



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



**JORDÂNIO INÁCIO MARQUES**

**ESTIMATIVA DAS TROCAS DE CALOR E DA TEMPERATURA RETAL DE  
CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES  
TÉRMICAS**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**



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



**JORDÂNIO INÁCIO MARQUES**

**ESTIMATIVA DAS TROCAS DE CALOR E DA TEMPERATURA RETAL DE  
CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES  
TÉRMICAS**

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

Orientador:

Dr. José Pinheiro Lopes Neto

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2019**

M357e Marques, Jordânio Inácio.  
Estimativa das trocas de calor e da temperatura retal de caprinos mestiços Boer mantidos em diferentes condições térmicas / Jordânio Inácio Marques. – Campina Grande, 2019.  
57 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto".  
Referências.

1. Caprinos. 2. Estresse Térmico. 3. Respostas Fisiológicas. 4. Termografia. 5. Trocas latentes. 6. Trocas Sensíveis. I. Lopes Neto, José Pinheiro. II. Título.

CDU 636.39:66.021.4(043)



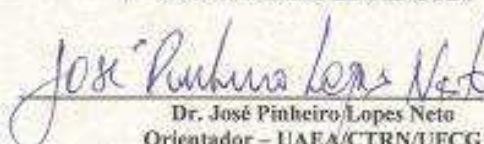
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

**JORDÂNIO INÁCIO MARQUES**

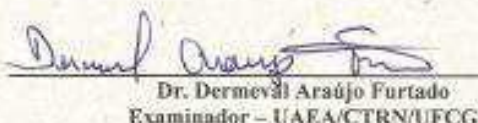
**“ESTIMATIVA DAS TROCAS DE CALOR E TEMPERATURA RETAL DE  
CAPRINOS MESTIÇOS BOER MANTIDOS EM DIFERENTES CONDIÇÕES  
TÉRMICAS”**

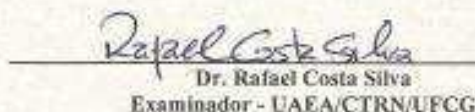
APROVADO(A): 30 de abril de 2019

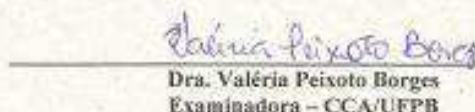
**BANCA EXAMINADORA**

  
Dr. José Pinheiro Lopes Neto  
Orientador – UAEA/CTRN/UFCG

  
Dr. Wilton Pereira da Silva  
Examinador – UAF/CCT/UFCG

  
Dr. Dermeval Araújo Furtado  
Examinador – UAEA/CTRN/UFCG

  
Dr. Rafael Costa Silva  
Examinador – UAEA/CTRN/UFCG

  
Dra. Valéria Peixoto Borges  
Examinadora – CCA/UFPB

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha, mãe Raimunda Inácio Marques, pai, José Marques Dedé, irmão, Jozelio Inácio Marques, filho, Moisés Inácio Marques e Sobrinha Maria Heloisa Badú Marques.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me concedido todas as forças espirituais e controle psicológico para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto, por sua confiança, orientação, apoio, disponibilidade e amizade constante, fundamentais para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial, à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

Aos amigos do curso de pós-graduação, Patrício Gomes, Aryadne Meira, Valneide Rodrigues, Adalberto de Souza, Daniele Melo, entre outros.

Aos membros do Grupo de Pesquisa em Construções Rurais e Ambiente (GCAMB).

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

“Viva como se fosse morrer  
amanhã. Aprenda como se fosse  
viver para sempre.”

Mahatma Gandhi

## LISTA DE FIGURAS

<b>Artigo 1</b> .....	<b>21</b>
<b>Figura 1.</b> Valores horários médios da temperatura do ar, umidade relativa e ITU, registrados ao longo dos tratamentos T26, T30 e T34, respectivamente. ....	33
<b>Figura 2.</b> Efeito da temperatura do ar nas respostas fisiológicas: (A) temperatura retal (TR); (B) temperatura superficial (TS); e (C) frequência respiratória (FR), dos caprinos avaliados.....	34
<b>Figura 3.</b> Estimativas dos fluxos de calor por radiação (L), convecção (Cr), sensível total (Gs), latente do trato respiratório (Er), cutâneo (Ec), latente total (Et) e fluxo de calor total (Wt), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas. ....	35
<b>Figura 4.</b> Correlação entre as respostas fisiológicas dos animais e as trocas de calor sensível total e latente total. ....	37
<b>Artigo 2</b> .....	<b>43</b>
<b>Figura 1.</b> Configuração experimental dos pontos de coleta das temperaturas da superfície do animal, sendo estas: globo ocular (PT), cabeça (HT), espádua (ST), quarto traseiro (HQ) e temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ).....	49
<b>Figura 2.</b> Efeito da temperatura do ar nas respostas fisiológicas: (A) temperatura retal - RT; (B) temperatura do globo ocular - PT; (C) temperatura da cabeça - HT; (D) temperatura da espádua - ST; (E) temperatura do quarto traseiro - HQ; e (F) temperatura de infravermelho máxima - $T_{Max}$ ; SE: erro padrão; e SD: desvio padrão.....	51
<b>Figura 3.</b> Correlação entre a temperatura retal (RT) e a: (A) temperatura do globo ocular (PT); (B) temperatura da cabeça (HQ); (C) temperatura da espádua (ST); (D) temperatura do quarto traseiro (HQ); e (E) temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ).....	52
<b>Figura 4.</b> Concordância entre a temperatura retal (RT) e a: (A) temperatura do globo ocular (PT); (B) cabeça (HQ); (C) espádua (ST); (D) quarto traseiro (HQ); e (E) temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ), respectivamente; SD, desvio padrão.....	53



## LISTA DE TABELAS

### Artigo 1

- Tabela 1.** Determinação das características do ar para as diferentes temperaturas avaliadas (°C). ..... 30
- Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão (%) da viscosidade cinemática ( $\nu$ ), densidade ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $k$ ), calor específico ( $C_p$ ) e pressão parcial de vapor no ar ( $e_a$ ), assim como dos adimensionais, Número de Nusselt ( $Nu$ ), Reynolds ( $Re$ ) e Prandtl ( $Pr$ ), para as três condições térmicas avaliadas. .... 31
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância e comparação de médias para os fluxos de calor por radiação ( $L$ ), convecção ( $Cr$ ), sensível total ( $G_s$ ), latente do trato respiratório ( $E_r$ ), cutâneo ( $E_c$ ), latente total ( $E_t$ ) e perda de calor total ( $W_t$ ), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas. .... 34

## RESUMO

A exposição de caprinos a elevadas temperaturas do ar pode induzir a um aumento da temperatura corporal, acarretando em danos fisiológicos aos animais. A presente pesquisa teve como objetivo estimar as trocas de calor totais e a temperatura retal, e quantificar os níveis de estresse térmico sofridos por caprinos mestiços  $\frac{3}{4}$  da raça Boer +  $\frac{1}{4}$  sem padrão racial definido (SPRD) submetidos a diferentes temperaturas do ar, em câmara climática. Seis animais foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos às temperaturas do ar de 26, 30 e 34 °C, respectivamente, com umidade relativa de 68%. Foram coletados dados de temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR) e termogramas dos animais em cada temperatura do ar avaliada. Nos termogramas, foram coletadas as temperaturas das regiões do globo ocular (PT), cabeça (HT), espádua (ST), quarto traseiro (HQ), temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ) e temperatura superficial média (TS) dos animais. Foram calculados valores do índice temperatura e umidade (ITU) e estimadas as perdas de calor sensíveis (convecção e radiação) e latentes (trato respiratório e cutâneo) dos animais para as três temperaturas do ar testadas. Com isso, foi avaliada a correlação e concordância dos dados de PT, HT, ST HQ e  $T_{Max}$  com a TR e a correlação da intensidade de perda de calor dos animais por cada uma das vias avaliadas com a TR, TS e FR. Foram constatados valores de ITU classificados nas faixas de conforto térmico (74,8), estresse moderado (80,3) e muito estressante (85,6), respectivamente, nas três condições avaliadas, onde verificou-se o aumento da TR, TS e FR. Em condições térmicas muito estressantes, os animais eliminaram cerca de 92% do excedente de calor metabólico de forma latente. Dentre as temperaturas superficiais avaliadas a PT foi a que apresentou melhor correlação ( $r = 0,956$ ) com a TR. Nenhuma temperatura superficial apresentou concordância com a TR.

**Palavras-chave:** estresse térmico, repostas fisiológicas, termografia, trocas latentes, trocas sensíveis

## **ABSTRACT**

The exposure of goats to high air temperatures can induce an increase in body temperature, resulting in physiological damage to the animals. The present research had as objective to estimate the total heat exchanges and the rectal temperature, and to quantify the thermal stress levels suffered by crossbred  $\frac{1}{4}$  Boer +  $\frac{1}{4}$  goats with no defined racial pattern (SPRD) submitted to different air temperatures in the chamber climate change. Six animals were distributed in a completely randomized design and subjected to air temperatures of 26, 30 and 34 °C, respectively, with relative humidity of 68%. Data of rectal temperature (RT), respiratory rate (RF) and thermograms of the animals were collected at each air temperature evaluated. In the thermograms, the temperatures of the ocular globe (PT), head (HT), shoulder (ST), hindquarter (HQ), maximum infrared temperature ( $T_{Max}$ ) and mean surface temperature (TS) of the animals were collected. Temperature and humidity index (ITU) values were calculated and the sensitive heat (convection and radiation) and latent (respiratory and cutaneous tract) heat losses of the animals were estimated for the three air temperatures tested. The correlation and agreement of the data of PT, HT, ST HQ and  $T_{Max}$  with the TR and the correlation of the heat loss intensity of the animals by each one of the ways evaluated with TR, TS and FR were evaluated. The ITU values were classified in the categories of thermal comfort (74.8), moderate stress (80.3) and very stressful (85.6), respectively, in the three conditions evaluated, where there was an increase in TR, TS and FR.

**Keywords:** latent exchanges, physiological responses, sensitive exchanges, thermal stress, thermography

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>8</b>
1.1	Objetivos.....	9
1.1.1	Geral.....	9
1.1.2	Específicos.....	9
<b>2</b>	<b>Revisão de literatura .....</b>	<b>10</b>
2.1	Caprinocultura .....	10
2.2	Variáveis ambientais e estresse térmico em caprinos .....	10
2.3	Índice de temperatura e umidade (ITU).....	11
2.4	Respostas fisiológicas.....	12
2.5	Trocas de calor.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
2.5.1	Trocas sensíveis.....	14
2.5.2	Trocas latentes .....	15
<b>3</b>	<b>Referências.....</b>	<b>17</b>
	<b>Artigo 1.....</b>	<b>21</b>
	<b>Resumo .....</b>	<b>22</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>22</b>
<b>1.</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>23</b>
<b>2.</b>	<b>Material e métodos .....</b>	<b>24</b>
2.1.	Geral.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
2.2.	Animais e alojamento .....	24
2.3.	Delineamento experimental.....	24
2.4.	Procedimentos experimentais .....	24
2.5.	Coleta de dados.....	25
2.6.	Trocas de calor.....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
2.7.	Propriedades características do ar.....	30

2.8.	<i>Análises estatísticas</i> .....	32
<b>3.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>32</b>
3.1.	<i>Variáveis climáticas</i> .....	32
3.2.	<i>Respostas fisiológicas</i> .....	33
3.3.	<i>Trocas de calor</i> .....	34
3.4.	<i>Correlações entre as trocas de calor e as respostas fisiológicas</i> .....	36
<b>4.</b>	<b>Discussão</b> .....	<b>37</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>40</b>
	<b>Agradecimentos</b> .....	<b>41</b>
	<b>Referências</b> .....	<b>41</b>
<b>Artigo 2</b> .....		<b>44</b>
	<b>Resumo</b> .....	<b>45</b>
<b>1.</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>46</b>
<b>2.</b>	<b>Material e métodos</b> .....	<b>47</b>
2.1.	<i>Geral</i> .....	<i>Erro! Indicador não definido.</i>
2.2.	<i>Animais e alojamento</i> .....	47
2.3.	<i>Delineamento experimental</i> .....	47
2.4.	<i>Procedimentos experimentais</i> .....	47
2.5.	<i>Coleta de dados</i> .....	48
2.6.	<i>Análise estatística</i> .....	49
<b>3.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>50</b>
3.1.	<i>Resposta da temperatura retal e superficial dos animais aos tratamentos</i> .....	50
3.2.	<i>Correlação da TR com a PT, HT, ST e HQ</i> .....	51
3.3.	<i>Concordância da TR com a PT, HT, ST e HQ</i> .....	52
<b>4.</b>	<b>Discussão</b> .....	<b>53</b>
	<b>Conclusões</b> .....	<b>55</b>
	<b>Agradecimentos</b> .....	<b>55</b>

**Referências bibliográficas..... 55**

## **1 Introdução**

No Brasil, a caprinocultura é uma atividade desenvolvida principalmente em regiões semiáridas, onde podem ocorrer condições de estresse térmico e escassez de água, sendo esses fatores predisponentes para a baixa produção dos animais. As elevadas temperaturas do ar fazem com que os animais desprendam esforços para dissipar o excedente de calor metabólico do corpo e, como resultado, pode ocorrer o aumento da frequência respiratória e temperatura corporal, onde esta última é comumente estimada pela temperatura retal e o aumento destas variáveis fisiológicas são respostas importantes para se avaliar a condição de estresse térmico sofrida pelos caprinos (Al-Haidary, 2004).

A relação entre os fatores climáticos e as reações fisiológicas e metabólicas de caprinos ao estresse térmico deve ser identificada e quantificada, objetivando-se o fornecimento de informações necessárias para a tomada de decisão a respeito das melhores práticas de manejo, projeto das instalações e o plano nutricional a serem adotados, para que os animais possam expressar adequadamente o seu potencial produtivo.

Em condições de estresse térmico, a eficácia dos mecanismos de troca de calor é fundamental para o controle da temperatura do núcleo corporal dos animais, uma vez que eles passam a ter dificuldade de eliminar o excedente de calor metabólico de maneira sensível, necessitando da ativação dos mecanismos termorregulatórios evaporativos, requerendo assim maior gasto energético. A temperatura do núcleo corporal dos animais é normalmente mantida a um nível relativamente constante apesar da contínua transferência de calor com o meio circundante. Esta constância da temperatura do núcleo corporal é dependente de um equilíbrio térmico entre a quantidade de calor que é produzido pelo metabolismo dos animais e a quantidade de calor que é fornecida/dissipada aos animais em função das condições térmicas impostas pelo ambiente de exposição.

Quando se objetiva a exploração comercial de caprinos, é recomendado que os animais sejam mantidos em condições de conforto térmico, visto que os gastos energéticos para a manutenção da temperatura corpórea pelos mecanismos de troca de calor sensível são muito menores quando comparados aos mecanismos de troca de calor latente, o que reduzirá os gastos energéticos dos animais para manutenção, aumentando o conteúdo de energia disponível para o crescimento e desenvolvimento (Yahav, 2009).

Uma das maneiras para se avaliar a condição de conforto ou estresse térmico sofrido pelos animais é através do monitoramento da temperatura retal, porém este método pode ser impreciso, sendo que tem-se a necessidade de se manter contato direto com os animais a

serem avaliados, gerando assim outras fontes de variação além dos fatores ambientais. Com o avanço das tecnologias, existem algumas ferramentas não invasivas como, por exemplo, a termografia por infravermelho, que pode ser adaptada para fins de uso nos estudos e monitoramento dos animais destinados à exploração animal, porém essa ferramenta ainda necessita ser estudada mais detalhadamente para se obter estimativas precisas da temperatura do núcleo corpóreo dos animais, podendo assim vir a substituir o método de termometria retal.

## *1.1 Objetivos*

### *1.1.1 Geral*

Estimar a troca de calor total e temperatura retal, e quantificar os níveis de estresse térmico sofridos por caprinos mestiços  $\frac{3}{4}$  da raça Boer +  $\frac{1}{4}$  sem padrão racial definido (SPRD) quando submetidos a diferentes temperaturas do ar, em câmara climática.

### *1.1.2. Específicos*

- Avaliar a variação das respostas fisiológicas – temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória – de caprinos mestiços Boer quando submetidos as temperaturas do ar de 26, 30 e 34 °C, respectivamente;
- Avaliar os níveis de conforto e/ou estresse térmico sofrido pelos animais através dos valores de ITU para as diferentes temperaturas do ar testadas;
- Estimar as trocas de calor sensíveis e latentes dos caprinos Boer com o ambiente, submetidos a diferentes temperaturas do ar;
- 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;
- Estimar a temperatura retal através da correlação da mesma com as temperaturas superficiais das regiões do globo ocular, cabeça, espádua, quarto traseiro e a temperatura máxima constatada na superfície dos animais, nas diferentes temperaturas do ar avaliadas;
- Avaliar a concordância da estimativa da temperatura retal através das temperaturas superficiais das regiões do globo ocular, cabeça, espádua, quarto traseiro e a temperatura máxima constatada na superfície dos animais, nas diferentes temperaturas do ar avaliadas.



## **2 Revisão de literatura**

### *2.1 Caprinocultura*

A exploração de pequenos ruminantes é uma atividade de importância mundial. Os caprinos e ovinos representam juntos 56% da população doméstica global de ruminantes, onde de um total de 3,9 bilhões de cabeças (caprinos e ovinos) 1,0 milhão são de caprinos (FAO, 2013). Em 2013, o rebanho mundial de ovinos e caprinos produziram mais de 13 milhões de toneladas de carne e 28 milhões de toneladas de leite, apresentando um aumento de 1,7 e 1,3% ao ano, respectivamente, durante os últimos 20 anos (FAO, 2013). Cerca de 52% dos pequenos ruminantes do mundo estão localizados em zonas áridas e semiáridas, 27% nas zonas temperadas e 21% nas zonas úmidas (Marino et al., 2016).

Os países em desenvolvimento possuem uma população substancial de pequenos ruminantes, sendo esta atividade considerada uma das principais fontes da economia rural desses países (Agrawal et al., 2014). Pequenos ruminantes, especialmente os caprinos, digerem a matéria seca de forma eficiente, necessitam de baixo investimento inicial, exigem menos espaço para habitação, são fáceis de gerenciar e a demanda de mão-de-obra é menor quando comparada aos ruminantes de grande porte (Maitra et al., 2014). Desse modo, a contribuição da produção de caprinos para a subsistência de pequenos agricultores, especialmente em países em desenvolvimento é notória (Shilja et al., 2016).

A exploração de caprinos é de fundamental importância diante da atual perspectiva das mudanças climáticas em comparação com outras espécies pecuárias, devido à sua capacidade de adaptação às zonas agroecológicas, devido ao seu pequeno tamanho, hábil comportamento de pastoreio, maior resistência a doenças, tolerância à seca e alta eficiência de conversão alimentar (Shilja et al., 2016). Em países tropicais como o Brasil, que possui aproximadamente 11,5% de sua área territorial incluída em regiões de clima caracterizado como semiárido (IBGE, 2017), a exploração de caprinos é uma atividade em potencial, podendo esses animais lidarem eficazmente com as elevadas temperaturas do ar associadas a escassez de água e alimento, sem comprometer de maneira significativa seu desempenho produtivo (Souza et al., 2012).

### *2.2 Variáveis ambientais e estresse térmico em caprinos*

O estresse climático é causado pela ação dos elementos climáticos nos animais e pode afetar o crescimento, a produção e a reprodução dos animais (Nardone et al., 2010), podendo o estresse ocorrer pelo frio ou pelo calor. Os fatores ambientais associados ao estresse

térmico, afetam os sistemas fisiológicos que governam a regulação térmica e a manutenção das trocas de calor pelos animais homeotérmicos, são principalmente a temperatura, umidade relativa do ar e a radiação solar (Marai & Haezeb, 2009).

As elevadas temperaturas do ar associadas com a elevada umidade relativa durante a maior parte do ano são questões que despertam constante preocupação nas regiões tropicais (Hill & Wall, 2017). O estresse térmico ocorre quando o animal tem problemas em dissipar seu excesso de calor corporal, afetando negativamente a produção dos animais, reduzindo assim a produção de carne, as taxas de fertilidade e prejudicando o bem-estar dos animais (Ferrazza et al., 2018).

O efeito do estresse térmico sobre os animais de produção de carne tem sido estudado, devido à importância para o sucesso da pecuária (Wang et al., 2018), devido às crescentes preocupações sobre as mudanças climáticas e suas influências sobre o bem-estar dos animais, com o constante aumento na demanda dos produtos de origem animal, cada vez mais, pesquisadores e produtores têm manifestado interesse em abordagens que visem a reduzir os efeitos das variáveis climáticas sobre os animais, de modo a amenizar o estresse térmico sofrido e os consequentes danos na produção (Wang et al., 2018).

### 2.3 *Índice de temperatura e umidade (ITU)*

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido como um meio de quantificar o nível de desconforto sofrido por seres humanos durante os meses mais quentes do ano, sendo, portanto, originalmente referido como “índice de desconforto” por Thom (1959), após concluir que a avaliação do estresse térmico usando apenas a temperatura do ar não seria precisa como medida de desconforto. Bianca (1962) e Berry et al. (1964) estenderam esse conceito para estimar o estresse térmico imposto aos animais de exploração.

Conforme Mader et al. (2010), o ITU é um dos índices térmicos mais utilizados, por ser de simples aplicação, pois as componentes envolvidas (temperatura e umidade relativa do ar) são de fácil medição. O ITU pode prever o ambiente térmico com precisão e rapidez em muitos casos, principalmente se os animais avaliados forem confinados em instalações onde ocorre baixa movimentação do ar, não havendo também a incidência direta da radiação solar (Li et al., 2009).

Lucena (2013), ao avaliar caprinos nativos da região Nordeste mantidos em câmara climática e submetidos às temperaturas do ar de 20,6, 24,8, 27,8 e 31,6 °C com umidade relativa do ar de 60±5%, determinou faixas de variações das respostas fisiológicas – temperatura superficial (TS), frequência respiratória (FR) e temperatura retal (TR) – destes

animais conforme a magnitude dos valores de ITU, constatando-se então, que em condições de ITU até 75 (temperatura do ar de 27,8 °C) os animais apresentaram a TS, FR e TR de 30,2 °C, 28,0 mov/min e 39,5 °C, respectivamente, sendo que, segundo o autor, essas respostas estão dentro dos limites de normalidade para a espécie em estudo, levando-o a considerar que em situações de valores de ITU de até 75, os caprinos estão em condições de conforto térmico.

Com valores de ITU variando ente 76,5 e 78,7 – classificado como uma situação de alerta –, Lucena (2012) constatou uma elevação de 31,3 e 300% nos valores de TS e FR, respectivamente. Nas condições de ITU, onde foi classificado como situação de perigo (79,2 a 81,2) observou-se a elevação de 45,2 e 378,5%, respectivamente, nos valores de TS e FR, quando comparada à situação de conforto térmico. Com isso, o autor pôde concluir que os animais elevaram a TS e FR como forma de eliminar o excedente de calor metabólico produzido, diante das condições térmicas desfavoráveis, sendo que esses mecanismos foram eficientes para a eliminação do calor, não permitindo o aumento da temperatura do núcleo corporal dos animais.

#### 2.4 *Respostas fisiológicas*

Os processos vitais dos animais homeotérmicos, incluindo os caprinos, são adaptados para funcionarem idealmente em condições de ambiente termoneutro. Qualquer alteração nas condições ambientais, como ocorre durante o estresse térmico, pode perturbar o equilíbrio metabólico normal dos animais, que passarão a desprender energia para a execução de reações comportamentais e metabólicas na tentativa de manter a temperatura do núcleo corpóreo constante (Kadzere et al., 2002).

As respostas fisiológicas homeostáticas gerais ao estresse térmico em mamíferos incluem o aumento da: temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória, que refletem as alterações nos processos físicos, bioquímicos e fisiológicos realizados pelos animais na tentativa de neutralizar os efeitos negativos do estresse térmico e manter seu equilíbrio, sendo que estes ajustes visam à dissipação do excedente de calor metabólico para o meio (Kadzere et al., 2002).

A temperatura retal é um indicador de equilíbrio térmico dos animais e pode ser usada para avaliar as adversidades do ambiente térmico, que podem afetar o crescimento, produção e reprodução dos animais (Marai & Haeeb, 2009). O aumento de 1 °C na temperatura retal é suficiente para reduzir o desempenho da maioria das espécies de animais homeotérmicos (McDowell et al., 1976), o que torna a temperatura retal um indicador fisiológico sensível ao

estresse térmico nos animais homeotérmicos, sendo esta praticamente constante em condições de termoneutralidade (Kadzere et al., 2002). Para animais homeotérmicos sob estresse térmico considerável, a variação diurna da temperatura retal pode chegar a 3 °C, embora a taxa de aumento da mesma seja mais lenta nas raças adaptadas (Finch, 1986). Assim, a temperatura retal juntamente com a frequência respiratória destaca-se como sendo um dos parâmetros fisiológicos que melhor se adequa para o monitoramento da condição de conforto/desconforto de caprinos mantidos em ambientes com elevadas temperaturas, segundo Silanikove (2000).

As elevadas temperaturas do ar induzem ao aumento da frequência respiratória, podendo esta, ser um indicador de estresse térmico nos animais (Marai et al., 2007). Em caprinos, a respiração destina-se à eliminação de CO<sub>2</sub> dos tecidos do corpo e à provisão de O<sub>2</sub> quando em condições de termoneutralidade, e destina-se também para a evaporação da água do trato respiratório para se evitar a hipertermia, quando os animais são submetidos a elevadas temperaturas do ar (Marai et al., 2007). A frequência respiratória basal em caprinos compreende-se entre 25 e 30 mov/min (Robertshaw & Damiel, 1983). Portanto, o aumento da frequência respiratória acima de 40 mov/min pode ser considerado uma taxa respiratória ofegante, a fim de resfriar o corpo dos animais através da evaporação das gotículas de água expelidas pelo trato respiratório.

Silanikove (2000), ao avaliar a frequência respiratória de caprinos submetidos a diferentes condições térmicas propôs faixas, com o intuito de quantificar e qualificar a severidade do estresse térmico sofrido pelos animais de acordo com a esta variável, sendo elas: de 40-60 (estresse baixo), 60-80 (estresse médio), 80-120 mov/min (estresse elevado) e acima de 200 mov/min, o estresse é classificado como severo.

## 2.5 Trocas de calor

Os animais, como os caprinos, perdem calor para o ambiente por meios sensíveis (radiação, convecção e condução) e latentes (evaporação da água eliminada por sudorese e pelo ar expirado). A dissipação de calor por meios sensíveis ocorre quando a temperatura do ar é inferior à temperatura superficial dos animais, já na forma latente, quando se tem elevadas temperaturas do ar (Kadzere et al., 2002). Com isso, tem-se observado que o calor perdido pela pele de forma sensível depende de um gradiente de temperatura entre a pele e o ambiente. A perda de calor não evaporativa diminui à medida que a temperatura do ar aumenta, tornando o animal mais dependente da vasodilatação periférica e da evaporação da água para aumentar a perda de calor e evitar a elevação da temperatura corporal (Berman et al., 1985).

### 2.5.1 Trocas sensíveis

Nas trocas de calor sensíveis realizadas pelos caprinos, o fluxo de calor ocorre da superfície ou meio de maior temperatura em direção à de menor temperatura (Incropera et al., 2008) e os gastos energéticos para a manutenção da temperatura corpórea pelos mecanismos de troca de calor sensível são menores quando comparados às trocas de calor latente, o que reduz os gastos energéticos dos animais para manutenção, aumentando o conteúdo de energia disponível para o crescimento e desenvolvimento (Yahav, 2009).

Maia et al. (2016), ao avaliarem caprinos da raça Anglo-Nubiano submetidos às condições climáticas de Jaboticabal, SP, Brasil (21°08' Sul, 48°11' Oeste, 583 m de altitude), observaram, que os animais quando expostos a temperatura do ar de 22,5 °C, a diferença de temperatura entre a pele e o ar era de 9 °C, e na temperatura do ar de 31 °C, a diferença era de 3 °C, essa redução no gradiente térmico resultou na redução da perda de calor na forma sensível de 80 para 40 W/m<sup>2</sup>.

Em relação às trocas convectivas, observa-se que, quando o ar frio entra em contato com a superfície de um animal (quente), uma camada de ar que circunda a superfície da pele é aquecida e sobe afastando-se do corpo, levando consigo o calor e, assim, resfriando o corpo através do processo de convecção. Entretanto, se a temperatura do ar for maior que a temperatura da pele, o movimento do ar promoverá o fluxo do calor para o animal, até que a temperatura do ar seja igual à da pele, cessando assim, a transferência de calor convectivo (Silanikove, 2000). Durante o processo de respiração dos animais, também ocorre a troca de calor por convecção, onde a temperatura do ar inspirado é ajustada à temperatura corporal, quando chega à traqueia (Yousef, 1985).

A transferência de energia radiante entre o animal e o meio ocorre por meio de ondas eletromagnéticas infravermelhas (Incropera et al., 2008) e a quantidade de calor absorvida por um animal da energia irradiada pelo sol depende não só da temperatura do animal, mas também da cor e textura de sua pele e pelo, com superfícies escuras irradiando e/ou absorvendo maior quantidade de calor do que superfícies de cores claras na mesma temperatura. Um animal com uma pelagem preta terá, portanto, uma absorbância de 1 da radiação direta, enquanto, um com pelagem branca terá uma absorbância de 0,37 e um com pelo vermelho de 0,65 (Cena & Monteith, 1975). A transferência de calor radiante entre corpos ocorre em ambas as direções e se os corpos estiverem em temperaturas distintas, há uma transferência líquida de calor do corpo mais quente para o mais frio (Esmay, 1969).

### 2.5.2 *Trocas latentes*

Em situações de estresse térmico, a temperatura do ar é normalmente maior do que a temperatura da superfície da pele dos caprinos, o que causa uma elevada carga térmica, pois os animais passam a ganhar calor do ambiente pelos processos de convecção e radiação (Salama et al., 2014). Nesses casos, a evaporação da água é a maneira mais eficiente de dissipar o excedente de calor metabólico, e ocorre pelo sistema respiratório (respiração ofegante) e pela transpiração, no entanto, os animais não são capazes de se resfriar e manter suas funções fisiológicas quando a carga térmica excede uma temperatura crítica superior específica (Salama et al., 2014). Appleman & Delouche (1958) observaram que os mecanismos termorregulatórios de caprinos tornaram-se ineficientes quando os animais foram submetidos continuamente por 12 dias consecutivos a temperaturas de 40 °C, sendo esta a temperatura crítica superior específica para essa determinada espécie, conseqüentemente, concluíram que o limite de tolerância ao calor para caprinos situa-se entre 35 e 40 °C.

Nos caprinos, a pele é uma importante via para a troca de calor entre o animal e o meio circundante e, por serem desprovidos de lã, aumentam consideravelmente a evaporação pela sudorese, aumentando assim a perda de calor através do mecanismo de resfriamento evaporativo cutâneo, o que os deixa com a opção de reduzir a dependência do mecanismo de resfriamento evaporativo respiratório para termorregulação (Hooda & Upadhyay, 2014; Gesualdi Júnior et al., 2014).

A perda de água, através da evaporação cutânea e do trato respiratório, pode ser separada em passiva e termorregulatória (Silanikove, 2000). A perda de água passiva é a perda por difusão respiratória e cutânea, esta última constitui aproximadamente dois terços da perda de água passiva (Yousef, 1985). A perda de água termorreguladora é ativada pela respiração ofegante e pela transpiração. A perda de água passiva (insensível) está diretamente relacionada com o peso corporal dos animais (Chew, 1965).

A proporção de calor metabólico que é dissipada do corpo dos animais por evaporação aumenta com a elevação da temperatura do ar e com o conseqüente decréscimo do gradiente térmico entre o animal e ambiente (Silanikove, 2000). Johnson (1976) mostrou que as diferenças na razão entre o resfriamento evaporativo e a perda total de calor (calor produzido) são variáveis dependendo da espécie animal avaliada, e que a taxa evaporativa dos animais começa a aumentar acentuadamente entre 16,6-18,3 °C. Em climas quentes, o potencial de perda de calor não evaporativo é reduzido, e os animais dependem da evaporação da água para dissipar qualquer excesso de calor gerado pelo metabolismo (McArthur & Clark,

1988). No entanto, a eficiência do resfriamento evaporativo diminui com o aumento da umidade relativa do ar. A velocidade do ar é outro fator importante que influencia na transferência de calor por evaporação (Silanikove, 2000).

### 3 Referências

- Agrawal, A.R., Karim, S.A., Rajiv Kumar, Sahoo, A., John, P.J. 2014. Sheep and goat production: basic differences, impact on climate and molecular tools for rumen microbiome study. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science* 3, 684–706.
- Al-Haidary A, 2004. Physiological responses of Naimey sheep to heat stress challenge under Semi-Arid environments. *International Journal of Agricultural Biology* 6, 307-316.
- Appleman, R.D., Delouche, J.C., 1958. Behavioral, physiological and biochemical responses of goats to temperature 0 to 40 °C. *J. Anim. Sci.* 17, 326–335.
- Berman, A., Folman, Y.M., Kaim, M., Mamen, Z., Herz, D., Wolfenson, A., Graber, Y. 1985. Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a tropical climate. *Journal of Dairy Science* 68, 488-495.
- Berry, I., Shanklin, M., Johnson, H. 1964. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans. ASAE* 7, 329–331.
- Bianca, W. 1962. Relative importance of dry-and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature* 195, 251.
- Cena, K., Monteith, J.L. 1975. Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. *Proceedings of the Royal Society* 188, 377-394.
- Chew, R.M., 1965. Water metabolism of mammals. In: Mayer, W.W., Van Gelder, R.G. (Eds.). *Physiological Mammalogy*, Vol. 2. Academic Press, New York, p. 43.
- CIOMS - National Research Council (US) Institute for Laboratory Animal Research. The Development of Science-based Guidelines for Laboratory Animal Care: Proceedings of the November 2003 International Workshop. Washington (DC): National Academies Press (US); 2004. D.; International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (1985) Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK25438/>
- Esmay, M.L., 1969. In: *Principles of Animal Environment*. AVI Publishing, New York, p. 319.
- FAO - Statistical Yearbook. 2013. World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Ferrazza, R.A., Lopes, M.A., Bruhn, F.R.P., Moraes, F. 2018. Zootechnical and economic performance indexes of dairy herds with different production scales. *Semina: Ciências Agrárias* 39, 287-298.



- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese). R package version 1.1.2., 2013.
- Finch, V.A. 1976. An assessment of the energy budget of Boran cattle. *Journal of Thermal Biology* 1, 143-148.
- Frank, W., Nelson, G.L., 1967. Nonevaporative Convective Heat Transfer from the Surface of a Bovine. *Transactions of the ASAE* 10, 733-0737.
- Gesuáldi Júnior, A., Sales, E.S., Freitas, R.S., Henry, F.D., Oliveira, V.D., Gesuáldi, A.C., 2014. Effects of heat stress on the physiological parameters and productivity of hair sheep in tropical and coastal environments. *R. Bras. Zootec.* 43, 556–560.
- Hill, D.L., Wall, E. 2017. Weather influences feed intake and feed efficiency in a temperate climate. *Journal of Dairy Science* 100 , 2240-2257.
- Hooda, O.K., Upadhyay, R.C., 2014. Physiological responses, growth rate and blood metabolites under feed restriction and thermal exposure in kids. *J. Stress Physiol. Biochem.* 10, 214–227.
- Hutchinson, J.C.D., 1954. Evaporative cooling in fowls. *The Journal of Agricultural Science* 45, 48-59.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil, Rio de Janeiro, RJ.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L. & Lavine, A.S., 2008. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 643p.
- Johnson, H.D., 1976. World climate and milk production. *Biometeorology* 6, 171–175.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E. 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Science.* 77, 59–91.
- Li, S., Gebremedhin, K.G., Lee, C.N., Collier, R.J., 2009. Evaluation of Thermal Stress Indices for Cattle, 2009 ASABE Annual Meeting. ASABE, St. Joseph, Mich.
- Lucena, L.F., Furtado, D.A., do Nascimento, J.W., 2013. Physiological responses of native goats maintained in thermoneutral temperature and thermal stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 672–679.
- Mader, T., Johnson, L., Gaughan, J., 2010. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science* 88, 2153–2165.
- Maia, A.S.C., Nascimento, S.T., Nascimento, C.C.N., Gebremedhin, K.G., 2016. Thermal equilibrium of goats. *Journal of Thermal Biology* 58, 43-49.

- Maitra, M., Yadav, C.L., Sanjukta, R.K. 2014. Seasonal prevalence of paramphistomosis in domestic ruminants in different agro-climatic zones of Uttarakhand, India. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 4, S748-S753.
- Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez, M.A.M. 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep – a review. *Small Ruminant Research* 71, 1–12.
- Marai, I., Haebe, A. 2009 Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livestock Science* 127, 89–109.
- Marino, R., Atzori, A.S., D'Andrea, M., Iovane, G., Trabalza-Marinucci, M., Rinaldi, L. 2016. Climate change: Production performance, health issues, greenhouse gas emissions and mitigation strategies in sheep and goat farming. *Small Ruminant Research* 135, 50-59.
- McDowell, R.E., Hooven, N.W., Camoens, J.K. 1976. Effects of climate on performance of Holsteins in first lactation. *Journal of Dairy Science* 59, 965-973.
- McArthur, A.J., 1987. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theoretical Biology* 126, 203-238.
- McArthur, A.J., Clark, J.A., 1988. Body temperature of homeotherms and the conservation of energy and water. *Journal of Thermal Biology* 3, 9–13.
- Mitchell, D. 1974. Convective heat transfer from man and other animals. In: *Heat loss from animals and man*. (Monteith, J. L. & Mount, L. E. eds). pp. 59-76. London: Butterworths.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science* 130, 57–69.
- NRC. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids, p.1-362, 2007.
- Ravagnolo, O., Misztal, I., Hoogenboom, G., 2000. Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. *Journal of Dairy Science* 83, 2120-2125.
- Rizzo, M., Arfuso, F., Alberghina, D., Giudice, E., Ganesella, M., Piccione, G., 2017. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. *Journal of Thermal Biology* 69, 64-68.
- Robertshaw, D., Daniel, R. 1983. The effect of dehydration on the control of panting and sweating in the black Bedouin goat. *Physiological zoology* 56, pp. 412-418

- Salama, A.A.K., Caja, G., Hamzaoui, S., Badaoui, B., Castro-Costa, A., Façanha, D.A.E., Guilhermino, M.M., Bozzi, R., 2014. Different levels of response to heat stress in dairy goats. *Small Ruminant Research* 191, 73-79.
- Shilja S, Sejian V, Bagath M, Mech A, David CG, Kurien EK, Varma G, Bhatta R. 2016. Adaptive capability as indicated by behavioral and physiological responses, plasma HSP70 level, and PBMC HSP70 mRNA expression in Osmanabadi goats subjected to combined (heat and nutritional) stressors. *International Journal of Biometeorology* 60,1311–1323.
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Science* 67, 1–18
- Silva, R.G.d., 2000. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29, 1244-1252.
- Silva, R.G.d., Maia, A.S.C., 2011. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 1143-1147.
- Souza, B.B.d., Souza, E.D.d., Silva, R.M.N.d., Cezar, M.F., Santos, J.R.S.d., Silva, G.d.A., 2008. Respostas fisiológicas de caprinos de diferentes grupos genéticos no semi-árido paraibano. *Ciência e Agrotecnologia* 32, 314-320.
- Souza, P.T., Salles, M.G.F., Araujo, A.A. 2012. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. *Ciência Rural* 42, 1888-1895.
- Steketee, J., 1973. Spectral emissivity of skin and pericardium. *Physics in Medicine & Biology* 18, 686.
- Thom, E.C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57–61.
- Turnpenny, J.R., McArthur, A.J., Clark, J.A., Wathes, C.M., 2000. Thermal balance of livestock: 1. A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology* 101, 15-27.
- Wang, X., Zhang, G. 2018. A review and quantitative assessment of cattle-related. *Journal of Thermal Biology* 77, 24-37.
- Yahav, S. 2009. Alleviating heat stress in domestic fowl: different strategies. *World's Poultry Science Journal* 65, 719-732.
- Yousef, M.K. 1985. *Stress Physiology in Livestock. Basic adaptation of Principles*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL.

## **Artigo 1**

**Estimativa das trocas de calor em caprinos mestiços Boer mantidos em câmara climática**  
(Editado conforme normas da revista International Journal of Biometeorology)

## **Estimativa das trocas de calor em caprinos mestiços Boer mantidos em câmara climática**

### **Resumo**

A exposição de caprinos a temperaturas do ar elevadas pode induzir a um aumento na dissipação do excesso de calor corporal na forma latente, podendo acarretar em danos fisiológicos e produtivos aos animais. Com isso, o objetivo da pesquisa foi quantificar os níveis de estresse térmico e as perdas de calor sensíveis e latentes de caprinos mestiços Boer submetidos a diferentes temperaturas do ar, em câmara climática. Seis caprinos mestiços foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos às temperaturas do ar de 26, 30 e 34 °C e 68% de umidade relativa. A temperatura e umidade relativa do ar foram coletadas para o cálculo do índice de temperatura e umidade (ITU) e das trocas de calor. Foram coletadas as respostas fisiológicas temperatura retal (TR) e superficial (TS) e frequência respiratório (FR), com isso foram estimadas as trocas de calor por radiação (L), convecção ( $C_r$ ), sensível total (Gs), latente do trato respiratório (Er), cutâneo (Ec), latente total (Et) e troca de calor total (Wt). Foram constatados valores de ITU classificados nas faixas de conforto térmico, estresse moderado e muito estressante, respectivamente, nas três condições avaliadas, onde verificou-se o aumento da TR, TS e FR. Em condições térmicas muito estressantes, os animais eliminaram cerca de 92% do excedente de calor metabólico de forma latente.

**Palavras-chave:** estresse térmico, respostas fisiológicas, trocas latentes, trocas sensíveis

### **Abstract**

Exposure of goats at elevated air temperatures may induce an increase in the dissipation of excess body heat in the latent form, which may lead to physiological and productive damages to the animals. Therefore, the objective of the research was to quantify the thermal stress levels and the sensible and latent heat losses of crossbred Boer goats subjected to different air temperatures in the climatic chamber. Six crossbred goats were distributed in a completely randomized design and submitted to air temperatures of 26, 30 and 34 °C and 68% relative humidity. The temperature and relative humidity of the air were collected for the calculation of temperature and humidity index (ITU) and heat exchanges. The collected physiological responses were rectal temperature (TR) and superficial (TS) and respiratory rate (FR), with which it was estimated the heat exchanges by radiation (L), convection ( $C_r$ ), total sensitive (Gs), latent respiratory (Er), cutaneous (Ec), total latent (Et) and total heat exchange (Wt).

The ITU values were classified in thermal comfort, moderate stress and very stressful, respectively, in the three conditions evaluated, where the increase of the TR, TS and FR was verified. Under very stressful thermal conditions, the animals eliminated about 92% of the surplus of metabolic heat latently way.

**Keywords:** thermal stress, physiological responses, latent exchanges, sensitive exchanges

## 1. Introdução

Em regiões de clima semiárido, o estresse térmico pode causar perdas significativas nos sistemas de produção e reprodução animal (Hansen, 2009), tais regiões são caracterizadas por apresentarem elevadas temperaturas do ar o que afeta direta e indiretamente a produção e a saúde dos animais explorados (Gaughan et al., 2009). O balanço térmico dos animais pode ser afetado por diferentes elementos climáticos, pelo nível de adaptação dos animais e também pela intensidade de utilização dos mecanismos termorregulatórios (Collier et al., 2008).

Para se obter o máximo de produtividade na exploração comercial de caprinos em regiões de clima quente, é necessário se adotar práticas visando mantê-los, em ambiente térmico adequando dentro da zona de conforto térmico (ZCT), em que não há gasto de energia ou atividade metabólica para aquecer ou resfriar o corpo (Marai & Haeeb, 2010). Dentro da ZCT, as trocas de calor sensíveis são eficazes para a eliminação do excedente de calor metabólico (Leon & Gordon, 2011). E, quando a temperatura do ar excede esta zona, os mecanismos de trocas latentes passam a desempenhar um papel fundamental para o arrefecimento dos animais (Leon & Gordon, 2011).

A exposição a elevadas temperaturas do ar induz os animais a tentarem dissipar a carga excessiva de calor metabólico produzido, intensificando a utilização dos mecanismos de troca de calor via latente. Caso os meios de troca de calor sensível e latente não forem suficientes para a eliminação dessa carga térmica, tem-se o aumento da temperatura do núcleo corporal refletido na elevação da temperatura retal. Para lidar com isso, os mecanismos fisiológicos impulsionam a uma maior vasodilatação com o aumento do fluxo sanguíneo para a superfície da pele, aumentando também a sudorese e a frequência respiratória. Como consequência da intensificação do uso dos mecanismos termorregulatórios, ocorre a diminuição da ingestão de nutrientes e a redução da taxa metabólica o que afeta diretamente a produção e produtividade dos animais (Marai & Haeeb, 2010).

Com isso, o objetivo da presente pesquisa foi quantificar os níveis de estresse térmico e as perdas de calor sensíveis e latentes de caprinos mestiços Boer submetidos a diferentes temperaturas do ar, em câmara climática.

## **2. Material e métodos**

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP nº 284-2015, em cumprimento dos Princípios Orientadores Internacionais de Pesquisa Biomédica Envolvendo Animais, conforme publicado pelo Conselho de Organizações Internacionais de Ciências Médicas (CIOMS, 2012).

### *2.1. Animais e alojamento*

Foram avaliados seis caprinos machos mestiços (( $\frac{3}{4}$  raça Boer e  $\frac{1}{4}$  sem padrão racial definido (SPRD)), selecionados de rebanhos destinados à reprodução de animais com aptidão à produção de carne, apresentando peso médio de  $25.06 \pm 4.43$  kg e idade média de seis meses. Os animais foram alojados em baias de metal com dimensões de  $1.15 \times 0.50 \times 0.84$  m de comprimento, largura e altura, respectivamente, dispostas no interior de uma câmara climática, providas de comedouro e bebedouro.

### *2.2. Delineamento experimental*

Os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (temperaturas do ar) e seis repetições (animais). As temperaturas do ar propostas foram determinadas tomando como base na zona de conforto térmico (ZCT) para caprinos, mencionada por Souza et al. (2008) que se situa entre 20 e 30 °C, com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%. Com isso, foram propostas três diferentes temperaturas médias controladas: T26 = 26 °C (zona de conforto térmico), T30 = 30 °C (temperatura limite entre as zonas de conforto e estresse térmico) e T34 = 34 °C (acima da ZCT) com a umidade relativa do ar e velocidade do vento médias de 68% e 0.5 m/s, respectivamente.

### *2.3. Procedimentos experimentais*

Para cada condição térmica, foi adotado um período de cinco dias para adaptação dos animais ao ambiente controlado, ao manuseio e alimentação. A coleta de dados foi realizada em um período de dez dias para cada tratamento. No intervalo entre os tratamentos, os

animais foram expostos à temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a restauração de suas funções fisiológicas, por cinco dias.

Em cada estágio de estudo na câmara climática, os animais foram submetidos a um ciclo de 8/16 h (temperatura do ar experimental/temperatura do ar ambiente). A câmara era ligada sempre às 7h, a primeira hora destinava-se à estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara. Após a estabilização, o período experimental iniciava-se às 8h estendendo-se até às 16h.

A ração e água foram fornecidas *ad libitum*, sendo a ração ofertada aos animais foi composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 43,0% do volume total da ração, farelo de milho (26,6%), melão (2,5%), farelo de soja (24,0%), óleo de soja (2,0%), sal mineral (1,5%) e calcário calcítico (0,4%), conforme composição indicada pelo NRC (2007).

## 2.4. Coleta de dados

### 2.4.1. Variáveis ambientais

A temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas, controladas e armazenadas através de um microcomputador com o auxílio do software livre SITRAD<sup>®</sup> interligado a um controlador do tipo MT-530 PLUS da *Full Gauge Controls*<sup>®</sup>. O controlador recebia os dados médios de temperatura e umidade relativas do ar através dos sensores, Termistor e Umidiostato, respectivamente, a cada 15 min verificando e controlando essas variáveis de modo a permanecerem sempre na faixa de controle desejada (Setpoint).

A temperatura de globo negro (T<sub>gn</sub>) não foi coletada, sendo esta substituída nos cálculos das trocas de calor pela temperatura de bulbo seco (T<sub>bs</sub>), pelo fato dos animais terem sido alojados em câmara climática onde a iluminação era feita com lâmpadas fluorescentes (frias), havendo também baixo fluxo de ar e a radiação solar era efetivamente bloqueada e nesta situação, segundo Li et al. (2009) a diferença entre a T<sub>gn</sub> e T<sub>bs</sub> pode ser desprezada.

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi usado para avaliar o nível de estresse térmico induzido pelo ambiente aos animais e foi calculado usando a equação relatada por Ravagnolo et al. (2000), conforme Equação 1.

$$ITU = (1,8 * T_A + 32) - \{(0,55 - 0,0055 * UR) * (1,8 * T_A - 26)\} \quad (1)$$

Onde,

ITU – índice de temperatura e umidade.

T<sub>A</sub> – temperatura do ar (°C).



UR – umidade relativa (%).

As faixas de conforto/estresse térmico experimentadas foram classificadas conforme Silanikove & Koluman (2015) que definiram faixas de ITU classificadas como 74 ou menos (confortável), 75-79 (estresse moderado), 80-85 (estressante), 86-88 (muito stressante) e 88 ou mais (sofrimento extremo).

#### 2.4.2. Respostas fisiológicas

A temperatura superficial (TS) foi obtida através da média aritmética das temperaturas da frente, do pescoço, do lombo, do costado, do ventre e da canela coletadas com auxílio de um termômetro de infravermelho digital, conforme metodologia proposta por Lucena et al. (2013).

A temperatura retal (TR) foi registrada através da introdução de um termômetro clínico veterinário digital no reto do animal (a uma profundidade de ~2 cm) com o bulbo junto à mucosa retal, permanecendo introduzido até a estabilização da leitura.

A frequência respiratória (FR) foi obtida por meio da auscultação indireta das bulhas com auxílio de estetoscópio flexível durante o período de 20 s, realizando-se a extrapolação para um minuto (mov/min).

### 2.5. Trocas de calor

O balanço energético dos animais no interior da câmara climática foi feito através do cálculo das trocas de calor totais ( $C_t$ ) por unidade de área de superfície dos animais, derivadas da soma das trocas de calor sensível (radiação e convecção) e latente (cutâneo e do trato respiratório).

#### 2.5.1. Trocas sensíveis

Para a determinação das trocas de calor sensíveis entre o meio circundante e os animais, por unidade de área superficial corporal, adotou-se o seguinte modelo de Turnpenny et al. (2000), conforme Equação 2.

$$G_s = C_R + L \quad (2)$$

Onde,

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

$C_R$  - troca de calor por convecção ( $W/m^2$ );

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

As trocas de calor sensíveis por condução não foram incluídas na Equação 2, pelo fato de os animais terem sido alojados em baias metálicas onde havia pouco contato entre os animais e o piso que possuía superfície telada. A troca de calor por convecção,  $C_R$ , foi determinado pela Equação 3, proposta por McArthur (1987).

$$C_R = \frac{\rho * C_p}{rh} * (T_s - T_A) \quad (3)$$

Onde,

$C_R$  - troca de calor por convecção ( $W/m^2$ );

$\rho$  - densidade do ar ( $kg/m^3$ );

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

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

$T_s$  - temperatura da superfície corporal ( $K$ );

$T_A$  - temperatura do ar ( $K$ ).

A resistência da camada limite para a transferência de calor sensível depende da velocidade do vento, da geometria do corpo e da natureza da interface (Mitchell, 1974). Para caprinos exposto ao ar em movimento, com o tronco em ângulo reto com a corrente de ar, Frank & Nelson (1967) estabeleceram uma relação para se determinar a resistência da camada limite à perda de calor por convecção forçada que pode ser expressa pela Equação 4.

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

Onde,

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

$\rho$  - densidade do ar ( $kg/m^3$ );

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

$d_b$  - diâmetro médio do troco corporal dos animais ( $m$ );

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

$Nu$  - número de Nusselt.

O número de Nusselt foi determinado pela Equação 5, ao considerar-se a representação do corpo dos animais como sendo um cilindro.

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

Onde,

$Nu$  - número de Nusselt;

$Re$  - número de Reynolds.

O número de Reynolds foi obtido pela Equação 6.

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

Onde,

Re - número de Reynolds;

$\nu$  - viscosidade cinemática do ar ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$d_t$  - diâmetro de um globo negro padrão (0,15 m);

V – velocidade média de deslocamento do ar (0,5 m/s).

As trocas por radiação de ondas longas foram calculadas através da Equação 7, proposta por McArthur (1987). Considerou-se apenas radiação de ondas longas, pelo fato de não haver incidência de radiação solar direta no interior da câmara climática.

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

Onde,

L - troca de calor por radiação ( $\text{W}/\text{m}^2$ );

$\rho$  - densidade do ar ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

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

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

$T_s$  - temperatura da superfície corporal (K);

$\bar{T}_r$  - temperatura radiante média (K).

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

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

Onde,

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

$\rho$  - densidade do ar ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

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

$\varepsilon_s$  - emissividade da pele dos animais (0,98);

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67051 * 10^{-8}$ ,  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ );

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

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

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

Onde,

$h_c$  - coeficiente de convecção de um globo negro padrão;

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

$\varepsilon_{gn}$  - emissividade do globo negro.

$T_A$  – temperatura do ar.

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

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

Onde,

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

$d_g$  – diâmetro de um globo negro padrão (0,15 m);

$R_e$  – número de Reynolds;

$P_r$  - número de Prandtl, adimensional.

O número de Prandtl foi obtido pela Equação 11.

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

Onde,

$\rho$  - densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>);

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

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

$\nu$  - viscosidade cinemática do ar (m<sup>2</sup>/s).

### 2.5.2. Trocas latentes

Considerou-se como trocas latentes totais ( $E_t$ ) o processo de evaporação respiratória e as trocas cutâneas, adotando-se para isso o modelo apresentado na Equação 12, conforme Silva & Maia (2011).

$$E_t = E_r + E_c \quad (12)$$

Onde,

$E_t$  – trocas latentes totais (W/m<sup>2</sup>);

$E_r$  - troca de calor por evaporação respiratória (W/m<sup>2</sup>);

$E_c$  - troca de calor por evaporação cutânea (W/m<sup>2</sup>).

Para o cálculo das trocas latentes advindas do trato respiratório dos animais, foi utilizada a Equação 13 (Silva et al., 2002).

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

Onde,

$\lambda$  - calor latente de vaporização da água (2260,87 J/g);

$\rho$  - densidade do ar (kg/m<sup>3</sup>);

$\Psi_B$  – representa a umidade absoluta do ar expirado (g/m<sup>3</sup>);

$\Psi_A$  - representa a umidade absoluta do ar no interior da câmara (g/m<sup>3</sup>).

A umidade absoluta do ar expirado pelos animais e do ar presente no interior da câmara climática foram calculadas através das Equações 14 e 15, respectivamente (Silva et al., 2002).

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

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

Onde,

$M_w$  - massa molar de água (18,016 g/mol).

$T_B$  - temperatura do ar expirado 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  $T_B$  (kPa).

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

$R$  - constante universal dos gases (8,3143 J/mol K).

A temperatura do ar expirado pelos animais foi estimada com base em observações empíricas realizadas por Silva et al. (2002), conforme Equação 16.

$$T_B = 0,0024 * T_A^2 + 0,1587 * T_A + 28,277 \quad (16)$$

Onde,

$T_B$  - temperatura do ar expirado 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 & Maia (2011) que depende da temperatura da superfície dos animais ( $T_s$ ) conforme Equação 17.

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

Onde,

$E_c$  - Fluxo de calor por evaporação cutânea (W/m<sup>2</sup>);

$T_s$  - Temperatura superficial (°C).

## 2.6. Propriedades 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.** Determinação das características do ar para as diferentes temperaturas avaliadas (°C).

Características do ar	Equações	Unidades
Viscosidade cinemática	$v = 1,32909 * 10^{-5} + 9 * 10^{-8} * T$	(m <sup>2</sup> /s)
Densidade	$p = 1,289764 - 0,004111 * T$	(kg/m <sup>3</sup> )

Condutividade térmica	$k = 0,024324 + 6,2909 \cdot 10^{-5} \cdot T$	(W/m °C)
Calor específico	$C_p = 1005,524 + 0,033714 \cdot T$	(J/kg °C)

A pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) foi calculada pelo produto entre a pressão de saturação de vapor d'água ( $e_s$ ) e a umidade relativa do ar (UR) conforme Equação 18.

$$e_a = \frac{e_s \cdot UR}{100} \quad (18)$$

Onde,

$e_a$  – pressão parcial de vapor (kPa);

$e_s$  - pressão de saturação de vapor de água (kPa);

UR – umidade relativa (%).

A pressão de saturação de vapor d'água foi calculada através da *equação de Tetens* (Equação 19).

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

Onde,

$e_s$  - pressão de saturação de vapor de água (kPa);

$T_a$  – temperatura do ar.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios calculados da viscosidade cinemática ( $\nu$ ), densidade ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $k$ ), calor específico ( $C_p$ ) e pressão parcial de vapor no ar ( $e_a$ ), assim como os adimensionais, Número de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para os três tratamentos avaliados.

**Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão (%) da viscosidade cinemática ( $\nu$ ), densidade ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $k$ ), calor específico ( $C_p$ ) e pressão parcial de vapor no ar ( $e_a$ ), assim como dos adimensionais, Número de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr), para as três condições térmicas avaliadas.

Características do ar	Tratamentos		
	T26	T30	T34
Viscosidade cinemática (m <sup>2</sup> /s)	1,56*10 <sup>-5</sup> ± 0,70%	1,59*10 <sup>-5</sup> ± 0,07%	1,63*10 <sup>-5</sup> ± 0,10%
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1,18 ± 0,04%	1,17 ± 1,89%	1,15 ± 7,80%
Condutividade térmica (W/m K)	0,03 ± 0,03%	0,03 ± 0,03%	0,03 ± 0,05%
Calor específico (J/kg °C)	1006,39 ± 0,00%	1006,52 ± 0,00%	106,65 ± 0,00%
Número de Nusselt	48,23 ± 0,032%	47,76 ± 0,03%	47,27 ± 0,05%
Número de Reynolds	4807,25 ± 0,07%	4704,94 ± 0,07%	4600,71 ± 0,10%

Número de Prandtl	0,72 ± 0,00%	0,72 ± 0,00%	0,71 ± 0,01%
Pressão de vapor	2,28 ± 7,01%	2,81 ± 4,16%	2,60 ± 0,02%

## 2.7. *Análises estatísticas*

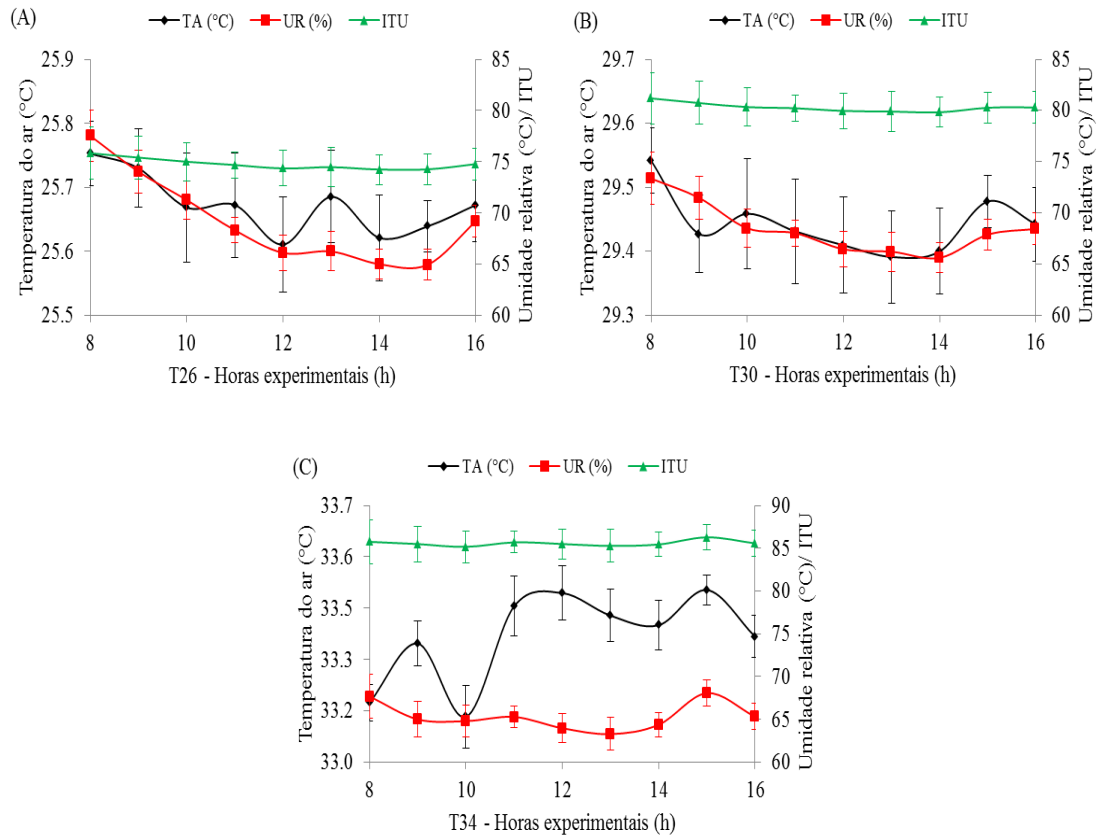
Os valores médios de ITU,  $T_A$  e UR foram apresentados em gráficos de dispersão ( $\pm$ SEM). Já os valores de TR, TS e FR foram plotados em diagramas de caixa (boxplot). A normalidade da distribuição dos resíduos e homogeneidade das variâncias dos dados das respostas fisiológicas e trocas de calor foram testadas utilizando-se os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett ( $P > 0,05$ ), respectivamente. Posteriormente, os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste F, utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software estatístico R versão 3.4.1. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias admitindo-se uma probabilidade de erro de 5% ( $P < 0,05$ ).

A correlação das respostas fisiológicas TR, TS e FR com as trocas de calor sensível total e latente total, respectivamente, foram analisadas através de regressões lineares simples com faixa de confiança de 95% e da avaliação da magnitude do coeficiente de correlação de Pearson.

## 3. Resultados

### 3.1. *Variáveis climáticas*

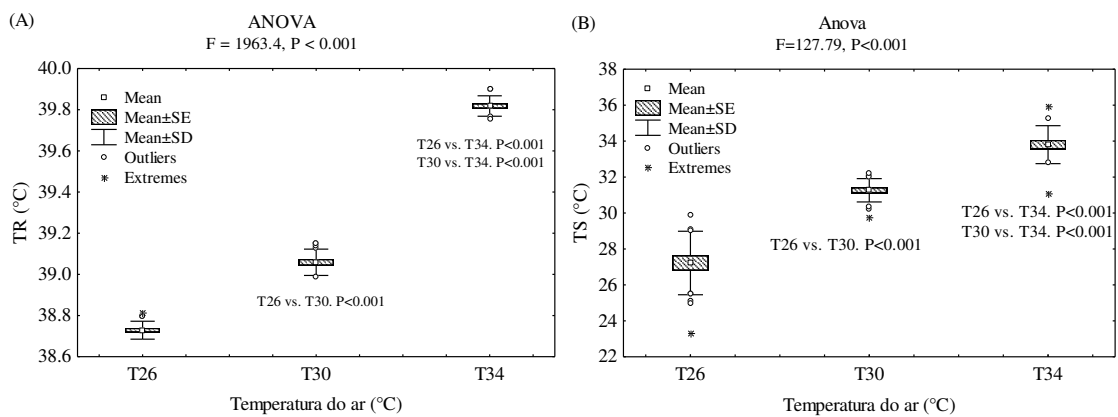
Na Figura 1, estão representadas as variações médias da temperatura do ar, umidade relativa e ITU, no decorrer dos dez dias experimentais de exposição dos animais a cada nível do fator temperatura do ar. Pode-se observar uma amplitude de 0,54, 0,62 e 2,77 °C na temperatura do ar e 25,49, 18,14 e 19,38% na umidade relativa do ar, nos tratamentos T26, T30 e T34, respectivamente. O índice de temperatura e umidade, na temperatura mais amena (T26) foi registrado com valores próximos a 74, sofrendo acréscimo gradual em consequência do aumento dos níveis de  $T_A$ , chegando a atingir valores superiores a 85 (acrécimo de 15%) na maior temperatura do ar avaliada (T32).



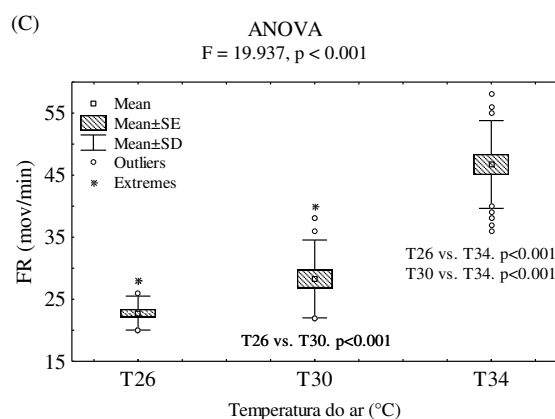
**Figura 1.** Valores horários médios da temperatura do ar, umidade relativa e ITU, registrados ao longo dos tratamentos T26, T30 e T34, respectivamente.

### 3.2. Respostas fisiológicas

A elevação da temperatura do ar ocasionou o aumento significativo ( $P < 0.05$ ) das temperaturas retal (TR) e superficial (TS) e frequência respiratória (FR) (Figura 2). Comparando-se os tratamentos T26 ao T34, tem-se um aumento de 2.86, 24.18 e 105.12%, nas respostas TR, TS e FR, respectivamente.







**Figura 2.** Efeito da temperatura do ar nas respostas fisiológicas: (A) temperatura retal (TR); (B) temperatura superficial (TS); e (C) frequência respiratória (FR), dos caprinos avaliados.

### 3.3. Trocas de calor

O acréscimo da temperatura do ar afetou significativamente ( $P < 0.05$ ) a intensidade com que os animais trocavam calor, tanto na forma sensível quanto latente, observa-se que os animais passaram a perder calor com menos intensidade na forma sensível, passando a utilizar-se com maior intensidade dos mecanismos de troca de calor latente, conforme o aumento da temperatura do ar.

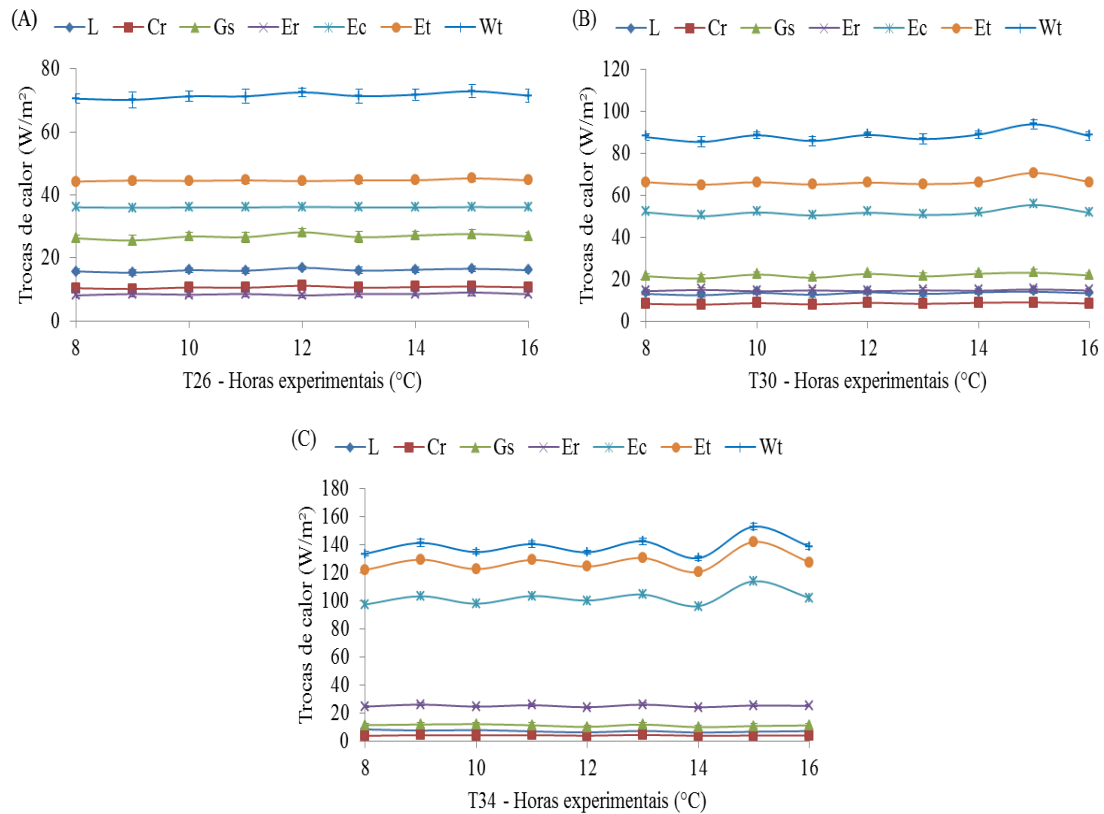
**Tabela 3.** Resumo da análise de variância e comparação de médias para os fluxos de calor por radiação (L), convecção (Cr), sensível total (Gs), latente do trato respiratório (Er), cutâneo (Ec), latente total (Et) e troca de calor total (Wt), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas.

Fonte de variação	G L	Trocadas de calor (p-valor)						
		L	Cr	Gs	Er	Ec	Et	Wt
Temperatura do ar	2	0,000**	0,000**	0,0000**	0,000**	0,000**	0,000**	0,000**
CV (%)	-	24,89	23,04	23,78	14,11	17,26	14,08	15,04
Tratamentos	Médias							
	L (W/m <sup>2</sup> )	Cr (W/m <sup>2</sup> )	Gs (W/m <sup>2</sup> )	Er (W/m <sup>2</sup> )	Ec (W/m <sup>2</sup> )	Et (W/m <sup>2</sup> )	Wt (W/m <sup>2</sup> )	
T26	16,16 a	10,70 a	26,86 a	8,53 c	36,09 c	44,62 c	71,48 c	
T30	13,34 b	8,53 b	21,87 b	14,69 b	51,77 b	66,46 b	88,34 b	
T34	7,20 c	4,12 c	11,22 c	25,15 a	102,24 a	127,70 a	137,31 a	

(\*\*) efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $P < 0.01$ ); GL= grau de liberdade e CV = coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey.

Na Figura 3, pode-se observar o comportamento médio das trocas de calor sensíveis (radiação, convecção e total) e também da troca de calor latente cutâneo e do trato respiratório dos animais avaliados durante as oito horas diárias de experimentação para cada tratamento.

Analisando-se o tratamento T26, tem-se observado que 38% da dissipação total do excedente de calor metabólico pelos animais foi na forma sensível, sendo que desta porcentagem 60% por radiação e 40% por convecção; os outros 62% do excedente de calor produzido foi dissipado de forma latente, onde 19% foi eliminado pelo trato respiratório e 81% via cutânea.



**Figura 3.** Estimativas dos fluxos de calor por radiação (L), convecção (Cr), sensível total (Gs), latente do trato respiratório (Er), cutâneo (Ec), latente total (Et) e fluxo de calor total (Wt), respectivamente, para as condições térmicas avaliadas.

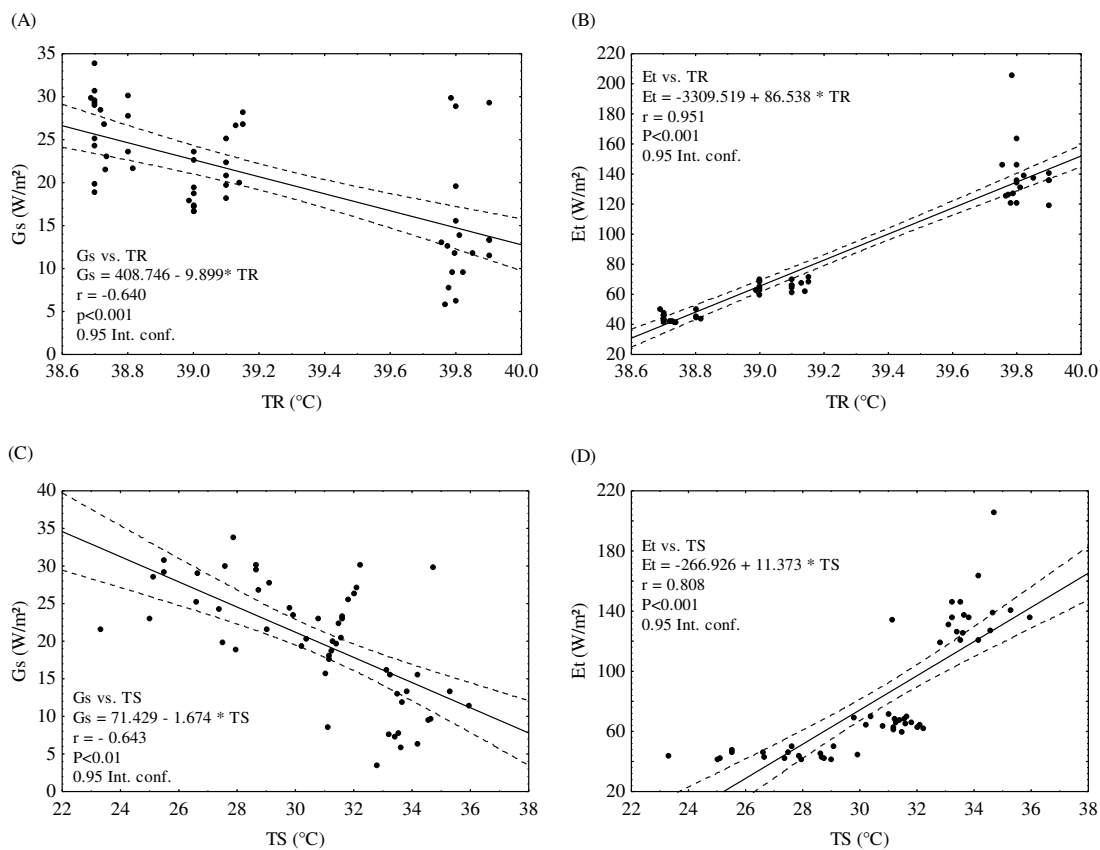
No tratamento T30, os animais reduziram a capacidade de dissipação do calor corporal de forma sensível, passando a dissipar 25% do calor metabólico excedente, não alterando expressivamente a contribuição das trocas por radiação (61%) e convecção (39%) em relação a troca de calor sensível total. Com isso, os animais passaram a perder 75% do excedente de calor metabólico corpóreo de forma latente, onde o trato respiratório elevou sua contribuição para a perda de calor latente total em 3%, ou seja, passou a liberar 22% deste total, e consequentemente, houve a redução para 78% da contribuição da perda de calor pela epiderme.

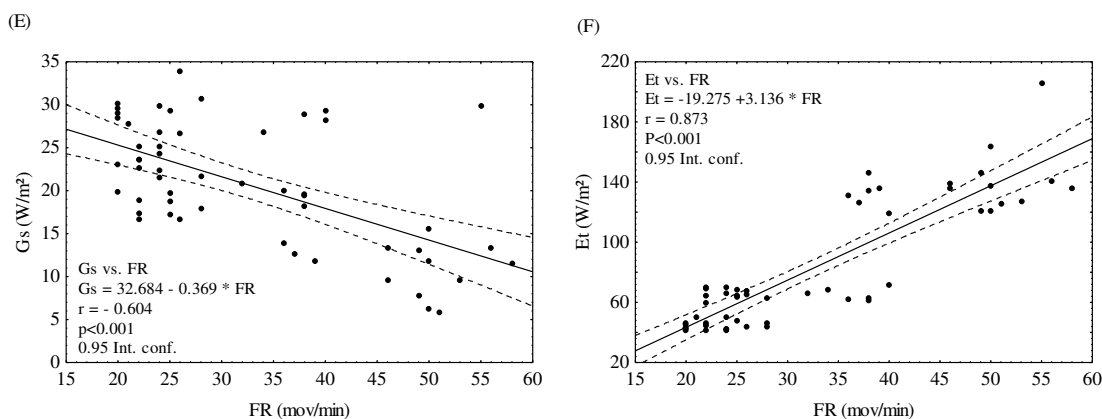
No tratamento T34, houve uma redução da dissipação de calor sensível total passando a dissipar apenas 8% do excesso de calor metabólico total, sendo 64% deste por radiação e 36% por convecção. Os mecanismos de troca de calor latente passaram a dissipar 92% de todo o

calor produzido pelos animais, ficando o trato respiratório responsável por dissipar 20% deste total e a epiderme por eliminar os outros 80%.

### 3.4. Correlações entre as trocas de calor e as respostas fisiológicas

As correlações entre as respostas fisiológicas temperatura retal (TR), temperatura superficial (TS) e frequência respiratória (FR) com as perdas de calor sensível total (Gs) e latente total (Et) são apresentadas na Figura 4, com faixa de confiança de 95%. As três respostas fisiológicas avaliadas apresentaram correlação negativa significativa ( $P < 0,05$ ) com a troca de calor sensível total, tendo apresentado ainda correlação positiva significativa ( $P < 0,05$ ) com  $E_t$ . Dentre as respostas avaliadas, a temperatura superficial apresentou melhor correlação com Gs, apresentando coeficiente de correlação de -0,643, seguida das respostas TR e FR que apresentaram r de -0,640 e -0,604, respectivamente. Já para a perda de calor latente total, a resposta TR apresentou melhor correlação, com  $r = 0,951$ , seguida da FR e TS com coeficientes de correlação de 0,873 e 0,808, respectivamente.





**Figura 4.** Correlação entre as respostas fisiológicas dos animais e as trocas de calor sensível (Gs) total e latente total (Et).

#### 4. Discussão

O índice de temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido como um índice de segurança climática para monitorar as perdas relacionadas ao estresse térmico. A sensibilidade às elevadas temperaturas do ar varia entre as espécies de animais (Archana et al., 2018). O ITU é geralmente classificado em diferentes faixas para indicar o nível de estresse térmico sofrido pelos animais (Rout et al., 2017). Com isso, observou-se que os animais avaliados na presente pesquisa no tratamento T26 estavam em condições de conforto térmico, passando para uma condição de estresse moderado em T30, posteriormente, no tratamento T34, os animais enfrentaram temperaturas térmicas severas (muito estressante), pois os valores médios de ITU registrados durante as oito horas de experimentação diárias durante este período foram superiores a 85.

Observando-se o comportamento da temperatura retal na faixa de ITU considerada confortável (T26), tem-se analisado que a mesma situou-se próxima a 38,5 °C, que segundo Avendaño-Reyes et al. (2006) é a TR considerada normal para caprinos mantidos em condições de conforto térmico. Quando comparados os valores da temperatura retal na faixa de ITU confortável (T26) com a TR observada nas faixas de estresse moderado (T30) e estressante (T34), tem-se um aumento de 0,34 e 1,11 °C, respectivamente, o que caracterizou uma condição de estresse térmico aos animais em T34. A elevação da TR nas condições de estresse térmico indica que os mecanismos de troca de calor dos animais não foram suficientes para a eliminação do excesso de calor metabólico produzido, visto que a elevação da TR em 1 °C, já pode acarretar perdas significativas na produtividade dos animais (McDowell et al., 1976). Assim como na presente pesquisa Phulia et al. (2010), relataram

incremento na TR (de 38,97 a 39,35 °C) quando caprinos foram expostos a condições de elevadas temperaturas ambientes por período superiores a 6 h.

Analisando-se o comportamento da temperatura superficial (TS) dos animais avaliados ao longo dos três tratamentos experimentais, observa-se o aumento significativo ( $P < 0,05$ ) da TS com a elevação da temperatura do ar (TA) e, conseqüentemente, uma redução do gradiente térmico entre TS e TA, que foi reduzido de 1,55 para 0,35 °C, quando comparados os tratamentos T26 com T34. Esse aumento da TS se justifica pela elevação do fluxo sanguíneo para a superfície corporal e a vasodilatação, elevando assim a temperatura da pele, para facilitar a dissipação de calor por mecanismos não evaporativos (condução, convecção e radiação) (Souza et al., 2012). Souza et al. (2008) justificam que quando a temperatura do ar se eleva, o gradiente térmico entre a superfície do corpo e o meio decresce, conforme observado no presente estudo, dificultando assim a dissipação de calor via mecanismos de trocas sensíveis, tendo o animal que recorrer aos mecanismos de troca de calor por meio evaporativo (cutâneo e/ou frequência respiratória) para eliminar calor.

A frequência respiratória nas condições de ITU confortável e de estresse moderado foi comparável à FR de referência para caprinos adultos, que está compreendida entre 15 e 30 mov/min (Pugh and Baird, 2012). Quando observada a resposta FR na condição de ITU muito estressante (T34) constata-se um aumento de aproximadamente 67% da FR, acima do limite superior estabelecido pela literatura, evidenciando que os animais utilizaram com maior intensidade esse mecanismo para eliminação do excedente de calor produzido, de forma evaporativa pelo trato respiratório (Hamzaoui et al., 2013).

Em relação ao comportamento das trocas de calor entre os animais e o meio, em função dos tratamentos testados, tem-se observado que quando submetidos ao tratamento T26 apesar dos animais terem perdido maior parte do calor metabólico excedente de forma cutânea (latente), eles se encontravam em condições de homeostase sendo que Maia et al. (2015) e Ligeiro et al. (2006) relatam que para caprinos mestiços expostos à temperatura do ar dentro da zona de conforto térmico, os animais podem perder até 60 W/m<sup>2</sup> através da epiderme. Outra resposta que evidencia a condição de conforto térmico dos animais é a quantidade de calor perdida por meio do trato respiratório que correspondeu apenas a 12% (8,53 W/m<sup>2</sup>) da perda de calor total dos caprinos, visto que a frequência respiratória foi constatada dentro do limite de normalidade para a espécie. Conforme Maia et al. (2016), em condições de conforto térmico com temperatura variando entre 26 e 30 °C e umidade do ar entre 50 e 70% os caprinos podem perde até 12 W/m<sup>2</sup> da quantidade de calor metabólico excedente através do

trato respiratório, sem alterações expressivas no funcionamento dos mecanismos termorregulatórios.

De acordo com Maia et al. (2016), caprinos submetidos a temperaturas do ar abaixo de 26 °C eliminam o excesso de calor metabólico para o ambiente basicamente através da convecção livre e radiação de ondas longas. Quando os animais são expostos a temperaturas na faixa de 26 a 30 °C que são próximas às temperaturas do ar experimentadas nos tratamentos T26 e T30, a perda de calor na forma latente passa a ganhar importância progressiva (Maia et al., 2016), com isso observou-se que nestas duas condições avaliadas os mecanismos de troca de calor latente, em especial a cutânea desempenharam o papel de maior importância para o controle da homeotermia.

A elevada contribuição das trocas de calor através da epiderme em detrimento da reduzida contribuição das trocas convectivas para dissipação do excedente de calor metabólico produzido pelos animais em condições de conforto térmico deu-se em função da baixa movimentação do ar no interior da câmara climática que foi em torno de 0,5 m/s.

Os animais quando submetidos às condições de temperatura do ar T30 intensificaram a dissipação de calor na forma evaporativa e, conseqüentemente, houve a redução das perdas de calor na forma sensível, este comportamento corrobora com o estudo desenvolvido por Maia et al. (2016) e conforme os autores, em temperaturas do ar iguais ou superiores a 30 °C, a perda de calor latente é a principal via de dissipação do excedente de calor metabólico total produzido. Outro fato que pode ser observado é que os animais elevaram significativamente ( $P < 0,05$ ) as perdas de calor na forma latente pelo trato respiratório, chegando a ultrapassar as perdas de calor por condução e radiação.

Observando-se o tratamento T34 onde ocorreram as maiores temperaturas do ar (condições estressantes de ITU) avaliadas na presente pesquisa, nota-se que quase a totalidade do excedente de calor metabólico produzido pelos animais foi dissipado na forma evaporativa (92%), tendo ainda como maior contribuição as perdas cutâneas. Porém nota-se ainda que os animais elevaram significativamente ( $P < 0,05$ ) em 105% a frequência respiratória nestas condições quando comparado ao tratamento T26, onde os animais passaram a dissipar um total de 25 W/m<sup>2</sup> de calor pelo trato respiratório, caracterizando uma condição de elevado estresse térmico aos animais, visto que este mais que dobrou o valor de referência (12 W/m<sup>2</sup>) citado por Maia et al. (2016), para caprinos em situação de conforto térmico.

Analisando-se as correlações entre as trocas sensíveis totais ( $G_s$ ) e latentes totais ( $E_t$ ) com as respostas fisiológicas TR, TS e FR pode-se notar que as três respostas fisiológicas avaliadas se correlacionaram significativamente ( $P < 0,05$ ) com as trocas de calor. Conforme

a elevação da TR, TS e FR, pode-se notar uma redução progressiva na quantidade de calor pedido para o meio, na forma sensível, visto que estas repostas apresentaram correlações negativas com a Gs. Tal comportamento reflete a dificuldade que os animais passaram a ter para perder calor na forma sensível, conforme a elevação da temperatura do ar e, por conseguinte da redução do gradiente térmico, tendo os animais que redirecionar o uso das reservas energéticas para a ativação e intensificação dos mecanismos de termorregulação, justificando-se assim o aumento linear da  $E_t$  conforme se eleva a TR, TS e FR.

Com base na magnitude dos coeficientes de determinação de Pearson, dentre as repostas fisiológicas, a temperatura superficial ( $r = - 0,643$ ) se destacou como sendo a resposta fisiológica que melhor representou o comportamento das trocas de calor na forma sensíveis dos caprinos Boer submetidos às condições ambientais testadas. A superfície corporal dos animais mantém contato direto com o meio circundante, e sua temperatura sofre influência direta com a variação da temperatura do ar, ocasionando variações na capacidade de troca de calor por meio sensível, sendo que esta capacidade de perda de calor está relacionada diretamente com o gradiente térmico entre a temperatura superficial e a do meio (Souza et al., 2008).

As três repostas fisiológicas avaliadas apresentaram elevados coeficiente de correlação de Pearson com as trocas de calor latentes totais (Gs), sendo que a TR apresentou o maior coeficiente de correlação (0,951), mostrando que esta é um indicador sensível de equilíbrio térmico dos animais, e também evidencia a ocorrência da ativação dos mecanismos termorregulatórios evaporativos, para manter a temperatura do núcleo corpóreo dentro dos limites de normalidade diante das adversidades do ambiente (Kadzere et al., 2002).

## **5. Conclusões**

- Com base nos ITUs constatados nos tratamentos, observou-se que os animais foram expostos a condições de conforto térmico, estresse moderado e muito estressante, respectivamente, nas temperaturas de 26, 30 e 34 °C;
- Em condições térmicas muito estressantes, os animais perderam quase que a totalidade (92%) do excedente de calor metabólico de forma latente (Cutâneo e trato respiratório);
- Com a elevação da temperatura do ar, as repostas temperatura superficial e temperatura retal apresentaram respectivamente maiores correlações com as trocas de calor sensível total e latente total.

## **Agradecimentos**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e financiamento da pesquisa processo nº 445393/2014-9.

## **Referências**

- Archana, P.R., Sejian, V., Ruban, W., Bagath, M., Krishnan, G., Aleena, J., Manjunathareddy, G.B., Beena, V., Bhatta, R., 2018. Comparative assessment of heat stress induced changes in carcass traits, plasma leptin profile and skeletal muscle myostatin and HSP70 gene expression patterns between indigenous Osmanabadi and Salem Black goat breeds. *Meat Science* 141, 66-80.
- Avendaño-Reyes, L., Torres-Rodríguez, V., Meraz-Murillo, F.J., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Robinson, P.H., 2006. Effects of two  $\beta$ -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers<sup>1,2</sup>. *Journal of Animal Science* 84, 3259-3265.
- Collier, R.J., Collier, J.L., Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., 2008. Invited Review: Genes Involved in the Bovine Heat Stress Response<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science* 91, 445-454.
- Frank, W., Nelson, G.L., 1967. Nonevaporative Convective Heat Transfer from the Surface of a Bovine. *Transactions of the ASAE* 10, 733-0737.
- Gaughan, J., Lacetera, N., Valtorta, S.E., Khalifa, H.H., Hahn, L., Mader, T., 2009. Response of Domestic Animals to Climate Challenges, in: Ebi, K.L., Burton, I., McGregor, G.R. (Eds.), *Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change*, Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 131-170.
- Hamzaoui, S., Salama, A.A.K., Albanell, E., Such, X., Caja, G., 2013. Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions. *Journal of Dairy Science* 96, 6355-6365.
- Hansen, P.J., 2009. Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 3341-3350.
- Hutchinson, J.C.D., 1954. Evaporative cooling in fowls. *The Journal of Agricultural Science* 45, 48-59.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 77, 59-91.
- Leon, L.R., Gordon, C.J., 2011. Thermal Stress. *Research Institute of Environmental Medicine* 01, 334-339.



- Li, S., G Gebremedhin, K., N Lee, C., J Collier, R., 2009. Evaluation of Thermal Stress Indices for Cattle, 2009 Reno, Nevada, June 21 - June 24, 2009, ASABE, St. Joseph, MI.
- Ligeiro, E.C., Maia, A.S.C., Silva, R.G., Loureiro, C.M.B., 2006. Perda de calor por evaporação cutânea associada às características morfológicas do pelame de cabras leiteiras criadas em ambiente tropical. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35, 544-549.
- Maia, A.S.C., da Silva, R.G., Nascimento, S.T., Nascimento, C.C.N., Pedroza, H.P., Domingos, H.G.T., 2015. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. *International Journal of Biometeorology* 59, 1025-1033.
- Maia, A.S.C., Nascimento, S.T., Nascimento, C.C.N., Gebremedhin, K.G., 2016. Thermal equilibrium of goats. *Journal of Thermal Biology* 58, 43-49.
- Marai, I.F.M., Haebe, A.A.M., 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livestock Science* 127, 89-109.
- McArthur, A.J., 1987. Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theoretical Biology* 126, 203-238.
- McDowell, R.E., Hooven, N.W., Camoens, J.K., 1976. Effect of Climate on Performance of Holsteins in First Lactation. *Journal of Dairy Science* 59, 965-971.
- Phulia, S.K., Upadhyay, R.C., Jindal, S.K., Misra, R.P., 2010. Alteration in surface body temperature and physiological responses in Sirohi goats during day time in summer season. *Indian Journal of Animal Sciences* 80, 340-342.
- Pugh, D.G., Baird, A.N., 2012. Dedication, in: Pugh, D.G., Baird, A.N. (Eds.), *Sheep and Goat Medicine (Second Edition)*, W.B. Saunders, Saint Louis, p. v.
- Ravagnolo, O., Misztal, I., Hoogenboom, G., 2000. Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Development of Heat Index Function. *Journal of Dairy Science* 83, 2120-2125.
- Silanikove, N., Koluman, N., 2015. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research* 123, 27-34.
- Silva, R.G.d., 2000. Um modelo para a determinação do equilíbrio térmico de bovinos em ambientes tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29, 1244-1252.
- Silva, R.G., LaScala Jr., N., Lima-Filho, A.E., Catharin, M.C., 2002. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. *Int. J. Biometeorol.* 46, 136-140
- Silva, R.G.d., Maia, A.S.C., 2011. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of Holstein cows in tropical conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40, 1143-1147.

- Souza, B.B., Souza, E.D., Cezar, M.F., Souza, W.H., Santos, J.R.S., Benicio, T.M.A., 2008. Superficial temperature and index of tolerance to the heat of goat of different genetic groups in semi-arid. *Ciência e Agrotecnologia* 32, 275-280.
- Souza, P.T.d., Salles, M.G.F., Araújo, A.A.d., 2012. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. *Ciência Rural* 42, 1888-1895.
- Turnpenny, J.R., McArthur, A.J., Clark, J.A., Wathes, C.M., 2000. Thermal balance of livestock: 1. A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology* 101, 15-27.

## **Artigo 2**

### **Estimativa da temperatura retal de caprinos com base na temperatura superficial**

(Editado conforme normas da revista: Journal of Thermal Biology)

## **Estimativa da temperatura retal de caprinos com base na temperatura superficial**

### **Resumo**

A termografia por infravermelho (IR) é uma ferramenta não invasiva que pode ser usada para indicar alterações nas condições térmicas dos animais em resposta ao ambiente de produção. O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação da IR para estimar a temperatura retal de caprinos mestiços da raça Boer. Seis caprinos mestiços foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado e submetidos às temperaturas do ar de 26, 30 e 34 °C e 68% de umidade relativa. Foram coletados dados de temperatura retal (RT) e termogramas dos animais em cada temperatura do ar (AT). Nos termogramas foram coletadas as temperaturas das regiões do globo ocular (PT), cabeça (HT), espádua (ST), quarto traseiro (HQ) e temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ) da superfície dos animais. A correlação dos dados de PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$  com a RT foram avaliadas através da análise do coeficiente de Pearson e a concordância através de diagramas de Bland-Altman. Dentre as temperaturas superficiais avaliadas, a PT foi a que apresentou melhor correlação ( $r = 0,956$ ) com a RT. Nenhuma temperatura superficial apresentou concordância com a RT.

**Palavras-chave:** Bland-Altman, estresse térmico, termografia

### **Estimation of rectal temperature of goats based on surface temperature**

#### **Abstract**

Infrared thermography (IR) is a non-invasive tool that can be used to indicate changes in the thermal conditions of animals in response to the production environment. The objective of this study was to evaluate the application of IR to estimate the rectal temperature of crossbred goats of the Boer breed. Six crossbred goats were distributed in a completely randomized design and submitted to air temperatures of 26, 30 and 34 °C and 68% relative humidity. Rectal temperature (RT) and thermograms data were collected from animals at each air temperature (AT). In the thermograms, the temperatures of the ocular globe (PT), head (HT), shoulder (ST), hindquarter (HQ) and maximum infrared ( $T_{Max}$ ) temperatures of the animals' surfaces were collected. The correlation of PT, HT, ST, HQ and  $T_{Max}$  data with RT was evaluated through the Pearson coefficient analysis and agreement through Bland-Altman diagrams. Among

the surface temperatures evaluated, PT showed the best correlation ( $r = 0.956$ ) with RT. No surface temperature showed agreement with RT.

**Key words:** Bland-Altman, thermal stress, thermography

## 1. Introdução

A exploração de caprinos de corte é uma atividade em potencial, principalmente em regiões áridas e semiáridas, por se tratarem de animais rústicos e adaptados às condições climáticas específicas destas regiões, porém, quando expostos a elevadas temperaturas do ar, pode ocorrer redução do seu potencial produtivo e reprodutivo, devido aos estímulos dos receptores periféricos e do núcleo corpóreo que são enviados aos centros específicos do hipotálamo, para o acionamento dos sistemas de resfriamento evaporativo e não evaporativo, que pode alterar o funcionamento do centro de controle do apetite. Os impulsos supressivos transmitidos para o centro do apetite causam a diminuição da ingestão alimentar, e menos substratos ficam disponíveis para as atividades enzimáticas, sínteses hormonais e produção de calor o que ajuda a resfriar o corpo reduzindo a eficiência produtiva animal (Marai & Haeeb, 2010).

A avaliação do estado térmico de animais destinados à exploração é geralmente feita por termometria retal, adotada como sendo a temperatura representativa do núcleo corporal e sua elevação indica que os mecanismos termorreguladores são pouco eficientes ou ineficazes, para a dissipação do calor excesso metabólico produzido e este método requer que os animais sejam manipulados diretamente pelo experimentador. Este método pode influenciar no comportamento dos animais, o que por sua vez pode afetar as respostas termorregulatórias (Kammersgaard et al., 2011). Conforme Kammersgaard et al. (2013), existem métodos não invasivos que podem ser utilizados na avaliação do estado térmico dos animais, destacando-se a termografia por infravermelho (IR) que possui boa precisão e dispensa o contato direto com os indivíduos.

A IR mede a radiação térmica da superfície do animal e traduz esta para temperatura superficial. Comparando-se os métodos termometria retal e IR, tem-se analisado que os dois são distintos não apenas na técnica, onde a termometria retal baseia-se na transferência de calor condutora para o sensor, enquanto o equipamento termográfico mede a radiação. Além disso, a termografia mede a temperatura na superfície do corpo, que está constantemente envolvido em trocas de calor com o

ambiente, enquanto que temperatura da cavidade retal depende da situação térmica do núcleo do corpo (George et al., 2014).

O objetivo deste estudo foi avaliar a aplicação da IR para estimar a temperatura retal de caprinos mestiços  $\frac{3}{4}$  da raça Boer +  $\frac{1}{4}$  sem padrão racial definido (SPRD).

## **2. Material e métodos**

Os procedimentos realizados durante esta pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Protocolo CEP nº 284-2015, em cumprimento dos Princípios Orientadores Internacionais de Pesquisa Biomédica Envolvendo Animais, conforme publicado pelo Conselho de Organizações Internacionais de Ciências Médicas (CIOMS, 2012).

### *2.1. Animais e alojamento*

Foram avaliados seis caprinos machos mestiços ( $\frac{3}{4}$  raça Boer e  $\frac{1}{4}$  sem padrão racial definido (NDRP)), selecionados de rebanhos destinados à reprodução de animais com aptidão à produção de carne, apresentando peso médio de  $25.06 \pm 4.43$  kg e idade média de seis meses. Os animais foram alojados em baias de metal com dimensões de  $1.15 \times 0.50 \times 0.84$  m de comprimento, largura e altura, respectivamente, dispostas no interior de uma câmara climática, providas de comedouro e bebedouro.

### *2.2. Delineamento experimental*

Os animais foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (temperaturas do ar) e seis repetições (animais). As temperaturas do ar foram determinadas com base na zona de conforto térmico (ZCT) para caprinos mencionada por Souza et al. (2008) que se situa entre 20 e 30°C, com umidade relativa do ar podendo variar entre 50 e 70%. Com isso, os animais foram submetidos às três diferentes temperaturas médias controladas: T1 = 26 °C (zona de conforto térmico), T2 = 30 °C (temperatura limite entre as zonas de conforto e estresse térmico) e T3 = 34 °C (acima da ZCT) com a umidade relativa do ar e velocidade do vento médias de 68% e 0,5 m/s, respectivamente.

### *2.3. Procedimentos experimentais*

Para cada condição térmica estudada, foi adotado um período de cinco dias para adaptação dos animais ao ambiente controlado, bem como ao manuseio e alimentação.

A coleta de dados foi realizada em um período de dez dias para cada tratamento. No intervalo entre os tratamentos, os animais foram expostos à temperatura e umidade relativa do ar ambiente (com a câmara aberta) para a restauração de suas funções fisiológicas, por cinco dias.

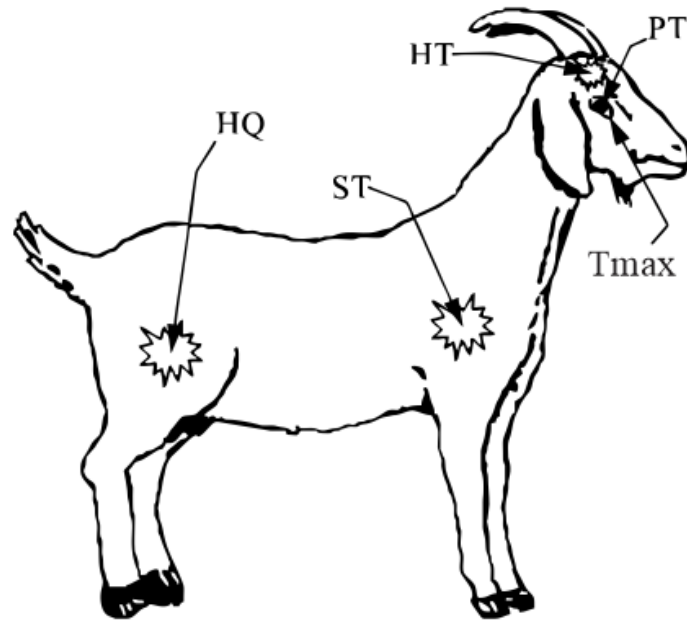
Em cada estágio de estudo, os animais foram submetidos a um ciclo de 8/16 h (temperatura do ar experimental / temperatura do ar ambiente), simulado as condições do semiárido. A câmara era ligada sempre às 7h, onde a primeira hora destinava-se à estabilização da temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara. Após a estabilização, o período experimental iniciava-se às 8h estendendo-se até às 4h(ou 16h?)

A ração e água foram fornecidas *ad libitum*, sendo a ração ofertada aos animais composta por feno de Tifton (*Cynodon dactylon*, (L) Pers) que constituiu 43.0% do volume total da ração, farelo de milho (26.6%), melação (2.5%), farelo de soja (24.0%), óleo de soja (2.0%), sal mineral (1.5%) e calcário calcítico (0.4%), conforme composição indicada pelo NRC (2007).

#### 2.4. Coleta de dados

Os termogramas e a temperatura retal (RT) foram adquiridos no terceiro, sexto e nono dias após o início de cada fase experimental. A RT foi tomada manualmente, inserindo-se um termômetro digital (Incoterm, Med flex, Termômetro Digital, Rio Grande do Sul, Brazil, variação de 32~43 °C e precisão de  $\pm 0,20$  °C) ~ 2 cm no reto de cada animal, até a estabilização da leitura.

Para os termogramas, foi utilizada uma câmera termográfica modelo Ti55FT (60 Hz, versão de firmware v.1.22, 320x240, precisão  $\pm 2$  °C, Fluke<sup>®</sup>, Washington, EUA). Nos termogramas, foram avaliadas a temperatura de infravermelho média do globo ocular (PT) e da superfície da pele nas regiões da cabeça (HT), espádua (ST) e quarto traseiro (HQ) que foram previamente depiladas, conforme Fig. 1. Além das temperaturas mencionadas, foi ainda avaliada a temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ) da superfície dos animais identificada na região inferior da mucosa do olho.



**Figura 1.** Configuração experimental dos pontos de coleta das temperaturas da superfície do animal, sendo estas: globo ocular (PT), cabeça (HT), espádua (ST), quarto traseiro (HQ) e temperatura de infravermelho máxima ( $T_{Max}$ ).

Foram selecionados três termogramas de cada animal, obtidos em cada temperatura do ar testada para a análise das regiões em estudo. A emissividade foi ajustada para 0.98, com base em dados para seres humanos (Steketee, 1973), levando-se em consideração que as regiões avaliadas estão ausentes de pelos e que as características da pele sejam semelhantes entre o homem e os animais avaliados. A distância ao alvo foi de ~2 m, permitindo uma visão completa do animal do focinho até a cauda.

### 2.5. *Análise estatística*

Os dados foram apresentados em diagramas de caixa (boxplot). A normalidade dos dados foi verificada, utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk e, posteriormente, os dados foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e teste F utilizando o pacote ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software estatístico R versão 3.4.1. O teste de Tukey foi usado para comparar as médias admitindo-se uma probabilidade de erro de 5% ( $P < 0.05$ ).

As correlações dos dados de PT, HT, ST, HQ e  $T_{Máx}$  com a RT foram analisadas através de regressões lineares simples com faixa de confiança de 95% e da avaliação do

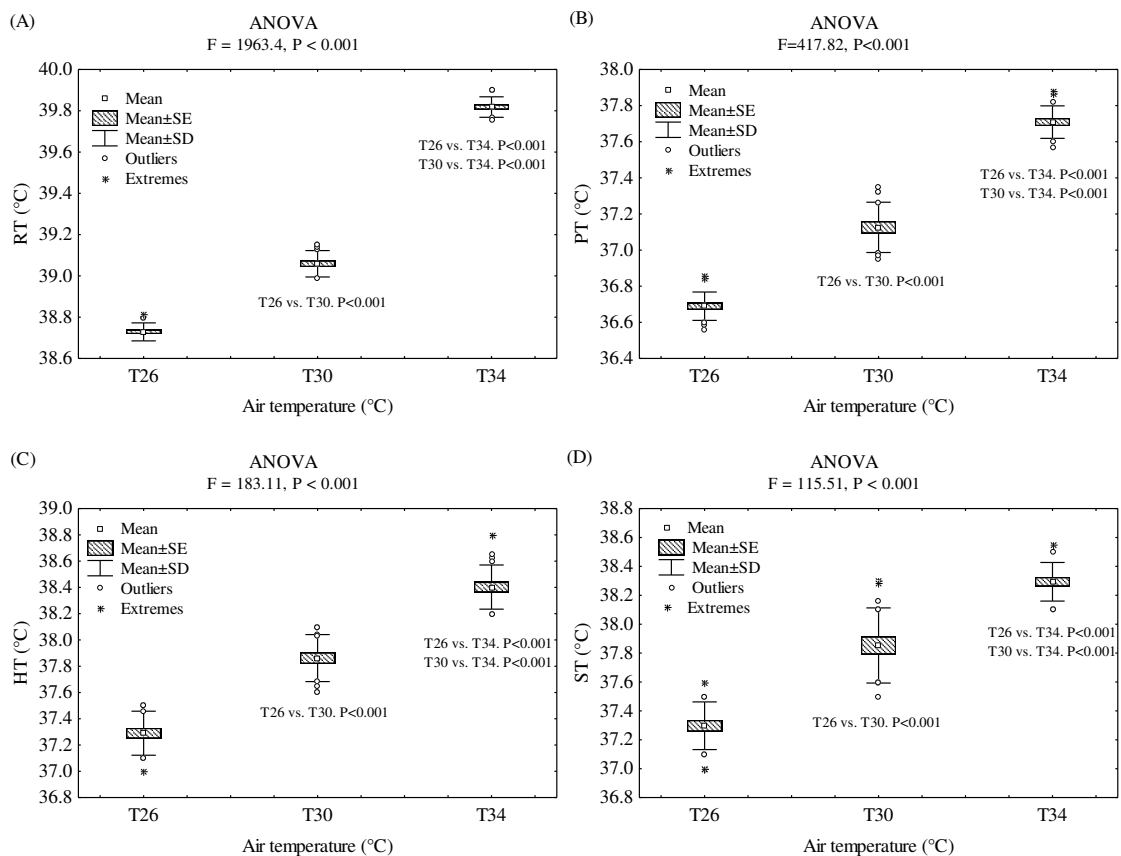


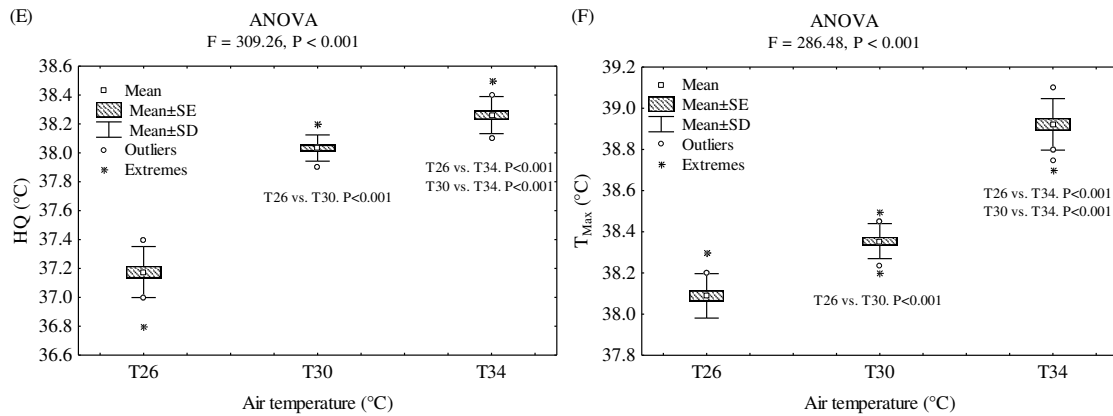
grau de elevação do coeficiente de correlação de Pearson. A concordância entre os dados de termografia com a RT foi avaliada através de diagramas de Bland-Altman, sendo estabelecido um limite de concordância para a heterogeneidade entre as amostras de 5%. A presença de polarização entre os dados foi testada verificando-se a ocorrência de significância ( $P < 0.05$ ) na inclinação da linha de regressão ajustada aos gráficos de Bland-Altman.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resposta da temperatura retal e superficial dos animais aos tratamentos

O efeito do aumento da temperatura do ar nas respostas RT, PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$ , respectivamente, é mostrado na Fig. 2. Pode-se observar aumento significativo ( $P < 0.05$ ) de todas as respostas fisiológicas em função da elevação da temperatura do ar de 26 para 30 e, posteriormente, para 34 °C.

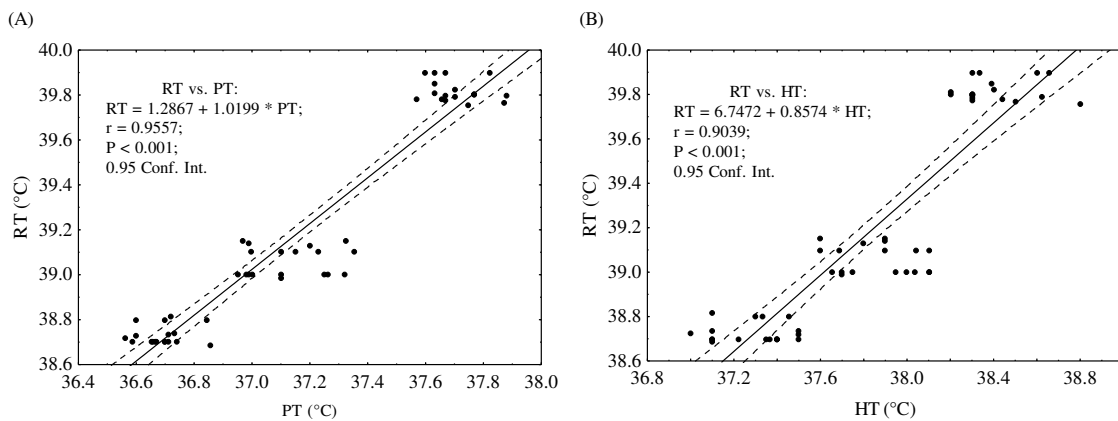


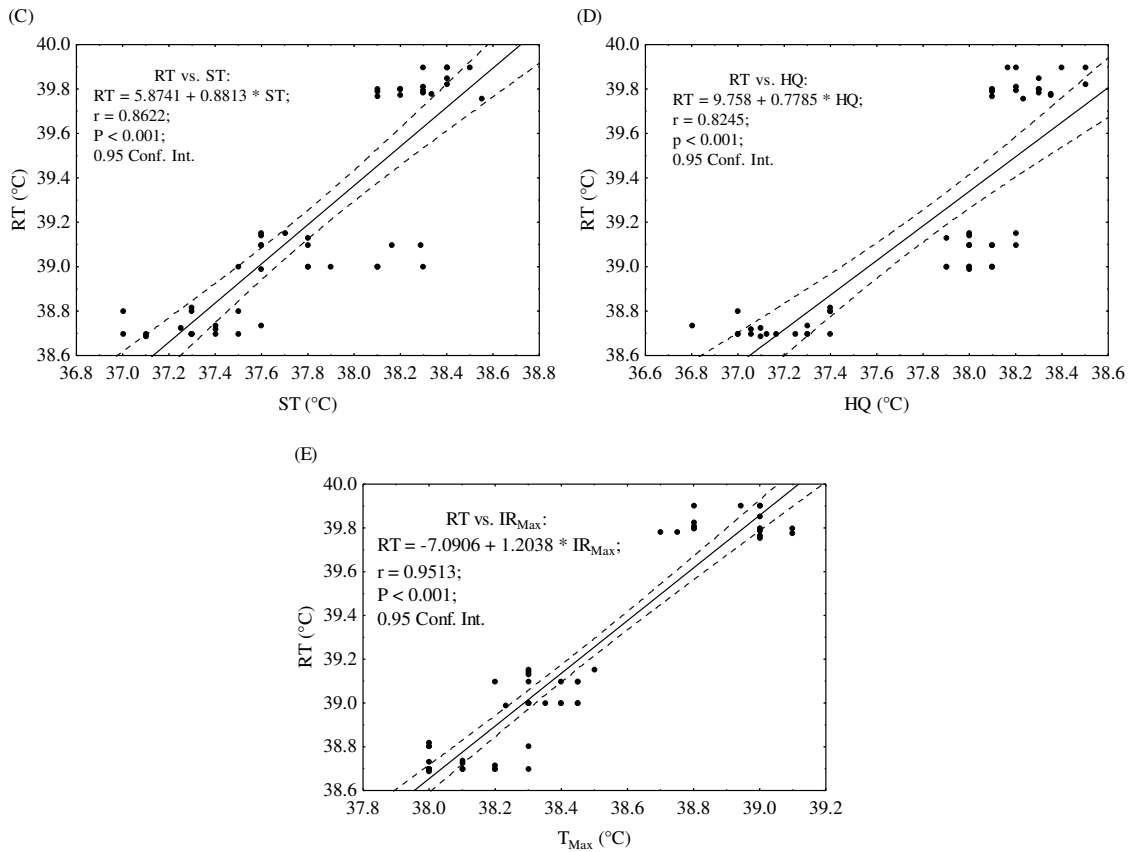


**Figura 2.** Efeito da temperatura do ar nas respostas fisiológicas: (A) temperatura retal - RT; (B) temperatura do globo ocular - PT; (C) temperatura da cabeça - HT; (D) temperatura da espádua – ST; (E) temperatura do quarto traseiro - HQ; e (F) temperatura de infravermelho máxima -  $T_{Max}$ ; SE: erro padrão; e SD: desvio padrão.

### 3.2. Correlação da RT com a PT, HT, ST e HQ

As correlações entre a resposta fisiológica RT e as temperaturas PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$ , conforme a elevação da temperatura do ar são apresentadas na Fig. 3 com faixa de confiança de 95%. Todas as respostas avaliadas apresentaram correlação positiva significativa ( $P < 0.05$ ) com a RT, com coeficiente de correlação de Pearson de 0.956, 0.904, 0.862, 0.824 e 0.951 para PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$ , respectivamente, destacando-se assim as respostas fisiológicas PT e  $T_{Max}$  como sendo as que apresentaram maiores correlações com a RT.

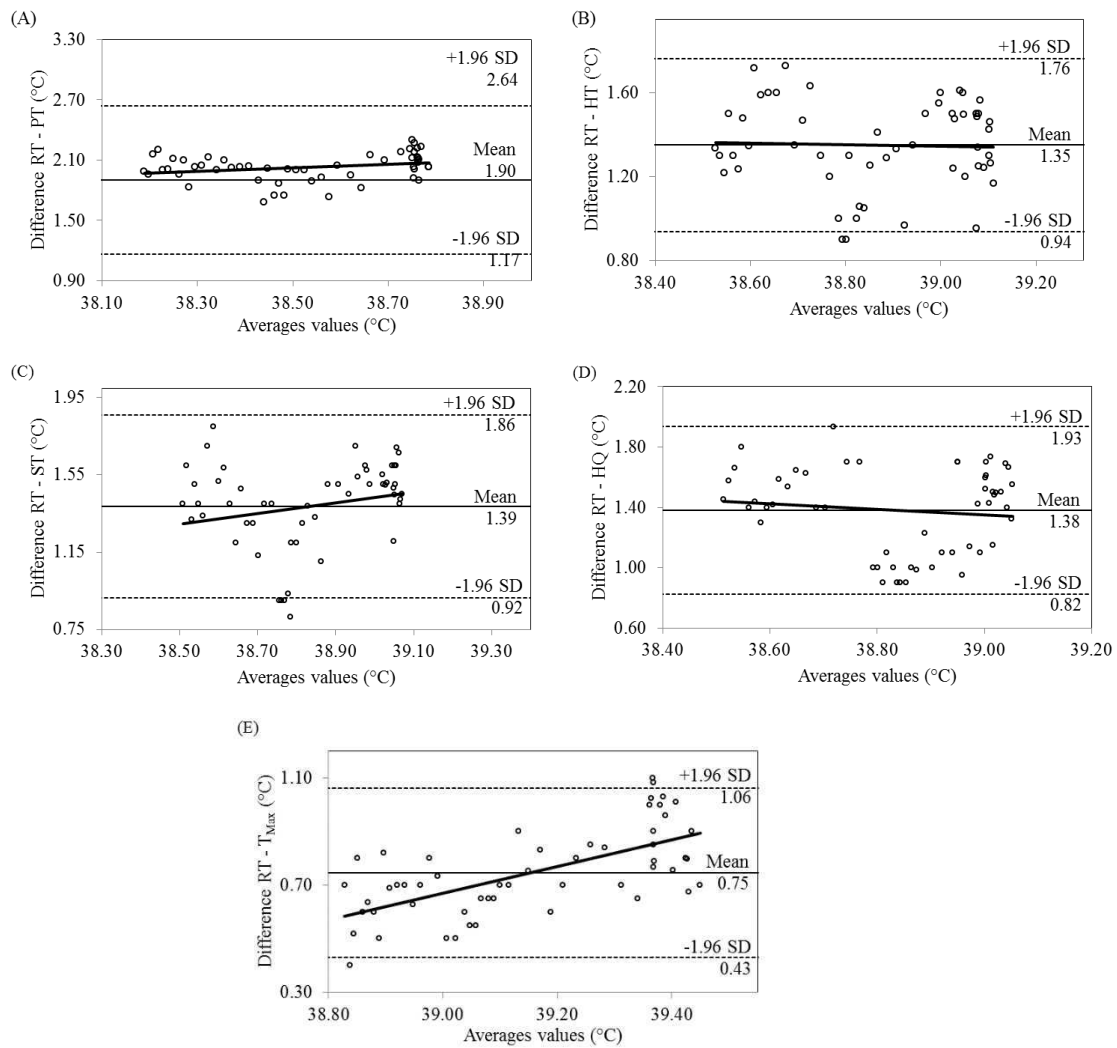




**Figura 3.** Correlação entre a temperatura retal (RT) e a: (A) temperatura do globo ocular (PT); (B) temperatura da cabeça (HQ); (C) temperatura da espádua (ST); (D) temperatura do quarto traseiro (HQ); e (E) temperatura de infravermelho máxima (TMax).

### 3.3. Concordância da TR com a PT, HT, ST e HQ

Diagramas de Bland-Altman são apresentados na Fig. 4, pode-se observar que todas as respostas avaliadas apresentaram viés significativo ( $P < 0.05$ ) com a RT. Apenas a temperatura de  $T_{Max}$  apresentou inclinação da linha de tendência significativamente ( $P < 0.05$ ) diferente de zero, subestimando de forma crescente a RT em condições de temperaturas médias mais elevadas e seu limite de conformidade foi  $\pm 0.32$  °C (faixa de confiança de 95%). As repostas PT, HT, ST e HQ apresentaram limites de acordo de  $\pm 0,74$  °C,  $\pm 0,41$  °C,  $\pm 0,47$  °C e  $\pm 0,56$  °C, respectivamente.



**Figura 4.** Concordância entre a temperatura retal (RT) e a: (A) temperatura do globo ocular (PT); (B) cabeça (HQ); (C) espádua (ST); (D) quarto traseiro (HQ); e (E) temperatura de infravermelho máxima (T<sub>Max</sub>), respectivamente; SD, desvio padrão.

#### 4. Discussão

Ao serem submetidos aos ambientes com temperaturas do ar acima da zona termoneutra, os animais homeotérmicos empregam mecanismos termorreguladores para compensar o ganho de calor, por perda equivalente e manter a temperatura corporal interna em limites estreitos de variação e atingir o equilíbrio térmico (McKinley et al., 2017). O presente estudo mostra que a PT, HT, ST, HQ e T<sub>Max</sub> aumentaram ( $P < 0.05$ ) conforme a elevação da temperatura do ar, sugerindo que tal fato se deve ao aumento significativo ( $P < 0.05$ ) da temperatura representativa do núcleo corporal dos animais (RT) em função da geração de calor devido as reações metabólicas e a redução do gradiente térmico entre o animal e o ambiente, o que reduz a capacidade dos animais de

dissipar calor de forma sensível, sendo este um mecanismo fisiológico primário responsável pela dissipação de calor do núcleo corporal através da circulação sanguínea para as periferias e, posteriormente, para o ambiente (Rizzo et al., 2017).

Nas condições térmicas avaliadas, pôde-se observar a maior temperatura superficial ( $T_{Max}$ ) na região da mucosa inferior dos olhos dos animais, podendo-se este fato ser justificado pela existência de camadas mais finas de pele e maior vascularização dessa região, quando comparada as demais regiões (Rizzo et al., 2017). As áreas dos arredores do olho, especialmente em torno da borda posterior da pálpebra e da carúncula lacrimal, possuem rica vascularização capilar que responde sensivelmente às mudanças no fluxo sanguíneo resultantes da variação da temperatura interna do animal (Stewart et al., 2008).

Todas as temperaturas superficiais avaliadas (PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$ ) se correlacionaram significativamente ( $P < 0.05$ ) com a temperatura retal mostrando que estas são respostas sensíveis e podem detectar com elevado grau de precisão as alterações na temperatura do núcleo corporal dos caprinos quando submetidos a condições de estresse térmico. Além disso, com base nos resultados apresentados na Fig. 3. observa-se que a temperatura de PT e  $T_{Max}$  apresentaram maior correlação com a RT que as demais temperaturas superficiais (HT, ST e HQ) com coeficiente de correlação de Pearson de  $r = 0.956$  e  $0.951$ , respectivamente.

Conforme Steck et al. (2011), a substituição do método da termometria retal por métodos não invasivos para a mensuração do estresse térmico é potencialmente benéfico, por estes dispensarem o contato direto do avaliador com o animal, evitando influências externas, o que pode mascarar os resultados. Com base apenas na análise das correlações, tem-se observado que a RT dos caprinos pode ser mensurada de forma precisa e remotamente através das temperaturas de PT e  $T_{Max}$ .

O coeficiente de correlação não pode ser utilizado isoladamente para avaliar a relação entre dois métodos, uma vez que não fornece uma indicação da discrepância de igualdade entre os valores dos dados. Em segundo lugar, o coeficiente de correlação não revela informações sobre a presença de uma diferença sistemática entre os métodos (van Stralen et al., 2008).

Com base na análise dos diagramas de dispersão Bland-Altman (Fig. 4), para identificar os erros sistemáticos entre os métodos avaliados (IR e RT), pode-se observar que a linha de polarização zero está fora dos limites de concordância para todas as temperaturas avaliadas em comparação com a RT, o que demonstra a não concordância

entre os métodos utilizados. Em outras palavras, o viés das diferenças médias são significativamente ( $P < 0.05$ ) diferentes, indicando a não concordância entre as PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$  em relação a RT. Dessa forma, tem-se analisado que a substituição da coleta da RT por PT, HT, ST, HQ ou  $T_{Max}$  estão sujeitas a erros sistemáticos (Cecconi et al., 2009).

Dentre as temperaturas superficiais coletadas, pode-se observar que a de  $T_{Max}$  (Fig. 4E) foi a que apresentou melhor concordância com a RT, com viés médio de 0.75 °C, porém apresentou uma diferença sistemática entre as duas leituras. Observando-se a Fig. 4, nota-se que a  $T_{Max}$  foi a única temperatura que apresentou uma linha de tendência com inclinação positiva significativa ( $P < 0.05$ ) indicando que, com a elevação da temperatura do ar de 26 para 30 °C e, posteriormente, para 34 °C, a  $T_{Max}$  tende cada vez mais a subestimar a RT.

## **Conclusões**

Apesar das PT, HT, ST, HQ e  $T_{Max}$  apresentarem elevados valor de coeficiente de correlação ( $0.82 < r < 0.95$ ) não podem ser adotadas em substituição à RT, devido a baixa existência de concordância entre essas medidas. Diante das análises dos diagramas de Bland-Altman, tem-se então que o método da termografia não se mostrou adequado para a mensuração de forma não invasiva da RT, devido à existência de diferença significativa ( $P < 0.05$ ) nos níveis dos erros sistemáticos.

## **Agradecimentos**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e financiamento da pesquisa processo nº 445393/2014-9.

## **Referências bibliográficas**

- Cecconi, M., Rhodes, A., Poloniecki, J., Della Rocca, G., Grounds, R.M., 2009. Bench-to-bedside review: The importance of the precision of the reference technique in method comparison studies – with specific reference to the measurement of cardiac output. *Critical Care* 13, 201-201.
- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P.; Nogueira, D.A. *ExpDes.pt: Experimental Designs package* (Portuguese). R package version 1.1.2., 2013.
- George, W.D., Godfrey, R.W., Ketring, R.C., Vinson, M.C., Willard, S.T., 2014. Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared

- thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle1. *Journal of animal science* 92, 4949-4955.
- Kammersgaard, T.S., Malmkvist, J., Pedersen, L.J., 2013. Infrared thermography--a non-invasive tool to evaluate thermal status of neonatal pigs based on surface temperature. *Animal : an international journal of animal bioscience* 7, 2026-2034.
- Kammersgaard, T.S., Pedersen, L.J., Jorgensen, E., 2011. Hypothermia in neonatal piglets: interactions and causes of individual differences. *Journal of animal science* 89, 2073-2085.
- Marai, I.F.M., Haebe, A.A.M., 2010. Buffalo's biological functions as affected by heat stress — A review. *Livestock Science* 127, 89-109.
- McKinley, M., Trevaks, D., Weissenborn, F., McAllen, R., 2017. Interaction between thermoregulation and osmoregulation in domestic animals. *Revista Brasileira de Zootecnia* 46, 783-790.
- National Research Council (US) Institute for Laboratory Animal Research. The Development of Science-based Guidelines for Laboratory Animal Care: Proceedings of the November 2003 International Workshop. Washington (DC): National Academies Press (US); 2004. D.; International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals (1985) Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK25438/>
- NRC. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids, p.1-362, 2007.
- Rizzo, M., Arfuso, F., Alberghina, D., Giudice, E., Gianesella, M., Piccione, G., 2017. Monitoring changes in body surface temperature associated with treadmill exercise in dogs by use of infrared methodology. *Journal of Thermal Biology* 69, 64-68.
- Souza, B.B.d., Souza, E.D.d., Silva, R.M.N.d., Cezar, M.F., Santos, J.R.S.d., Silva, G.d.A., 2008. Respostas fisiológicas de caprinos de diferentes grupos genéticos no semi-árido paraibano. *Ciência e Agrotecnologia* 32, 314-320.
- Steck, L.N., Sparrow, E.M., Abraham, J.P., 2011. Non-invasive measurement of the human core temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, 975-982.
- Steketee, J., 1973. Spectral emissivity of skin and pericardium. *Physics in Medicine & Biology* 18, 686.

- Stewart, M., Stafford, K.J., Dowling, S.K., Schaefer, A.L., Webster, J.R., 2008. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiology & Behavior* 93, 789-797.
- van Stralen, K.J., Jager, K.J., Zoccali, C., Dekker, F.W., 2008. Agreement between methods. *Kidney International* 74, 1116-1120.