscosidade cinemática do ar (m^2/s);

dt - diâmetro de um globo preto padrão (0,15 m);

v - velocidade média de deslocamento aéreo (0,5 m/s).

As trocas para radiação de ondas longas foram calculadas utilizando-se a Equação 7, proposta por (MCARTHUR, 1987). Apenas a radiação de ondas longas foi considerada, pois não há radiação solar direta dentro da câmara climática.

$$L = \frac{\rho * C_p}{R_r} * (TS - \bar{T}_r) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

L - troca de calor por radiação (W/m^2);

ρ - densidade do ar (kg/m^3);

Cp - calor específico do ar (J/kg K);

Rr - resistência da camada limitante à transferência de calor por radiação ($\text{m}^2 \text{ K/W}$);

TS - Temperatura da superfície animal (K).

A resistência da camada limite à transferência de calor por radiação foi calculada pela Equação 8.

$$R_r = \rho * C_p * \left(4 * \varepsilon_s * \sigma * \bar{T}_M^3 \right) \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

R_r - resistência da camada limite à transferência de calor ($\text{m}^2 \text{ K/W}$);

ρ - densidade do ar (kg/m^3);

C_p - calor específico do ar ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$);

ε_s - emissividade da pele do animal (0,98);

σ - constante de Stefan-Boltzmann ($5,67051 * 10^{-8}, \text{m}^2 \text{ K/W}$);

- temperatura média entre T_s e (K). \bar{T}_M .

A temperatura radiante média foi obtida pela Equação 9, proposta por (SILVA, 2000).

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{T_g n^4 + \frac{h_c}{\varepsilon_{bg}} * (T_g n - T_A)} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

\bar{T}_r - temperatura radiante média;

h_c - coeficiente de convecção de um globo preto padrão;

BGT - temperatura de globo negro (K);

ε_{bg} - emissividade do globo negro;

T_A - temperatura do ar ($^\circ\text{C}$).

O coeficiente de convecção padrão do globo negro foi calculado pela Equação 10.

$$h_c = 0.38 * k * d_g * R_e^{0.6} * P_r^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

h_c - coeficiente de convecção padrão;

k - condutividade térmica do ar (W/m K);

d_g - Ddâmetro de um globo preto padrão (0,15 m);

número de Reynolds;

P_r - número Prandtl.

O número de Prandtl foi obtido pela Equação 11.

$$P_r = \frac{\rho * C_p * v}{k} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

ρ - densidade do ar (kg/m^3);

k - condutividade térmica do ar (W/m K);

C_p - calor específico do ar ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$);

ν - viscosidade cinemática do ar (m^2/s).

2.5.2 Trocas latentes

As trocas latentes totais (E_t) foram consideradas como o processo de evaporação respiratória e trocas cutâneas, adotando-se o modelo apresentado na Equação 12, conforme (Silva e Maia, 2011).

$$E_t = E_r + E_c \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

E_t - total de trocas latentes (W/m^2);

E_r - troca térmica por evaporação respiratória (W/m^2);

E_c - troca de calor por evaporação cutânea (W/m^2).

A equação 13 foi utilizada para calcular as trocas latentes do trato respiratório dos animais

$$E_r = \lambda * \dot{m} * \rho^{-1} * (\Psi_B - \Psi_A) \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

λ - calor latente de vaporização da água ($2260,87 \text{ J/g}$);

ρ - densidade do ar (kg/m^3);

Ψ_B - umidade absoluta do ar exalado (g/m^3);

Ψ_A - umidade absoluta do ar dentro da câmara (g/m^3).

A umidade absoluta do ar exalado pelos animais e do ar no interior da câmara climática foi calculada utilizando-se as Equações 14 e 15, respectivamente (SILVA, 2000).

$$\Psi_B = \frac{10^6 * M_w * e'(T_B)}{R * T_B} \quad (\text{Equação 14})$$

$$\Psi_A = \frac{10^6 * M_w * e*(T_A)}{R * T_A} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

M_w - massa molar de água ($18,016 \text{ g/mol}$);

T_B - temperatura do ar expirada pelos animais (K);

T_A - temperatura do ar no interior da câmara climática (K);

$e'(T_B)$ - pressão de vapor de saturação do ar à temperatura de T_B (kPa);

$e*(T_A)$ - pressão de vapor de saturação do ar à temperatura T_A (kPa);

R - constante universal de gás (8,3143 J/mol K).

A temperatura do ar exalado pelos animais foi estimada com base em observações empíricas feitas por (SILVA E MAIA, 2011), de acordo com a Equação 16.

$$T_B = 0.0024 * TA^2 + 0.1587 * TA + 28.277 \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

T_B - temperatura do ar exalado pelos animais (K);

T_A - temperatura do ar no interior da câmara climática (K).

Para estimar a perda de calor por evaporação cutânea (E_c), foi utilizada a equação desenvolvida por (SILVA E MAIA, 2011), que depende da temperatura superficial dos animais (T_S) de acordo com a Equação 17.

$$E_c = 31.5 + 3.67 * e^{\frac{TS-27.9}{2.1915}} \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

E_c - fluxo de calor por evaporação cutânea (W/m²);

T_S - temperatura da superfície (°C).

2.6 Propriedades e características do ar

As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, em função de cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por SILVA (2000) (Tabela 1).

A pressão parcial de vapor (e_a) foi calculada pelo produto entre a pressão de saturação do(s) vapor(es) d'água e a umidade relativa do ar (UR) de acordo com a Equação 18.

$$e_a = \frac{e_s * UR}{100} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

e_a - pressão Parcial de Vapor (kPa);

e_s - pressão de Saturação do Vapor D'Água (kPa);

UR - umidade relativa do ar (%).

Tabela 1. As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, de acordo com cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por (SILVA, 2000)

Características do ar	Equações	Unidades
Viscosidade cinemática	$v = 1,32909 * 10^{-5} + 9 * 10^{-8} * TA$	(m ² /s)

Densidade	$p = 1,289764 - 0,004111 * TA$	(kg/m ³)
Condutividade térmica	$k = 0,024324 + 6,2909 * 10^{-5} * TA$	(W/m °C)
Calor específico	$C_p = 1005,524 + 0,033714 * TA$	(J/kg °C)

A pressão de saturação do vapor d'água foi calculada pela equação de Tetens (Equação 19).

$$e_s = 0,6108 * 10^{\frac{7,5*TA}{237,3+TA}} \quad \text{(Equação 19)}$$

Onde:

es - pressão de saturação do vapor d'água (kPa);

TA - temperatura do ar (°C);

es - pressão de saturação de vapor d'água (kPa);

UR – umidade relativa do ar (%).

A Tabela 2 mostra os valores médios calculados de viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico do ar (C_p) e pressão parcial de vapor de ar (e_a), bem como os valores adimensionais de número de Nusselt (Nu), número de Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os cinco tratamentos avaliados.

Tabela 2. Valores médios calculados para viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico (C_p), bem como número de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os cinco tratamentos avaliados

Variáveis	Temperatura (°C)				
	20	24	28	32	36
Viscosidade cinemática (m ² /s)	1,51 *10 ⁻⁵	1,54*10 ⁻⁵	1,57*10 ⁻⁵	1,61*10 ⁻⁵	1,65*10 ⁻⁵
Densidade (kg/m ³)	1,20	1,19	1,17	1,16	1,14
Cond. térmica (W/m K)	0,04	0,043	0,02	0,04	0,04
Calor específico (J/kg °C)	1006,21	1006,33	1006,44	1006,57	1006,72
Número de Nusselt	48,90	48,46	48,02	47,54	47,01
Número de Reynold	4955,05	4857,09	4763,43	4660,48	4548,50
Número de Prandtl	0,42	0,43	0,71	0,43	0,43

2.7 Análise estatística

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) e, posteriormente, os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo PROC GLM da SAS (2001) e o teste de Tukey foi utilizado a 5% de probabilidade.

3. Resultados

O valor do IET (Tabela 3), de acordo com a classificação de MASCARENHAS et al. (2023) nas temperaturas de 20,0; 24,0 e 28 °C, apresentaram médias de 45,3; 50,0 e 55,5; respectivamente, ambientes classificados como confortáveis, na temperatura de 32,0 °C atingiram valores de 63,5 (aumento médio de 40,2% em relação à temperatura de 20,0 °C), classificados como desconforto leve a moderado, e 70,2 à temperatura de 36,0 °C, aumento médio de 55,0% quando comparado à temperatura de 20,0°C, ambiente classificado como alerta.

Os gradientes térmicos de TR ($P < 0,0001$), FR ($P < 0,0001$), TS ($P < 0,0001$), TR-TS ($P < 0,0001$), TS-TA ($P < 0,0001$) e o índice de estresse térmico ($P < 0,0001$) apresentaram diferenças significativas em função das temperaturas (Tabela 3), onde TR, FR, TS e IET aumentaram com o aumento da temperatura, enquanto os gradientes térmicos diminuíram com o aumento dessa variável. Comparando-se as temperaturas de 20,0 e 36,0 °C, houve aumento de 1,4% no TR, de acordo com esse comportamento a FR aumentou 99,8% e a TS aumentou 18,8%, assim como o IET aumentou 10,0% entre as duas temperaturas citadas.

Com o aumento da temperatura superficial dos animais, houve redução do gradiente térmico entre TR e TS, que a 20,0 °C foi de 6,3 °C, a 24,0 °C foi de 5,6 °C e a 28,0 °C foi de 5,7, e em temperaturas mais elevadas de 3,4 °C (32,0 °C) e 0,6 °C (36,0 °C), bem como houve redução do gradiente entre TS e TA, sendo 12,0; 8,9 e 5,2 °C nas temperaturas de 20,0; 24,0 e 28,0 °C e 3,5 e 2,8 °C nas temperaturas de estresse térmico.

Tabela 3. Variáveis fisiológicas, gradientes térmicos TR-TS e TS-TA, e índice de estresse térmico de ovelhas nativas em diferentes temperaturas.

Variáveis	Temperatura (°C)					EPM	Valor de P	Valor de P	
	20	24	28	32	36			Linear	Quadr.
Temperatura retal - TR(°C)	38,37d	38,50cd	38,67c	38,94b	39,30a	0,29	<.0001	<.0001	0,0121 ¹
Frequência respiratória - FR (mov/min)	29,38c	31,04c	32,58c	117,88b	199,79a	6,14	<.0001	<.0001	<.0001 ²
Temperatura superficial - TS(°C)	32,04e	32,87d	33,29c	35,50b	38,75a	0,36	<.0001	<.0001	<.0001 ³
Gradiente TR-TS (°C)	6,33a	5,81ab	5,60b	3,48c	0,50d	0,46	<.0001	<.0001	<.0001 ⁴
Gradiente TS-TA (°C)	11,96a	8,78b	5,41c	3,04d	2,88d	0,58	<.0001	<.0001	<.0001 ⁵
Índice de estresse térmico	45,29e	50,01d	55,45c	63,51b	70,18a	0,49	<.0001	<.0001	<.0001 ⁶

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey; EPM=erro padrão da média, ¹Y=39,06-0,09x+0,003x² (R²=0,57); ²Y=602,74-50,37x+1,09x² (R²=0,97); ³Y=45,55-1,26x+0,03x²; ⁴Y=-8,71+1,35x-0,03x² (R²=0,95); ⁵Y=48,28-2,47x+0,03x² (R²=0,96); ⁶Y=34,437-0,044x+0,029x² (R²=0,99)

Nas temperaturas de 20,0; 24,0 e 28,0 °C observou-se que 57,9, 44,1 e 30,2 % da dispersão do excesso de calor metabólico dos animais foram na forma sensível, onde 45,5, 47,2 e 57,7% foram por radiação e 54,5, 52,8 e 42,3% por convecção, respectivamente (Tabela 4) e 42,1; 55,9 e 68,8% do excesso de calor foi dissipado de forma latente, onde, 30,1; 38,0 e 37,4% foram eliminados pelo trato respiratório e 68,9; 62,0 e 62,7% pela pele.

Com o aumento da temperatura, os ovinos reduziram significativamente a capacidade de dissipar calor corporal nas formas sensíveis, onde a troca térmica por evaporação respiratória e cutânea correspondeu a 82,1 e 95,8% nas temperaturas de 32,0 e 36,0 °C, respectivamente (Tabela 4). Os mecanismos cutâneos foram reduzidos em 68,9 e 31,1% pelo trato respiratório a 32,0 °C, enquanto 85,1% foram por via cutânea e 14,9% pelo trato respiratório a 36,0 °C, demonstrando que estes são os meios mais importantes na liberação do excesso de calor em temperaturas elevadas.

Tabela 4. Médias dos fluxos de calor por radiação, convecção, sensível total, latente do trato respiratório, cutâneo, latente total e troca de calor total de ovelhas nativas em diferentes temperaturas.

Variáveis (W/m ²)	Temperatura (°C)					EPM	Valor de P	Valor de P	
	20	24	28	32	36			Linear	Quadr.
Radiação	29,34a	20,84b	16,09c	11,24d	5,34e	3,33	<.0001	<.0001 ¹	0,3485
Convecção	35,20a	23,31b	11,81c	10,79c	5,34d	4,12	<.0001	<.0001	<.0001 ²
Sensível total	64,54a	44,15b	27,90c	22,0,3c	10,68d	6,84	<.0001	<.0001	0,0043 ³
Latente do trato respiratório	14,14e	21,31d	24,10c	31,49b	36,37a	1,59	<.0001	<.0001 ⁴	0,9991
Cutâneo	32,79c	34,77c	40,43c	69,71b	208,03a	14,72	<.0001	<.0001	<.0001 ⁵
Latente total	46,93c	56,08c	64,53c	101,20b	244,40a	15,30	<.0001	<.0001	<.0001 ⁶
Troca de calor total	111,47bc	100,23c	92,43d	123,23b	255,08a	15,51	<.0001	<.0001	<.0001 ⁷

EPM=erro padrão da média, Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; ¹Y=59,67-1,52x (R²=0,84); ²Y=146,29-7,65x+0,10x² (R²=0,86); ³Y=220,51-10,25x+0,12x² (R²=0,86); ⁴Y=12,76+1,37x (R²=0,95); ⁵Y=802,14-64,44x+1,32x² (R²=0,91); ⁶Y=789,38-63,08x+1,32x² (R²=0,92); ⁷Wt=1009,89-73,33x+1,45x² (R²=0,88)

4. Discussão

O aumento do TR sob condições de estresse térmico indica que os mecanismos de troca de calor dos animais foram insuficientes para eliminar o excesso de calor metabólico produzido e, mesmo com os animais mantidos sob condições de estresse térmico, as médias de TR estiveram dentro da faixa estabelecida para a espécie, que pode variar de 38,5 a 39,5 °C (CUNNINGHAM, 2008), demonstrando adaptabilidade e rusticidade da espécie às condições estressantes (SEIXAS et al., 2017; RODRIGUES et al., 2023).

Comparando as temperaturas médias de 20,0 e 24,0 °C a 36 °C, observa-se um aumento do TR de 0,6 e 0,9 °C. A temperatura retal é um índice importante que pode ser usado para avaliar a severidade do estresse térmico, pois um aumento de 1,0 °C na temperatura retal é suficiente para reduzir o desempenho animal (GUPTA & MONDAL, 2019). FONSÊCA et al. (2019), expondo ovinos a diferentes níveis de temperatura ao longo do dia (21,0 a 38,0 °C), observaram que os animais regularam a temperatura retal dentro de uma faixa relativamente estreita de 1,4 °C, demonstrando a adaptação dos animais ao calor. PHULIA et al. (2010) relataram um aumento no TR (38,9 para 39,3 °C) quando caprinos foram expostos a condições de alta temperatura ambiente por um período superior a 6 h.

Considerando a classificação de SILANIKOVE (2000), na qual FR de 40 a 60, 60 a 80 e 80 a 120 mov/min caracterizam, respectivamente, estresse baixo, médio-alto e alto, e acima de 200 mov/min estresse severo, observa-se que os animais encontravam-se em condições confortáveis nas temperaturas de 20,0; 24,0 e 28,0 °C, estresse alto a 32° e estresse severo a 36 °C. A alta FR observada em ovinos sob estresse térmico pode exigir uma quantidade excessiva de glicose como fonte de energia para o funcionamento dos músculos do sistema respiratório (AL-DAWOOD, 2017).

Comparando-se os valores de temperatura de 20,0 com 32,0 e 36,0 °C, observa-se um aumento de 400,6 e 657,9%, respectivamente, na FR dos animais, evidenciando o uso mais intenso desse mecanismo para eliminar o excesso de calor produzido evaporativamente pelo trato respiratório (SEJIAN et al., 2017). MARQUES et al. (2021) mencionaram que com o aumento da temperatura, os caprinos aumentam a temperatura retal e superficial e a frequência respiratória, sendo que o estresse pode afetar o estado comportamental, fisiológico e metabólico dos ovinos em regiões de clima quente (MACIAS-CRUZ et al., 2016; LEITE et al., 2019). RODRIGUES et al. (2023) observaram que o valor dos hormônios tireoidianos diminuiu a partir da temperatura de 24 °C e o cortisol aumentou, mostrando que a partir daí os animais começaram a sentir alterações no metabolismo.

A elevação do segmento TS com o aumento da temperatura é justificada pelo aumento do fluxo sanguíneo para a superfície corpórea e vasodilatação, elevando a temperatura da pele para facilitar a dissipação de calor por mecanismos não evaporativos, como condução, convecção e radiação, sendo essa elevação um mecanismo que os ovinos utilizam para perder calor para o ambiente através da vasodilatação periférica. A medida que o gradiente entre o núcleo corporal e a pele aumenta o gradiente térmico entre a pele e o ambiente diminui (FONSÊCA et al., 2019), fenômeno que ocorre intensamente no verão. Observou-se aumento de 2,5 e 21,0% nas respostas de TR e TS comparando-se as temperaturas de 20,0 e 36,0 °C.

Em temperaturas termoneutras (TNT), esses gradientes (TR-TS) foram próximos a 6,0 °C, o que é considerado favorável para a troca de calor entre o núcleo corporal e a pele dos animais, assim como da pele para o ambiente (MEDEIROS et al., 2015). No entanto, a 36,0 °C, o gradiente foi de 0,5 °C, o que pode dificultar essas trocas de calor. Quando a temperatura do ar sobe e o gradiente térmico entre a superfície corporal e o ambiente diminui, dificultando a dissipação de calor por mecanismos de troca sensíveis (FONSÊCA et al., 2019). Nesse cenário, o animal tem que recorrer a mecanismos de troca

de calor por meios evaporativos (taxa cutânea e/ou respiratória) para eliminar o calor (SEJIAN et al., 2019; MARQUES et al., 2021).

Em temperaturas do ar iguais ou superiores a 30 °C, a perda de calor latente é a principal via de dissipação do excesso de calor metabólico produzido, e o aumento dos níveis de radiação solar pode causar aumento nas perdas de calor através do fluxo latente na superfície respiratória e cutânea (MAIA et al., 2015; MAIA et al., 2016). MARQUES et al. (2021) mencionaram que as cabras Boer reduziram as trocas de calor sensível de 38,0 para 8,0% e aumentaram as trocas de calor latente de 62,0 para 92,0%, quando comparadas temperaturas do ar de 26,0 e 34,0 °C, respectivamente, com 20,0% pelo trato respiratório e 80,0% pela epiderme.

Observa-se que nas temperaturas de 20,0; 24,0 e 28,0 °C, embora os animais tenham perdido a maior parte do excesso de calor metabólico na forma cutânea (latente), estavam em condições de homeostase, observando-se que nessas condições os mecanismos de troca de calor latente, especialmente o cutâneo, desempenharam o papel mais importante para o controle da homeotermia. A alta contribuição das trocas térmicas através da epiderme em detrimento da baixa contribuição das trocas convectivas para dissipar o excesso de calor metabólico produzido pelos animais em condições de conforto térmico pode ter sido influenciada pela baixa movimentação do ar na câmara climática (média de 0,5 m/s).

Na temperatura de 36,0 °C, quase todo o excesso de calor metabólico produzido pelos animais foi dissipado na forma evaporativa (95,9%), sendo a maior contribuição as perdas cutâneas, destacando-se que os animais aumentaram significativamente ($P < 0,05$) a frequência respiratória nessas condições em 541,0%, quando comparados à temperatura de 24,0 °C.

Observando as relações entre as trocas sensíveis totais (Gs) e latentes totais (Et) com as respostas fisiológicas TR, TS e FR, pode-se observar que as três respostas fisiológicas avaliadas correlacionaram-se significativamente ($P < 0,05$) com as trocas de calor. Com o aumento do TR, TS e FR, houve diminuição progressiva da quantidade de calor solicitada para o ambiente na forma sensível, uma vez que essas respostas apresentaram correlações negativas com Gs. Esse comportamento reflete a dificuldade que os animais passaram a ter em perder calor na forma sensível, de acordo com o aumento da temperatura do ar e, conseqüentemente, a redução do gradiente térmico, com os animais tendo que redirecionar o uso das reservas energéticas para a ativação e intensificação dos mecanismos de termorregulação, justificando assim o aumento linear

de Et na forma de TR, TS e FR sobem.

Em ovinos, a evaporação cutânea tem um mecanismo de resposta mais lento ao estresse ambiental, e a perda de calor por evaporação é desencadeada durante os momentos mais estressantes do dia (SILVA et al., 2017). MAIA et al. (2015) e FONSECA et al. (2017), mencionaram que a evaporação do sistema aumentou juntamente com a temperatura do ar e, em temperaturas elevadas, a evaporação respiratória foi responsável por uma média de 90,0% do calor total perdido por ovinos e caprinos, respectivamente.

A exposição dos animais a altas temperaturas pode desencadear disfunções metabólicas, onde as trocas sensíveis são reduzidas e há um aumento nas trocas evaporativas (EL-TARABANY et al., 2017; SILVA et al., 2017), com aumento da perda de água pelo trato respiratório (vapor d'água) e superfície cutânea (COSTA et al., 2015; SEJIAN et al., 2019). MASCARENHAS et al. (2023) mencionaram que os ovinos possuem um padrão de espessura epidérmica e número de glândulas sudoríparas por região corporal superior aos caprinos, e que o suor dos ovinos, além de excretar água, também elimina sais minerais, que são importantes para o correto funcionamento das funções corporais, mas o estresse térmico pode aumentar as necessidades energéticas dos animais devido aos processos de sudorese, respiração e proteção hormonal e celular empregadas para lidar com o aumento da temperatura central em resposta ao estresse térmico.

Os ovinos da raça Santa Inês reduziram o consumo de ração, o tempo de alimentação e a ruminação, e aumentaram o tempo ocioso e o consumo de água com o aumento da temperatura do ar (Furtado et al., 2021). LEITE et al. (2019) observaram que sob condições de estresse térmico (32,0 °C), as ovelhas aumentaram o consumo de água e o tempo de ociosidade e reduziram o número de bolos ruminais regurgitados por dia. Uma resposta comum dos mamíferos à desidratação é a inibição da respiração ofegante e da transpiração durante o estresse térmico. A redução da perda de água por evaporação em animais desidratados e sob estresse térmico pode aumentar a temperatura corporal mais cedo e mais rápido do que ocorreria em animais hidratados.

5. Conclusões

Com o aumento da temperatura, os animais elevam significativamente a temperatura retal e superficial e a frequência respiratória como forma de manter a

homeotermia. A troca de calor por evaporação respiratória e cutânea foi a mais eficiente. Na condição térmica de maior temperatura (36,0 °C), 95,8% das trocas térmicas foram por meio latente, das quais 85,1% pelo modo cutâneo.

6. Referências bibliográficas

AL-DAWOOD, A. Towards heat stress management in small ruminants—a review. *Annals of Animal Science*, v.17, n.1, p.59-88, 2017.

COSTA, W.P.; FAÇANHA, D.A.E.; LEITE, J.H.G.M.; SILVA, R.C.B.; SOUZA, C.H.; CHAVES, D.F.; VASCONCELOS, A.M.; SOTO-BLANCO, B.; VALE, A.M.; PIMENTA FILHO, E.C. Thermoregulatory responses and blood parameters of locally adapted ewes under natural weather conditions of Brazilian semiarid region. *Semina. Ciências Agrárias*, v.36, p.4589-4600, 2015.

CUNNINGHAM, J. *Cunningham's Text book of Veterinary Physiology*. Elsevier, New York; 2008.

EL-TARABANY, M.S.; EL-TARABANY, A.A.; ATTA, M.A. Physiological and lactation responses of Egyptian dairy Baladi goats to natural thermal stress under subtropical environmental conditions. *International Journal of Biometeorology*, v.61, p.61-68, 2017.

EUSTÁQUIO FILHO, A.; TEODORO, S.M.; CHAVES, M.A.; SANTOS, P.E.F.; SILVA, M.W.R.; MURTA, R.M.; CARVALHO, G.G.P.; SOUZA, L.E.B. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1807-1814, 2011.

FONSÊCA, V.F.C.; MAIA, A.S.C.; SARAIVA, E.P.; COSTA, C.C.M.; SILVA, R.G.; ABDOUN, K.A.; AL-HAIDARY, A.A.; SAMARA, E.M.; FULLER, A. Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. *Journal of Thermal Biology*, v.84, p.83-91, 2019.

FRANK, W.; NELSON, G.L. Nonevaporative Convective Heat Transfer from the Surface of a Bovine. *Transactions of the ASAE*. v.10, p.733-737, 1967.

FURTADO, D.A.; CARVALHO JUNIOR, S.B.; LOPES NETO, J.P.; SOUZA, B.B.; DANTAS, N.L.B. Adaptability of sheep to three salinity levels in different environments. *Semina. Ciências Agrárias*, v.41, p.283, 2020.

FURTADO, D.A.; CARVALHO JÚNIOR, S.B.; SOUZA, B.B.; DANTAS, N.L.B.; RODRIGUES, L.R. Ingestive behavior of Santa Inês sheep under thermoneutrality and thermal stress upon consumption of saline water. *Engenharia Agrícola*, v.41, p.19-24, 2021.

FULLER, A.; MITCHELL, D.; MALONEY, S.K.; ROBYN S.H.; FONSÊCA, V.F. C.;

MEYER, L.C.R.; VAN DE VEN, T.M.F.N.; EDWARD P. SNELLING, E.P. How dryland mammals will respond to climate change: the effects of body size, heat load and a lack of food and water. *Journal of Experimental Biology*, v.224, p.1-11, 2021.

GOIS, G.C.; CAMPOS, F.S.; CARNEIRO, G.G.; SILVA, T.S.; MATIAS, A.G.S. Estratégias de alimentação para caprinos e ovinos no semiárido brasileiro. *Nutri.Time* v.14, p.7001–7007, 2017

GUPTA, M.; MONDAL, T. Heat stress and thermoregulatory responses of goats: a review. *Biological Rhythm Research*, v.52, p.1-27, 2019.

INSTITUTO SAS. Sistema SAS para Windows. Versão 9.1. Instituto SAS Inc., Cary. 2001.

LALLO, C.H.O.; COHEN, J.; RANKINE, D.; TAYLOR, M.; CAMBELL, J.; STEPHENSON, T. Characterizing heat stress on livestock using the temperature humidity index (THI)—prospects for a warmer Caribbean. *Regional Environmental Change*, v.18, p.18:2329–2340, 2018.

LEITE, J.H.G.M.; D.A.E.; COSTA, W.P.; CHAVES, D.F.; GUILHERMINO, M.M.; SILVA, W.S.T.; BERMEJO, L.A. Thermoregulatory responses related to coat traits of Brazilian native ewes: an adaptive approach. *Journal of Applied Animal Research*, v. 46, p.353–359, 2018.

LEITE, J.H.G.M.; SILVA, R.G.; SILVA, W.S.T.; SILVA, W.E.; PAIVA, R.D.M.; SOUSA, J.E.R.; ASENSIO, L.A.B.; FAÇANHA, D.A.E. Locally adapted Brazilian ewes with different coat colors maintain homeothermy during the year in an equatorial semiarid environment. *International Journal of Biometeorology*, v.62, p.1635-1644, 2018.

LEITE, P.G.; MARQUES, J.I.; FURTADO, D.A.; LOPES NETO, J.P.; SOUZA, B.B.; NASCIMENTO, J. W. B. Ethology, physiological, and ingestive responses of sheep subjected to different temperatures and salinity levels of water. *International Journal of Biometeorology*, v.1, p.1-8, 2019.

MACÍAS-CRUZ, U.; CORREA-CALDERÓN, A.; MELLADO, M.; MEZA-HERRERA, C.A.; ARÉCHIGA, C.F.; AVENDAÑO-REYES, L. Thermoregulatory response to outdoor heat stress of hair sheep females at different physiological state. *International Journal of Biometeorology*, v.62, p.2151–2160, 2018.

MAIA, A.S.C.; DA SILVA, R.G.; NASCIMENTO, S.T.; NASCIMENTO, C.C.N.; PEDROZA, H.P.; DOMINGOS, H.G.T. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. *International Journal of Biometeorology*, v.59, p.1025-1033, 2015.

MAIA, A.S.C.; NASCIMENTO, S.T.; NASCIMENTO, C.C.N.; GEBREMEDHIN, K.G. Thermal equilibrium of goats. *International Journal of Biometeorology*, v.58, p.43-49. 2016.

MARQUES, J.I.; LEITE, P. G.; LOPES NETO, J. P.; FURTADO, D. A.; BORGES, V. P.; SOUSA, W. S. Estimation of heat exchanges in Boer crossbred goats maintained in a climate chamber. *Journal of Thermal Biology*, v.96, p.102-132, 2021.

MASCARENHAS, N. M. H.; FURTADO, D. A.; SOUZA, B. B.; SOUSA, O.B; COSTA, A. N. L.; FEITOSA, J. V.; SILVA, M. R.; BATISTA, L. F.; DORNELAS, K. C. 2023. Morphology of coat and skin of small ruminants reared in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Thermal Biology*, v.112, p.103-118, 2023.

McARTHUR, A.J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theoretical Biology*, v.126, p.203-238, 1987.

McDOWELL, R.E. Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales. São Paulo, Ícone. 1 ed. 183p, 1989.

MEDEIROS, L.F.D.; RODRIGUES, V.C.; VIEIRA, D.H.; SOUSA, S.L.G.; CABRAL NETO, O.; FIGUEIREDO, N.; PINTO, C.F.D.; MIRANDA, A.L.; VIOLENTO, C.B. Reações fisiológicas de cabras em diferentes ambientes e coeficiente de tolerância ao calor em cabritos. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v.37, p.286-296, 2015.

MITCHELL, D. Convective heat transfer from man and other animals. In: Heat loss from animals and man. (Monteith, J. L. & Mount, L. E. eds). p.59-76, 1974.

NRC. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids, p.1-362, 2007.

PÉREZ, R.V.; MACÍAS CRUZ, U.; REYES, L.A.; CORREA-CALDERÓN, A.; LÓPEZ BACA, M.Á.; RIVERA, A.L.L. Heat stress impacts in hair sheep production. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, v.11, p.205-222. 2020.

PHULIA, S.K.; UPADHYAY, R.C.; JINDAL, S.K.; MISRA, R.P. Alteration in surface body temperature and physiological responses in Sirohi goats during day time in summer season. *Indian Journal of Animal Sciences*, v.80, p.340-342, 2010.

RODRIGUES, R.C.M.; FURTADO, D.A.; RIBEIRO, N.L.; SILVA, R.S.; SILVA, J.A.P.C.; SILVA, M.R.; MASCARENHAS, N.M.H.; CAVALCANTI, C.R.; AYERS, G.D.J.; DORNELAS, K.C.; LIMA, P.R.; FIGUEIREDO, C.F.V. Respostas bioquímicas, hormonais e hematológicas sanguíneas de ovinos nativos submetidos a diferentes condições ambientais. *Pesquisa em Ciências Veterinárias*, v,165, 105067, 2023

SEJIAN, V.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J.; MALIK, P.K.; NAQVI, S.M.K LAL, R. Adapting Sheep Production to Climate Change. In: *Sheep Production Adapting to Climate Change*. Singapore: p.1-450, 2017.

SEJIAN, V.; BHATTA, R.; GAUGHAN, J.B.; DUNSHEA, F.R.; LACETERA, N. Review: Adaptation of animals to heat stress. *animal*, v.12, p.431-444, 2019.

SEIXAS, L.; MELO, C.B.; TANURE, C.B.; PERIPOLLI, V.; MCMANUS, C. Heat tolerance in Brazilian hair sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v.40, p.593-601, 2017.

SILVA, R.G. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambiente tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.1244-1252, 2000.

SILVA, W.E.; LEITE, J.H.G.M.; SOUSA, J.E.R.; COSTA, W.P.; SILVA, W.S.T.; GUILHERMINO, M.M.; FAÇANHA, D.A.E. Daily rhythmicity of the thermoregulatory responses of locally adapted Brazilian sheep in a semiarid environment. *International Journal of Biometeorology*, v.61, p.1221-1231, 2017.

SILVA, V.C.; NASCIMENTO, R.N.; PINHEIRO LOPES, J.P.; LOPES, F.F.M.; RIBEIRO, J.M.; FURTADO, D.A. Animal thermal comfort index for the state of Paraíba, Brazil: trend, influencing factors, and mitigating measures. *THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY*, v.1, p.1-12, 2021.

SILVA, R.G.D., MAIA, A.S.C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1143-1147, 2011.

TURNPENNY, J.R.; MCARTHUR, A.J.; CLARK, J.A.; WATHES, C.M. Thermal balance of livestock: 1. A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.101, p.15-27, 2000.

Artigo 2

Estimativas de trocas de calor em ovinos de raças nativas mantidas em ambiente controlado

ESTIMATIVAS DE TROCAS DE CALOR EM OVINOS DE RAÇAS NATIVAS MANTIDAS EM AMBIENTE CONTROLADO

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar os níveis de estresse térmico e de perda de calor sensível e latente em ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês, mantidos em ambiente controlado em temperaturas termoneutras (TTN: 20,0; 24,0 e 28,0 °C) e sob estresse térmico (TES: 32,0 e 36,0 °C). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x5, com três raças e cinco temperaturas, com seis repetições. O comportamento das variáveis fisiológicas em função da temperatura foi significativo ($P < 0,0001$), e houve aumento nas variáveis fisiológicas com a elevação da temperatura. A temperatura das costas, pernas, olhos e tímpanos não apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$) entre as raças. A frequência respiratória e a temperatura superficial apresentaram a melhor correlação com o calor latente, com coeficiente de correlação de 0,88 e 0,81, respectivamente. A perda de calor sensível apresentou correlação inversa com as variáveis fisiológicas, TR, FR e TS de -0,31; -0,65 e -0,46, respectivamente. Em condições térmicas de 36 °C, os animais perderam quase a totalidade, mais 90%, do calor metabólico excedente na forma latente (pele e trato respiratório) e, à medida que o TA subiu, as respostas FR e TS apresentaram maiores correlações com as trocas latente e sensível total, respectivamente.

Palavras-chave: Estresse térmico, troca latente, troca sensível.

ESTIMATES OF HEAT EXCHANGE IN NATIVE BREED SHEEP KEPT IN A CONTROLLED ENVIRONMENT

Abstract: The objective of this work was to determine the levels of thermal stress and sensible and latent heat loss in sheep of the Soinga, Morada Nova and Santa Inês breeds, kept in a controlled environment at thermoneutral temperatures (TTN: 20.0; 24.0 and 28.0 °C) and under thermal stress (TES: 32.0 and 36.0 °C). The experimental design used was completely randomized, in a 3x5 factorial scheme, with three breeds and five temperatures, with six replications. The behavior of physiological variables as a function of temperature was significant ($P < .0001$), and there was an increase in physiological variables with increasing temperature. The temperature of the back, legs, eyes and eardrums showed no significant difference ($P > 0.05$) between the breeds. Respiratory rate and surface temperature showed the best correlation with latent heat, with a correlation coefficient of 0.88 and 0.81, respectively. The loss of sensible heat showed an inverse correlation with the physiological variables, TR, FR and TS of -0.31; -0.65 and -0.46, respectively. In thermal conditions of 36 °C, the animals lost almost all, over 90%, of the excess metabolic heat in latent form (skin and respiratory tract) and, as the AT increased, the RR and TS responses showed greater correlations with the total latent and sensory exchanges, respectively.

Keywords: Thermal stress, latent exchange, sensitive exchange.

1. Introdução

Os ovinos estão amplamente distribuídos em diferentes regiões e condições climáticas e, devido à sua adaptabilidade, são criados nas condições climáticas mais extremas, como em regiões áridas e semiáridas (BEN SALEM, 2010; ALHIDARY et al., 2012; MCMANUS et al., 2016), apresentando bom desempenho produtivo e reprodutivo, fornecendo importantes fontes de proteína na economia global (AL-DAWOOD, 2017). No semiárido brasileiro ovinos nativos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês são utilizados para produção de carne e pele, pois são animais deslanados e extremamente adaptados às condições da região.

A faixa de tolerância de temperatura ambiental para ovinos adultos está entre 12,0 e 32,0 °C (CWYNAR et al., 2014). A exposição destes animais à radiação solar em temperaturas ambientes acima de 35,0 °C dificulta seu equilíbrio térmico, tornando-se um fator importante na restrição da alta produtividade durante as estações quentes e afetando seu potencial econômico (LIU et al., 2012).

Uma das limitações na produtividade de ovinos é o estresse térmico em regiões de clima quente (SILANIKOVE, 2000; GARCIA, 2013). No entanto, animais criados em países localizados na zona temperada também estão sofrendo os efeitos desse estresse, devido ao aumento das temperaturas no verão e ao aumento da ocorrência de ondas de calor nessas regiões (MASCARENHAS et al., 2023).

Altas temperaturas podem provocar estresse térmico, onde os ovinos mobilizam mecanismos fisiológicos para eliminar a carga excessiva de calor, alterando suas funções biológicas (RODRIGUES et al., 2023), como o aumento da temperatura retal, superficial e timpânica, frequência cardíaca e respiratória (MAIA et al., 2016; SEJIAN et al., 2018; FONSECA et al., 2019; FURTADO et al., 2021; MARQUES et al., 2021).

A dissipação de calor em ovinos ocorre em função direta do ambiente, que depende do gradiente térmico entre a temperatura corporal do animal e a do ambiente (SEJIAN et al., 2018). Quanto mais alto esse gradiente térmico, maior a capacidade do animal de dissipar calor. Quando esse gradiente térmico é reduzido, há uma redução na perda de calor sensível, mobilizando mecanismos de termólise latente através da evaporação de água via trato respiratório e da superfície da pele através da sudorese (MARQUES et al., 2021; MASCARENHAS et al., 2023).

O objetivo deste trabalho foi determinar os níveis de estresse térmico e as perdas de calor sensível e latente de ovinos das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês,

mantidos em ambiente controle em temperaturas termoneutras (TTN: 20,0; 24,0 e 28,0 °C) e sob estresse térmico (TES: 32,0 e 36,0 °C)

2. Material e métodos

2.1 Local do experimento e câmara climática

O experimento foi conduzido em câmara climática na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Laboratório de Construções Rurais e Ambientada da Universidade Federal de Campina Grande, município de Campina Grande-PB.

A câmara mede 6,14 m de comprimento, 2,77 m de largura, com área construída de 17,00 m², fabricada em chapa de aço laminado com proteção anticorrosiva e preenchida com espuma de poliestireno.

2.2 Animais e dieta

Os procedimentos de pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, Protocolo CEP nº 097.2019.

Foram utilizados dezoito ovinos machos não castrados das raças Soinga, Morada Nova e Santa Inês, com idade média de 5±1,0 meses e peso médio de 15±2,3 kg, vermifugados no início do experimento, mantidos em 3 baias coletivas no interior da câmara, em grupos de oito animais. A alimentação e o fornecimento de água aos animais foram *ad libitum*. A ração foi disponibilizada às 7 e 17 h, com ajuste diário do consumo com base nas sobras. O consumo foi quantificado pelo total fornecido menos sobras em um período de 24 h. A água foi fornecida *ad libitum*, e seu consumo foi quantificado de acordo com o total fornecido menos as sobras no período de 24 h, a quantidade de água foi pesada em uma balança de precisão.

A dieta constou de feno de Tifton (*Cynodon dactylon* (L) Pers), que constituiu 39,9% do volume total da ração, milho moído (43,4%), farelo de soja 33 (11,2%), ureia (1,0%), calcário calcítico (1,0%) e óleo vegetal (3,5%), conforme composição indicada por (NCR, 2007).

Durante 15 dias consecutivos, os ovinos (Soinga, Morada Nova e Santa Inês) foram expostos às temperaturas de 20,0; 24,0; 28,0; 32,0 e 36,0 °C com umidade relativa

de 65%, com 10 dias de adaptação e 5 dias de coleta de dados. Os animais foram expostos por 8 h à exposição contínua em cada temperatura. Entre exposições e temperaturas, os animais permaneceram ao ar livre por 5 dias para eliminar o efeito residual.

2.3 Variáveis ambientais

Os sistemas de refrigeração utilizados foram condicionadores de ar SPLIT, desumidificadores e umidificadores. A sala de controle está localizada ao lado da câmara onde está instalada a placa de monitoramento de temperatura e umidade do ar.

Para umidificação e desumidificação, foram utilizados umidificadores e desumidificadores comerciais acoplados ao sistema de controle MT-530 PLUS da Full Gauge Controls®, configurado via software SITRAD, responsável pela aquisição e armazenamento dos dados de temperatura do ar (TA) e umidade relativa do ar (UR). A aquisição de dados pelo software SITRAD foi realizada utilizando um termistor e um umidista, ambos localizados em um envelope permeável e posicionados na altura do centro de massa dos animais ($\pm 1,50$ m), enquanto a velocidade do vento foi registrada por meio de um anemômetro.

Para a determinação da umidade relativa, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho (TPO), foram utilizados termohigrômetros® Datalogger Instrutherm HT-500, localizados na altura do centro de massa dos animais. A temperatura de globo negro foi obtida com o auxílio de globos pretos confeccionados com uma esfera plástica e um termômetro de mercúrio, e calibrados com o auxílio de um globo preto padrão com uma esfera de cobre da marca Instrutherm, posicionados no centro da instalação, a aproximadamente 1 m de altura do piso da instalação.

Para verificar a velocidade do vento, um anemômetro foi instalado dentro da câmara climática, na altura do centro de massa dos animais, para que pudesse registrar o movimento do ar causado pelos exaustores.

2.4 Variáveis fisiológicas

As variáveis fisiológicas temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e temperatura superficial (TS) foram mensuradas pela manhã, das 10 às 10h30, e à tarde, das 15 às 15h30.

A temperatura retal foi determinada inserindo-se um termômetro clínico

veterinário inserido diretamente no reto do animal (profundidade de 2,0 cm) com o bulbo próximo à mucosa, permanecendo inserido até a estabilização da leitura. A frequência respiratória foi obtida pela contagem direta dos movimentos dos flancos durante um período de 15 s, extrapolando para um minuto (mov/min). A frequência cardíaca foi medida com o auxílio de um estetoscópio flexível, posicionado diretamente sobre a região torácica esquerda na altura aproximada do arco aórtico, contando o número de movimentos durante 15 s, e o valor coletado foi multiplicado por quatro para determinar a frequência cardíaca em batimentos por minuto (bat.min).

A temperatura superficial foi obtida através de uma câmera de imagem térmica infravermelha (Fluke Ti 25, EUA) com calibração automática., quando os animais permaneceram imóveis, sem qualquer restrição e com mínima manipulação, evitando causar possíveis estresses. Posteriormente, os termogramas foram analisados pelo *software Smartview*, versão 4.1, por meio do qual foram obtidas temperaturas médias de três regiões que cobrem a maior parte do corpo do animal (incluindo pescoço, lateral e coxa), obtendo-se a temperatura média da superfície, considerando-se uma emissividade de 0,98.

2.5 Trocas de calor

Trocas sensíveis

Para determinar as trocas de calor sensível entre o ambiente circundante e os animais, por unidade de superfície corpórea, foi adotado o seguinte modelo (Turnpenny et al., 2000), de acordo com a Equação 2.

$$G_s = C_R + L \quad (\text{Eq 2}).$$

Onde:

G_s - total de trocas de calor sensível entre o animal e o ambiente (W/m²);

C_R - troca térmica por convecção (W/m²);

L - troca de calor por radiação (W/m²).

A troca de calor por convecção, C_R, foi determinada usando a equação de McArthur (1987):

$$C_R = \frac{\rho * C_p}{r h} * (T_S - T_A) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

CR - troca de calor por convecção (W/m²);

ρ - densidade do ar (kg/ m³);

Cp - calor específico do ar (J/kg °C);

rh - resistência da camada limite à transferência de calor por convecção (m² K/W);

TS - temperatura da superfície corpórea (K);

TA – temperatura do ar (K)

Frank & Nelson (1967) estabeleceram uma relação para determinar a resistência da camada limite à perda de calor por convecção forçada:

$$rh = \frac{\rho * Cp * db}{k * Nu} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: rh - resistência da camada limite à transferência de calor por convecção (m² K/W); ρ densidade do ar (kg/ m³); CP - calor específico do ar (J/kg °C); db - diâmetro médio do tronco do animal (m); k - condutividade térmica do ar (W/m K); Nu - número Nusselt.

O número de Nusselt foi determinado utilizando-se a seguinte equação:

$$Nu = 0,3 + 1,01 * Re^{0,48} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: Nu - nusselt Number; Re – número de Reynolds.

O número de Reynolds foi obtido pela equação:

$$Re = \frac{V * dt}{\nu} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde: Re - número de Reynolds; V - viscosidade cinemática do ar (m² /s); dt - diâmetro de um globo preto padrão (0,15 m); v - velocidade média de deslocamento aéreo (0,5 m/s).

A troca de radiação de ondas longas foi calculada utilizando a equação proposta por McArthur (1987):

$$L = \frac{\rho * Cp}{Rr} * (Ts - \bar{T}_r) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde: L - troca térmica por radiação (W/m²); ρ - densidade do ar (kg m-3); Cp - calor específico do ar (J/kg K); Rr - resistência da camada limite à transferência de calor por radiação (m² K/W); TS - temperatura da superfície animal (K); - temperatura radiante média (K). \bar{T}_r .

A resistência da camada limite à transferência de calor por radiação foi calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$R_r = \rho * C_p * \left(4 * \varepsilon_s * \sigma * \bar{T}_M^3 \right) \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde: R_r - resistência da camada limite à transferência de calor ($\text{m}^2 \text{ K/W}$); ρ - densidade do ar (kg/m^3); C_p - calor específico do ar ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$); ε_s - emissividade da pele do animal (0,98); σ - constante de Stefan-Boltzmann ($5,67051 * 10^{-8}$, $\text{m}^2 \text{ K/W}$); - Temperatura média entre T_s e (K). \bar{T}_M .

A temperatura radiante média foi obtida utilizando-se a equação proposta por Silva (2000):

$$\bar{T}_r = \sqrt[4]{T_{gn}^4 + \frac{h_c}{\varepsilon_{bg}} * (T_{gn} - TA)} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde

\bar{T}_r - temperatura radiante média;

h_c - coeficiente de convecção de um globo preto padrão;

T_{gn} - temperatura de globo negro (K);

ε_{bg} - emissividade do globo negro;

TA - temperatura do ar ($^\circ\text{C}$).

O coeficiente de convecção padrão do globo negro foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

$$h_c = 0,38 * k * d_g * R_e^{0,6} * P_r^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde: ? coeficiente de convecção padrão; k - condutividade térmica do ar (W/m K); - diâmetro de um globo preto padrão (0,15 m); $R_{d_g e}$ - número de Reynolds;

PR - número Prndtl.

O número de Prandtl foi obtido pela equação:

$$P_r = \frac{\rho * C_p * \nu}{k} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde: ρ - densidade do ar (kg/m^3); k - condutividade térmica do ar (W/m K); C_p - calor específico do ar ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$); ν - viscosidade cinemática do ar (m^2/s).

As trocas latentes totais (E_t) foram consideradas como o processo de evaporação respiratória e trocas cutâneas (Silva e Maia, 2011).

$$E_t = E_r + E_c \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: E_t - total de trocas latentes (W/m²); E_r - troca térmica por evaporação respiratória (W/m²); E_c - troca de calor por evaporação cutânea (W/m²).

A troca latente do trato respiratório dos animais foi calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$E_r = \lambda * \dot{m} * \rho^{-1} * (\Psi_B - \Psi_A) \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde: λ - calor latente de vaporização da água (2260,87 J/g), \dot{m} - fluxo mássico; ρ - densidade do ar (kg/m³); Ψ_B - umidade absoluta do ar exalado (g m⁻³); Ψ_A - umidade absoluta do ar no interior da câmara (g/m³).

A umidade absoluta do ar exalado pelos animais e do ar no interior da câmara climática foi calculada utilizando-se as equações propostas por Silva (2000).

$$\Psi_B = \frac{10^6 * M_w * e'(T_B)}{R * T_B} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$\Psi_A = \frac{10^6 * M_w * e*(T_A)}{R * T_A} \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde: M_w - massa molar de água (18.016 g mol⁻¹); T_B - temperatura do ar exalado pelos animais (K); T_A - temperatura do ar no interior da câmara climática (K); $e'(T_B)$ - pressão de vapor de saturação do ar à temperatura de T_B (kPa); $e*(T_A)$ - pressão de vapor de saturação do ar à temperatura T_A (kPa); R - constante universal de gás (8,3143 J/mol K).

A temperatura do ar exalado pelos animais foi estimada com base em observações empíricas feitas por (Silva e Maia, 2011).

$$T_B = 0,0024 * T_A^2 + 0,1587 * T_A + 28,277 \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde: T_B - temperatura do ar exalado pelos animais (K); T_A - temperatura do ar no interior da câmara climática (K).

Para estimar a perda de calor por evaporação cutânea (E_c), utilizou-se a equação desenvolvida por (Silva e Maia, 2011):

$$E_c = 31,5 + 3,67 * e^{\frac{TS-27,9}{2,1915}} \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde: E_c - fluxo de calor por evaporação cutânea (W/m²); TS - temperatura da Superfície (°C);

2.6 Propriedades e características do ar

As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, em função de cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por Silva (2000) (Tabela 1).

Tabela 1. As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos, de acordo com cada temperatura do ar avaliada, conforme sugerido por (Silva, 2000)

Características do ar	Equações	Unidades
Viscosidade cinemática	$v = 1,32909 * 10^{-5} + 9 * 10^{-8} * TA$	(m ² /s)
Densidade	$p = 1,289764 - 0,004111 * TA$	(kg/m ³)
Condutividade térmica	$k = 0,024324 + 6,2909 * 10^{-5} * TA$	(W/m °C)
Calor específico	$C_p = 1005,524 + 0,033714 * TA$	(J/kg °C)

A pressão parcial de vapor (e_a) foi calculada pelo produto entre a pressão de saturação do(s) vapor(es) d'água e a umidade relativa (UR):

$$e_a = \frac{e_s * RH}{100} \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde: e_a - pressão Parcial de Vapor (kPa); e_s - pressão de Saturação de Vapor D'Água (kPa); UR - umidade relativa do ar (%).

A pressão de saturação do vapor d'água foi calculada pela equação de Tetens (Eq.

$$19) \quad e_s = 0,6108 * 10^{\frac{7,5 * TA}{237,3 + TA}}$$

Onde: e_s - pressão de saturação de vapor d'água (kPa); TA - temperatura do ar (°C).

Foram calculados os valores médios de viscosidade cinemática (v), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico do ar (C_p) e pressão parcial de vapor de ar (e_a), bem como os valores adimensionais de número de Nusselt (Nu), número de Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os cinco tratamentos avaliados (Tabela 2)

Tabela 2. Valores médios de viscosidade cinemática (ν), densidade (ρ), condutividade térmica (k), calor específico do ar (C_p) e pressão parcial de vapor de ar (e_a), bem como os valores adimensionais de número de Nusselt (Nu), número de Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os cinco tratamentos avaliados

Variável	Temperatura- T (°C)					Raça – B		
	20	24	28	32	36	MN	SOI	STI
Condutividade térmica ((W/m K)	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.04	0.04	0.04
Densidade ((kg/m ³)	1.21	1.19	1.18	1.56	1.42	1.17	1.17	1.17
Calor específico ((J/kg °C)	1006.19	1006.33	1006.46	1006.62	1006.73	1006.46	1006.46	1006.46
Viscosidade cinemática ((m ² /s)	0.000015	0.000015	0.000015	0.000016	0.000016	0.000015	0.000015	0.000015
Número de Prandtl	0.42	0.429	0.430	0.432	0.433	0.43	0.43	0.43
Número de Reynold	4969.98	4861.18	4751.22	4623.32	4541.95	4750.63	4749.96	4748.01
Número Nusselt	48.98	48.48	47.97	47.37	46.99	47.96	47.96	47.96

MN=Morada Nova; SO=Soinga; STI= Santa Inês

2.7 Análise estatística

O delineamento é inteiramente casualizado com factorial 3x5, sendo três raças ovinas (Santa Inês, Soinga e Morada Nova) e cinco temperaturas (20, 24, 28, 32 and 36 °C)

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk ($P > 0,05$) e, posteriormente, os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo PROC GLM da SAS (2001) e o teste de Tukey foi utilizado a 5% de probabilidade. Foi feita análise de correlação pelo PROC CORR do SAS (2001) entre as variáveis fisiológicas (TR, FR e TS) e o calor latente e sensível.

A ACP foi realizada pelo processo PRINCOMP (SAS, 2001), a importância relativa foi avaliada por autovalores (variâncias), definindo-se assim os fatores a serem extraídos pelo método de rotação varimax para melhor interpretabilidade.

3. Resultados

As variáveis fisiológicas não apresentaram diferença significativa ($P>0,05$) na interação temperatura x raça. No entanto, o comportamento das variáveis fisiológicas em função da temperatura foi significativo ($P<0,0001$) e, houve aumento nos valores das variáveis fisiológicas com a elevação da temperatura. Além disso, as variáveis de temperatura do dorso, perna, olho e tímpano não apresentaram diferenças significativas ($P>0,05$) dependendo da raça (Tabela 3).

Table 3. Variáveis fisiológicas dos ovinos nativos em diferentes temperaturas

Letras diferentes na linha diferem de acordo com o teste de Tukey; EPM= erro padrão da

Variável	Temperatura - T					Raça - B			EP M	<i>p</i> -valor		
	20	24	28	32	36	MN	SO	STI		T	B	T*B
Freq. Resp. (mov/min)	29,17c	30,83c	33,00c	120,61 b	199,78 a	81,93a b	85,33a	80,77b	5.79	<,0001	0.008	0.146
Freq. cardíaca (bat.min)	110,06 a	100,78 b	100,88 b	100,67 b	117,11 a	101,47 b	109,90 a	106,33 a	7.99	<,0001	0.000	0.171
Temperatura retal (°C)	38,36d	38,49c	38,65c	38,91b	39,23a	38,62b	38,75a	38,81a	0.28	<,0001	0.031	0.023
Temp. da superfície (°C)	32,03e	32,83d	33,29c	33,45b	38,80a	34,57a	34,31b	34,56a	0.38	<,0001	0.014	0.948
Tempera da pele do pescoço (°C)	35,68b	34,39d	35,07c	35,00c	38,94a	35,96a	35,67b	35,82a b	0.40	<,0001	0.020	0.886
Temperatura da pele do peito (°C)	35,69b	33,88d	35,05c	35,00c	38,99a	35,71a b	35,53b	35,94a	0.47	<,0001	0.004	0.558
Temperatura do pelo no peito (°C)	30,51e	33,09d	33,74c	35,83b	38,73a	34,36a b	34,19 b	34,60 a	0.62	<,0001	0.039	0.874
Temperatura da pele traseira (°C)	34,59b	33,14c	34,53b	34,92b	39,05a	35,30	35,07b	35,36a	0.44	<,0001	0.036	0.730
Temperatura traseira do pelo (°C)	29,95d	32,54c	33,05c	35,76b	38,83a	34,18a	33,71b	34,19a	0.61	<,0001	0.003	0.680
Temp. da barriga (°C)	30,58d	31,65c	31,94c	35,11b	38,91a	33,66a	33,63a	33,62a	0.70	<,0001	0.967	0.981
Temp.da perna (°C)	27,42e	30,05c	29,23d	35,66b	38,18a	32,22a	32,05a	32,05a	0.82	<,0001	0.666	0.945
Temp. ocular (°C)	35,54d	35,82c d	36,02c	37,05b	38,94a	36,63a	36,63a	36,76a	0.33	<,0001	0.187	0.998
Temp. timpânica (°C)	27,81e	32,25d	35,47c	38,21b	40,46a	34,88a	34,82a	34,82a	0.88	<,0001	0.952	0.448

média; MN=Morada Nova; SO=Soinga; STI= Santa Inês

Com o aumento da temperatura, os mecanismos de troca térmica de radiação, convecção e troca total sensível de calor foram significativamente reduzidos ($P < 0,05$). Em comparação com 36 °C, as reduções na troca térmica sensível total (Tabela 4) foram de 91,84; 90,35 e 86,74 % a 20, 24 e 28 °C, respectivamente. Por outro lado, a troca de calor latente do trato respiratório, a troca de calor latente da pele e a troca de calor latente total aumentaram com o aumento da temperatura. Nas temperaturas de 20, 24 e 28 °C, as trocas de calor latente corresponderam a 38,56; 48,10 e 62,21 %, respectivamente.

As trocas de calor por radiação, convecção e calor total sensível das raças nas diferentes temperaturas não apresentaram diferença significativa ($P > 0,05$) (Tabela 4). Entretanto, houve aumento do fluxo de calor no trato respiratório e na pele das raças Morada Nova e Soinga ($P < 0,05$), indicando maior capacidade de dissipação de calor nessas raças.

A 20, 24 e 28 °C, as três raças apresentaram valores muito semelhantes, onde, em média, 57,90; 44,05 e 30,19% da dispersão total do calor metabólico excedente dos animais estavam na forma sensível. Dessas quantidades, aproximadamente 45,46; 47,20 e 57,67% foram por radiação, enquanto 54,54; 52,80 e 42,33% foram por convecção, respectivamente. Além disso, aproximadamente 42,10; 55,95 e 68,81% do excesso de calor foi dissipado de forma latente, sendo 30,13; 38,00 e 37,35% eliminados pelo trato respiratório e 68,88; 62,00 e 62,65% pela pele (Tabela 4).

Embora os animais tenham perdido a maior parte do excesso de calor metabólico através da pele (latente) a 20, 24 e 28 °C, eles estavam em condições de homeostase. Observou-se que, nessas três condições, os mecanismos latentes de troca de calor, especialmente a troca cutânea, desempenharam o papel mais importante no controle da homeotermia.

Nas temperaturas de 32 e 36 °C, houve redução significativa na capacidade das três raças de dissipar o calor corporal sensivelmente. As trocas térmicas por evaporação respiratória e cutânea foram responsáveis por 81,23 e 94,61 %, respectivamente. A 32 °C, 68,44% foram atribuídos a mecanismos cutâneos e 31,12 % ao trato respiratório, enquanto a 36 °C, 85,12 % ocorreram via pele e 14,88 % via via respiratória, destacando-se como o meio mais importante de liberação do excesso de calor em altas temperaturas.

A 36 °C, praticamente todo o calor metabólico excedente produzido pelos animais foi dissipado evaporativamente (94,50%), sendo as perdas de pele as que mais contribuíram. No entanto, houve um aumento significativo ($P < 0,05$) de 539% na

frequência respiratória dos animais nessas condições, em comparação com a temperatura de 24°C (Tabela 4).

Tabela 4 Fluxos de calor medidos por radiação, convecção, sensibilidade total, latência total e troca térmica total de ovinos nativos em diferentes temperaturas

Variável (W m ⁻²)	Temperatura (°C)					Raças			EPM	<i>p</i> -valor		
	20	24	28	32	36	MN	SOI	STI		T	B	T*B
Radiação	29,87a	21,46b	15,88c	11,24d	6,02e	17,31	16,65	16,72	1,54	<,0001	0,1986	0,5858
Convecção	33,51a	23,63b	16,86c	11,43d	5,91e	18,69	18,02	18,09	1,68	<,0001	0,2457	0,5659
Total sensível	63,38a	45,09b	32,74c	22,67d	11,93e	36,00	34,67	34,82	3,22	<,0001	0,2223	0,5758
Respiratório	5,57d	7,08d	11,41c	17,26 b	30,51a	14,54	14,04	14,52	1,66	<,0001	0,4172	0,6556
Cutâneo	34,21d	34,70d	42,45c	79,12b	195,68a	79,22a	78,76a	73,72b	7,21	<,0001	0,0066	0,0002
Total latente	39,78d	41,78d	53,86c	96,37b	226,19a	93,76a	92,80a	88,23b	7,34	<,0001	0,0104	0,0005
Trocas térmicas total	103,16e	86,87d	86,61d	119,05b	238,12a	129,76a	127,47ab	123,05b	8,31	<,0001	0,0087	0,0021

Letras diferentes na linha diferem de acordo com o teste de Tukey; EM= erro padrão da média; MN=Morada Nova; SO=Soinga; STI= Santa Inês

As correlações entre as respostas fisiológicas temperatura retal (TR), temperatura superficial (TS) e frequência respiratória (FR) com perda de calor total sensível (Gs) e perda de calor latente total (Et) são apresentadas na Figura 1, com intervalo de confiança de 95%. Dentre as respostas avaliadas, a frequência respiratória e a temperatura superficial apresentaram a melhor correlação com o calor latente, com coeficientes de correlação de 0,88 e 0,81, respectivamente. A perda de calor sensível apresentou correlação inversa com as variáveis fisiológicas, TR, FR e TS de -0,31; -0,65 e -0,46, respectivamente.

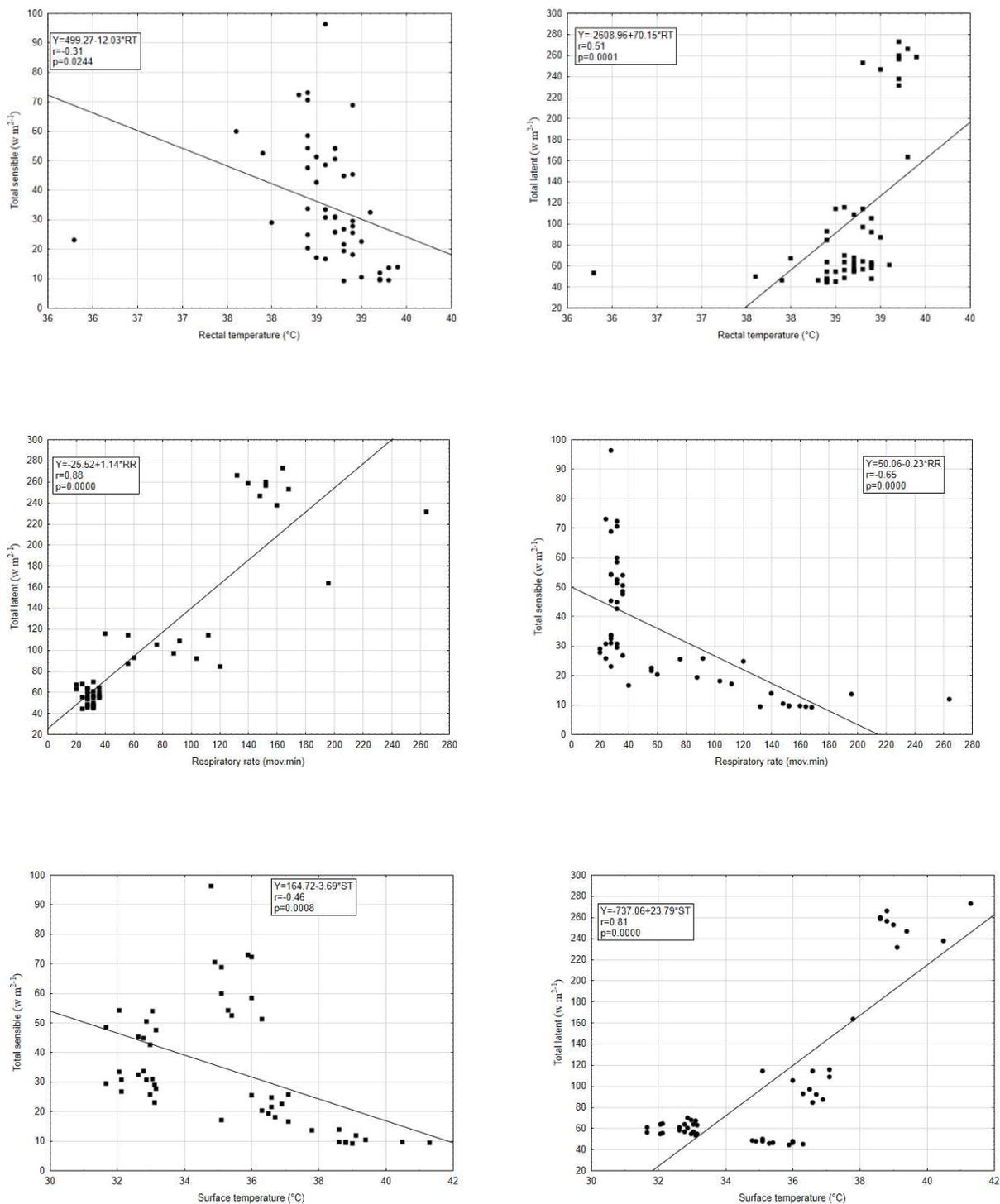


Figura 1. Correlação entre respostas fisiológicas e trocas térmicas totais sensíveis e latentes totais

Os dois componentes principais juntos explicam 84% da variação dos dados, mas com apenas um CP, há 70% da variação nos dados (Tabela 5). As variáveis que compõem

a CP1 são temperatura dos cabelos cervicais, temperatura dos cabelos no peito, temperatura dos cabelos das costas, temperatura dos membros inferiores, temperatura dos olhos e temperatura dos tímpanos, com apenas a temperatura dos tímpanos apresentando comportamento inverso na CP1. A radiação e a convecção comportam-se inversamente ao CP1 e o calor cutâneo e sensível total são representantes do CP1. A CP2 é representada pela FR, temperatura cutânea do pescoço, tórax e dorso, trato respiratório latente, exchange total latente e total de calor.

Tabela 5. Componentes principais (CP), autovalor e variação cumulativa das variáveis estudadas nas diferentes raças ovinas em diferentes temperaturas

Variável	CP1	CP2
Temperatura retal (°C)	0,374082	0,290959
Frequência respiratória (mov.min)	0,477886	0,752960
Frequência cardíaca (bat.min)	-0,486795	-0,036271
Temperatura da pele do pescoço (°C)	0,227126	0,964891
Temperatura do cabelo do pescoço (°C)	0,784370	0,542808
Temperatura da pele do peito (°C)	0,186376	0,969039
Temperatura do pelo no peito (°C)	0,827944	0,470777
Temperatura da pele traseira (°C)	0,243048	0,953970
Temperatura traseira do cabelo (°C)	0,823630	0,467194
Temperatura de retorno (°C)	0,210049	0,967082
Temperatura da barriga (°C)	0,825099	0,473394
Temperatura da perna (°C)	0,851660	0,192511
Temperatura ocular (°C)	0,931565	0,063430
Temperatura timpânica (°C)	-0,863305	-0,380750
Radiação (W/m ²)	-0,949111	-0,183452
Convecção (W/m ²)	-0,920824	-0,275854
Total sensível (W/m ²)	0,846695	0,454756
Trato respiratório latente (W/m ²)	0,346217	0,829011
Cutânea (W/m ²)	0,789352	0,560687
Latente total (W/m ²)	0,493270	0,782362

Troca térmica total (W/m ²)	0,540975	0,763694
Autoestima	14.7903	3.0423
Varimax acumulado (%)	70.4287	84.92

4. Discussão

O estresse térmico causado pelos altos níveis de TA e UR faz com que a dissipação do calor latente via evaporação respiratória e cutânea seja um dos meios essenciais de termorregulação (SILVA et al., 2021). A UR é outra variável de grande importância para os ovinos, sendo que LEITÃO et al. (2013) ressaltam sua importância, uma vez que tem um alto efeito sobre o bem-estar dos ovinos e pode afetar sua produtividade, principalmente quando contém altos valores combinados com altos índices de temperatura, como é o caso de regiões tropicais. Esse cenário dificulta a dissipação do calor corporal por meio de processos evaporativos (BAÊTA E SOUZA, 2010).

A diferença entre a temperatura da epiderme e a superfície da pelagem pode influenciar o fluxo de energia térmica em ovinos, independentemente da presença de lã (SILVA et al., 2017). Embora a presença de lã branca possa refletir mais radiação e absorver menos calor, ajudando a manter a temperatura da pele mais baixa, ela também pode criar uma barreira física que dificulta a troca de calor convectiva.

Quando há uma redução progressiva do gradiente térmico entre a temperatura corporal e a temperatura ambiente, os processos de condução, convecção e radiação tornam-se menos eficientes, sendo necessário recorrer à termólise evaporativa para manter o equilíbrio térmico (FONSECA et al., 2019). A raça Santa Inês, por outro lado, demonstrou ter menor capacidade de remoção de calor e, isso pode ser atribuído, em parte, à pelagem preta, que tende a absorver mais calor, resultando em uma temperatura superficial mais alta, mesmo quando os animais são mantidos em ambientes controlados (FURTADO et al., 2021).

A alta contribuição das trocas térmicas através da epiderme, em detrimento da baixa contribuição das trocas convectivas para a dissipação do excesso de calor metabólico produzido pelos animais em condições de conforto térmico, pode ter sido influenciada pela baixa movimentação do ar na câmara climática, com média de 0,5 m/s (MARQUES et al., 2021).

De acordo com MAIA et al. (2016), quando os ovinos são colocados em temperaturas do ar abaixo de 26 °C, eles removem o excesso de calor metabólico para o ambiente, principalmente por meio de convecção livre e radiação de ondas longas. Quando os animais são deixados na faixa de 26 a 30 °C, a perda de calor latente começa a se tornar mais importante, razão pela qual, nas duas condições avaliadas, 32 e 36 °C, os

mecanismos latentes de troca de calor, especialmente a troca cutânea de calor, desempenharam o papel mais importante no controle da homeotermia.

Dado que a evaporação da pele pode representar até 90% da energia total dissipada em pequenos ruminantes (COSTA et al., 2014; MAIA et al., 2015; MAIA et al., 2016). Quando a temperatura ambiente aumenta, a eficiência da perda de calor sensível diminui, devido ao menor gradiente de temperatura entre a pele do animal e a do ambiente. Nesse ponto, o animal consegue manter sua temperatura corporal até certo ponto por meio da vasodilatação, o que aumenta o fluxo sanguíneo periférico e a temperatura da pele. No entanto, se a temperatura ambiente continuar a subir, o animal torna-se dependente da perda de calor por evaporação, respiração e/ou sudorese (SOUZA et al., 2008). Essa capacidade de perda de calor está relacionada ao gradiente térmico entre a temperatura da superfície do animal e a do ambiente. Como a ativação de mecanismos latentes de perda de calor (respiração e transpiração) ocorre com menor eficiência do que a perda de calor sensível (radiação, condução e convecção) (BATISTA et al., 2014).

A superfície corpórea dos animais está em contato direto com o ambiente circundante, e sua temperatura é diretamente influenciada pelas variações da temperatura do ar, causando variações na capacidade de troca de calor por meios sensíveis, e essa capacidade de perda de calor está diretamente relacionada ao gradiente térmico entre a temperatura da superfície e a do ambiente (SOUZA et al., (2021) concluíram que, com base na magnitude dos coeficientes de determinação de Pearson, dentre as respostas fisiológicas, a temperatura superficial ($r=-0,643$) destacou-se como a resposta fisiológica que melhor representou o comportamento de troca de calor na forma sensível de cabras Boer submetidas às condições ambientais testadas.

Os erros de classificação dependem das características utilizadas na análise (YAKUBU et al., 2012; CORREA et al., 2013). Maiores erros de classificação foram observados quando consideradas apenas as características anatômicas e fisiológicas, o que também foi relatado por CORREA et al. (2013). De acordo com CASTANHEIRA et al. (2010), as variáveis fisiológicas são bons indicadores de saúde animal, mas devem ser interpretadas adequadamente, pois podem ser influenciadas pela espécie, idade, exercício e nível de estresse.

5. Conclusões

Com a elevação da temperatura do ar, houve aumento das variáveis fisiológicas dos ovinos, sendo que a frequência respiratória e a temperatura superficial apresentaram a melhor correlação com o calor latente, com coeficiente de correlação de 0,88 e 0,81, respectivamente.

Nas temperaturas neutras (20, 24 e 28 °C), a dispersão total do calor metabólico excedente dos animais estavam na forma sensível. Em condições térmicas de 32 e 36 °C, houve redução significativa na capacidade das três raças de dissipar o calor corporal sensivelmente, os animais perderam quase a totalidade do calor metabólico excedente na forma latente (pele e trato respiratório).

6. Referências bibliográficas

AL-DAWOOD, A. Towards heat stress management in small ruminants-a review.

Annals of Animal Science, v.17, p.59-88, 2017.

ALHIDARY, I.A. et al. Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load1. Journal of Animal Science, v. 90, p. 212-220, 2012.

BAÊTA, F.C.; SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais - Conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV. 2010. 246p

BATISTA, N.L.; SOUZA, B.B.; ROBERTO, J. V.B.; ARAÚJO, R.P.; RIBEIRO, T.L. A.; SILVA, R.A. Tolerância ao calor em ovinos de pelames claro e escuro submetidos ao estresse térmico. Journal of Animal Behaviour And Biometeorology, v.2, p.102-108 2014.

BEN SALEM, H. Nutritional management to improve sheep and goat performances in semiarid regions. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, p.337-347, 2010.

CASTANHEIRA, M.; PAIVA, S.R.; LOUVANDINI, H.; LANDIM, A.; FIORVANTI, M.C.S.; DALLAGO, B.S.; CORREA, P.S.; MCMANUS, C. Uso de variáveis de tolerância ao calor na discriminação entre grupos de ovinos no Brasil central. Tropical, v. 42, p.1821-1828, 2010.

CORREA, M.P.C.; DALLAGO, B.S.L.; PAIVA, S.R.; CANOZZI, M.E.A.; LOUVANDINI, H.; BARCELLOS, J.J.; MCMANUS, C. Análise multivariada das características de tolerância ao calor em cordeiros Santa Inês e mestiços do Distrito Federal, v. 45, p.1407-1414, 2013.

COSTA, C. C.M.; MAIA, A. S.C.; NETO, J. D.F.; OLIVEIRA, S. E.O.; DE QUEIROZ, J. P. A. F. Latent heat loss and sweat gland histology of male goats in an equatorial semi-arid environment. International Journal of Biometeorology, v. 58, p. 179-184, 2014.

CWYNAR, P.; KOLACZ, R.; CZERSKI, A. Effect of heat stress on physiological parameters and blood composition in Polish Merino rams. Berl Munch Tierarztl Wochenschrift, v.127, p.177-82, 2014.

FRANK, W.; NELSON, G.L. Nonevaporative Convective Heat Transfer from the Surface of a Bovine. Transactions of the ASAE. v.10, p.733-737, 1967.

FONSÊCA, V.F.C.; MAIA, A.S.C.; SARAIVA, E.P.; COSTA, C.C.M.; SILVA, R.G.; ABDOUN, K.A.; AL-HAIDARY, A.A.; SAMARA, E.M.; FULLER, A. Bio-thermal responses and heat balance of a hair coat sheep breed raised under an equatorial semi-arid environment. Journal of Thermal Biology, v.84, p.83-91, 2019.

FURTADO, D.A.; CARVALHO JÚNIOR, S.B.; SOUZA, B.B.; DANTAS, N.L.B.; RODRIGUES, L.R. Ingestive behavior of Santa Inês sheep under thermoneutrality and thermal stress upon consumption of saline water. Engenharia Agrícola, v.41, p.19-24, 2021.

GARCIA AR. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. *Revista Brasileira Reprodução Animal*, v.37, p.121-130, 2013.

INSTITUTO SAS. Sistema SAS para Windows. Versão 9.1. Instituto SAS Inc., Cary. 2001.

LEITÃO, M.M.V. B.R.; OLIVEIRA, G.M.; ALMEIDA, A.C.; SOUSA, P. H. F. Conforto e estresse térmico em ovinos no Norte da Bahia. Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17,p.1355- 1360, 2013.

LIU HW, CAO Y, ZHOU DW. Effects of shade on welfare and meat quality of grazing sheep under high ambient temperature. *Journal of Animal Science*, v.90, p.4764-4770, 2012.

MAIA, A.S.C.; DA SILVA, R.G.; NASCIMENTO, S.T.; NASCIMENTO, C.C.N.; PEDROZA, H.P.; & DOMINGOS, H G.T. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. *International Journal of Biometeorology*, v. 59, p.1025-1033, 2015.

MAIA, A.S.C.; NASCIMENTO, S.T.; NASCIMENTO, C.C.N.; GEBREMEDHIN, K.G. Thermal equilibrium of goats. *International Journal of Biometeorology*, v.58, p.43-49. 2016.

MARQUES, J. I.; LEITE, P. G.; LOPES NETO, J. P.; FURTADO, D. A.; BORGES, V. P.; SOUSA, W. S. Estimation of heat exchanges in Boer crossbred goats maintained in a climate chamber. *Journal of Thermal Biology*, v. 96, p.102-132, 2021.

MASCARENHAS, N. M. H.; FURTADO, D. A.; SOUZA, B. B.; SOUSA, O.B; COSTA, A. N. L.; FEITOSA, J. V.; SILVA, M. R.; BATISTA, L. F.; DORNELAS, K. C. 2023. Morphology of coat and skin of small ruminants reared in the Brazilian semi-arid region. *Journal of Thermal Biology*, v.112, p.103-118, 2023.

MCMANUS, C. et al. Patterns of heat tolerance in different sheep breeds in Brazil. *Small Ruminant Research*, v.144, p. 290-299, 2016.

McARTHUR, A.J. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theoretical Biology*, v.126, p. 203-238, 1987.

RODRIGUES, R.C.M.; FURTADO, D.A.; RIBEIRO, N.L.; SILVA, R.S.; SILVA, J.A.P.C.; SILVA, M.R.; MASCARENHAS, N.M.H.; CAVALCANTI, C.R.; AYERS, G.D.J.; DORNELAS, K.C.; LIMA, P.R.; FIGUEIREDO, C.F.V. Respostas bioquímicas, hormonais e hematológicas sanguíneas de ovinos nativos submetidos a diferentes condições ambientais. *Pesquisa em Ciências Veterinárias*, v,165, 105067, 2023

SEJIAN, V. et al. Review: Adaptation of animals to heat stress. *animal*, v. 12, p. 431-444, 2018.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science*, v. 67, p. 1-18, 2000.

SILVA, R.G. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambiente tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.1244-1252, 2000.

SILVA, R.G.D., MAIA, A.S.C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.1143-1147, 2011.

SILVA, V.C.; NASCIMENTO, R.N.; PINHEIRO LOPES, J.P.; LOPES, F.F.M.; RIBEIRO, J.M.; FURTADO, D.A. Animal thermal comfort index for the state of Paraíba, Brazil: trend, influencing factors, and mitigating measures. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 1, p. 1-12, 2021.

SOUZA, B.B.; SOUZA, E.D.; CEZAR, M.F.; SOUZA, W.H.; SANTOS, J.R.S.; BENICIO, T.M.A. Temperatura superficial e índice de tolerância ao calor de caprinos arade diferentes grupos raciais no semiárido nordestino. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, p.275-280, 2008.

TURNPENNY, J.R.; MCARTHUR, A.J.; CLARK, J.A.; WATHES, C.M. Thermal balance of livestock: 1. A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.101, p. 15-27, 2000.

YAKUBU, A.; PETERS, S.O.; ILORI, B.M.; IMUMORIN, I.G.; ADELEKE, M.A.; TAKEET, M.I.; OZOJE, M.O.; IKEOBI, C.O.N.; ADEBAMBO, O.A. Análise multifatorial discriminante de variáveis morfológicas e tolerantes ao calor de perus indígenas, exóticos e mestiços na Nigéria. *Animal Genética Recurso*, v.50, p. 21-27, 2012.