

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

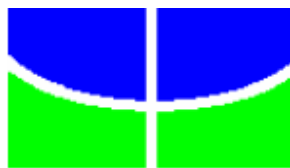
**PARÂMETROS FÍSICOS E FISIOLÓGICOS RELACIONADOS COM A
TOLERÂNCIA AO CALOR EM OVINOS NO BRASIL**

LUIZA DE SOUZA SEIXAS MELO

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS

BRASÍLIA / DF

JANEIRO DE 2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**PARÂMETROS FÍSICOS E FISIOLÓGICOS RELACIONADOS COM A
TOLERÂNCIA AO CALOR EM OVINOS NO BRASIL**

LUIZA DE SOUZA SEIXAS MELO

ORIENTADORA: CONCEPTA MARGARET MCMANUS PIMENTEL

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS ANIMAIS

PUBLICAÇÃO: 147D/2016

BRASÍLIA / DF

JANEIRO DE 2016

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA E CATAGOLAÇÃO

MELO, L. S. S. **Parâmetros físicos e fisiológicos relacionados com a tolerância ao calor em ovinos no Brasil**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 112 p. Tese de Doutorado.

Documento formal, autorizando reprodução desta tese de doutorado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor e o seu orientador reservam para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor ou do seu orientador. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

dp	de Souza Seixas Melo, Luiza PARÂMETROS FÍSICOS E FISIOLÓGICOS RELACIONADOS COM A TOLERÂNCIA AO CALOR EM OVINOS NO BRASIL / Luiza de Souza Seixas Melo; orientador CONCEPTA MCMANUS PIMENTEL. -- Brasília, 2016. 127 p. Tese (Doutorado - Doutorado em Ciência Animal) -- Universidade de Brasília, 2016. 1. Bioclimatologia. 2. Estresse térmico. . 3. Fisiologia. 4. Índice de Temperatura e Umidade. 5. Intervalo de referência. I. MCMANUS PIMENTEL, CONCEPTA, orient. II. Título.
----	--

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**Parâmetros físicos e fisiológicos relacionados com a tolerância ao calor em
ovinos no Brasil**

LUIZA DE SOUZA SEIXAS MELO

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
ANIMAIS, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTOR EM CIÊNCIAS ANIMAIS.**

APROVADA POR:

**CONCEPTA MCMANUS PIMENTEL, Prof.^a PhD (Universidade de Brasília)
(ORIENTADORA)**

**GIANE REGINA PALUDO, Prof. Dr. (Universidade de Brasília) (EXAMINADOR
INTERNO)**

**LUIZ FELIPE RAMOS DE CARVALHO, Dr. (Ministério da Agricultura, Pecuária e
Abastecimento) (EXAMINADOR EXTERNO)**

VANESSA PERIPOLLI, Dr. (Universidade de Brasília) (EXAMINADOR EXTERNO)

**CAROLINA MADEIRA LUCCI, Prof. Dr. (Universidade de Brasília) (EXAMINADOR
EXTERNO)**

BRASÍLIA, 20 DE JANEIRO DE 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, força e perseverança.

À minha orientadora Prof. Connie pela oportunidade em trabalhar ao seu lado, pelo carinho e paciência, estando sempre disponível para me ouvir e tirar minhas dúvidas.

À minha família, em especial aos meus pais Luiz Fernando e Madalena, meus irmãos Henrique e Maria Clara e meu esposo Cristiano, pelo amor, incentivo e apoio.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Ciências Animais pelo ensino de excelência.

Aos colegas de pós-graduação em Ciências Animais, em especial a Adriana Morato Menezes pela ajuda no experimento.

A todos os colegas da salinha do IB, em especial a Geisa Esteves, Caio Cardoso, Paulo Ricardo Martins, Vanessa Peripolli, Candice Tanure e José Luiz Jivago, pela disponibilidade e pelos momentos de descontração.

Às colegas Vanessa Peripolli e Candice Tanure pela ajuda com as análises estatísticas pela disponibilidade, sempre me ajudando na execução do trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro necessário para que eu pudesse me dedicar em tempo integral ao doutorado.

Ao Dr. Alexandre Floriani, por disponibilizar os animais e estrutura necessária para o experimento.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

ÍNDICE

RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xv
CAPÍTULO 1.....	18
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 PROBLEMÁTICA E RELEVÂNCIA.....	21
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.2.1 Geral.....	23
1.2.1 Específicos.....	23
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1 Influência do clima na produção animal.....	24
2.2 Estresse térmico.....	25
2.3. Relações entre tolerância ao calor e parâmetros fisiológicos e físicos.....	26
2.4 Índices ambientais.....	30
2.5 Índices de conforto térmico baseado em medidas nos animais.....	34
2.6 Termografia.....	36
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
CAPITULO 2 HEAT TOLERANCE IN SANTA INES AND MORADA NOVA HAIR SHEEP.....	50
RESUMO.....	51
ABSTRTACT.....	52
1 INTRODUCTION.....	53
2. MATERIAL AND METHODS.....	55
2.1 Environmental characterization.....	55
2.2 Animal characterization.....	56
2.3 Statistical analysis.....	58
3. RESULTS.....	59
4. DISCUSSION.....	68
4.1 Environmental parameters.....	68
4.2 Physical characteristics.....	69
4.3 Physiological parameters.....	70
4.4 Blood parameters.....	70
4.5 Heat tolerance index.....	71
4.6 Thermograph temperatures.....	72
5. CONCLUSION.....	74
6 REFERENCES.....	75
CAPITULO 3 ENVIRONMENTAL INDICES AND COEFFICIENTS OF HEAT TOLERANCE IN SANTA INES AND MORADA NOVA HAIR SHEEP.....	80
RESUMO.....	81
ABSTRTACT.....	82
1 INTRODUCTION.....	83
2 MATERIAL AND METHODS.....	85
2.1 Environmental characterization.....	85
2.2 Animal characterization.....	86
2.3 Statistical analysis.....	89
3. RESULTS.....	90

4 DISCUSSION.....	96
5 CONCLUSION.....	99
6 REFERENCES.....	100
CAPITULO 4 PHYSIOLOGICAL AND HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF SHEEP.....	104
RESUMO.....	105
ABSTRACT.....	106
1 INTRODUCTION.....	107
2 MATERIAL AND METHODS.....	109
3 RESULTS.....	112
4 DISCUSSION.....	117
5 CONCLUSION.....	121
6 REFERENCES.....	122
CAPITULO 5.....	125
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	126

RESUMO

PARÂMETROS FÍSICOS E FISIOLÓGICOS RELACIONADOS COM A TOLERÂNCIA AO CALOR EM OVINOS NO BRASIL

Luiza de Souza Seixas Melo¹, Concepta Margaret McManus Pimentel^{1,2}

Programa de Pós-Graduação em Ciências Animais – Faculdade de Agronomia e Veterinária
(FAV/UnB), DF¹, Instituto de Ciências Biológicas (IB/UnB)

A adaptabilidade aos ambientes tropicais, tolerância ao calor, bem como a capacidade de prever os efeitos ambientais nos animais são fatores importantes para a ovinocultura. Este trabalho teve como objetivos avaliar a tolerância ao calor de 26 ovinos da raça Santa Inês (SI) e Morada Nova (MN) no Distrito Federal e se os índices ambientais e os coeficientes de tolerância ao calor existentes são adequados para avaliar o estresse pelo calor em nessas raças, utilizando parâmetros climáticos, sanguíneos, físicos, fisiológicos, termográficos e coeficientes de adaptabilidade. Bem como e definir os parâmetros sanguíneos e fisiológicos para os ovinos no Brasil utilizando 5081 observações de experimentos anteriores realizados com ovinos de diferentes regiões (Nordeste, Centro-oeste e Sul) com dados de período do dia, sexo, raça, idade, características fisiológicas, hematológicas e variáveis climáticas. As análises estatística incluíram as análises de média variância, correlações, broken lines e componentes principais. Foi observado que a raça influenciou significativamente ($p < 0,001$) características fisiológicas e físicas de pele, pêlo, medidas biométricas e os coeficientes de tolerância ao calor de Ibéria e

Benezra. Apesar de ambas as raças poderem ser consideradas adaptadas às condições ambientais da região, considerando coeficientes de tolerância ao calor e características físicas, a raça MN pode ser considerada melhor adaptada às condições locais. A correlação positiva encontrada entre as temperaturas termográficas e os parâmetros fisiológicos, indicou que esta técnica pode ser utilizada para avaliar o conforto térmico animal, tendo como vantagem a não manipulação do animal, o que favorece o bem-estar do animal. Os índices de Ibéria e Benezra foram os coeficientes de tolerância que melhor se correlacionaram com as características avaliadas. Foi observada alta correlação entre os índices ambientais e as temperaturas retais e superficiais da pele, o que indica que esses índices podem ser utilizados para avaliação de conforto térmico para ovinos destas raças. Porém, os valores indicativos de desconforto térmico são diferentes da classificação existente. A frequência respiratória foi o parâmetro que mais divergiu em relação aos padrões de normalidade, com valores acima dos limites para a espécie, sendo superior nos ovinos de raças comerciais lanadas. No hemograma também foram observadas divergências entre os resultados e os valores citados na literatura. Assim, considerando que parâmetros fisiológicos e hematológicos são indicadores do estado patológico ou fisiológico do animal, para uma correta interpretação dos resultados é recomendada a utilização de valores de referência baseados em animais com características raciais semelhantes e submetidos às condições ambientais similares.

Palavras-chave: Bioclimatologia, estresse térmico, fisiologia, Índice de Temperatura e Umidade, infravermelho, intervalo de referência

ABSTRACT

PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS RELATED TO HEAT TOLERANCE IN SHEEP IN BRAZIL

Luiza de Souza Seixas Melo¹, Concepta Margaret McManus Pimentel^{1,2}

Programa de Pós-Graduação em Ciências Animais – Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV/UnB), DF¹, Instituto de Ciências Biológicas (IB/UnB)

Adaptability to tropical environments, heat tolerance and the ability to predict the effects of the environment on animals are important factors in sheep production. The aim of this study was to evaluate heat tolerance of 26 Santa Ines (SI) and Morada Nova (MN) sheep in the Federal District of Brazil and to analyze whether existing indices are suitable for evaluating heat stress in these breeds using thermography, climatic, blood, physical, physiological parameters and heat tolerance indices. As well as to determine blood and physiological parameters of sheep in Brazil using 5081 observations from previous experiments with animals from different regions (Northeast, Midwest and South) with time of day, gender, breed, age, physiological characteristics, hematological and climatic variables. Statistical analysis included analysis of variance, means, correlation, broken lines and principal components. Breed significantly influenced ($p < 0.001$) physiological and physical characteristics of skin, hair, biometric measurements and Iberia and Benezra heat tolerance indices. Although both breeds can be considered adapted to the environmental conditions of the region, considering heat tolerance

indices and physical characteristics MN breed can be considered more adapted to the region. The positive correlation found between the thermograph temperatures and physiological parameters indicates that this technique can be used to evaluate thermal comfort, having the advantage that animals do not have to be handled, which favors animal welfare. The indices of Iberia and Benezra were the tolerance indices based on animal measures that best correlated with the assessed parameters. High correlation between environmental indices and rectal and skin surface temperatures was observed, which indicates that these indices can be used for these sheep breeds. However, some indicative values of thermal discomfort are different from the existing classification. Respiratory rate was the parameter that most differed in relation to the published normal range, with values above the limits for the species, being higher in commercial wool sheep. For blood count, differences were also observed between the results and the values reported in the literature. Considering that physiological and hematological parameters are indicators of the pathological or physiological state of the animal, for a correct interpretation of the results the use of reference values based on animals with similar breed characteristics and subjected to similar environmental conditions is recommended.

Keywords: Bioclimatology, infrared, physiology, reference interval, Temperature and Humidity index, thermal stress

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Table 1 Mean, standard deviation (SD) and minimum and maximum of climate measures during the experimental period.	60
Table 2 Respiratory rate (RR) classification of the sheep according to the period of the day	60
Table 3 Means for physiological and blood traits in Santa Ines and Morada Nova sheep during three days of experiment	61
Table 4 Means for thermographic temperatures and heat tolerance indices in Santa Ines and Morada Nova sheep during three days of experiment	62
Table 5 Breed and sex interaction on physical characteristics during three days of experiment	63
Table 6 Correlations between physical characteristics, physiological parameters and heat tolerance indices	64
Table 7 Correlations between thermographic temperatures, physiological parameters, heat tolerance indices and physical characteristics	65
Table 8 Correlations between blood and physiological parameters and heat tolerance indices	65

Capítulo 3

Table 1 Mean, standard deviation (SD) and minimum and maximum of climate measures during the experimental period	91
Table 2 Correlations between environmental indices, heat tolerance indices, physiological and blood parameters.	92
Table 3 Correlations between heat tolerance indices and physical and physiological parameters in sheep.	93
Table 4 Correlations between environmental indices, heat tolerance indices and skin temperatures.	94
Table 5 Broken-line regression between environmental indices and rectal and skin temperatures of Santa Ines and Morada Nova hair sheep	95
Table 6 Broken-line regression the mean skin temperatures and environmental indices.	96

Capítulo 4

Table 1 Number of observations by type, breed and location of young and adult sheep in Brazil	110
Table 2 Physiological and blood parameters of adult (equal to or over 365 days) sheep in Brazil	113
Table 3 Physiological and blood parameters of young (less than 365 days) sheep in Brazil	114
Table 4 Age and type interaction on physiological and blood characteristics	115
Table 5 Means for blood traits in relation to type and age	116

LISTA DE FIGURAS**Capítulo 2**

Figure 1 First two autovectors for heat tolerance indices and physiological and physical traits in sheep in the Federal District, Brazil. 66

Figure 2 First two autovectors for heat tolerance indices, thermographic temperatures and physiological and physical traits in sheep in the Federal District, Brazil 67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$^{\circ}\text{C}$	graus celsius
a*	chromatic channels representing red-green colour
b*	chromatic channels representing yellow-blue colour;
BGHI	Black Globe-Humidity Index.
BGTsh	Black globe temperature in the shadow
BGTsun	Black globe temperature in the sun
BKL	back length
BL	body length
BW	breast width
CORR	correlation
CTC	coeficiente de tolerância ao calor
CW	commercial wool
d	difference between the rectal temperatures taken in the morning and afternoon.
EOSI	eosinophils
FIBR	plasma fibrinogen
FR	Frequência respiratória
GLM	analysis of variance
HB	concentration of hemoglobin
HL	length of hair
HR	Heart rate
HTI	heat tolerance index
HT	hair thickness
HTC	heat tolerance test;
L*	brightness;
LA	Naturalized hair
LINF	lymphocytes;
MCH	Mean Corpuscular Hemoglobin;
MCHC	Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration
MCV	Mean Corpuscular Volume

MONO	monocytes;
N	number of observations;
NH	number of hairs
NW	Naturalized x wool
PCV	packed cell volume (%);
PLAT	platelets
Pp(ta)	pressão parcial de vapor (kPa);
PRINCOMP	principal component analysis
RBC	red blood cell
RH	relative humidity
RuH	rump height
RR	Respiratory rate
RW	rump width
SD	standard deviation
SEGM	segmented
SH	shoulder height;
ST	skin thickness
TA	Temperatura ambiente
TBS	temperatura do bulbo seco
TBU	temperatura do bulbo úmido
Td:	ponto de orvalho/Dew point
TDB:	Dry bulb temperature
TGn:	temperatura do globo negro
THI:	Temperature and Humidity Index
TP	thoracic perimeter
TPP:	total plasma protein
TR	Temperatura retal/rectal temperature
TR1	average rectal temperature at 4:00 AM.
TR2	average rectal temperature at 2:00 PM.
TRM	temperatura retal média final
TWB:	wet bulb temperature

UR: umidade relativa do ar
VV: velocidade dos ventos
WBC: leukocytes

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A mudança climática provavelmente é um dos principais desafios que a humanidade enfrentará nesse século (Bernabucci *et al.*, 2010). Os dados de temperatura da superfície terrestre e oceano combinados mostraram um aquecimento de 0,85 (0,65-1,06)^oC ao longo do período 1880-2012 (IPCC, 2014). Modelos climáticos indicam um aumento de 0,2^oC por década para as próximas duas décadas e prevê o aumento da temperatura média da superfície global entre 1,8 e 4,0^oC em 2100 (IPCC, 2007). Enquanto a produtividade pode aumentar nos trópicos e subtropicais, o rendimento pode cair em 10-20% até 2050 devido ao aquecimento e às secas (Jones & Thornton, 2003), provocando efeitos adversos na produtividade da pecuária (McManus *et al.*, 2011a).

A resposta animal ao estresse calórico e ao desafio sanitário dependerá da raça, tamanho corporal, produção e grau de exposição ao agente estressor. A resposta animal é composta por três fases: o reconhecimento da ameaça a homeostase ou bem-estar, a resposta de estresse e as consequências do estresse. Alguns fatores como experiência anterior, genética, idade, sexo ou condição fisiológica modelam a natureza da resposta biológica de um animal ao estressor (Baccari Júnior, 2001; Nardone *et al.*, 2006).

Adaptação a mudanças climáticas envolve diversas estratégias (Hoffmann, 2010). Pesquisas focadas em características adaptativas que conferem tolerância climática e adaptação a dietas de baixa qualidade são necessárias para a caracterização de raças localmente adaptadas (Hoffmann, 2013). Assim, a caracterização do clima para os ovinos e o estudo das reações ao estresse térmico devem ser identificados para estabelecer as melhores práticas de manejo, o

modelo adequado de instalações e o plano nutricional, afim de que os animais expressem suas aptidões zootécnicas (Oliveira *et al.*, 2005).

Portanto, torna-se importante o conhecimento sobre as particularidades da espécie, principalmente suas interações com o meio ambiente e como este influencia seu desenvolvimento e produtividade.

1.1 Problemática e Relevância

As mudanças climáticas são percebidas como uma grande ameaça para sobrevivência de muitas espécies e ecossistemas e para a sustentabilidade dos sistemas agropecuários em várias partes do mundo (Gaughan *et al.*, 2009). O aquecimento global irá mudar a vegetação e o ambiente do hemisfério sul em regiões tropicais e em muitas áreas é esperado um declínio de aproximadamente 50% na capacidade de produção de forragem (Romanini *et al.*, 2008). Os potenciais problemas serão ainda maiores nos países em desenvolvimento. Estudos econômicos recentes têm sugerido perdas severas se os atuais sistemas de manejo não forem modificados em função das mudanças climáticas (Nardone *et al.*, 2010). Por isso, há grande interesse em compreender como os animais domésticos respondem aos fatores estressores climáticos.

A maior parte dessas pesquisas foi realizada em países desenvolvidos e têm fornecido grande riqueza de conhecimentos sobre as diferenças entre os genótipos e o impacto do estresse climático sobre a produção, reprodução e saúde animal. No entanto, pouco se sabe sobre a adaptação dos animais às rápidas mudanças nas condições climáticas, especialmente nos países em desenvolvimento, onde os estressores são diferentes e a intensidade da mudança esperada é maior (Thornton *et al.*, 2007). Além disso, faltam informações sobre os impactos do estresse climático sobre a grande variedade de raças autóctones utilizadas na América do Sul (McManus *et al.*, 2011a).

Em função das mudanças nas condições climáticas, é fundamental a adaptação das práticas utilizadas pelos pecuaristas (ILRI, 2011). Estas mudanças podem resultar em uma redistribuição de animais dentro ou entre regiões, mudanças das espécies utilizadas (de bovinos para búfalos, ovelhas ou cabras), mudanças no genótipo ou raça (uso de raças que podem manter a produção em condições adversas) e mudanças no ambiente dos animais (proteção ou mitigação do ambiente). A falta de raças tolerantes ao calor já é percebida como um dos principais entraves para a produção na África (Gaughan *et al.*, 2008).

Mundialmente, estudos de produção animal têm mostrado que haverá necessidade de substituir raças e espécies em sistemas de produção nos próximos 30 anos devido às mudanças no ambiente e as demandas de mercado (Seo & Mendelsohn, 2008; Wolfe *et al.*, 2008; Yahdjian & Sala, 2008). Diversas pesquisas mostraram as ligações entre as raças naturalizadas em termos genéticos e de tolerância ao calor (Serrano *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2008; McManus *et al.*, 2009a; McManus *et al.*, 2009c), bem como alguns genes específicos em raças naturalizadas (Faria *et al.*, 2004). O levantamento de informações sobre os ambientes de produção de raças de animais domésticos facilitará as comparações entre as raças, servindo como indicador de adaptação das raças nos ambientes e podem ser usados para delinear recomendações em relação ao manejo de recursos genéticos nos sistemas de produção.

Os métodos utilizados atualmente para medir tensão ou dor são invasivos (coleta de sangue, mensuração da temperatura retal, frequência cardíaca e respiratória). Técnicas de medições não invasivas de estresse e de amostragem à distância devem ser estudadas a fim de melhorar o bem estar animal (Stewart *et al.*, 2008). Dessa forma, a utilização do termógrafo infravermelho pode auxiliar na identificação do estresse térmico dos animais.

A termografia infravermelha (IRT) é um método não invasivo que mede indiretamente as alterações do fluxo sanguíneo por meio da detecção de pequenas mudanças na temperatura da pele que estão relacionadas a alterações no estado emocional (Blessing, 2003). De acordo com Incropera *et al.* (2011), sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre, necessariamente, transferência de calor por meio dos seguintes mecanismos: radiação, condução ou convecção. Por essa razão, a análise de imagens termográficas, onde é possível visualizar gradientes de temperatura, tem sido utilizada para identificar eventos fisiológicos em animais e humanos (Bouzida *et al.*, 2009).

Alterações nos parâmetros e constituintes fisiológicos, bioquímicos e hematológicos são importantes indicadores do estado fisiológico ou patológico do animal (Ahmad *et al.*, 2003), sendo necessário considerar a influência dos fatores regionais, como as condições climáticas e ambientais, raça e idade para a interpretação correta dos resultados (Jain, 1993). Estudo realizado na Croácia observou que os valores de referência utilizados na literatura foram inapropriados, recomendando o cálculo de intervalos de confiança específico para cada região geográfica

(Šimpraga *et al.*, 2013). Assim, a interpretação dos resultados depende de intervalos de referência precisos que realmente represente a população estudada.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral:

Relacionar as variáveis ambientais com a tolerância ao calor em ovinos.

1.2.2 Específicos:

1. Determinar quais características fisiológicas, físicas e hematológicas são preditoras de situação de estresse pelo calor em ovinos.
2. Avaliar a adequação dos índices ambientais às raças ovinas localmente adaptadas.
3. Confrontar os parâmetros fisiológicos e hematológicos dos ovinos nacionais com os valores de referência relatados na literatura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Influência do clima na produção animal

A temperatura ambiental, a umidade relativa do ar, a amplitude térmica, a incidência das chuvas, a velocidade do vento, a radiação solar e terrestre, as taxas de evaporação e o gás carbônico (CO₂) atmosférico influenciam diretamente no potencial produtivo dos animais (Hulme, 2005). Fatores ambientais como as altas temperaturas combinados com a produção de calor metabólico e a dificuldade em dissipar calor dificultam a homeotermia e a homeostase, levando ao aumento da temperatura corporal (Bernabucci, 2011).

Para reestabelecer o equilíbrio térmico, ocorre diminuição da frequência cardíaca e da ingestão de alimentos, diminuindo a produção de calor pela digestão, aumento da taxa de sudorese, ingestão de água e frequência respiratória (Gaughan *et al.*, 2009; Bernabucci, 2011; McManus *et al.*, 2011c). Alguns dos efeitos do clima sobre a produtividade dos animais são diretos (estresse térmico) e outros indiretos (como a mudança na composição do pasto) (McManus *et al.*, 2011a). Fatores como a temperatura, a radiação solar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento têm efeitos diretos nos animais. Outros fatores como a digestibilidade do alimento, a ingestão, a qualidade e a quantidade do pasto ingerido, os parasitas e as doenças, que são influenciados diretamente pelas mudanças climáticas, têm efeitos indiretos sobre os animais (Pereira, 2005). Esses mecanismos de aclimação interferem no equilíbrio fisiológico e endócrino (Webster, 1991) afetando negativamente a fertilidade, a produtividade e a sanidade animal (Nardone *et al.*, 2006; Marai *et al.*, 2007).

2.2 Estresse térmico

Os animais homeotermicos têm a capacidade de manter sua temperatura corporal constante apesar das variações de temperatura do meio ambiente (Souza & Batista, 2012). Para tanto, deve haver um equilíbrio entre a termogênese e a termólise (Barbosa *et al.*, 2004). Em ambiente de temperatura muito elevada, tanto o excesso quanto a carência de umidade são prejudiciais. Se o ambiente é quente e muito seco a evaporação é rápida, o que pode causar irritação cutânea e desidratação; no caso do ambiente ser quente e muito úmido, a evaporação torna-se muito lenta ou nula, reduzindo a termólise e aumentando a carga de calor do animal, principalmente porque, em condições de alta temperatura, a termólise por convecção é prejudicada (Starling *et al.*, 2002).

Os animais entram em estresse térmico quando as variáveis ambientais, tais como a temperatura, a umidade, a velocidade do vento e a radiação solar, ultrapassam o limite da zona de termoneutralidade (Bernabucci *et al.*, 2010), que é entre 20 e 30⁰C para ovinos deslanados (Baêta & Souza, 1997). Dessa forma, a temperatura corporal excede os limites de normalidade resultando em carga de calor (produção interna e do ambiente) que excede a capacidade de dissipação. Como tentativa de normalizar a temperatura, mecanismos comportamentais e fisiológicos são ativados para aumentar a perda e reduzir a produção de calor (Bernabucci *et al.*, 2010). Isto envolve uma série de adaptações dos sistemas respiratório, circulatório, excretor, endócrino e nervoso dos animais (McManus *et al.*, 2009a). A coordenação de todos estes sistemas, visando manter o potencial produtivo em estresse térmico, varia entre espécies, raças e indivíduos e dentro de uma mesma raça (Marai & Haebe, 2010).

Animais que evoluíram para sobreviver em condições adversas geralmente têm as seguintes características: alta resistência ao estresse, baixa taxa metabólica, baixa fecundidade, longevidade, maturação tardia, menor tamanho em idade adulta e lenta taxa de desenvolvimento (Hansen, 2004). Cada grupo genético reage diferentemente as exposições frequentes a radiação solar, às mudanças drásticas de temperatura, dentre outros fatores ambientais, alterando o seu comportamento e a sua produtividade, além de sofrerem mudanças em vários parâmetros fisiológicos (Roberto *et al.*, 2010). Alguns estudos comparando a tolerância dentro e entre raças diferentes de ovinos na primavera e verão no Distrito Federal (DF) demonstraram que em geral a

raça afeta a tolerância ao calor, existindo grupos de animais com maior ou menor tolerância ao calor (McManus & Miranda, 1997; Quesada *et al.*, 2001; McManus *et al.*, 2009b).

2.3 Relações entre tolerância ao calor e parâmetros fisiológicos e físicos

O estresse por calor é um dos principais fatores envolvidos na redução da produtividade e do desenvolvimento animal. Com a falta de conforto térmico, o animal procura mecanismos para perder calor podendo ocorrer por meio de duas formas: sensível e insensível. A forma sensível ocorre por meio da convecção, condução e radiação e o aumento da temperatura ambiente dificulta essa forma de dissipação de calor, sendo necessária a ativação de mecanismos insensíveis de perda de calor como a evaporação (sudorese e frequência respiratória), que é influenciada pela umidade relativa do ar, ou seja, quanto maior a umidade do ar aliada a altas temperaturas, menos eficiente é a dissipação de calor (Souza & Batista, 2012).

A evaporação depende de diversos fatores, de acordo com o local em que esta ocorre. No caso desta ocorrer na superfície do aparelho respiratório, são fatores importantes: o volume de ar respirado, a temperatura corporal e a umidade do ar inspirado. Para a evaporação na superfície da epiderme, os fatores mais relevantes são: a velocidade do vento, a temperatura ambiente, a umidade do ar, a taxa de transferência de água para a superfície cutânea, as características da capa de cobertura (pelame, velo) e a temperatura da superfície (Starling *et al.*, 2002). Dessa forma, como em regiões tropicais a diferença de temperatura entre a superfície do animal e a do ambiente é pequena e muitas vezes negativa, dificulta a dissipação da forma sensível e eleva a perda da forma insensível (Silva & Maia, 2011; Souza & Batista, 2012). Caso o animal não consiga dissipar o calor excedente através desses mecanismos, a temperatura retal aumenta acima dos valores fisiológicos normais e desenvolve-se o estresse calórico (Marai *et al.*, 2007; Nóbrega, 2011).

A resposta do animal ao estresse térmico pode ser medida por variações na temperatura corporal, nas frequências respiratória e cardíaca e na transpiração. Essas variações resultam em mudanças nos parâmetros sanguíneos devido ao aumento das perdas de água e de íons desencadeado pelo estresse térmico (Beede & Collier, 1986), ocorrendo também diminuição

do volume plasmático e extracelular (McManus *et al.*, 2011c). Os parâmetros hematológicos são importantes para avaliar o grau de estresse térmico que o animal está sendo submetido (Roberto *et al.*, 2010). Segundo Elvinger *et al.* (1992), o estresse térmico pode causar diluição, concentração ou não apresentar efeito sobre o volume plasmático. McManus *et al.* (2009b) observaram discreto aumento do volume globular e do número de proteínas plasmáticas totais no sangue coletado no período de maior calor (tarde), o que indicou que a transpiração não foi alta o suficiente para causar desidratação.

Em relação ao número de leucócitos, McManus *et al.* (2009b) observaram leucocitose durante o período da tarde, o que segundo os autores pode ser considerado fisiológico devido ao aumento da pressão sanguínea e da frequência cardíaca. Estudo utilizando equinos também observaram leucocitose após exercício e exposição prolongada ao sol (Paludo *et al.*, 2002), o que pode ser devido a ação da epinefrina e cortisona liberados em situações de estresse, medo, excitação ou exercício rigoroso (Jain, 1993). Os animais criados sob diferentes condições climáticas podem apresentar variações dos constituintes sanguíneos. Assim, os valores obtidos para os animais criados em uma região não podem ser considerados, sem uma adequada avaliação, como padrão de referência fora dessa região (Birgel Júnior *et al.*, 2001), sendo necessária a utilização de intervalos de referência precisos que realmente representem a população estudada para uma correta interpretação dos resultados.

A respiração é um importante mecanismo de dissipação de calor, sendo normalmente o primeiro sinal de estresse térmico (Bianca, 1963). Os ovinos dissipam aproximadamente 20% do total de calor corporal pela respiração em temperatura amena (12⁰C), podendo aumentar para 60% em ambiente de alta temperatura (35⁰C) (Thompson, 1985). Segundo Reece *et al.* (2015), a frequência respiratória considerada fisiologicamente normal para essa espécie é entre 20 a 34 movimentos por minuto (mov/min). Uma escala de frequências respiratórias associando esta variável ao estresse térmico considerou estresse baixo para ovinos 40-60 mov/min, médio-alto 60-80 mov/min, alto 80-120 mov/min e severo acima de 200 mov/min (Silanikove, 2000), sendo que esta frequência pode chegar a até 400 mov/min quando os animais são submetidos a temperaturas muito elevadas (Marai *et al.*, 2007). Outro estudo observou diferença significativa para a frequência respiratória entre ovinos submetidos a temperaturas de 20⁰C e 30⁰C, aumentando de 124 para 161 mov/min (Starling *et al.*, 2002), o que segundo a escala de Silanikove (2000) é considerado estresse alto. Frequência respiratória média

acima dos valores considerados normais também foi observada em caprinos da raça Anglo-Nubiana no Maranhão, enquanto que a temperatura retal média estava dentro dos limites de normalidade. Segundo estes autores, esses resultados demonstraram que os animais utilizaram a respiração como forma de manter a temperatura corporal dentro do patamar fisiológico (Júnior *et al.*, 2007).

A temperatura corporal é resultado da diferença entre energia térmica produzida mais a recebida pelo organismo e a energia térmica dissipada para o meio ambiente, sendo a temperatura retal o indicador dessa diferença (Johnson, 1980 citado por Nóbrega (2011)). Este parâmetro é a referência fisiológica mais frequentemente utilizada para estimar a tolerância dos animais ao calor (Müller, 1982), pois o seu aumento indica que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes para manter a homeotermia (Mota, 1997 citado por Ferreira *et al.* (2006). Assim, a manutenção da temperatura corporal é determinada pelo equilíbrio entre o ganho e a perda de calor (Ferreira *et al.*, 2006).

Fatores intrínsecos como a raça, a idade, o sexo, o estado fisiológico e a capacidade individual de adaptação ao ambiente e extrínsecos como a alimentação, a temperatura ambiente e o sombreamento podem influenciar na temperatura retal (Carvalho *et al.*, 1995; Neiva *et al.*, 2004; Ferreira *et al.*, 2006). Em condições de termoneutralidade, a temperatura retal média dos ovinos é 39,1°C, oscilando entre 38,3°C e 39,9°C (Cunningham, 2011). Estudo com animais da raça Corriedalle observou temperatura retal média em repouso e à sombra, de 39,1°C, podendo ocorrer variações de 38,3 a 40,0°C (Starling *et al.*, 2005). Quesada *et al.* (2001), ao estudarem o efeito da temperatura ambiental sobre a temperatura retal de ovinos deslanados, observaram variação de 38,47 a 39,24°C na raça Morada Nova e de 38,33 a 38,99°C na raça Santa Inês com temperatura ambiente oscilando entre 12,0 e 30,2°C. Pesquisa recente também na região Centro-Oeste observou aumento da temperatura retal à tarde, passando de 38,89°C (manhã) para 39,95°C (tarde) (AUTOR). Segundo McDowell *et al.* (1976) uma elevação de 1°C ou menos na temperatura retal é o suficiente para reduzir o desempenho na maioria dos animais domésticos.

Pesquisa recente com objetivo de analisar características para aferir tolerância ao calor em borregos observou que o grupo genético é um fator importante e deve ser considerado na introdução de novas raças no sistema de produção. Entre os parâmetros fisiológicos

analisados a temperatura retal e frequência cardíaca foram consideradas variáveis importantes para avaliação da tolerância ao calor em borregos (McManus *et al.*, 2015).

Apesar de diversos estudos também utilizarem variáveis fisiológicas para avaliar estresse térmico em ovinos, Starling *et al.* (2002) e Starling *et al.* (2005) observaram que a utilização das variáveis fisiológicas como a temperatura retal e a frequência respiratória, como principais parâmetros para avaliar a adaptação de ovinos ao clima tropical não é adequada. Segundo esses autores, nos estudos de adaptação, deve ser considerado o conjunto das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais às condições ambientais para a adequada avaliação do grau de aclimatação.

Além das características fisiológicas, as características físicas também influenciam na capacidade de tolerância térmica. O tamanho, a forma e a área superficial são características morfológicas importantes para o balanço térmico corporal (Marai *et al.*, 2007). Animais pequenos possuem proporcionalmente maior superfície corporal, o que os torna mais vulneráveis as temperaturas ambientais. Características da pele (cor, espessura, glândulas sudoríparas) e do pelame (especialmente a espessura do pelame, densidade, diâmetro e comprimento dos pêlos, bem como sua inclinação em relação à superfície dérmica), permite as trocas de calor do animal com o ambiente, através de radiação, convecção, evaporação e condução (Silva *et al.*, 2007).

Trabalho com objetivo de avaliar as medidas corporais e características da pele e pelame associadas à tolerância ao calor em raças bovinas naturalizadas e para exploração comercial verificou que a raça Holandesa preto e branco e a Curraleira foram as que apresentaram maiores e menores valores de comprimento corporal, perímetro de canela e altura de cernelha, respectivamente (Bianchini *et al.*, 2006). Segundo esses autores, o menor porte da Curraleira pode ser decorrente da seleção natural em condições adversas. Em relação à pigmentação da pele e pelo, a raça Nelore apresentou maior nível de pigmentação de epiderme e menor pigmentação do pelo, o que é considerado uma seleção natural que visa proteger os tecidos profundos da ação dos raios ultravioletas (Silva *et al.*, 2003; Bianchini *et al.*, 2006). Considerando a área de tecido ocupada pela glândulas sudoríparas, foi verificada menor área na raça Holandesa preto e branco, o que segundo os autores pode indicar maior dificuldade de adaptação ao calor. Assim, as raças Nelore, Curraleiro e Junqueira apresentaram características mais condizentes com a tolerância ao calor (Bianchini *et al.*, 2006).

A capa externa, constituída pelo pelame ou velo é importante para as trocas térmicas entre o organismo e o ambiente (Starling *et al.*, 2002). Nas regiões tropicais, a capa externa possui funções mais relacionadas à proteção mecânica da epiderme, ao mimetismo e à proteção contra a radiação solar (Silva, 2000). Dessa forma, o tipo e a cor de pelagem são muito importantes para resistência ao calor (Finch *et al.*, 1984). Animais com pelagem escura, e com maior absorção de radiação térmica são mais susceptíveis do que os com pelagem mais clara (Silva *et al.*, 1999).

Pêlos mais curtos e menos numerosos oferecem menor resistência à termólise por convecção e por evaporação que ocorre na superfície cutânea (Maia *et al.*, 2003). Quanto menor a quantidade de pelos por área, o vento consegue penetrar na pelagem mais facilmente, removendo o ar e facilitando a transferência térmica, enquanto que em animais lanados é mais difícil remover o calor retido na pelagem (Castanheira *et al.*, 2010). Dessa forma, McManus *et al.* (2011b) observaram maiores frequências respiratórias e temperaturas retais em ovinos com pêlos mais longos e pelagem mais espessa. Observação semelhante foi relatada por McManus *et al.* (2009a), os quais observaram que, em condições de estresse térmico severo, animais Santa Inês de pelagem branca apresentaram melhor adaptação com menores frequências cardíacas e respiratórias e temperatura retal do que os de pelagem escura. Os animais de pelagem branca tinham pele mais fina, pelos mais curtos e pele menos pigmentada, enquanto que os ovinos de pelagem marrom possuíam pele mais grossa, pelos mais longos e menos glândulas sudoríparas. Por outro lado, a pigmentação é importante para proteção da pele contra raios ultravioletas (UV), o que torna os animais de pelagem branca mais predispostos ao desenvolvimento de neoplasias dérmicas, devido à menor quantidade de melanina para proteção contra radiação UV (Maia *et al.*, 2003).

2.4 Índices ambientais

As mudanças climáticas são vistas como principal ameaça para a viabilidade da pecuária em diversas partes do mundo. Modelos climáticas preveem aumento no número de eventos climáticos extremos, incluindo um aumento na duração e intensidade das ondas de calor (Gaughan *et al.*, 2011). A magnitude do estresse térmico é causada pela combinação dos efeitos

de diversos parâmetros climáticos como a temperatura do bulbo seco, umidade, radiação solar e velocidade do vento (Dikmen & Hansen, 2009). Assim, a habilidade de prever a resposta do animal à carga de calor permite a implantação de estratégias de manejo para amenizar os efeitos da carga térmica. Modelos de previsão permitem que os impactos dessas mudanças sejam modelados, o que ajuda no planejamento do tipo de instalação, bem como a utilização de raças específicas em determinadas regiões (Gaughan *et al.*, 2011).

Diversos índices combinando diferentes fatores ambientais foram desenvolvidos para estimar o grau de estresse térmico que o animal está submetido (Collier & Collier, 2011).

Fórmulas dos índices ambientais:

1) Índice de temperatura e umidade (THI):

$$\text{THI1} = (0.55 \times \text{TBS} + 0.2 \times \text{Td}) \times 1.8 + 32 + 17.5 \text{ (NRC, 1971);}$$

$$\text{THI2} = [0.4 \times (\text{TBS} + \text{TBU})] \times 1.8 + 32 + 15 \text{ (Thom, 1959);}$$

$$\text{THI3} = (0.8 \times \text{TBS}) + [(\text{UR}/100) \times (\text{TBS} - 14.4)] + 46.4 \text{ (Mader } et al., 2006);}$$

$$\text{THI4} = \text{TBS} + (0,36 \times \text{TBS}) + 41,2 \text{ (Johnson \& Vanjonack, 1976);}$$

$$\text{THI5} = (1.8 \times \text{TBS} + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times \text{UR}) \times (1.8 \times \text{TBS} - 26.8)] \text{ (NRC, 1971);}$$

$$\text{THI6} = (\text{TBS} + \text{TBU}) \times 0.72 + 40.6 \text{ (Nrc, 1971, NRC, 1971);}$$

2) Índice de temperatura do globo negro e umidade (BGHI)

$$\text{BGHI} = \text{TGn} + 0,36\text{Td} + 41,5 \text{ (Buffington } et al., 1981)}$$

3) Índice de conforto térmico (ICT)

$$\text{ICT} = 0,6678\text{TBS} + 0,4969 \text{ Pp}(\text{ta}) + 0,5444\text{TgN} + 0,1038\text{VV} \text{ (Barbosa \& Silva, 1995)}$$

Onde:

TBS: temperatura do bulbo seco (temperatura do ar $^{\circ}\text{C}$);

TGn: temperatura do globo negro ($^{\circ}\text{C}$);

Td: ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

UR: umidade relativa do ar (%).

TBU: temperatura do bulbo úmido (temperatura do ar $^{\circ}\text{C}$);

Pp(ta): pressão parcial de vapor (kPa);

VV: velocidade dos ventos (m s^{-1})

A maioria dos estudos focou principalmente na temperatura e umidade relativa do ar devido à facilidade de obter dados desses dois parâmetros (Bohmanova *et al.*, 2007). Dessa forma, o modelo mais comum é o índice de temperatura e umidade (THI), que existe em diversos formatos (Gaughan *et al.*, 2011). O THI é um valor único que representa os efeitos combinados da temperatura do ar e da umidade relativa associado com o nível de estresse e desenvolvido como índice de segurança para monitorar e reduzir as perdas relacionadas ao estresse térmico (Bohmanova *et al.*, 2007). Segundo a classificação do “Livestock Weather Safety Index”, $\text{THI} \leq 74$ é normal, 75-78 é considerado estado de alerta, 79-83 é considerado estado de perigo e ≥ 84 é considerado situação de emergência (LCI, 1970; Hahn *et al.*, 2009).

O teor de vapor de água presente na atmosfera afeta a perda evaporativa por meio da pele e pelos pulmões. Quando a temperatura média diária está fora da zona de conforto do animal, a quantidade de umidade do ar se torna um elemento significativo para a manutenção da homeostase. Devido à diferença entre as espécies na sensibilidade à temperatura e a umidade, diversas equações de THI que pesam de maneira diferente esses dois fatores foram propostas (Bohmanova *et al.*, 2007). Estudo com o objetivo de avaliar diferentes modelos de THI comparando com outras medidas ambientais observou boa correlação entre eles e que o THI no qual a umidade tem peso maior era mais adequado para lugares onde a umidade é alta, da mesma forma que em lugares de baixa umidade seria melhor utilizar fórmulas cuja umidade tenha menor peso (Dikmen & Hansen, 2009). Segundo estes autores, a temperatura do bulbo seco é um preditor de temperatura retal para vacas Holandesa preto e branco lactantes em clima subtropical quase tão bom quanto o THI.

Por não considerar a radiação solar e a velocidade do vento (Hahn *et al.*, 2003), bem como o genótipo, a raça, a idade e o nível de produção, o THI apresenta algumas limitações

que podem o tornar inadequado para descrever o efeito do clima na produção (Gaughan *et al.*, 2011). Como tentativa de incluir a radiação solar no índice, Buffington *et al.* (1981) desenvolveram o índice de temperatura do globo negro e umidade (BGHI) para tentar explicar a diminuição de produção de leite de vacas submetidas ao calor (Gaughan *et al.*, 2011). O globo negro integra os efeitos da temperatura ambiente, da radiação solar e do resfriamento do vento em um valor de temperatura (Li *et al.*, 2009). De acordo com o National Weather Service (USA) a classificação de BGHI para bovinos é de até 74, de 74 a 79, de 79 a 84 e acima de 84, definidos como situação de conforto, de alerta, de perigo e de emergência, respectivamente (Neves *et al.*, 2009). Entretanto, segundo Andrade (2006), apesar do BGHI (85,1) observado no experimento ser elevado, não pode ser classificado como perigoso para cordeiros Santa Inês, uma vez os animais não apresentaram respostas fisiológicas fora dos padrões da espécie, além de apresentarem um ganho de peso médio diário satisfatório, indicando assim o alto grau de adaptabilidade destes animais às condições climáticas do semi-árido. Apesar de não existir uma tabela de classificação de BGHI específica para ovinos, os BGHI de 70 e 79 podem ser considerados como situações de conforto térmico e perigo respectivamente (Santos *et al.*, 2003; Andrade, 2006) e para Cezar *et al.* (2004) o BGHI de 82,4 pode ser classificado como situação de perigo térmico.

Uma desvantagem do uso do BGHI é à inexistência de medições da temperatura de globo negro nas estações meteorológicas do país. Assim, por considerar apenas os valores de temperatura e de umidade relativa do ar, obtidas facilmente nas estações meteorológicas, o THI é um método mais simples e acessível para se caracterizar o ambiente térmico (Silanikove, 2000).

Em relação aos ovinos, foi desenvolvido um índice de conforto térmico (ITC) que agrega os quatro elementos ambientais que mais influenciam o desempenho animal (temperatura, umidade do ar, radiação térmica e velocidade do vento) especificamente para esta espécie, sendo observada boa correlação com a temperatura retal e frequência respiratória (Barbosa & Da Silva, 1995).

2.5 Índices de conforto térmico baseado em medidas nos animais

As provas de adaptabilidade são constituídas de testes onde é verificada a capacidade do animal em manter sua homeotermia. Dessa forma, o animal é considerado tolerante ao calor quando tem a habilidade de manter a temperatura do corpo em ambiente de temperatura do meio elevado (Müller, 1982).

Parâmetros fisiológicos como a temperatura retal e as frequências respiratória e cardíaca são utilizados para estimar a tolerância dos animais ao calor. Esses parâmetros são aferidos em horários predeterminados utilizando um delineamento estatístico adequado para detectar qual a raça ou grupo de animais é mais adaptado, ou seja, aqueles com menores valores para os parâmetros avaliados (Azevêdo & Alves, 2009).

Um dos primeiros índices desenvolvidos foi o teste de tolerância ao calor de Ibéria (Rhoad, 1944), que avaliou a tolerância de bovinos na Estação experimental de Ibéria, na Louisiana, Golfo do México, medindo o quanto a temperatura retal excedeu a temperatura normal em $^{\circ}\text{F}$. Quanto maior o valor do teste de Ibéria, mais tolerante era considerado o animal. Posteriormente, Bianca (1963) adaptou a equação para $^{\circ}\text{C}$ (Gaughan *et al.*, 2011). O teste tem sido aplicado para outras espécies, alterando o valor da temperatura retal normal de bovinos para o valor considerado normal para a espécie desejada. Na maioria dos trabalhos, as aferições foram feitas por três dias consecutivos ou não, sendo registrado a temperatura retal (TR) pela manhã (10:00 h) e a tarde (15:00 h). Obtém-se então a temperatura retal média (TRM) final de cada animal, que será utilizada na seguinte fórmula $\text{CTC} = 100 - [18 (\text{TRM} - 39,1)]$. Considerando que: CTC = coeficiente de tolerância ao calor; 100 = eficiência máxima em manter a temperatura corporal em $39,1^{\circ}\text{C}$; 18 = constante; TRM = temperatura retal média final e $39,1^{\circ}\text{C}$ = temperatura retal média considerada normal para ovinos (Rocha *et al.*, 2009). Quanto mais próximo de 100, mais adaptado se mostra o animal ao meio ambiente onde está sendo realizado o teste (Müller, 1982).

Outro índice utilizado é o teste de Benezra, que foi desenvolvido um coeficiente de adaptabilidade para bovinos levando em consideração, além da temperatura retal, a frequência respiratória. Sendo calculado utilizando a fórmula $(\text{CTC}) = (\text{TR}/38,33) + (\text{FR}/23)$, onde CTC: coeficiente de tolerância ao calor; TR: temperatura retal e FR: frequência respiratória (Benezra,

1954). Quanto menor o valor obtido pela equação, maior o grau de adaptabilidade do animal (Gaughan *et al.*, 2011). A fórmula pode ser modificada para caprinos, ovinos e bovinos de acordo com os dados fisiológicos considerados normais para cada espécie (Kolb, 1984). Dessa forma, para ovinos $CTC = (TR/39) + (FR/25)$.

No teste de Rausschenbach-Yerokhin (RY) é necessário aferir a temperatura do ar e a temperatura retal às 9:00 e às 15:00 horas com os animais expostos diretamente ao sol. Depois substituir os valores na fórmula para a espécie em questão. Como por exemplo, para ovinos deve ser utilizada a seguinte fórmula: $ITC = 1,0 ta - 20 d + 60$. Considera-se: ITC: índice de tolerância ao calor; ta: temperatura do ar; d: diferença entre as temperaturas retais obtidas de manhã e a tarde. Quanto mais próximo de 100, mais adaptado é o animal (Ferreira, 2005).

Baccari Júnior (2001) desenvolveu um teste para a avaliação da adaptação fisiológica utilizando uma metodologia simples e confiável, podendo ser facilmente aplicado em condições de campo comumente encontradas nas fazendas de criação. Baseia-se na diminuição da temperatura corporal após a exposição dos animais às condições naturais de calor ambiental. Neste teste os animais são mantidos durante duas horas na sombra (ao meio dia); depois por uma hora expostos à radiação solar direta, quando é coletada a temperatura retal pela primeira vez (TR1); em seguida, conduzidos à sombra, permanecendo em repouso por uma hora para ser tomada a segunda temperatura retal (TR2), que juntamente com a primeira é utilizada na fórmula: $ITC = 10 - (TR2 - TR1)$. Quanto mais próximo de 10, mais adaptado será considerado o animal (Gaughan *et al.* 2011; Oliveira, 2011).

2.6 Termografia

A termografia é um método não invasivo que avalia a temperatura quantitativamente utilizando a radiação infravermelha para produzir uma representação da temperatura da superfície corporal (Heath *et al.*, 2001; Stokes *et al.*, 2012). É uma ferramenta que pode ser utilizada para medir a temperatura da pele em diferentes pontos do corpo do animal, sendo ideal para monitorar a temperatura de superfície sem que seja necessário manipular o animal (Heath *et al.*, 2001; Paim *et al.*, 2013). O termógrafo é utilizado para diversas finalidades nas ciências veterinárias, como para diagnosticar doenças como febre aftosa (ferramenta de triagem), Língua Azul, mastite e problemas de casco, avaliação de dor e de estresse nos animais (Rainwater-Lovett *et al.*, 2009; Stubsjøen *et al.*, 2009; Stokes *et al.*, 2012; Valera *et al.*, 2012; Diego *et al.*, 2013; Lehmann *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2013).

Estudo recente que analisou o uso da termografia para avaliar a tolerância ao calor em borregos relatou que as temperaturas do flanco, garupa e focinho são importantes para a avaliação de tolerância nesses animais (McManus *et al.*, 2015). Outro ponto utilizado para aferir as temperaturas termográficas é o olho. Pesquisa comparando a eficácia da utilização da temperatura máxima do olho, aferida utilizando termógrafo, com os níveis de cortisol salivares para avaliar o estresse de equinos durante competições considerou a termografia um método eficiente de detecção de estresse em equinos durante eventos competitivos (Valera *et al.*, 2012). Em ovinos, experimento com o objetivo de avaliar a capacidade da termografia em caracterizar a resposta de cordeiros às condições ambientais, observou correlação positiva entre a temperatura do globo negro e as temperaturas de superfície aferidas em diversas regiões do corpo. Fatores como características da pelagem (altura, cor, comprimento e densidade) e pele (espessura e quantidade de glândulas sudoríparas) podem influenciar a temperatura termográfica e variam de acordo com a raça. Paim *et al.*, 2013 observaram que cordeiros com pelagem mais escura e com menor refletância, refletiram menos luz e absorveram mais calor, resultando em temperatura de superfície mais elevada. Por outro lado, aqueles com pelagem branca e com alta refletância absorveram menos calor apresentando menor temperatura superficial (Paim *et al.*, 2013).

Como as imagens termográficas podem ser tiradas a distância do animal, sem o contato direto, se evita o aumento de temperatura associado ao estresse da captura, contenção e

confinamento (Stewart *et al.*, 2005), bem como o causado pelo manejo e contato físico com o animal para a aferição da temperatura retal, das frequências cardíaca e respiratória e da colheita de sangue. Essas variáveis fisiológicas são muito utilizadas em pesquisas de tolerância ao calor e tem sido observada alta correlação entre esses parâmetros e as temperaturas termográficas, o que torna esta ferramenta adequada para avaliar estresse nos animais (Cardoso *et al.*, 2010).

Souza et al. (2007) ao avaliarem o efeito da estação do ano e do turno sobre os parâmetros fisiológicos e o índice de tolerância ao calor em bovinos observaram efeito do turno sobre a temperatura da pele aferida em sete pontos (fronte, pescoço, costado, lombo, coxa, ventre e canela) utilizando um termômetro infravermelho. Assim como os demais parâmetros fisiológicos (TR, FR e FC), a temperatura superficial da pele também apresentou média superior durante o período da tarde, o que segundo os autores demonstrou que sob estresse severo ocorre um aumento no fluxo sanguíneo do núcleo central para a superfície do animal e, conseqüentemente, eleva o fluxo de calor, resultando em altas temperaturas superficiais. No entanto, não foi observada diferença significativa de temperatura da pele entre as estações chuvosa e seca.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, I.; GOHAR, A.; AHMAD, N.; AHMAD, M. Haematological profile in cyclic, non cyclic and endometritic cross-bred cattle. **Int. J. Agri. Biol**, v. 5, n. 3, p. 332-334, 2003.
- ANDRADE, I. S. **Efeito do ambiente e da dieta sobre o comportamento fisiológico e o desempenho de cordeiros em pastejo no semi-árido paraibano**. 2006. 40 (Mestrado em Zootecnia Sistemas Agrossilvipastoris). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.
- AZEVÊDO, D. M. M. R. A.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Embrapa Meio-Norte, 2009.
- BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes. **Londrina: UEL**, 2001.
- BAÊTA, F.; SOUZA, C. **Ambiência em edificações rurais e conforto térmico**. Viçosa: UFV, 1997.
- BARBOSA, O. R.; DA SILVA, R. G. Índice de conforto térmico para ovinos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 52, n. 1, p. 29-35, 1995.
- BARBOSA, O. R.; SILVA, R. G. Índice de conforto térmico para ovinos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 52, n. 1, p. 29-35, 1995.
- BARBOSA, O. R.; BOZA, P. R.; SANTOS, G.; SAKAGUSHI, E. S.; RIBAS, N. P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 1, p. 115-122, 2004.

- BEEDE, D.; COLLIER, R. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. **Journal of Animal Science**, v. 62, n. 2, p. 543-554, 1986.
- BENEZRA, M. **A new index for measuring the adaptability of cattle to tropical conditions.** Journal of Animal Science: AMER SOC ANIMAL SCIENCE 1111 NORTH DUNLAP AVE, SAVOY, IL 61874, 1954. 1015-1015 p.
- BERNABUCCI, U.; LACETERA, N.; BAUMGARD, L. H.; RHOADS, R. P.; RONCHI, B.; NARDONE, A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1167-1183, Jul 2010.
- BERNABUCCI, U. Impact of hot environment on nutrient requirements. **Environmental Physiology of Livestock**, p. 101-128, 2011.
- BIANCA, W. Rectal temperature and respiratory rate as indicators of heat tolerance in cattle. **The Journal of Agricultural Science**, v. 60, n. 01, p. 113-120, 1963.
- BIANCHINI, E.; MCMANUS, C.; LUCCI, C. M.; FERNANDES, M. C. B.; PRESCOTT, E.; MARIANTE, A. D. S.; EGITO, A. A. D. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1443-1448, 2006.
- BIRGEL JÚNIOR, E.; DANGELINO, J.; BENESI, F.; BIRGEL, E. Valores de referência do eritrograma de bovinos da raça jersey criados no estado de são paulo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 53, 2001.
- BLESSING, W. W. Lower brainstem pathways regulating sympathetically mediated changes in cutaneous blood flow. **Cellular and molecular neurobiology**, v. 23, n. 4-5, p. 527-538, 2003.
- BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 4, p. 1947-1956, 2007.
- BOUZIDA, N.; BENDADA, A.; MALDAGUE, X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. **Journal of Thermal Biology**, v. 34, n. 3, p. 120-126, 2009.

- BUFFINGTON, D.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.; PITT, D. Black globe-humidity index (bghi) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers](USA)**, 1981.
- CARDOSO, C.; LIMA, F.; COSTA, G.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, N.; CARDOSO, D.; LAUDARES, K.; JUNIOR, R.; OLIVEIRA, B.; LOUVANDINI, H. Tolerância ao calor em animais mestiços de ovinos. **Proceedings of 47^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Salvador**, p. 1-3, 2010.
- CARVALHO, F.; LAMMOGLIA, M.; SIMOES, M.; RANDEL, R. Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 12, p. 3570-3573, 1995.
- CASTANHEIRA, M.; PAIVA, S. R.; LOUVANDINI, H.; LANDIM, A.; FIORVANTI, M. C. S.; DALLAGO, B. S.; CORREA, P. S.; MCMANUS, C. Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central brazil. **Tropical Animal Health and Production**, v. 42, n. 8, p. 1821-1828, 2010.
- CEZAR, M. F.; SOUZA, B.; SOUZA, W.; PIMENTA FILHO, E.; TAVARES, G. D. P.; MEDEIROS, G. X. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos dorper, santa inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 614-620, 2004.
- COLLIER, R. J.; COLLIER, J. **Environmental physiology of livestock**. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 1119949076.
- CUNNINGHAM, J. **Tratado de fisiologia veterinária**. Elsevier Brasil, 2011. ISBN 8535245987.
- DIEGO, A. C. P. D.; SÁNCHEZ-CORDÓN, P. J.; PEDRERA, M.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, B.; GÓMEZ-VILLAMANDOS, J. C.; SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, J. M. The use of infrared thermography as a non-invasive method for fever detection in sheep infected with bluetongue virus. **The Veterinary Journal**, v. 198, n. 1, p. 182-186, 2013.
- DIKMEN, S.; HANSEN, P. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 1, p. 109-116, 2009.

- ELVINGER, F.; NATZKE, R. P.; HANSEN, P. J. Interactions of heat stress and bovine somatotropin affecting physiology and immunology of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 2, p. 449-462, 1992.
- FARIA, F. J. C.; VERCESI FILHO, A. E.; MADALENA, F. E.; JOSAHKIAN, L. A. Estrutura genética da raça sindi no brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 852-857, 2004.
- FERREIRA, F.; PIRES, M.; MARTINEZ, M.; COELHO, S.; CARVALHO, A.; FERREIRA, P.; FACURY FILHO, E.; CAMPOS, W. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arq. bras. med. vet. zootec**, v. 58, n. 5, p. 732-738, 2006.
- FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Aprenda Fácil, 2005. ISBN 8576300206.
- FINCH, V. A.; BENNETT, I.; HOLMES, C. Coat colour in cattle: Effect on thermal balance, behaviour and growth, and relationship with coat type. **The Journal of Agricultural Science**, v. 102, n. 01, p. 141-147, 1984.
- GAUGHAN, J.; LACETERA, N.; VALTORTA, S. E.; KHALIFA, H. H.; HAHN, L.; MADER, T. Response of domestic animals to climate challenges. In: (Ed.). **Biometeorology for adaptation to climate variability and change**: Springer, 2009. p.131-170. ISBN 1402089201.
- GAUGHAN, J.; MADER, T.; GEBREMEDHIN, K. Rethinking heat index tools for livestock. **Environmental Physiology of Livestock**, p. 243, 2011.
- GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 1, p. 226-234, Jan 2008.
- HAHN, G.; MADER, T.; EIGENBERG, R. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. **EAAP Technic Ser**, v. 7, p. 31-44, 2003.
- HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. A. Thermal indices and their applications for livestock environments. **Livestock energetics and thermal environmental management**, 2009.

- HANSEN, P. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal reproduction science**, v. 82, p. 349-360, 2004.
- HEATH, A.; NAVARRE, C.; SIMPKINS, A.; PUROHIT, R.; PUGH, D. A comparison of surface and rectal temperatures between sheared and non-sheared alpacas (*Lama pacos*). **Small Ruminant Research**, v. 39, n. 1, p. 19-23, 2001.
- HOFFMANN, I. Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. **Animal genetics**, v. 41, n. s1, p. 32-46, 2010.
- HOFFMANN, I. Adaptation to climate change—exploring the potential of locally adapted breeds. **Animal**, v. 7, n. s2, p. 346-362, 2013.
- HULME, P. E. Adapting to climate change: Is there scope for ecological management in the face of a global threat? **Journal of Applied Ecology**, v. 42, n. 5, p. 784-794, Oct 2005.
- ILRI. [2011]. **Climate change research by ilri informs stern review on the economics of climate change**. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US2012416484>. Acesso em: 10/03/2015.
- INCROPERA, F. P.; LAVINE, A. S.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 0470501979.
- IPCC. [2007]. **Climate change: Impacts, adaptation and vulnerability**. Disponível em: <http://www.ipcc.cg/SPM13ap07.pdf>. Acesso em: 10/03/2015.
- IPCC. [2014] **Climate change 2014 synthesis report**. IPCC. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/apps/eventmanager/documents/19/021120141253-Doc.%2021%20-%20Synthesis%20Report%20-%20Adopted%20Longer%20report.pdf>. Acesso em: 10/03/2015.
- JAIN, N. C. **Essentials of veterinary hematology**. 1993. ISBN 081211437X.
- JOHNSON, H.; VANJONACK, W. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 9, p. 1603-1617, 1976.

- JONES, P. G.; THORNTON, P. K. The potential impacts of climate change in tropical agriculture: The case of maize in africa and latin america in 2055. **Glob. Environ. Change**, v. 13, p. 51-59, 2003.
- JÚNIOR, L. M. M.; RIBEIRO, D. M. M.; COSTA, A. P. R.; TURCO, S. H. N.; MURATORI, M. C. S. Respostas fisiológicas de caprinos boer e anglo-nubiana em condições climáticas de meio-norte do brasil. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 2, 2007.
- KOLB, E. **Fisiologia veterinária**. : Rio de Janeiro: Guanabara Koogan SA: 621 p. 1984.
- LCI. Patterns of transit losses. **Omaha, Neb.: Livestock Conservation, Inc**, 1970.
- LEHMANN, B.; GHAZI WAKILI, K.; FRANK, T.; VERA COLLADO, B.; TANNER, C. Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. **Applied Energy**, v. 110, p. 29-43, 2013.
- LI, S.; GEBREMEDHIN, K.; LEE, C.; COLLIER, R. Evaluation of thermal stress indices for cattle. **St. Joseph, MI: ASAE**, p. Paper no. 096003, 2009.
- MADER, T. L.; DAVIS, M.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 712-719, 2006.
- MAIA, A. S. C.; SILVA, R. G. D.; BERTIPAGLIA, E. C. A. Características do pelame de vacas holandesas em ambiente tropical: Um estudo genético e adaptativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 4, p. 843-853, 2003.
- MARAI, I.; EL-DARAWANY, A.; FADIEL, A.; ABDEL-HAFEZ, M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. **Small Ruminant Research**, v. 71, n. 1, p. 1-12, 2007.
- MARAI, I.; HAEEB, A. Buffalo's biological functions as affected by heat stress—a review. **Livestock Science**, v. 127, n. 2, p. 89-109, 2010.
- MARTINS, R. F. S.; DO PRADO PAIM, T.; DE ABREU CARDOSO, C.; STÉFANO LIMA DALLAGO, B.; DE MELO, C. B.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. **Research in veterinary science**, v. 94, n. 3, p. 722-724, 2013.

- MCDOWELL, R.; HOOVEN, N.; CAMOENS, J. Effect of climate on performance of holsteins in first lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 5, p. 965-971, 1976.
- MCMANUS, C.; MIRANDA, R. Comparação das raças de ovinos santa inês e bergamácia no distrito federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 5, p. 1055-1059, 1997.
- MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; PAIVA, S. R.; DE OLIVEIRA, A. A.; AZEVEDO, H. C.; DE MELO, C. B. Genetic factors of sheep affecting gastrointestinal parasite infections in the distrito federal, brazil. **Veterinary parasitology**, v. 166, n. 3, p. 308-313, 2009a.
- MCMANUS, C.; PALUDO, G.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L.; PAIVA, S. Heat tolerance in brazilian sheep: Physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, Jan 2009b.
- MCMANUS, C.; PALUDO, G. R.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L. C. B.; PAIVA, S. R. Heat tolerance in brazilian sheep: Physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, 2009c.
- MCMANUS, C.; DIAS, E. A.; PAIVA, S. R.; BRACCINI NETO, J.; COBUCCI, J. A.; BARCELLOS, J. O. J.; LOUVANDINI, H. Os desafios da produção animal frente às mudanças climáticas. **Vet. e Zootec.**, v. 18, p. 142-148, 2011a.
- MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L. C. B.; BIANCHINI, E.; BERNAL, F. E. M.; PAIVA, S. R.; PAIM, T. P. Skin and coat traits in sheep in brazil and their relation with heat tolerance. **Tropical Animal Health and Production**, v. 43, n. 1, p. 121-126, 2011b.
- MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; PAIM, T.; MARTINS, R.; BARCELLOS, J. O. J.; CARDOSO, C.; GUIMARÃES, R. F.; SANTANA, O. A. The challenge of sheep farming in the tropics: Aspects related to heat tolerance. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 40, p. 107-120, 2011c.
- MCMANUS, C.; BIANCHINI, E.; PAIM, T. P.; LIMA, F. G.; NETO, J. B.; CASTANHEIRA, M.; ESTEVES, G. I. F.; CARDOSO, C. C.; DALCIN, V. C. Infrared thermography to evaluate heat tolerance in different genetic groups of lambs **Sensors**, v. 15, p. 17258-17273, 2015.
- MÜLLER, P. B. Bioclimatologia, aplicada aos animais domésticos. 1982.

- NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; BERNABUCCI, U. Climatic effects on productive traits in livestock. **Veterinary Research Communications**, v. 30, p. 75-81, 2006.
- NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**, v. 130, n. 1-3, p. 57-69, 2010.
- NEIVA, J. N. M.; TEIXEIRA, M.; TURCO, S. H. N.; OLIVEIRA, S. D.; MOURA, A. Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos santa inês mantidos em confinamento na região litorânea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 3, p. 668-678, 2004.
- NEVES, M. L. M. W.; DE AZEVEDO, M.; DA COSTA, L. A. B.; GUIM, A.; LEITE, A. M.; CHAGAS, J. C. Níveis críticos do índice de conforto térmico para ovinos da raça santa inês criados a pasto no agreste do estado de Pernambuco. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v. 31, n. 2, 2009.
- NÓBREGA, G. H. D. A produção animal sobre a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Mossoró**, v. 6, n. 1, p. 67-73, 2011.
- NRC. **A guide to environmental research on animals**. Washington, DC. 1971
- OLIVEIRA, E. M. B. Tolerância ao calor, medidas morfométricas e cortes comerciais em diferentes grupos genéticos de ovinos. Tese (Doutorado em Ciências Animais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- OLIVEIRA, F. M.; DANTAS, R. T.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W.; MEDEIROS, A. N. Parâmetros de conforto térmico e fisiológico de ovinos santa inês, sob diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, 2005.
- OLIVEIRA, L. A.; CAMPELO, J. E. G.; AZEVEDO, D. M. M. R.; COSTA, A. P. R.; TURCO, S. H. N.; DA SILVA MOURA, J. W. Estudo de respostas fisiológicas de eqüinos sem raça definida e da raça quarto de milha às condições climáticas de Teresina, Piauí. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 827-838, 2008.
- PAIM, T. D. P.; BORGES, B. O.; LIMA, P. D. M. T.; GOMES, E. F.; DALLAGO, B. S. L.; FADEL, R.; DE MENEZES, A. M.; LOUVANDINI, H.; CANOZZI, M. E. A.; BARCELLOS, J. O. J. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from

- different genetic groups. **International journal of biometeorology**, v. 57, n. 1, p. 59-66, 2013.
- PALUDO, G. R.; MCMANUS, C.; MELO, R. Q. D.; CARDOSO, A. G.; MELLO, F. P. D. S.; MOREIRA, M.; FUCK, B. H. Effect of heat stress and exercise on physiological parameters of horses of the brazilian army. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1130-1142, 2002.
- PEREIRA, J. C. C. **Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal**. FEPMVZ, 2005. ISBN 8587144197.
- QUESADA, M.; MCMANUS, C.; COUTO, F. Tolerância ao calor de duas raças de ovinos deslanados no distrito federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 1021-1026, 2001.
- RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J. M.; PACKER, C.; RODRIGUEZ, L. L. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. **The Veterinary Journal**, v. 180, n. 3, p. 317-324, 2009.
- REECE, W. O.; ERICKSON, H. H.; GOFF, J. P.; UEMURA, E. E. **Dukes' physiology of domestic animals**. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 1118501497.
- RHOAD, A. O. The iberia heat tolerance test for cattle. **Tropical Agriculture**, v. 21, n. 9, p. 162-164, 1944.
- ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B.; DA SILVA, A. L. N.; JUSTINIANO, S. V.; FREITAS, M. M. S. Parâmetros hematológicos de caprinos de corte submetidos a diferentes níveis de suplementação no semi-árido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, 2010.
- ROCHA, R.; COSTA, A.; AZEVEDO, D.; NASCIMENTO, H.; CARDOSO, F.; MURATORI, M.; LOPES, J. Adaptabilidade climática de caprinos saanen e azul no meio-norte do brasil; climatic adaptability of saanen and azul goats in brazilian middle-north. **Arq. bras. med. vet. zootec**, v. 61, n. 5, p. 1165-1172, 2009.
- ROMANINI, C.; NÄÄS, I. D. A.; SALGADO, D.; LIMA, K.; DO VALLE, M.; LABIGALINI, M.; DE SOUZA, S.; MENEZES, A.; DE MOURA, D. **Impact of global warming on brazilian beef production**. Central theme, technology for all: sharing the knowledge for development. Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering, XXXVII Brazilian Congress of Agricultural Engineering, International Livestock Environment Symposium-ILES VIII, Iguassu Falls City, Brazil, 31st August to 4th

- September, 2008.: International Commission of Agricultural Engineering (CIGR), Institut für Landtechnik, 2008. p.
- SANTOS, J.; SOUZA, B. D.; SOUZA, W.; CEZAR, M.; TAVARES, G. Avaliação da adaptabilidade de ovinos da raça santa inês, morada nova e mestiços de dorper, no semi-árido. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1-5, 2003.
- SEO, S. N.; MENDELSON, R. Measuring impacts and adaptations to climate change: A structural ricardian model of african livestock management1. **Agricultural Economics**, v. 38, n. 2, p. 151-165, 2008.
- SERRANO, G. M.; EGITO, A. A. D.; MCMANUS, C.; MARIANTE, A. D. S. Genetic diversity and population structure of brazilian native bovine breeds. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 543-549, 2004.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock production science**, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.
- SILVA, R.; LA SCALA JR, N.; POCA, P. Estimativa do balanço térmico por radiação em vacas holandesas expostas ao sol e à sombra em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 6, p. 1403-1411, 1999.
- SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. Nobel, 2000. ISBN 8521311214.
- SILVA, R. G.; LA SCALA, N.; TONHATI, H. Radiative properties of the skin and haircoat of cattle and other animals. **Transactions of the Asae**, v. 46, n. 3, p. 913-918, 2003.
- SILVA, R. G. D.; MORAIS, D. A. E. F.; GUILHERMINO, M. M. Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 1192-1198, 2007.
- SILVA, R. G. D.; MAIA, A. S. C. Evaporative cooling and cutaneous surface temperature of holstein cows in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 5, p. 1143-1147, 2011.
- ŠIMPRAGA, M.; ŠMUC, T.; MATANOVIĆ, K.; RADIN, L.; SHEK-VUGROVEČKI, A.; LJUBIČIĆ, I.; VOJTA, A. Reference intervals for organically raised sheep: Effects of breed, location and season on hematological and biochemical parameters. **Small Ruminant Research**, v. 112, n. 1, p. 1-6, 2013.

- SOUZA, B. B. D.; BATISTA, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIARIDO**, v. 8, n. 3, p. 06-10, 2012.
- SOUZA, B. D.; SILVA, R. D.; MARINHO, M. L.; SILVA, G. D. A.; SILVA, E. D.; SOUZA, A. P. D. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça sindi no semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007.
- STARLING, J. M. C.; SILVA, R. D.; CERÓN-MUÑOZ, M.; BARBOSA, G.; COSTA, M. Análise de algumas variáveis fisiológicas para avaliação do grau de adaptação de ovinos submetidos ao estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 2070-2077, 2002.
- STARLING, J. M. C.; SILVA, R.; NEGRÃO, J. A.; MAIA, A.; BUENO, A. Variação estacional dos hormônios tireoideanos e do cortisol em ovinos em ambiente tropical. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2064-2073, 2005.
- STEWART, M.; WEBSTER, J.; SCHAEFER, A.; COOK, N.; SCOTT, S. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**, v. 14, n. 4, p. 319-325, 2005.
- STEWART, M.; STAFFORD, K.; DOWLING, S.; SCHAEFER, A.; WEBSTER, J. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiol Behav**, v. 93, n. 4, p. 789-797, 2008.
- STOKES, J.; LEACH, K.; MAIN, D.; WHAY, H. An investigation into the use of infrared thermography (irt) as a rapid diagnostic tool for foot lesions in dairy cattle. **The Veterinary Journal**, v. 193, n. 3, p. 674-678, 2012.
- STUBSJØEN, S. M.; FLØ, A. S.; MOE, R. O.; JANCZAK, A. M.; SKJERVE, E.; VALLE, P. S.; ZANELLA, A. J. Exploring non-invasive methods to assess pain in sheep. **Physiol Behav**, v. 98, n. 5, p. 640-648, 2009.
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-59, 1959.
- THOMPSON, G. E. Respiratory system. In: YOUNG, M. K. (Ed.). **Stress physiology in livestock**. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc, 1985. p.155-162.

- THORNTON, P.; HERRERO, M.; FREEMAN, H.; MWAI, A.; REGE, E.; JONES, P.; MCDERMOTT, J. Vulnerability, climate change and livestock—opportunities and challenges for the poor. 2007.
- VALERA, M.; BARTOLOMÉ, E.; SÁNCHEZ, M. J.; MOLINA, A.; COOK, N.; SCHAEFER, A. Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 32, n. 12, p. 827-830, 2012.
- WEBSTER, A. Metabolic responses of farm animals to high temperature. **EAAP Publication**, 1991.
- WOLFE, D. W.; ZISKA, L.; PETZOLDT, C.; SEAMAN, A.; CHASE, L.; HAYHOE, K. Projected change in climate thresholds in the northeastern us: Implications for crops, pests, livestock, and farmers. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 13, n. 5-6, p. 555-575, 2008.
- YAHDJIAN, L.; SALA, O. E. Climate change impacts on south american rangelands. **Rangelands**, v. 30, n. 3, p. 34-39, 2008.

CAPITULO 2

TOLERÂNCIA AO CALOR EM OVINOS DESLANADOS DAS RAÇAS SANTA INÊS E MORADA NOVA

RESUMO

A adaptabilidade aos ambientes tropicais e a tolerância ao calor são fatores importantes na ovinocultura. O objetivo deste estudo foi avaliar a tolerância ao calor de 26 ovinos adultos da raça Santa Inês (SI) e Morada Nova (MN) no Distrito Federal, utilizando parâmetros climáticos, sanguíneos, físicos, fisiológicos, termográficos e coeficientes de adaptabilidade. A análise estatística incluiu análise de variância, correlação e componentes Principais com nível de significância de 5%. O Índice de Temperatura e Umidade indicou situação de desconforto térmico para os animais durante o período da tarde. A raça influenciou significativamente ($p < 0,001$) características fisiológicas e físicas de pele, pêlo, medidas biométricas e os coeficientes de tolerância ao calor de Ibéria e Benezra. Apesar de ambas as raças poderem ser consideradas adaptadas às condições ambientais da região, a raça MN foi mais indicada para criação na região Centro-Oeste por apresentar características de melhor adaptabilidade às condições locais. A correlação positiva encontrada entre as temperaturas termográficas e os parâmetros fisiológicos, indicaram que esta técnica pode ser utilizada para avaliar o conforto térmico animal, tendo como vantagem a não manipulação do animal, o que favorece o bem estar do animal.

Palavras-chave: Bioclimatologia, estresse térmico, fisiologia, infravermelho, morfologia

ABSTRACT

HEAT TOLERANCE IN SANTA INES AND MORADA NOVA HAIR SHEEP

Adaptability to tropical environments and heat tolerance are important factors in sheep production. The aim of this study was to evaluate heat tolerance of 26 Santa Ines (SI) and Morada Nova (MN) adult sheep in the Federal District of Brazil, using thermographic, climatic, blood, physical, physiological parameters and heat tolerance indices. The analyses included analyses of variance, correlation, and principal components with a significance level of 5%. The environmental indices, in general, indicate a situation of thermal discomfort for the animals during the afternoon. Breed significantly influenced ($p < 0.001$) physiological and physical characteristics of skin, hair, biometric measurements and Iberia and Benezra heat tolerance indices. Although both breeds can be considered adapted to the environmental conditions of the region, MN breed is most suitable for farming in the Midwest region. The positive correlation found between the thermographic temperatures and physiological parameters indicates that this technique can be used to evaluate thermal comfort, having the advantage that animals do not have to be handled, which favors animal welfare.

Keywords: Bioclimatology, infrared, morphology, physiology, thermal stress

1 INTRODUCTION

The main environmental factors that affect livestock production are environmental temperature, humidity, solar radiation and wind speed (Hulme, 2005). The climate of a particular region, especially air temperature and relative humidity, directly influences the animal's production potential. According to McManus *et al.* (2011b) the probable increase in the frequency of heat stress, droughts and floods, will have adverse effects on livestock productivity. In tropical regions, heat stress is a major factor limiting the development of animals, being characterized by high levels of solar radiation and temperature which can adversely affect animal production (McManus *et al.*, 2009; McManus *et al.*, 2014).

With a lack of thermal comfort, the animal seeks for ways to lose heat. This involves a series of adaptations of the respiratory, circulatory, excretory, endocrine and nervous systems of animals reared in warm regions (McManus *et al.*, 2009). Coordination of all of these systems, to maintain the productive potential, varies between species, breeds and individuals within the same breed (Marai & Haeb, 2010). Each genetic group reacts differently to frequent exposure to solar radiation, drastic changes in temperature, among other environmental factors, changing their behavior and physiological parameters (Roberto *et al.*, 2010). Therefore, information is necessary regarding heat tolerance and adaptability, to indicate breeds for a specific region, as well as to guide cross breeding programs aiming to develop animals that are more suitable to a particular environment (Quesada *et al.*, 2001).

Most of the methods that are currently used to assess stress or pain in animals are invasive (Stewart *et al.*, 2008). Thermographic imaging is a noninvasive tool that can be used for this end. These images can be taken at a distance without direct contact with the animal, avoiding temperature increase associated with stress caused by capture, containment and confinement

(Stewart *et al.*, 2005), as well as the stress related to handling and physical contact needed to measure rectal temperature, heart and respiratory rates as well as blood collection.

Therefore, the aim of this study was to evaluate heat tolerance using heat tolerance indices, physiological, physical, thermographic and hematological parameters in Santa Ines and Morada Nova sheep breeds in the Federal District, Brazil.

2 MATERIAL AND METHODS

The work was conducted on the Sucupira Farm (Embrapa-Cenargen) located southwest of the city of Brasilia-DF (15°47'S and 47°56'W), with altitudes ranging 1050-1250 m, and a total area of 1763 ha. The climate is Aw, according to Koppen classification system, characterized by two distinct seasons, with rainy summers and dry winters (Silva *et al.*, 2008).

2.1 Environmental characterization

The environment was characterized using the following measurements: Black globe temperature (TBG) in the sun and the shade, dry bulb temperature (TDB) and relative humidity (RH) using a hygrometer, every 30 minutes. The wet bulb temperature (TWB) and dew point (Td) were obtained using the Grapsi digital psychrometric chart (Melo *et al.*, 2004). Based on these data, the Temperature and Humidity Index was calculated using the following equation according to (Mader *et al.*, 2006):

$$\text{THI} = (0.8 \times \text{TDB}) + [(\text{RH}/100) \times (\text{TDB} - 14.4)] + 46.4$$

Where:

TDB: Dry Bulb Temperature (°C);

RH: Relative Humidity (%).

2.2 Animal characterization

Animal care procedures throughout the study followed protocols approved by the Ethics Committee for Animal Use (CEUA) at the University of Brasilia, number 44568/2009.

Twenty-six adult hair sheep, one and a half years old, from two genetic groups (Santa Ines: 12 males and 4 females; Morada Nova: 7 males and 3 females) were used and data were collected during three consecutive days, twice a day (morning and afternoon), with a total of six repetitions.

Physiological parameters such as respiratory rate (RR), heart rate (HR) and rectal temperature (RT) and thermographic images were collected in both the morning (4 AM) and afternoon (2 PM). The images of eye, nose, foot and left side of the animal were obtained using an infrared thermograph ThermoCAM® (FLIR Systems Inc., Wilsonville, OR, USA) using an emittance coefficient of 0.95 with a distance of one meter to measure the temperature of surface of the animal. This camera has infrared resolution 320×240 pixels, with thermal sensitivity of $<0.05^{\circ}\text{C}$ at 30°C (86°F)/50 mK. QuickReport® software was used for analysis of the images. The “area” tool was used to obtain the eye, nose, foot (interdigital space at the back of the foot), neck, axilla, groin, rib, shoulder and rump temperatures of the animals.

Blood was collected by venipuncture using vacutainer tubes with EDTA when the physiological traits were measured in the morning and afternoon. The number of erythrocytes (RBC), leukocytes (WBC), platelets (PLAT) and the concentration of hemoglobin (HB) were carried out in a automatic cell counter (MICROS HORIBA). The hematimetric parameters (Mean Corpuscular Volume – MCV, Mean Corpuscular Hemoglobin - MCH and Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration – MCHC) were determined by calculation. Packed Cell Volume (PCV in %) was determined using capillary tubes in microhematocrit centrifuge based on the technique described by Wintrobe (1976). The concentration of total plasma proteins (TPP in g/ 100 mL) was determined using a refractometer and the plasma retained in a capillary tube. And for the determination of plasma fibrinogen (FIBR) was used the microhematocrit technique.

The following measurements were taken on each animal: skin thickness (ST) using an adipometer; coat samples (1 cm^2) were collected, number of hairs (NH) counted and the length of ten longest hairs (HL) measured, according to Silva (2000). Skin (shaved shoulder

area) and coat colour was measured at the shoulder of the animal using GMH Color-guide® based on the CIELAB system. CIELAB provides a three-dimensional colour space where the a^* and b^* axes form one plane to which the L^* axis is orthogonal. CIELAB represents colour stimuli as an achromatic signal (L^*) and two chromatic channels representing yellow-blue (b^*) and red-green (a^*) (Westland, 2003). Size measurements on the animals included: shoulder height (SH), thoracic perimeter (TP), back (BKL) and body (BL) lengths, rump height (RuH), rump width (RW) and breast width (BW).

Heat tolerance test based on animal measures were calculated using the following equations:

1) Iberia or Rhoad test (Gaughan *et al.*, 2011): the higher the HTC value the more heat tolerant the animal was considered to be.

$$HTC = 100 - [18(RT - 39.1)]$$

Where:

HTC= heat tolerance test;

100 = maximum efficiency to maintain body temperature at 39.1°C (Reece *et al.*, 2015);

18 = constant;

RT = average rectal temperature (° C) based on readings at 4:00 AM and 2:00 PM.

39.1°C = average rectal temperature considered normal for sheep (Reece *et al.*, 2015).

2) Benezra test (Gaughan *et al.*, 2011): the lower the value the more heat tolerant the animal was considered to be:

$$HT = RT/RR + 39.1/27$$

Where:

HT = heat tolerance index

RT = rectal temperature in ° C;

RR = respiratory rate in breaths per minute;

39.1 = normal rectal temperature of sheep ($^{\circ}$ C) and 27 = normal respiration rate of sheep (breaths/minute) (Reece *et al.*, 2015).

Another way to evaluate if animals are in thermal stress is to measure respiratory rate and qualifying the severity of heat stress according to panting rate: low: 40–60 breaths per min, medium high: 61–80, high: 81–120, and severe heat stress: above 200 breaths per min in sheep (Silanikove, 2000).

2.3 Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SAS version 9.3 (Statistical Analysis Institute, Cary, North Carolina) evaluating the effect of the period of the day, breed and sex on heat tolerance indices, physiological, physical thermographic and hematological parameters. The procedures used included analysis of variance (GLM) to evaluate the difference between breeds and sex, correlation (CORR) and principal component (PRINCOMP) analysis to attempt to understand the sources of variation in the data. Means were compared using adjust Tukey test with a significance level of 5% ($p < 0.05$).

3 RESULTS

High daily air temperature variation was seen during the experiment with maximum temperature of 43.2⁰C in the afternoon and minimum of 14.6⁰C in the morning. The relative humidity also varied during the day, with low relative humidity in the afternoon (Table 1). High THI was observed in the afternoon, reaching values classified as danger and emergency (Hahn *et al.*, 2009). Based on the scale proposed by Silanikove (2000) 37% of the animals in this experiment were under heat stress during the afternoon, of which 6.4% were suffered high thermal stress (Table 2).

Table 1 Mean, standard deviation (SD) and minimum and maximum of climate measures during the experimental period

Morning	Mean	SD	Minimum	Maximum
BGTsun	16.28	0.45	15.5	17.5
BGTsh	16.76	0.52	15.5	18.5
RH	90.65	6.45	75	100
TDB	15.40	0.47	14.6	16.6
TWB	14.43	0.65	12.5	15.6
Td	13.86	1.02	10.83	15.2
THI	59.61	0.77	58.27	61.66
Afternoon				
BGTsun	35.65	9.70	18.5	49.5
BGTsh	28.18	3.25	22.5	34
RH	39.73	18.18	13	76
TDB	32.59	6.47	22.8	43.2
TWB	20.63	2.01	17.4	27.8
Td	15.23	3.84	4.62	23.86
THI	78.64	4.99	70.35	89.94

BGTsun: Black globe temperature in the sun (°C).; BGTsh: Black globe temperature in the shadow (°C).; RH: relative humidity (%); TDB: Dry bulb temperature (°C).; TWB: Wet bulb temperature (°C).; Td: Dew point (°C).; THI: Temperature and Humidity Index;

Table 2 Respiratory rate (RR) classification of the sheep according to the period of the day

RR scale*	Stress level	Morning % animals	Afternoon % animals
< 40 breaths/minute	No stress	82.05	73.0
40 – 60 breaths/minute	Low	11.56	16.6
61 – 80 breaths/minute	Medium-high	-	4.0
81 – 120 breaths/minute	High	5.13	6.4
Above 200 breaths/minute	Severe	-	-

*Scale adapted from Silanikove (2000)

RT, RR, PCV, TPP, RBC, HB, PLAT, FIBR, MCV, MCHC, MCH, thermographic temperatures and Benezra index were influenced by the period of the day (Tables 3 and 4). The RT, RR, thermographic temperatures and the Benezra index were higher during the afternoon and most of the blood parameters were lower in this period. The period of the day did not influence the HR, however these values were high both in the morning and afternoon, with means above reference values for this specie (Reece *et al.*, 2015).

Table 3 Means for physiological and blood traits in Santa Ines and Morada Nova sheep breeds during three days of experiment

		RT	HR	RR	PCV	TPP	WBC	RBC	HB	PLAT	FIBR	MCV	MCHC	MCH
Period	Morning	37.9a	98.5a	25.9a	29.2a	6.7a	7.9a	8.8a	9.6a	7.89b	410.9a	33.3a	32.9a	10.9a
	Afternoon	39.1b	103.6a	44.0b	27.9b	6.6b	7.7a	8.3b	8.9b	8.94a	329.7b	33.8b	31.5b	10.6b
Sex	Male	38.8a	98.7a	34.7a	29.9a	6.7a	7.3b	8.7a	9.6a	9.31a	377.4a	34.4a	32.3 ^a	11.0a
	Female	38.3b	102.8a	35.1a	27.7b	6.6a	8.2a	8.4b	8.9b	7.77b	364.7a	32.9b	32.1a	10.6b
Breed	Santa Ines	38.5a	100.6a	39.1a	27.6b	6.8a	8.3a	8.4b	8.9b	7.57b	366.7a	33.0a	32.6a	10.71 _a
	Morada Nova	38.5a	101.7a	28.3b	30.3a	6.4b	7.1b	8.8a	9.6a	9.77a	375.4a	34.4b	31.8b	11b
Reference values*		38.3-39.9	70-90	20-34	27-45	6-7,5	04 -12	09-15	09-15	2,5-7,5	100-500	28-40	31-34	08-12

Reece et al, 2015; Jain et al., 1993; Means followed by different letters in the same column are significantly different using the Tukey test ($P < 0.05$); RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); PCV: packed cell volume (%); TPP: total plasma protein(g/dl); FIBR: plasma fibrinogen (mg/dl); WBC: leukocytes; RBC: red blood cell ($10^6/\mu\text{l}$); HB: concentration of hemoglobin (g/dl); MCV: Mean Corpuscular Volume; MCH: Mean Corpuscular Hemoglobin; MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; PLAT: platelets.

Table 4 Means for thermographic temperatures and heat tolerance indices in Santa Ines and Morada Nova sheep breeds during three days of experiment

		Neck	Axilla	Rib	Groin	Rump	Shoulder	Eye	Nose	Foot	Ibéria	Benezra
Period	Morning	30.2a	34.9a	30.7a	34.5a	27.8a	32.5a	36.3a	34.7a	24.3a	110.58a	1.93b
	Afternoon	34.7b	37.5b	37.6b	37.6b	34.0b	36.8b	38.4b	38.4b	35.2b	110.58a	2.63a
Sex	Male	32.6a	36.5a	33.5a	36.3a	31.5a	34.8a	37.8a	34.9a	29.7a	105.70b	2.28a
	Female	32.2b	36.5a	32.8b	36.0a	30.5b	34.5b	36.9b	35.1a	29.4a	114.16a	2.28a
Breed	Santa Ines	32.1a	36.2a	32.9a	36.2a	30.4a	34.6a	37.3a	35.0a	29.4a	110.58b	2.43a
	Morada Nova	32.7b	36.3a	33.3b	35.9a	31.7b	34.7a	37.5a	35.0a	29.7a	110.59a	2.03b

Means followed by different letters in the same column are significantly different using the Tukey test ($P < 0.05$).

Coat traits, morphometric measures, RT, PCV, WBC, RBC, HB, PLAT, MCV, MCH, thermograph temperatures and Iberia index were influenced by sex (Tables 3, 4 and 5). The males Santa Ines had higher morphometric measures, rectal temperature, PCV, MCV, MCHC, MCH. Skin and hair brightness, hair thickness and Iberia index were higher in females. Regarding surface temperatures, these were generally higher in the males.

Morphometric measures, coat traits, RR, PCV, TPP, WBC, RBC, HB, PLAT, MCV, MCHC, MCH, some thermographic temperatures and Iberia and Benezra indices were influenced by breed (Tables 3, 4 and 5). Santa Ines animals were bigger and had longer, greater number and darker hair, thicker skin, greater RR, higher TPP, HB, MCHC, WBC, Benezra index and lower Iberia index compared with MN breed.

Table 5 Breed and sex interaction on physical characteristics during three days of experiment

	SI	MN		SI	MN
Skin thickness			b* hair		
Male	6.19aA	5.66B	Male	5.14bB	20.59A
Female	5.11bB	5.88A	female	6.49aB	21.83A
Hair thickness			Body length		
Male	0.11aA	0.88aB	Male	69.37aA	58.44B
Female	0.10bB	0.45bA	Female	61.04bA	58.82B
Number of hair			Back length		
Male	515.5A	286.8B	Male	58.62aA	46.89B
Female	497.29A	312.12B	Female	48.28bA	46.82A
Hair length			Shoulder height		
Male	1.57aA	1.11aB	Male	69.57aA	66.15aB
Female	1.37bA	1.05aB	Female	65.51bA	64.46bA
L*skin			Thoracic perimeter		
Male	40.29bB	50.26aA	Male	78.25aA	70.05B
Female	49.40aB	54.84bA	Female	70.80bA	71.70A
a* skin			Rump height		
Male	1.48aB	4.10aA	Male	72.07A	68.27aB
Female	0.74bB	3.13bA	Female	67.11bA	66.41bA
b*skin			Breast width		
Male	1.86B	5.33aA	Male	15.6aA	13.39B
Female	2.44B	6.62bA	Female	13.05bA	12.85A
L* hair			Rump width		
Male	18.713Bb	36.305A	Male	14.1aA	10.56aB
Female	24.257aB	35.682A	Female	12.20bA	11.03bB
a* hair					
Male	5.14bB	11.16aA			
Female	6.491aA	7.11bA			

Means followed by different capital letters in the same line and different lower case letters in the same column are significantly different using the Tukey test ($P < 0.05$); L*: brightness; and chromatic channels representing b*: yellow-blue; a*: red-green (CIELAB); SI: Santa Ines; MN: Morada Nova.

The correlation between physiological parameters, size measurements, heat tolerance index and coat traits were low (Table 6). RT was negatively correlated with skin brightness (L *) and positively with BL, BKL, TP, RH, ST. Regarding heat tolerance indices, size measurements, skin and hair brightness were negatively correlated with Benezra index and a positive correlation was observed between Iberia index and hair and skin brightness. Surface temperatures were positively correlated with RT, RR and Benezra index, with highest correlations with RT (Table 7). Regarding blood parameters, a direct relationship was noted between heart rate, number of red blood cells and hemoglobin concentration and negative correlation between these blood parameters and Iberia index and THI (Table 8).

Table 6 Correlations between physical characteristics, physiological parameters and heat tolerance indices

	RT	RR	HR	Iberia	Benezra
BL	0.19	0.08	-0.10	-0.42	0.15
BKL	0.22	0.09	-0.13	-0.49	0.15
SH	0.13	0.06	-0.18	-0.30	0.01
TP	0.25	0.21	0.04	-0.54	0.18
RuH	0.21	0.15	-0.13	-0.48	0.04
BW	0.17	0.17	0.00	-0.39	0.14
RW	0.11	0.24	-0.09	-0.22	0.25
ST	0.20	0.05	-0.01	-0.44	0.08
HT	-0.01	-0.06	0.04	0.02	-0.08
NH	0.00	0.10	-0.11	0.01	0.11
HL	0.14	0.27	-0.02	-0.28	0.29
L*skin	-0.23	-0.15	0.01	0.52	-0.16
a*skin	0.12	-0.06	0.10	-0.29	-0.12
b*skin	-0.04	-0.08	0.14	0.07	-0.13
L*hair	-0.07	-0.17	0.07	0.17	-0.17
a*hair	-0.02	-0.14	0.04	0.04	-0.16
b*hair	-0.06	-0.17	0.11	0.12	-0.19

Numbers in bold are statistically significant level; RT: rectal temperature ($^{\circ}$ C); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); SH: shoulder height; TP: thoracic perimeter, BKL: back length; BL: body length; RuH: rump height, RW: rump width; BW: breast width; ST: skin thickness; HT: hair thickness; NH: number of hairs; HL: length of hair; L: brightness; and chromatic channels representing b*: yellow-blue; a*: red-green (CIELAB).*

Table 7 Correlations between thermographic temperatures, physiological parameters, heat tolerance indices and physical characteristics

	Neck	Axilla	Groin	Rump	Rib	Shoulder	Eye	Nose	Foot
RT	0.71	0.80	0.74	0.67	0.70	0.66	0.64	0.69	0.72
RR	0.34	0.41	0.37	0.38	0.42	0.38	0.39	0.47	0.53
HR	0.12	0.11	0.09	0.13	0.18	0.22	0.06	0.10	0.23
IBERIA	-0.03	-0.23	-0.17	-0.06	-0.11	-0.09	-0.17	-0.04	0.02
BENEZRA	0.39	0.44	0.39	0.43	0.46	0.45	0.38	0.46	0.52
ST	-0.01	0.10	-0.02	-0.02	-0.07	0.01	0.04	-0.10	0.05
HT	-0.01	-0.01	-0.08	0.00	-0.04	0.02	-0.22	-0.02	-0.05
NH	-0.09	0.03	-0.01	-0.11	-0.11	0.02	-0.04	0.08	-0.03
HL	-0.12	0.00	0.07	-0.25	-0.18	-0.05	0.04	0.01	0.00
L*skin	0.01	-0.12	-0.08	-0.01	-0.03	-0.09	-0.14	-0.05	0.02
a*skin	0.07	0.05	0.00	0.08	0.00	-0.06	0.09	-0.13	0.06
a*skin	0.04	-0.04	-0.07	0.08	0.02	-0.06	-0.04	-0.14	0.09
L*hair	0.02	-0.08	-0.12	0.07	0.01	-0.03	-0.09	-0.12	0.03
a*hair	0.03	0.01	0.02	0.04	0.01	-0.08	0.12	-0.08	0.03
b*hair	0.02	-0.04	-0.08	0.06	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	0.03

Numbers in bold are statistically significant level; RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); ST: skin thickness; HT: hair thickness; NH: number of hairs; HL: length of hair; L*: brightness; and chromatic channels representing b*: yellow-blue; a*: red-green (CIELAB).

Table 8 Correlations between blood and physiological parameters and heat tolerance indices

	PCV	TPP	FIBR	WBC	RBC	HB	MCV	MCH	MCHC	PLAT
RT	-0.05	-0.08	-0.27	0.14	-0.06	-0.11	0.01	-0.10	-0.10	0.16
RR	-0.16	-0.05	-0.24	0.14	-0.07	-0.15	-0.11	-0.15	-0.01	-0.05
HR	0.17	-0.02	-0.04	0.01	0.27	0.20	-0.20	-0.17	0.08	-0.05
THI	-0.16	-0.12	-0.30	0.03	-0.19	-0.31	0.08	-0.19	-0.25	0.27
IBERIA	-0.41	-0.19	-0.08	0.00	-0.34	-0.40	-0.02	-0.07	-0.02	-0.06
BENEZRA	0.00	-0.02	-0.16	0.12	0.07	-0.03	-0.12	-0.19	-0.03	-0.02

Numbers in bold are statistically significant level; RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); PCV: packed cell volume (%); TPP: total plasma protein(g/dl); FIBR: plasma fibrinogen (mg/dl); WBC: leukocytes; RBC: red blood cell ($10^6/\mu\text{l}$); HB: concentration of hemoglobin (g/dl); MCV: Mean Corpuscular Volume; MCH: Mean Corpuscular Hemoglobin; MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; PLAT: platelets.

The principal component analysis showed that 47% of the variation was explained by physiological and physical variables of the animals (Figure 1). The physical components such as shoulder height, thoracic perimeter, back and body lengths, rump height, rump width and breast width were grouped. Rectal temperature was directly related with these morphometric

measures and skin thickness. High rectal temperature, larger animals and thicker skin were related with higher Benezra and lower Iberia index. The higher the hair brightness lowers rectal temperature, respiratory rate and Benezra index. Regarding surface temperatures, 56% of the variation was explained by the characteristics studied (Figure 2). It was noted a direct relation between these temperatures, physiological components, THI and Benezra index and indirect with Iberia index.

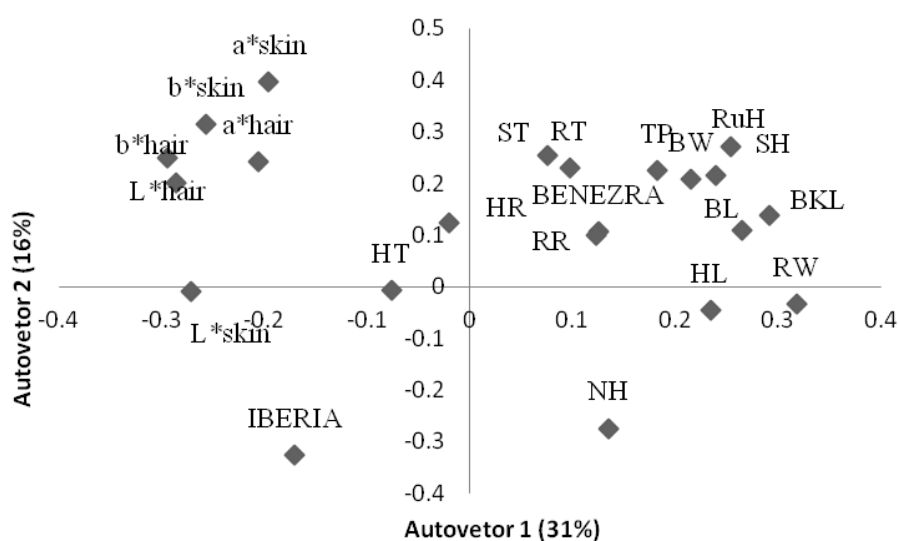


Figure 1 First two autovectors for heat tolerance indices and physiological and physical traits in sheep in the Federal District, Brazil. RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); SH: shoulder height; TP: thoracic perimeter, BKL: back length; BL: body length; RuH: rump height, RW: rump width; BW: breast width; ST: skin thickness; HT: hair thickness; NH: number of hairs; HL: length of hair; L*: brightness; and chromatic channels representing b*: yellow-blue; a*: red-green (CIELAB)

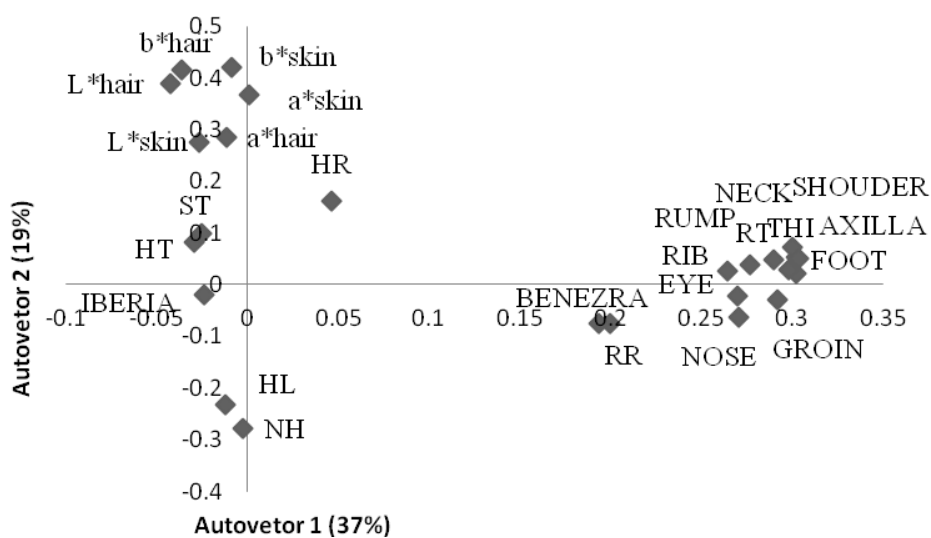


Figure 2 First two autovectors for heat tolerance indices, thermograph temperatures and physiological and physical traits in sheep in the Federal District, Brazil. RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); ST: skin thickness; HT: hair thickness; NH: number of hairs; HL: length of hair; L*: brightness; and chromatic channels representing b*: yellow-blue; a*: red-green (CIELAB)

4 DISCUSSION

4.1 Environmental parameters

The ability to maintain body temperature can be compromised when environmental conditions limit metabolic heat dissipation or contribute to the thermal load of the animal (Dikmen & Hansen, 2009). In this study, high THI was observed in the afternoon, reaching values classified as danger and emergency (Hahn *et al.*, 2009). Considering the climatic variations during the day, the maximum ambient temperature (43,2⁰C) observed during the experiment was higher than the temperature of 25⁰C, considered as thermal comfort zone for Santa Ines sheep (Filho *et al.*, 2011). This high amplitude of thermal variation observed in the present study is in agreement with Paim *et al.* (2013) which reported that the animals suffered from cold stress at night and heat stress during the day. The animal's ability to respond to heat stress depends upon exposure to low temperatures during the night, and more specifically, the duration and intensity of this low temperature (Gaughan *et al.*, 2008). Thus, according low temperatures recorded during the night may have aided in the recovery of thermal stress suffered during the day.

4.2 Physical characteristics

The males and SI animals are larger than females and MN, respectively. A study in the Midwest, comparing three genetic groups of lambs, noted that larger animals had higher RR and RT (Correa *et al.*, 2012). The same was observed in this study, Santa Ines had greater RR and the males higher RT, which is consistent with McManus *et al.* (2011a) who observed that larger animals had more difficulty to dissipate heat to the environment because of the lower proportion of surface contact available for heat loss.

Coat brightness and rectal temperature were inversely correlated, because lighter skin and hair colors reflect solar radiation, decreasing heat retention. The SI sheep used in this study had darker coat than MN, which possibly indicates better adaptation of MN due to less heat absorption. This can be noted in some physiological components such as RR, which was lower in MN, and heat tolerance indices that indicated better adaptation of this breed. Ribeiro *et al.* (2008) also associated lower RR and RT in MN to coat brightness. Studies with West African Dwarf sheep in Nigeria also observed that sheep with dark pigmentation were more prone to heat stress than those with light pigmentation, suggesting that selection should target animals with light coat color in order to improve animal welfare and production efficiency (Fadare *et al.*, 2012).

The better adaptability of MN can also be observed in relation to skin thickness and hair characteristics. It was noted that the MN had thinner skin, shorter and fewer number of hair than SI. Previous studies had suggested that less amount of hair facilitates air penetration, favoring heat transfer (Gebremedhin *et al.*, 1997). According to Yeates (1954), thin skin was associated with heat tolerance and thick skin could be a threat to survival in environments with temperatures above 40.5°C. Finch *et al.* (1984) also reported that thicker skin and coat hinder dissipation of body heat. In the present study, in the principal component analysis, a direct relationship between these physical components (skin thickness and number and length of hair) and RR and RT was observed. McManus *et al.* (2011c) also reported that thicker hair coat was associated to higher skin temperature and RR.

4.3 Physiological parameters

Heat tolerance and livestock adaptability can be determined by physiological measurements such as respiratory rate, heart rate and body temperature (Saab & Sleiman, 1995). In this study, similar to that reported by Quesada *et al.* (2001), RR was affected by breed and period of the day. The increase in RR in the afternoon as a result of higher environmental temperature was also observed in several studies (Brasil *et al.*, 2000; Quesada *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2003; Cezar *et al.*, 2004; Marai *et al.*, 2007). MN had lower respiratory rate than SI, indicating better adaptation, in accordance with Ribeiro *et al.* (2008) who also observed lower breathing rate in MN.

Similar to that reported by Marai *et al.* (2007), in this study, rectal temperature was affected by period of the day, being lower in the morning, indicating that the conditions in this period were less stressful. The mean rectal temperatures were within reference values for sheep, being slightly higher in SI when comparing to MN. Different to that reported by Andersson (2006) who stated that in sheep rectal temperature rises above the normal range when ambient temperature reaches 32⁰C, in the present work it was observed that even when subjected to high environmental temperatures (above 40⁰C), the rectal temperature remained within reference values, indicating good adaptation. According to Marai *et al.* (2007), animals adapted to hot climates have morphological and physiological adaptations that assist heat dissipation.

4.4 Blood parameters

All blood parameters were within the reference values (Jain, 1993) and with higher values in the morning, except the number of platelets which average was higher in the afternoon. Correa *et al.* (2012), when studying heat tolerance in sheep, also observed a reduction of some blood components in the afternoon such as hemoglobin concentration and MCH. Einnouty & Ai-Haidary (1990), when evaluating the effect of climate on hematological values of dairy cows, observed that heat resulted in reduction of blood constituents. According to these

researchers, this is due to hemodilution effect where more water is transported by the circulatory system to help in evaporative cooling. Also the greater blood flow can increase cellular circulation. In the present study, this can be corroborated with the reduction of TPP during the afternoon which could indicate hemodilution.

As reported by McManus *et al.* (2011a), who observed a negative correlation between air temperature, packed cell volume, number of red blood cells and hemoglobin concentration, in this study a negative relationship was also noted between these hematological constituents and THI, which can be attributed to the hemodilution effect corroborating with El-Nouty & Ai-Haidary (1990). With regard to heat tolerance indices, the inverse relationship between Iberia index and number of red blood cells and hemoglobin concentration indicates that these blood constituents can be lower in more adapted animal.

There was no effect of period of the day on the number of leukocytes, differing from McManus *et al.* (2009) and Correa *et al.* (2012), which reported a higher number of leukocytes in the afternoon. In the present study and in Correa *et al.* (2012), the number of leukocytes was within reference values, which may be indicative of heat tolerance even in thermal stress situation, differing from McManus *et al.* (2009) who reported leukocytosis. The animals used by McManus *et al.* (2009) were older, so this difference may be attributed to the age of the animals used in the studies. With regard to breed, considering that the number of leukocytes is influenced by stress hormones released by the adrenal cortex (Jain, 1993), the higher number of white blood cells in SI observed in the present study may be due to an increase in the release of hormones such as cortisone and adrenaline (Correa *et al.*, 2012).

4.5 Heat tolerance index

Among the heat tolerance indices, the Benezra index is the only one which considers RR as a variable. The direct relationship between this index and physiological parameters such as RR and RT, indicates that animals that have lower RR and RT are considered more adapted. The Benezra index was lower for MN, indicating better adaptability. MN sheep was also considered more adapted than SI according to Iberia index, which was higher for MN.

The inverse relationship between the Iberia index and physiological parameters indicated that more adapted animals had lower RT. Perhaps breeding SI with other breeds, such as Suffolk, in order to obtain bigger animals may be responsible for this poorer adaptability of SI in comparison to MN, because heavier animals had less surface area for heat loss (Bianchini *et al.*, 2006).

4.6 Thermographic temperatures

Infrared thermography has been shown to be related to several physiological processes associated with heat tolerance (Paim *et al.*, 2013; McManus *et al.*, 2015). In the present study, the thermographic temperatures of the several body areas measured using an infrared camera were affected by period of the day and, as expected, were lower in the morning, period with cooler environmental temperatures. D'alterio *et al.* (2011) also observed relation between time of day and foot temperature of sheep. The body temperature variation with increased throughout the day and decreased at night had also been reported by several researchers (Souza *et al.*, 2008; Piccione *et al.*, 2011; Paim *et al.*, 2013). This variation was probably due to the lower thermal balance between the surface of the animal and the air temperature in the afternoon. As heat dissipation mechanisms (radiation, convection and conduction) are dependent on this thermal balance, if the air temperature rises the thermal gradient between the surface and the environment decreases. Consequently, the surface temperature tends to rise, reducing the thermal gradient between the core and the skin, resulting in reduction of heat loss by these mechanisms (Souza *et al.*, 2008).

In principal component analysis, body temperatures behaved similarly. Paim *et al.* (2013) also noted this similarity, reporting that the temperature of the nose was the only one who behaved differently. However, in the present study this thermographic temperature was grouped with the others. Regarding difference between breeds, in some body regions such as the neck, ribs and rump, SI animals had lower surface temperature, despite a darker coat. Different from that reported by Paim *et al.* (2013), who reported higher temperatures in SI animals when

compared to crossbred lambs due to darker coat of the former, which, according to these authors, favored heat absorption resulting in higher surface temperature.

The positive correlations between these thermographic temperatures, the Benezra index and physiological parameters, especially rectal temperature, indicate that this technique can be used to evaluate thermal comfort and has the advantage that animals do not have to be handled. Regarding all the body areas analyzed, the axilla was the one that best correlated with RT, so it can be considered a good area to measure body temperature using an infrared thermography.

5 CONCLUSION

The environmental index indicated that sheep suffered heat stress during the afternoon, but due to the good adaptation of MN and SI breeds, these animals were able to maintain their physiological and blood parameters within reference values. Although both breeds can be considered adapted to the environmental conditions, MN breed may be considered more adapted for farming in the Midwest region because of its physical characteristics which favors heat tolerance. The use of infrared thermography to evaluate thermal comfort is a good alternative, having the advantage that animals do not have to be handled, which favors animal welfare.

6 REFERENCES

- ANDERSSON, B. E. J., H. Regulação da temperatura e fisiologia ambiental. In: REECE, M. J. S. A. W. O. (Ed.). **Dukes – fisiologia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2006. p.805–813.
- BIANCHINI, E.; MCMANUS, C.; LUCCI, C. M.; FERNANDES, M. C. B.; PRESCOTT, E.; MARIANTE, A. D. S.; EGITO, A. A. D. Características corporais associadas com a adaptação ao calor em bovinos naturalizados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1443-1448, 2006.
- BRASIL, L. H. D. A.; WECHESLER, F. S.; JÚNIOR, F. B.; GONÇALVES, H. C.; BONASSI, I. A. Efeitos do estresse térmico sobre a produção, composição química do leite e respostas termorreguladoras de cabras da raça alpina. **Rev. bras. zootec**, v. 29, n. 6, p. 1632-1641, 2000.
- CEZAR, M. F.; SOUZA, B.; SOUZA, W.; PIMENTA FILHO, E.; TAVARES, G. D. P.; MEDEIROS, G. X. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos dorper, santa inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 614-620, 2004.
- CORREA, M. P. C.; CARDOSO, M. T.; CASTANHEIRA, M.; LANDIM, A. V.; DALLAGO, B. S. L.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central brazil. **Small Ruminant Research**, v. 104, n. 1-3, p. 70-77, 2012.
- D'ALTERIO, G.; CASELLA, S.; GATTO, M.; GIANESELLA, M.; PICCIONE, G.; MORGANTE, M. Circadian rhythm of foot temperature assessed using infrared thermography in sheep. **Czech Journal of Animal Science**, v. 56, n. 7, p. 293-300, 2011.

- DIKMEN, S.; HANSEN, P. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 1, p. 109-116, 2009.
- EI-NOUTY, F.; AI-HAIDARY, A. Seasonal variations in hematological values of high-and average-yielding holstein cattle in semi-arid environment. **Journal of King Saud University**, 1990.
- FADARE, A. O.; PETERS, S. O.; YAKUBU, A.; SONIBARE, A. O.; ADELEKE, M. A.; OZOJE, M. O.; IMUMORIN, I. G. Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured west african dwarf sheep in the hot humid tropics. **Tropical Animal Health and Production**, v. 45, n. 1, p. 157-165, 2012.
- FILHO, A. E.; TEODORO, S. M.; CHAVES, M. A.; EDUARDO, P.; DOS SANTOS, F.; DA SILVA, M. W. R.; MURTA, R. M.; DE CARVALHO, G. G. P.; DE SOUZA, L. E. B. Zona de conforto térmico de ovinos da raça santa inês com base nas respostas fisiológicas. **R. Bras. Zootec**, v. 40, n. 8, p. 1807-1814, 2011.
- FINCH, V. A.; BENNETT, I.; HOLMES, C. Coat colour in cattle: Effect on thermal balance, behaviour and growth, and relationship with coat type. **The Journal of Agricultural Science**, v. 102, n. 01, p. 141-147, 1984.
- GAUGHAN, J.; MADER, T.; GEBREMEDHIN, K. Rethinking heat index tools for livestock. **Environmental Physiology of Livestock**, p. 243, 2011.
- GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; HOLT, S. M.; LISLE, A. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 1, p. 226-234, Jan 2008.
- GEBREMEDHIN, K.; NI, H.; HILLMAN, P. Modeling temperature profile and heat flux through irradiated fur layer. **Transactions of the Asae**, v. 40, n. 5, p. 1441-1447, 1997.
- HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. A. Thermal indices and their applications for livestock environments. **Livestock energetics and thermal environmental management**, 2009.
- HULME, P. E. Adapting to climate change: Is there scope for ecological management in the face of a global threat? **Journal of Applied Ecology**, v. 42, n. 5, p. 784-794, Oct 2005.
- JAIN, N. C. **Essentials of veterinary hematology**. 1993. ISBN 081211437X.

- MADER, T. L.; DAVIS, M.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 712-719, 2006.
- MARAI, I.; EL-DARAWANY, A.; FADIEL, A.; ABDEL-HAFEZ, M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. **Small Ruminant Research**, v. 71, n. 1, p. 1-12, 2007.
- MARAI, I.; HAEEB, A. Buffalo's biological functions as affected by heat stress—a review. **Livestock Science**, v. 127, n. 2, p. 89-109, 2010.
- MCMANUS, C.; PALUDO, G.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L.; PAIVA, S. Heat tolerance in brazilian sheep: Physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, Jan 2009.
- MCMANUS, C.; CASTANHEIRA, M.; PAIVA, S. R.; LOUVANDINI, H.; FIORAVANTI, M. C.; PALUDO, G. R.; BIANCHINI, E.; CORREA, P. S. Use of multivariate analyses for determining heat tolerance in brazilian cattle. **Trop Anim Health Prod**, v. 43, n. 3, p. 623-630, Mar 2011a.
- MCMANUS, C.; DIAS, E. A.; PAIVA, S. R.; BRACCINI NETO, J.; COBUCCI, J. A.; BARCELLOS, J. O. J.; LOUVANDINI, H. Os desafios da produção animal frente às mudanças climáticas. **Vet. e Zootec.**, v. 18, p. 142-148, 2011b.
- MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L. C.; BIANCHINI, E.; BERNAL, F. E.; PAIVA, S. R.; PAIM, T. P. Skin and coat traits in sheep in brazil and their relation with heat tolerance. **Trop Anim Health Prod**, v. 43, n. 1, p. 121-126, Jan 2011c.
- MCMANUS, C.; HERMUCHE, P.; PAIVA, S. R.; MORAES, J. C. F.; DE MELO, C. B.; MENDES, C. Geographical distribution of sheep breeds in brazil and their relationship with climatic and environmental factors as risk classification for conservation. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2014.
- MCMANUS, C.; BIANCHINI, E.; PAIM, T. P.; LIMA, F. G.; NETO, J. B.; CASTANHEIRA, M.; ESTEVES, G. I. F.; CARDOSO, C. C.; DALCIN, V. C. Infrared thermography to evaluate heat tolerance in different genetic groups of lambs **Sensors**, v. 15, p. 17258-17273, 2015.

- MELO, E.; LOPES, D. D. C.; CORRÊA, P. Grapsi-programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. **Engenharia na Agricultura**, v. 12, n. 2, p. 154-162, 2004.
- MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; MILLER, S. P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*bos taurus*). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468-475, 2008.
- PAIM, T. D. P.; BORGES, B. O.; LIMA, P. D. M. T.; GOMES, E. F.; DALLAGO, B. S. L.; FADEL, R.; DE MENEZES, A. M.; LOUVANDINI, H.; CANOZZI, M. E. A.; BARCELLOS, J. O. J. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. **International journal of biometeorology**, v. 57, n. 1, p. 59-66, 2013.
- PICCIONE, G.; GIANNETTO, C.; MARAFIOTI, S.; CASELLA, S.; ASSENZA, A.; FAZIO, F. Comparison of daily rhythm of rectal and auricular temperatures in horses kept under a natural photoperiod and constant darkness. **Journal of Thermal Biology**, v. 36, n. 4, p. 245-249, May 2011.
- QUESADA, M.; MCMANUS, C.; COUTO, F. Tolerância ao calor de duas raças de ovinos deslanados no distrito federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 1021-1026, 2001.
- REECE, W. O.; ERICKSON, H. H.; GOFF, J. P.; UEMURA, E. E. **Dukes' physiology of domestic animals**. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 1118501497.
- RIBEIRO, N. L.; FURTADO, D. A.; MEDEIROS, A. N.; RIBEIRO, M. N.; SILVA, R. C.; SOUZA, C. M. Avaliação dos índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de ovinos nativos. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 614-623, 2008.
- ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B.; DA SILVA, A. L. N.; JUSTINIANO, S. V.; FREITAS, M. M. S. Parâmetros hematológicos de caprinos de corte submetidos a diferentes níveis de suplementação no semi-árido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, 2010.
- SAAB, S. A.; SLEIMAN, F. Physiological responses to stress of filial crosses compared to local awassi sheep. **Small Ruminant Research**, v. 16, n. 1, p. 55-59, 1995.

- SANTOS, J.; SOUZA, B. D.; SOUZA, W.; CEZAR, M.; TAVARES, G. Avaliação da adaptabilidade de ovinos da raça santa inês, morada nova e mestiços de dorper, no semi-árido. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1-5, 2003.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock production science**, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.
- SILVA, F. D.; ASSAD, E.; EVANGELISTA, B. Caracterização climática do bioma cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, v. 1, p. 69-88, 2008.
- SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. Nobel, 2000. ISBN 8521311214.
- SOUZA, B. B. D.; SOUZA, E. D. D.; CEZAR, M. F.; SOUZA, W. H. D.; SANTOS, J. R. S. D.; BENICIO, T. M. A. Superficial temperature and index of tolerance to the heat of goat of different genetic groups in semi-arid. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 275-280, 2008.
- STEWART, M.; WEBSTER, J.; SCHAEFER, A.; COOK, N.; SCOTT, S. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare**, v. 14, n. 4, p. 319-325, 2005.
- STEWART, M.; STAFFORD, K.; DOWLING, S.; SCHAEFER, A.; WEBSTER, J. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. **Physiol Behav**, v. 93, n. 4, p. 789-797, 2008.
- WESTLAND, S. Review of the cie system of colorimetry and its use in dentistry. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 15, n. s1, p. S5-S12, 2003.
- WINTROBE, M. M. **Clinical hematology**. 5th edition. Philadelphia: Lea & Febiger, 1976. 1276pp.
- YEATES, N. Environmental control of coat changes in cattle. **Nature**, v. 174, p. 609-610, 1954.

CAPITULO 3

ÍNDICES AMBIENTAIS E COEFICIENTES DE TOLERÂNCIA AO CALOR EM OVINOS DESLANADOS DAS RAÇAS SANTA INÊS E MORADA NOVA

RESUMO

A capacidade de prever os efeitos ambientais nos animais e sua capacidade de adaptação é importante para a produção pecuária. O objetivo do presente trabalho foi avaliar se os índices ambientais (THI e BGHI) e os coeficientes de tolerância ao calor (Ibéria, Benezra Rauschenbach – Yerokhin, Bacarri Jr.) existentes são adequados para avaliar o estresse pelo calor em ovinos Santa Inês e Morada Nova e se os limites indicativos de estresse térmico pré-estabelecidos são apropriados para estas raças. Para tanto, foram avaliados parâmetros climáticos, sanguíneos, físicos, fisiológicos, termográficos e coeficientes de adaptabilidade utilizando 26 ovinos destas raças. A análise estatística incluiu correlação e regressão segmentada “Broken-Line”. Os índices de Ibéria e Benezra foram os coeficientes de tolerância que melhor se correlacionaram com as características avaliadas. Foi observada alta correlação entre os índices ambientais e as temperaturas retais e superficiais da pele, o que indica que esses índices podem ser utilizados para ovinos destas raças. Porém, os valores indicativos de desconforto térmicos são diferentes da classificação existente.

Palavras-chave: Benezra, Ibéria, Índice de temperatura e umidade, Rauschenbach – Yerokhin, tolerância ao calor

ABSTRACT**ENVIRONMENTAL INDICES AND COEFFICIENTS OF HEAT TOLERANCE IN
SANTA INES AND MORADA NOVA HAIR SHEEP**

The ability to predict the effects of the environment on animals and their adaptability is important for livestock production. The aim of this study was to analyze whether existing indices are suitable for evaluating heat stress in Santa Ines and Morada Nova sheep breeds and if the pre-established limits of thermal stress are appropriate for these breeds. Therefore, climatic, blood, physical, physiological, thermographic parameters and adaptability indices were assessed in 26 sheep. Statistical analysis included correlation and broken-line regression. The indices of Iberia and Benezra were the tolerance indices based on animal measures that best correlated with the assessed parameters. High correlation between environmental indices and rectal and skin surface temperatures was observed, which indicates that these indices can be used for these sheep breeds. However, some indicative values of thermal discomfort are different from the existing classification.

Keywords: Benezra; Ibéria; heat tolerance, Rauschenbach – Yerokhin, Temperature and Humidity index ,

1 INTRODUCTION

Each of the last three decades has been successively warmer at the Earth's surface than any previous decade since 1850. The period 1983-2012 was probably the warmest of the last 1,400 years and the globally averaged combined land and ocean surface temperature data show a warming of 0.85°C (0.65 to 1.06°C) over the period from 1880 to 2012 (IPCC, 2014).

Heat stress is caused by a combination of environmental factors such as temperature, relative humidity, solar radiation and precipitation. Several indices using different variables have been developed to evaluate thermal stress (Bohmanova *et al.*, 2007). The most used is the temperature-humidity index (THI), which is a combination of temperature effects and humidity on a single value associated with the level of heat load (Bohmanova *et al.*, 2007) and has been used to assess stress for many years (Gaughan *et al.*, 2008). A study to describe the dynamics of THI in the Mediterranean concluded that this index should be taken into account by farmers and measures must be taken to mitigate the impact caused by heat in animal production (Segnalini *et al.*, 2011).

Besides the environmental indices, indices based on measures in animals, which take into account physiological parameters, are also used to determine adaptability. One of the earliest indices developed to evaluate thermal stress in animals was Iberian heat tolerance test, which uses the rectal temperature as a variable. Later, Benezra (1954) developed a heat tolerance coefficient based on rectal temperature and respiratory rate (Gaughan *et al.*, 2011). Other indices were also developed using rectal temperature, such as Rausschenbach-Yerokhin index (RY) which combined air and rectal temperatures in the equation (Ferreira, 2005) and Baccari Jr *et al.* (1986) that considered the difference in body temperature after solar exposure (Oliveira, 2012).

Considering that the ability to predict environmental effects in animals and their ability to adapt is important for livestock production and that heat indices were not developed specifically for sheep, the aim of the present study was to analyze if these indices are appropriate to evaluate heat stress in Santa Ines and Morada Nova sheep breeds and if the limits used to classify thermal stress are suitable for these breeds.

2 MATERIAL AND METHODS

The work was conducted for three days in the beginning of winter at Fazenda Sucupira (Embrapa-Cenargen) located southwest of the city of Brasilia-DF (15°47'S and 47°56'W), with altitudes ranging 1050-1250 m. The climate is Aw, according to Koppen classification system, characterized by two distinct seasons, with rainy summers and dry winters (Silva *et al.*, 2008).

2.1 Environmental characterization

The environment (Table 1) was characterized using the following measurements: Black globe temperature (TBG) in the sun and the shade, dry bulb temperature (TDB) and relative humidity (RH) using a hygrometer, every 30 minutes. The wet bulb temperature (TWB) and dew point (Td) were obtained using the Grapsi digital psychrometric chart (Melo *et al.*, 2004). Based on these data, the heat indices were calculated using the following equations:

1) Temperature and Humidity Index (THI)

$$\text{THI1} = (0.55 \times \text{TDB} + 0.2 \times \text{Td}) \times 1.8 + 32 + 17.5 \text{ (NRC, 1971);}$$

$$\text{THI2} = [0.4 \times (\text{TDB} + \text{TWB})] \times 1.8 + 32 + 15 \text{ (Thom, 1959);}$$

$$\text{THI3} = (0.8 \times \text{TDB}) + [(\text{RH}/100) \times (\text{TDB} - 14.4)] + 46.4 \text{ (Mader et al., 2006);}$$

$$\text{THI4} = \text{TDB} + (0.36 \times \text{TDB}) + 41.2 \text{ (Johnson \& Vanjonack, 1976);}$$

$THI5 = (1.8 \times TDB + 32) - [(0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times TDB - 26.8)]$ (NRC, 1971);

$THI6 = (TDB + TWB) \times 0.72 + 40.6$ (NRC, 1971);

2) Black Globe-Humidity Index (BGHI)

$BGHI = TBG + 0.36Td + 41.5$ (Buffington *et al.*, 1981)

Where:

TDB: Dry Bulb Temperature ($^{\circ}C$);

TWB: Wet Bulb Temperature ($^{\circ}C$);

TBG: Black Globe Temperature ($^{\circ}C$);

Td: Dew Point ($^{\circ}C$).

RH: Relative Humidity (%).

2.2 Animal characterization

Animal care procedures throughout the study followed protocols approved by the Ethics Committee for Animal Use (CEUA) at the University of Brasilia, number 44568/2009.

Twenty-six sheep, one and a half years old, from two genetic groups (Santa Ines: 12 males and 4 females; Morada Nova: 7 males and 3 females) were used and data were collected during three consecutive days, twice a day (morning and afternoon), with a total of 156 observations.

Physiological parameters such as respiratory rate (RR), heart rate (HR) and rectal temperature (RT) and thermographic images were collected on three days in both morning (4 AM) and afternoon (2 PM) with six repetitions. The thermographic images of eye, nose, foot and left side of the animal were obtained using an infrared thermograph ThermoCAM® (FLIR Systems Inc., Wilsonville, OR, USA) using an emittance coefficient of 0.95 with a distance of one meter to measure the temperature of surface of the animal. This camera has infrared

resolution 320×240 pixels, with thermal sensitivity of $<0.05^{\circ}\text{C}$ at 30°C (86°F)/50 mK. QuickReport® software was used for analysis of the images. The “area” tool was used to obtain the eye, nose, foot (interdigital space at the back of the foot), neck, axilla, groin, rib, shoulder and rump temperatures of the animals.

Blood was collected by venipuncture using vacutainer tubes with EDTA when the physiological traits were measured in the morning and afternoon. The number of erythrocytes (RBC), leukocytes (WBC), platelets (PLAT) and the concentration of hemoglobin (HB) were carried out in a automatic cell counter (MICROS HORIBA). The hematimetric parameters (Mean Corpuscular Volume – MCV, Mean Corpuscular Hemoglobin - MCH and Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration – MCHC) were determined by calculation. Packed Cell Volume (PCV in %) was determined using capillary tubes in microhematocrit centrifuge based on the technique described by Wintrobe (1976). The concentration of total plasma proteins (TPP in g/ 100 mL) was determined using a refractometer and the plasma retained in a capillary tube. And for the determination of plasma fibrinogen (FIBR) was used the microhematocrit technique.

One day before taking the thermographic images, the following measurements were taken on each animal: skin thickness (ST) using an adipometer; coat samples (1 cm^2) were collected, number of hairs (NH) counted and the length of ten longest hairs (HL) measured, according to Silva (2000). Skin (shaved shoulder area) and coat color was measured at the shoulder of the animal using GMH Color-guide® based on the CIELAB system. CIELAB provides a three-dimensional color space where the a^* and b^* axes form one plane to which the L^* axis is orthogonal. CIELAB represents color stimuli as an achromatic signal (L^*) and two chromatic channels representing yellow-blue (b^*) and red-green (a^*) (Westland, 2003). Size measurements on the animals included: shoulder height (SH), thoracic perimeter (TP), back (BKL) and body (BL) lengths, rump height (RuH), rump width (RW) and breast width (BW).

Heat tolerance test based on animal measures were calculated using the following equations:

1) Iberia test or Rhoad: the higher the HTC value the more heat tolerant the animal was considered to be.

$$\text{HTC} = 100 - [18 (\text{TR}-39.1)] \text{ (Gaughan } et al., 2011)$$

where:

HTC= heat tolerance test;

100 = maximum efficiency to maintain body temperature at 39,1°C (Reece *et al.*, 2015);

18 = constant;

TR = average rectal temperature (° C) based on readings at 4:00 AM and 2:00 PM.

39.1°C = average rectal temperature considered normal for sheep (Reece *et al.*, 2015).

2) Benezra test: the lower the value the more heat tolerant the animal was considered to be:

$$HTI = TR / RR + 39.1 / 27 \text{ (Gaughan } et al., 2011);$$

where:

HTI = heat tolerance index

TR = rectal temperature in ° C;

RR = respiratory rate in breaths per minute;

39.1 = normal rectal temperature of sheep (° C) (Reece *et al.*, 2015).

27 = normal respiration rate of sheep (breaths/minute) (Reece *et al.*, 2015).

3) Rauschenbach-Yerokhin (RY) cited by Ferreira (2005): the higher the value the more heat tolerant the animal was considered to be.

$$HTI = 1.0 \text{ TDB} - 20 \text{ d} + 60$$

where:

HTI: heat tolerance index

TDB = dry bulb temperature (°C)

d = difference between the rectal temperatures taken in the morning and afternoon.

4) Adapted from Baccari Jr *et al.* (1986): the higher the value the more heat tolerant the animal was considered to be.

$$HTI = 10 - (TR2 - TR1)$$

where:

HTI: heat tolerance index

10 = maximum efficiency to maintain body temperature at equilibrium;

TR2 = average rectal temperature (°C) at 2:00 PM.

TR1 = average rectal temperature (°C) at 4:00 AM.

2.3 Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SAS version 9.3 (Statistical Analysis Institute, Cary, North Carolina). The procedures correlations and "Broken-Line" regression were used to evaluate the relationship of environmental indices and heat tolerance tests with physiological, hematological, physical and thermographic parameters.

The regression model used in the broken line analysis was: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 (x_{i1} - x) + \delta_i$ where: $\delta_i = 1$ if $x_{i1} > x$ and 0 if $x_{i1} < x$ where y is the dependent variable, x is the independent variable and β are regression components.

3 RESULTS

High daily air temperature variation was seen during the experiment with high average temperature and low relative humidity in the afternoon (Table 1). High environmental indices were also observed in the afternoon, reaching values classified as danger and emergency (Hahn et al., 2009).

Correlations between environmental and physiological parameters were positive, with higher correlations with rectal temperature. Regarding heat tolerance indices, rectal temperature was negatively correlated with Iberia index and positively with the others. The Benezra coefficient was the only one correlated significantly with all the physiological parameters and showed perfect correlation with the respiratory rate (Table 2).

Table 1 Mean, standard deviation (SD) and minimum and maximum of climate measures during the experimental period

Morning	Mean	SD	Minimum	Maximum
BGTsun	16.28	0.45	15.5	17.5
BGTsh	16.76	0.52	15.5	18.5
RH	90.65	6.45	75	100
TDB	15.40	0.47	14.6	16.6
TWB	14.43	0.65	12.5	15.6
Td	13.86	1.02	10.83	15.2
THI1	66.36	6.71	54.76	71.67
THI2	68.48	0.64	66.94	70.18
THI3	59.61	0.77	58.27	61.66
THI4	62.14	0.63	61.06	63.71
THI5	59.66	0.78	58.29	61.71
THI6	62.08	0.64	60.54	63.78
BGHI	62.77	0.53	61.45	63.47
Afternoon				
BGTsun	35.65	9.70	18.5	49.5
BGTsh	28.18	3.25	22.5	34
RH	39.73	18.18	13	76
TDB	32.59	6.47	22.8	43.2
TWB	20.63	2.01	17.4	27.8
Td	15.23	3.84	4.62	23.86
THI1	84.50	15.64	57.71	104.44
THI2	85.31	5.56	76.74	97.26
THI3	78.64	4.99	70.35	89.94
THI4	85.52	8.80	72.21	99.95
THI5	79.05	5.13	70.53	90.42
THI6	78.91	5.62	70.34	90.86
BGHI	82.63	9.32	67.66	99.09

BGTsun: Black globe temperature in the sun (°C); BGTsh: Black globe temperature in the shadow (°C); RH: relative humidity (%); TDB: Dry bulb temperature (°C); TWB: Wet bulb temperature (°C); Td: Dew point (°C); THI: Temperature and Humidity Index; BGHI: Black Globe-Humidity Index.

Table 2 Correlations between environmental indices, heat tolerance indices, physiological and blood parameters

	RT	HR	RR	PCV	TPP	FIBR	WBC	RBC	HB	MCV	MCH	MCHC	PLAT
THI1	0.58	0.22	0.28	0.33	-0.33	-0.08	-0.15	0.24	0.18	0.08	-0.14	-0.22	0.30
THI2	0.67	0.09	0.43	-0.16	-0.11	-0.29	0.02	-0.19	-0.30	0.08	-0.19	-0.24	0.28
THI3	0.71	0.10	0.46	-0.16	-0.12	-0.30	0.03	-0.19	-0.31	0.08	-0.19	-0.25	0.27
THI4	0.66	0.08	0.42	-0.16	-0.12	-0.28	0.02	-0.18	-0.29	0.07	-0.19	-0.23	0.28
THI5	0.71	0.10	0.45	-0.16	-0.12	-0.30	0.03	-0.19	-0.31	0.08	-0.19	-0.25	0.27
THI6	0.67	0.09	0.43	-0.16	-0.11	-0.29	0.02	-0.19	-0.30	0.08	-0.19	-0.24	0.28
BGHI	0.62	0.08	0.35	-0.09	-0.10	-0.24	0.00	-0.13	-0.25	0.07	-0.21	-0.25	0.30
IBERIA	-0.44	-0.09	-0.15	-0.41	-0.19	-0.08	0.00	-0.34	-0.40	-0.02	-0.07	-0.02	-0.06
RY	0.22	-0.02	-0.07	0.04	0.05	0.00	-0.06	0.03	0.13	0.00	0.22	0.17	-0.01
BENE	0.48	0.34	1.00	0.00	-0.02	-0.16	0.12	0.07	-0.03	-0.12	-0.19	-0.03	-0.02
BACA	0.20	0.03	-0.03	0.05	0.10	0.00	-0.03	0.05	0.16	-0.03	0.23	0.21	-0.13

Numbers in bold are statistically significant level; THI: Temperature and Humidity Index; BGHI: Black Globe-Humidity Index; RY: Rauschenbach – Yerokhin; BENE: Benezra coefficient; BACA: Bacarri coefficient; RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); PCV: packed cell volume (%); TPP: total plasma protein(g/dl); FIBR: plasma fibrinogen (mg/dl); WBC: leukocytes; RBC: red blood cell ($10^6/\mu\text{l}$); HB: concentration of hemoglobin (g/dl); MCV: Mean Corpuscular Volume; MCH: Mean Corpuscular Hemoglobin; MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; PLAT: platelets.

A negative correlation was observed between the Iberia index and the morphometric measures and positive correlation was observed between these measures and rectal temperature, Benezra, Bacarri and RY heat tolerance indices. Rectal temperature and skin brightness were negatively correlated, as was Benezra index and hair brightness (Table 3).

Table 3 Correlations between heat tolerance indices and physical and physiological parameters in sheep

	RT	RR	HR	IBERIA	RY	BENE	BACA
BL	0.19	0.08	-0.10	-0.42	0.16	0.15	0.19
BKL	0.22	0.09	-0.13	-0.49	0.24	0.15	0.28
SH	0.13	0.06	-0.18	-0.30	0.13	0.01	0.08
TP	0.25	0.21	0.04	-0.54	0.11	0.18	0.11
RuH	0.21	0.15	-0.13	-0.48	0.24	0.04	0.23
BW	0.17	0.17	0.00	-0.39	0.30	0.14	0.32
RW	0.11	0.24	-0.09	-0.22	0.15	0.25	0.22
ST	0.20	0.05	-0.01	-0.44	0.14	0.08	0.16
NH	0.00	0.10	-0.11	0.01	-0.10	0.11	-0.06
HL	0.14	0.27	-0.02	-0.28	0.08	0.29	0.15
L*	-0.23	-0.15	0.01	0.52	-0.11	-0.16	-0.12
a*	0.12	-0.06	0.10	-0.29	0.13	-0.12	0.10
b*	-0.04	-0.08	0.14	0.07	0.08	-0.13	0.07
L2*	-0.07	-0.17	0.07	0.17	-0.09	-0.17	-0.14
a2*	-0.02	-0.14	0.04	0.04	-0.03	-0.16	-0.10
b2*	-0.06	-0.17	0.11	0.12	-0.06	-0.19	-0.11

Numbers in bold are statistically significant level; RY: Rauschenbach – Yerokhin; BENE: Benezra coefficient; BACA: Bacarri coefficient; RT: rectal temperature ($^{\circ}\text{C}$); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); BL: body length; BKL: back length; SH: shoulder height; TP: thoracic perimeter; RuH: Rump height; BW: breast width; RW: rump width; ST: skin thickness; NH: number of hairs; HL: hair length; L*/L2*: luminosity of skin and hair respectively; a*/a2*: red-green of skin and hair respectively; b*/b2*: yellow-blue of skin and hair respectively (CIELAB system);

In general, correlations between surface temperature and environmental indices were high and positive, with higher correlations between the temperature of the neck and THI3 and THI5 (Table 4). Regarding heat tolerance indices, the Benezra was the best correlated with surface temperatures. Surface temperatures were correlated negatively with the Iberia index and positively with RY.

Table 4 Correlations between environmental indices, heat tolerance indices and skin temperatures

	NECK	AXILLA	GROIN	RUMP	RIB	SHOULDER	EYE	NOSE	FOOT
THI1	0.55	0.54	0.46	0.56	0.49	0.41	0.43	0.44	0.57
THI2	0.88	0.78	0.74	0.87	0.85	0.71	0.61	0.74	0.85
THI3	0.89	0.80	0.76	0.88	0.87	0.72	0.64	0.77	0.88
THI4	0.86	0.77	0.73	0.86	0.85	0.73	0.61	0.73	0.84
THI5	0.89	0.80	0.76	0.88	0.87	0.73	0.64	0.77	0.88
THI6	0.88	0.78	0.74	0.87	0.85	0.71	0.61	0.74	0.85
BGHI	0.82	0.71	0.68	0.82	0.80	0.65	0.55	0.68	0.79
IBERIA	-0.03	-0.23	-0.17	-0.06	-0.11	-0.09	-0.17	-0.04	0.02
RY	0.15	0.13	0.20	0.17	0.18	0.34	0.14	-0.02	0.03
BENE	0.39	0.44	0.39	0.43	0.46	0.45	0.38	0.46	0.52
BACA	0.16	0.10	0.18	0.13	0.14	0.30	0.09	-0.03	0.04

Numbers in bold are statistically significant level; THI: Temperature and Humidity Index; BGHI: Black Globe-Humidity Index; RY: Rauschenbach – Yerokhin; BENE: Benezra coefficient; BACA: Bacarri coefficient;

The environmental indices were best related with the temperature of the neck and foot (Table 5). The inflexion points between the rectal temperatures and environmental indices varied according to the equation used, with higher values for the THI1 and THI2 (Table 6).

Table 5 Broken-line regression between environmental indices and rectal and skin temperatures of Santa Ines and Morada Nova hair sheep

THI1	R	R ²	SE	CI	THI5	R	R ²	SE	CI		
RT	94.34	0.34	5.45	83.57	105.10	RT	63.60	0.50	1.03	61.56	65.64
NECK	94.22	0.30	6.65	81.05	107.40	NECK	.	.	.	.	.
AXILLA	.	.	.	.	.	AXILLA	67.45	0.69	3.03	61.46	73.43
GROIN	.	.	.	.	.	GROIN	67.36	0.60	3.62	60.21	74.50
RUMP	.	.	.	.	.	RUMP	68.70	0.76	3.47	61.84	75.55
RIB	.	.	.	.	.	RIB	78.63	0.75	1.26	76.15	81.11
SHOULDER	.	.	.	.	.	SHOULDER	66.85	0.52	3.99	58.97	74.73
EYE	.	.	.	.	.	EYE	65.21	0.45	2.61	60.05	70.37
NOSE	.	.	.	.	.	NOSE	.	.	.	.	.
FOOT	96.89	0.32	7.78	81.45	112.30	FOOT	73.74	0.84	2.31	69.16	78.31
THI2						THI6					
RT	80.26	0.45	1.57	77.13	83.95	RT	73.86	0.45	1.59	70.73	76.99
NECK	83.58	0.82	1.01	81.58	85.58	NECK	.	.	.	.	.
AXILLA	81.97	0.71	1.18	79.65	84.29	AXILLA	75.57	0.71	1.18	73.25	77.89
GROIN	.	.	.	.	.	GROIN	75.79	0.62	1.47	72.88	78.69
RUMP	75.19	0.76	2.32	70.60	79.77	RUMP	68.79	0.76	2.32	64.20	73.37
RIB	84.01	0.73	1.05	81.93	86.10	RIB	77.61	0.77	1.05	75.53	79.70
SHOULDER	.	.	.	.	.	SHOULDER	.	.	.	.	.
EYE	81.87	0.45	2.11	77.70	86.05	EYE	.	.	.	.	.
NOSE	.	.	.	.	.	NOSE	.	.	.	.	.
FOOT	.	.	.	.	.	FOOT	.	.	.	.	.
THI3						BGHI					
RT	63.60	0.50	1.07	61.48	65.71	RT	74.25	0.39	1.56	71.16	77.35
NECK	.	.	.	.	.	NECK	76.24	0.83	0.87	74.52	77.96
AXILLA	67.32	0.69	3.02	61.36	73.28	AXILLA	70.84	0.69	1.60	67.68	74.01
GROIN	67.35	0.60	3.71	60.01	74.68	GROIN	76.13	0.61	1.43	73.30	78.96
RUMP	68.30	0.76	3.25	61.87	74.73	RUMP	70.90	0.77	1.32	68.29	73.51
RIB	78.25	0.77	1.23	75.81	80.69	RIB	77.26	0.76	1.04	75.21	79.30
SHOULDER	67.13	0.49	4.43	58.38	75.88	SHOULDER	76.30	0.53	1.61	73.12	79.48
EYE	65.28	0.45	2.77	59.81	70.75	EYE	75.62	0.44	2.25	71.17	80.07
NOSE	.	.	.	.	.	NOSE	71.08	0.65	2.69	65.77	76.40
FOOT	.	.	.	.	.	FOOT	.	.	.	.	.
THI4											
RT	65.39	0.44	0.86	63.69	67.08						
NECK	81.32	0.82	1.28	78.79	83.85						
AXILLA	68.80	0.69	2.72	63.42	74.17						
GROIN	68.56	0.60	3.09	62.46	74.66						
RUMP	69.73	0.75	3.01	63.79	75.67						
RIB	82.27	0.77	1.46	79.38	85.16						
SHOULDER	68.17	0.52	3.44	61.37	74.98						
EYE	66.71	0.37	2.17	62.42	70.99						
NOSE	.	.	.	.	.	
FOOT	76.16	0.84	2.27	71.65	80.67						

R: inflexion point; R²: regression coefficient; SE: standard error; CI: 95% confidence interval; THI: Temperature and humidity index; BGHI: Black Globe-Humidity Index; RT: rectal temperature

Table 6 Broken-line regression the mean skin temperatures and environmental indices

	R	CI
THI1	95.55	81.45
THI2	81.32	72.29
THI3	68.94	62.87
THI4	72.71	67.91
THI5	69.70	63.98
THI6	74.44	71.46
BGHI	74.30	71.13

R: inflexion point; CI: 95% confidence interval; THI: Temperature and humidity index; BGHI: Black Globe-Humidity Index.

4 DISCUSSION

The animals did not suffer heat stress during the morning, which can be attributed to the time (4 AM) when the data collection was initiated. However, during the afternoon the thermal indices indicated moderate to severe heat stress (Silanikove, 2000).

The rectal temperature was better correlated with THI3 and THI5. As expected, correlation between Iberia index and rectal temperature was negative, indicating that less adapted animals had higher rectal temperatures. Likewise, positive correlations between rectal temperature and Benezra and RY indices were observed, showing that lower rectal temperatures indicate better thermal adaptation. The perfect correlation between Benezra and respiratory rate may be due to the use of this variable in the equation used to calculate the coefficient.

With regard to hematological components, in general, correlations of these with environmental indices were low and negative. Negative correlation was observed between Iberia index and number of red blood cells and hemoglobin concentration, indicating that these parameters are lower in more adapted animals. According to Correa *et al.* (2012), when animals are subjected to stress the hemoglobin concentration tends to increase due to higher oxygen consumption, so in this study, the highest hemoglobin concentration may indicate lack of adaptation to heat stress. The highest number of red blood cells in less adapted animals can also be due to dehydration. McManus *et al.* (2009) reported increased packed cell volume and total plasma protein in animals subjected to heat stress due to dehydration.

The direct relation between animal size and the rectal temperature was also noted by McManus *et al.* (2011), who reported animal size as an important factor in thermoregulation, with smaller animals having relatively greater surface area which facilitates heat loss. Thus, the indirect relation between Iberia index and the morphometric measures and direct relationship of

these with Bacarri, RY and Benezra indices confirm that larger animals have greater difficulty in thermal adaptation. Regarding the brightness of the skin and hair, greater brightness was associated with low rectal temperature and Benezra coefficient, indicating better adaptation, similar to that reported by McManus *et al.* (2011) and Batista *et al.* (2014), when comparing the adaptability of sheep with light and dark coat, and concluded that those with black hair were less tolerant to heat.

As in this study, Daltro (2014) also observed a relationship between environmental indices and skin temperature. However, different from Daltro (2014) who reported low regression coefficient (R^2) between surface temperature and environmental index, in the present study high R^2 was observed especially in relation to foot and neck temperatures, demonstrating that these were the best locations to measure skin temperature using thermographic cameras. Montanholi *et al.* (2008) when comparing thermographic images of different body areas of dairy cattle noted a strong correlation between foot temperature and heat production, reporting that this was the best location to infer heat production using thermographic temperatures. However, in sheep despite of the high regression coefficient between the foot and THI, this may not be the best location to capture thermographic images due to the small size of the foot.

The THI is a good indicator of thermal stress (Koluman & Daskiran, 2011). For cattle values of 70 or less are considered comfortable, 75-78 stressful, and greater than 78 cause extreme distress and animals are unable to maintain thermoregulatory mechanisms (Silanikove, 2000). Another classification established by the National Weather Service (USA) uses the Climate Security Index for Livestock (Lci, 1970) associated with THI (Thom, 1959) consider as normal $THI \leq 74$, alert 75-78, danger 79-83 and emergency ≥ 84 (Hahn *et al.*, 2009).

There is no classification of THI and BGHI developed specifically for sheep. In the present study, considering the inflexion point, on average BGHI of 74 can be considered as a critical value for Santa Ines and Morada Nova sheep, which is in agreement with the classification established by the National Weather Service (USA) (Hahn *et al.*, 2009). However, Andrade (2006) did not consider BGHI above 84 as thermal discomfort situation for Santa Ines lambs in the semiarid region. As for Cezar *et al.* (2004), BGHI of 82.4 can be classified as danger of heat stress for Santa Ines and Dorper sheep and their crossbreeds.

Regarding THI, inflexion points between surface temperature and environmental indices suggest different classification values of heat stress for Santa Ines and Morada Nova sheep breeds. The THI2 (Thom, 1959) was the closest to classical classification, as expected, because the equation used to determine these values was also based on Thom (1959). Thus, this THI equation can be used to determine critical situation of heat stress for sheep. However, the other THIs, with the exception of THI1, the inflexion point was lower than the limit set as critical. This demonstrates that depending on the equation used, a THI less than 74 (which according to the classification used for human and cattle is considered a thermal comfort zone) can be an indicator of thermal discomfort for hair sheep.

5 CONCLUSION

The high correlation between environmental indices and rectal and skin temperatures demonstrates that these indices are good tools to evaluate thermal comfort of sheep. However, in order to classify these appropriately the equation used needs to be carefully studied, because these limits can vary according to the specie and equation. Regarding the heat tolerance tests, Iberia and Benezra indices were best correlated with the parameters studied.

6 REFERENCES

- BACCARI JR, F.; ; POLASTRE, R.; FRÉ, C. A.; ASSIS, P. S. **Um novo índice de tolerância ao calor para bubalinos: Correlação com o ganho de peso.** REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE DE ZOOTECNIA. Campo Grande: SBZ: 316 p. 1986.
- BATISTA, N.; SOUZA, B.; ROBERTO, J.; ARAÚJO, R.; RIBEIRO, T.; SILVA, R.; OLIVEIRA, G. Tolerância ao calor em ovinos de pelames claro e escuro submetidos ao estresse térmico. **J Anim Behav Biometeorol**, v. 2, n. 3, p. 102-108, 2014.
- BENEZRA, M. **A new index for measuring the adaptability of cattle to tropical conditions.** Journal of Animal Science: AMER SOC ANIMAL SCIENCE 1111 NORTH DUNLAP AVE, SAVOY, IL 61874, 1954. 1015-1015 p.
- BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J. Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 4, p. 1947-1956, 2007.
- BUFFINGTON, D.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G.; PITT, D. Black globe-humidity index (bghi) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE [American Society of Agricultural Engineers](USA)**, 1981.
- CEZAR, M. F.; SOUZA, B.; SOUZA, W.; PIMENTA FILHO, E.; TAVARES, G. D. P.; MEDEIROS, G. X. Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos dorper, santa inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 614-620, 2004.
- CORREA, M. P. C.; CARDOSO, M. T.; CASTANHEIRA, M.; LANDIM, A. V.; DALLAGO, B. S. L.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central brazil. **Small Ruminant Research**, v. 104, n. 1-3, p. 70-77, 2012.

- DALTRO, D. S. **Uso da termografia infravermelha para avaliar a tolerancia ao calor em bovinos de leite submetidos ao estresse termico.** 2014. 60 (MESTRE). PROGRAMA DE POS GRADUACAO EM ZOOTECNIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
- FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos.** Aprenda Fácil, 2005. ISBN 8576300206.
- GAUGHAN, J.; MADER, T.; GEBREMEDHIN, K. Rethinking heat index tools for livestock. **Environmental Physiology of Livestock**, p. 243, 2011.
- HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. A. Thermal indices and their applications for livestock environments. **Livestock energetics and thermal environmental management**, 2009.
- IPCC. **Climate change 2014 synthesis report.** IPCC. <http://www.ipcc.ch/apps/eventmanager/documents/19/021120141253-Doc.%2021%20-%20Synthesis%20Report%20-%20Adopted%20Longer%20report.pdf>. 2014
- JOHNSON, H.; VANJONACK, W. Effects of environmental and other stressors on blood hormone patterns in lactating animals. **Journal of Dairy Science**, v. 59, n. 9, p. 1603-1617, 1976.
- KOLUMAN, N.; DASKIRAN, I. Effects of ventilation of the sheep house on heat stress, growth and thyroid hormones of lambs. **Trop Anim Health Prod**, v. 43, n. 6, p. 1123-1127, Aug 2011.
- LCI. Patterns of transit losses. **Omaha, Neb.: Livestock Conservation, Inc**, 1970.
- MADER, T. L.; DAVIS, M.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 3, p. 712-719, 2006.
- MCMANUS, C.; PALUDO, G.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L.; PAIVA, S. Heat tolerance in brazilian sheep: Physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, Jan 2009.

- MCMANUS, C.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L. C.; BIANCHINI, E.; BERNAL, F. E.; PAIVA, S. R.; PAIM, T. P. Skin and coat traits in sheep in brazil and their relation with heat tolerance. **Trop Anim Health Prod**, v. 43, n. 1, p. 121-126, Jan 2011.
- MELO, E.; LOPES, D. D. C.; CORRÊA, P. Grapsi-programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. **Engenharia na Agricultura**, v. 12, n. 2, p. 154-162, 2004.
- MONTANHOLI, Y. R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; MILLER, S. P. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (bos taurus). **Journal of Thermal Biology**, v. 33, n. 8, p. 468-475, 2008.
- NRC. **A guide to environmental research on animals**. Washington, DC. 1971
- OLIVEIRA, E. M. B. O. Tolerância ao calor, medidas morfométricas e cortes comerciais em diferentes grupos genéticos de ovinos. 2012.
- REECE, W. O.; ERICKSON, H. H.; GOFF, J. P.; UEMURA, E. E. **Dukes' physiology of domestic animals**. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 1118501497.
- SEGNALINI, M.; NARDONE, A.; BERNABUCCI, U.; VITALI, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N. Dynamics of the temperature-humidity index in the mediterranean basin. **Int J Biometeorol**, v. 55, n. 2, p. 253-263, Mar 2011.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock production science**, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.
- SILVA, F. D.; ASSAD, E.; EVANGELISTA, B. Caracterização climática do bioma cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, v. 1, p. 69-88, 2008.
- SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. Nobel, 2000. ISBN 8521311214.
- THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-59, 1959.
- WESTLAND, S. Review of the cie system of colorimetry and its use in dentistry. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry**, v. 15, n. s1, p. S5-S12, 2003.

WINTROBE, M. M. **Clinical hematology**. 5th edition. Philadelphia: Lea & Febiger, 1976.
1276pp.

CAPÍTULO 4

PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E HEMATOLÓGICOS DE OVINOS

RESUMO

Parâmetros sanguíneos e fisiológicos dos animais são influenciados por características ambientais, raciais e etárias. Assim, o objetivo do presente estudo foi definir parâmetros sanguíneos e fisiológicos para os ovinos no Brasil. Para tanto, 5081 observações foram usadas de experimentos anteriores realizados com ovinos de diferentes regiões do Brasil (Nordeste, Centro-oeste e Sul) com dados de período do dia, sexo, raça, idade, características fisiológicas, hematológicas e variáveis climáticas. Os animais foram classificados de acordo com o nível de estresse, sendo utilizado para cálculo dos valores de referência apenas os dados de animais não estressados. As análises foram realizadas no programa estatístico SAS 9.3 (Statistical Analysis System Institute, Cary, North Carolina) com nível de significância de 5% usando os procedimentos: PROC GLM e PROC MEANS. A frequência respiratória foi o parâmetro fisiológico que mais divergiu em relação aos padrões de normalidade, com valores acima dos limites para a espécie, sendo superior nos ovinos de raças comerciais lanadas. No hemograma também foram observadas divergências entre os resultados e os valores citados na literatura. Foram verificados maior número de hemácias, menor concentração de hemoglobina e de hemoglobina corpuscular média (CHCM) nos jovens. Assim, considerando que os parâmetros fisiológicos e hematológicos são indicadores do estado patológico ou fisiológico do animal, para uma correta interpretação dos resultados é recomendada a utilização de valores de referência baseados em animais com características raciais semelhantes e submetidos às condições ambientais similares.

Palavras-chave: frequência, respiratória hematologia, intervalo de referência, temperatura retal, pequenos ruminantes,

ABSTRACT

PHYSIOLOGICAL AND HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF SHEEP

Blood and physiological parameters in animals are influenced by environment, breed and age. The aim of this study was to determine blood and physiological parameters of sheep in Brazil. Therefore, 5081 observations were used from previous experiments with animals from different regions of Brazil (Northeast, Midwest and South) with time of day, gender, breed, age, physiological characteristics, hematological and climatic variables. The animals were classified according to the level of stress and only non-stressed data (5081 observations) was used to calculate the reference values. Analyses were performed using the statistical program SAS® v.9.3 (Statistical Analysis System Institute, Cary, North Carolina) with 5% significance level using the procedures General Linear Models (GLM) and means (LSMEANS). Respiratory rate was the parameter that most differed in relation to the published normal range, with values above the limits for the species, being higher in commercial wool sheep. For blood count, differences were also observed between the results and the values reported in the literature. A higher number of red blood cells, lower concentration of hemoglobin and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) were observed in young animals. Considering that physiological and hematological parameters are indicators of the pathological or physiological state of the animal, for a correct interpretation of the results the use of reference values based on animals with similar breed characteristics and subjected to similar environmental conditions is recommended.

Keywords: hematology; rectal temperature; reference interval, respiratory rate; small ruminants;

1 INTRODUCTION

Changes in physiological and hematological parameters are important indicators of physiological or pathological condition of the animal (Ahmad *et al.*, 2003) and for a correct interpretation of results, it is necessary to consider the influence of regional factors, such as climatic and environmental conditions, breed and age (Jain, 1993). Researchers have reported an increase of some blood parameters such as number of erythrocytes and hemoglobin concentration with the advancement of age (David *et al.*, 2012). Variation in relation to genetic groups has also been reported (Correa *et al.*, 2012). A study with Morada Nova sheep reported number of red blood cells, hematocrit and mean corpuscular volume greater than those reported in literature for small ruminants (Chaves *et al.*, 2009).

Reference intervals are based on the values occurring in 95% of the healthy population (Vojta *et al.*, 2011), so some healthy individuals may have blood count values outside the reference range. Therefore, slight variations do not necessarily indicate any physiological disorder (Resende *et al.*, 2013). A study with sheep in Croatia noted that the reference values recommended in textbooks were inappropriate, and recommended the calculation of specific confidence intervals for each geographical region (Šimpraga *et al.*, 2013). Thus, the interpretation of physiological and hematological results depends on accurate reference ranges that actually represents the population studied.

Considering that the reference values used in tropical and subtropical regions are based on animals raised in temperate climate and those in Brazil are subjected to different environmental stressors, the use of reference intervals based on this region may not be suitable for sheep raised in tropical countries. It is, therefore, important to determine normal parameters

for animals raised in the country, creating reference intervals based on local data, to classify the animals appropriately. The aim of the present study was to define blood and physiological parameters for sheep in Brazil.

2 MATERIAL AND METHODS

A database with 5,081 observations of sheep in the South, Midwest and Northeast region of Brazil (Rio Grande do Sul, Distrito Federal, Goiás and Rio Grande do Norte) (Table 1) with information on time of day, sex, breed, physiological and hematological characteristics and environmental variables was created. The animals were divided into groups by age: adult (equal to or over 365 days) and young (less than 365 days). Because of the variety of breeds, they were grouped into types: commercial wool (CW), locally adapted (LA) and commercial x locally adapted (CLA).

Table 1 Number of observations by type, breed and location of young and adult sheep in Brazil

TYPE	BREED	N	NORTHEAST	MIDWEST	SOUTH	
LA	Santa Ines	1106		10	1	
	Morada Nova	913	1	2		
CW	Ile de France	395		3	2	
	Texel	252		2	2	
	Bergamacia	110		3		
	Hampshire Down	108		2	1	
	Suffolk	54			2	
	Corriedale	423			2	
	Crioula	751			2	
	Ideal	128			2	
	Texel x Corriedale	20			1	
	Merino	162			1	
	Romney Marsh	18			1	
	CLA	Dorper	162		2	1
		Dorper x Santa Ines	123		2	
		Ile de France x Santa Ines	73		2	
East Friesian x Santa Ines		78		2		
Poll Dorset x Doper		114		2		
Poll Dorset x Santa Ines		229		2		
Poll Dorset x White Dorper		42		1		
Primeira x Santa Ines		74		2		
Texel x Santa Ines.	36		1			

*LA: locally adapted; CW: commercial wool; CLA: commercial x locally adapted N: number of animals

The Temperature and Humidity Index (THI) was calculated based on the climatic data at the time of each experiment using the following equation according to Thom (1959):

$$THI = [0.4 \times (TDB + TWB)] \times 1.8 + 32 + 15$$

Where:

TDB = Dry Bulb Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

TWB = Wet Bulb Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

The environmental condition was classified according to the level of stress and was considered stressful THI above 70 and not stressful THI at or below 70 (Hahn *et al.*, 2009). For the calculation of mean hematology and physiological parameters only animals that were not stressed were considered.

The physiological and blood characteristics evaluated included: rectal temperature (RT), respiratory rate (RR), heart rate (HR), packed cell volume (PCV), total plasma protein (PPT), number of red blood cells (RBC), hemoglobin concentration (HB), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), number of white blood cells (WBC), monocytes (MONO), lymphocytes (LYMP), eosinophils (EOSI), segmented neutrophils (SEGM), platelets (PLAT) and fibrinogen (FIBR).

Statistical analysis was performed using SAS® (Statistical Analysis Institute, Cary, North Carolina) with significance level of 5%. The procedures used included analysis of variance (PROC GLM), averages (PROC MEANS), confidence interval of 95% (pctlpts command in PROC UNIVARIATE) and frequency (PROC FREQ) to determine the number of observations outside the confidence interval (<2.5% and> 97.5%). Fixed factors included in the analysis of variance were age and type.

3 RESULTS

Most of the means of the studied parameters were within reference values (Jain, 1993). However, the percentiles values of 2.5 and 97.5, which indicate the lower and upper limits, respectively, differed from those previously established in the textbooks (Jain, 1993; Reece *et al.*, 2015). A significant number of observations above and below the reference intervals (Tables 2 and 3) was also observed. Respiratory rate was the parameter showing highest divergence, with mean, maximum and minimum values far above normal range for sheep in all types and age groups. Similarly, upper and lower heart rate limits were not within reference intervals, and in CW adult group the mean heart rate was also higher than values previously reported. The maximum rectal temperatures of CW adult and LA and CLA young sheep were also higher than those considered as normal.

The lower and upper limits of packed cell volume were lower than the reference values (Jain, 1993), and the percentile 2.5 was outside the normality range. In general, minimum values of the number of red blood cells and hemoglobin concentration of all types and age groups also differed from reference limits, and, in young animals, the mean hemoglobin concentration of CW was lower than reference ranges. In terms of qualitative characteristics, maximum and minimum values of MCV and MCHC of LA adult sheep and MCHC of adult CW were upper and lower reference intervals, respectively. In young CLA and LA animals, maximum and minimum values of MCV and MCHC were lower and upper than those classified as normal, respectively. As for the total plasma protein, the 2.5 and 97.5 percentiles of adult LA were lower and upper than reference range (Jain, 1993).

Table 2 Physiological and blood parameters of adult (equal to or over 365 days) sheep in Brazil

CLA	N	Mean	SD	Confidence Interval (95%)		Reference intervals*	Upper	Lower
RT	77	37.7	0.6010629	36.6	38.5	38,3-39,9°C	0	42
RR	150	49.9823009	26.1922775	20	120	20-34 mov/min	113	1
HR	18	82.2222222	24.7476149	64	140	70-80 mov/min	9	7
PCV	59	31.3	5.99	20	39	27-45%	0	9
TPP	59	7.065	0.6066089	5.55	8.15	6-7.5g/dl	9	1
RBC	59	9.43925	1.8190846	5.935	14.275	9-15x10 ⁶ /μL	1	22
HB	59	9.8975	1.87951	6.35	15.1	9-15g/dl	1	17
WBC	59	11.6145	3.848265	3.635	18.75	4-12 x 10 ⁶ /μL	24	1
MONO	13	289.4	106.8510906	110	462	0-750	0	0
LINF	14	2618.4	1381.15	988	5170	2000-9000	0	5
EOSI	14	520	234.9841602	201	972	0-1000	0	0
SEGM	14	4172.2	1297.69	1700	6048	700-6000	1	149
PLAT	59	465.025	262.3386427	115	952	250-750 x 10 ³ /μL	9	21
MCV	59	31.8775	1.4617319	29	34.5	28-40fl	0	0
MCHC	59	33.3005	6.3710165	23.3	56.91	31-34%	17	10
FIBR	-	-	-	-	-	0.1-0.5g/dl	0	0
CW								
RT	1383	39.5	0.6275571	38.3	40.6	38,3-39,9°C	253	32
RR	2118	74.2760943	36.6411424	20	164	20-34	1763	30
HR	1327	96.0011429	42.6787934	29	220	70-80	813	303
PCV	95	31.5483871	4.463614	22	40	27-45%	0	15
TPP	95	7.47	0.5436329	6.8	8.15	6-7.5g/dl	35	0
RBC	95	9.5546774	2.0134749	6.4	17.4	9-15x10 ⁶ /μL	2	47
HB	95	10.3451613	2.2391214	7.1	18.8	9-15g/dl	15	24
WBC	95	10.1809677	3.2973455	5.9	17.5	4-12 x 10 ⁶ /μL	30	0
MONO	46	276.7692308	167.2976527	101	708	0-750	0	0
LINF	58	3872.39	1418.43	1612	6767	2000-9000	0	0
EOSI	56	625.8857143	368.1562785	102	1274	0-1000	8	0
SEGM	59	3910.84	1793.5	1005	7434	700-6000	3	0
PLAT	95	391.7258065	188.8061865	152	854	250-750 x 10 ³ /μL	9	23
MCV	95	32.583871	1.2549174	31	35.2	28-40fl	0	0
MCHC	95	33.1630645	1.907206	29.4	37.7	31-34%	28	8
FIBR	-	-	-	-	-	0.1-0.5g/dl	-	-
LA								
RT	1609	38.5705506	0.7431591	36.8	39.9	38,3-39,9°C	71	426
RR	1403	73.6779874	33.2923007	20	120	20-34	1012	20
HR	910	46.8737728	36.9774954	20	128	70-80	279	550
PCV	470	29.0866667	5.5505421	15	38	27-45%	0	107
TPP	452	6.8086667	0.8425504	4.6	8.6	6-7.5g/dl	58	21
RBC	1022	9.6932031	2.3654908	4.51	15.59	9-15x10 ⁶ /μL	13	367
HB	436	9.5621514	2.0498297	5	12.8	9-15g/dl	5	150
WBC	399	9.8873622	3.8346878	4.2	18.4	4-12 x 10 ⁶ /μL	98	0
MONO	29	323.8888889	194.1831896	142	702	0-750	0	0
LINF	32	2706.42	991.5115603	702	4158	2000-9000	0	9
EOSI	34	371.5	264.4068834	142	1089	0-1000	2	0
SEGM	32	4802.5	1336.78	3139	7560	700-6000	2	0
PLAT	295	694.3108108	248.7253178	159	1248	250-750 x 10 ³ /μL	116	29
MCV	996	31.4430653	4.5514977	22.24	59.6	28-40fl	129	165
MCHC	436	32.1329414	4.1351165	25.7	40.8695652	31-34%	74	184
FIBR	335	0.35	0.17	0.1	0.68	0.1-0.5g/dl	64	0

*Reece et al, 2015; Jain et al., 1993; LA: locally adapted; CW: commercial wool; CLA: commercial x locally adapted ; N: number of observations; SD: standard deviation; Upper/Lower: number of observation above and bellow reference values; RT: rectal temperature (°C); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); PCV: packed cell volume (%); TPP: total plasma protein(g/dl); FIBR: plasma fibrinogen (mg/dl); WBC: leukocytes; RBC: red blood cell (10⁶/μl); HB: concentration of hemoglobin (g/dl); MONO: monocytes; LINF: lymphocytes; EOSI: eosinophils; SEGM; segmented neutrophils; MCV: Mean Corpuscular Volume; MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; PLAT: platelets; -:missing data

Table 3 Physiological and blood parameters of young (less than 365 days) sheep in Brazil

CLA	N	Mean	SD	Confidence Interval (95%)		Reference intervals*	Upper	Lower
RT	521	39.34683	0.668016	37.75	40.45	38,3-39,9 ^o C	124	31
RR	521	36.36594	11.47049	20	48	20-34 mov/min	375	8
HR	517	66.33333	21.36691	28	112	70-80 mov/min	102	248
PCV	418	32.22244	4.606686	22.7	33.8	27-45%	0	47
TPP	295	5.96547	0.41398	5.2	6.8	6-7.5g/dl	0	113
RBC	502	10.26097	2.448641	4.92	16.49	9-15x10 ⁶ /μL	3	109
HB	494	9.796418	1.995996	6	13.6	9-15g/dl	0	222
WBC	396	8.309148	2.310198	4	13.6	4-12 x 10 ⁶ /μL	17	8
MONO	233	146.0123	160.7257	0	765	0-750	2	0
LINF	233	5344.17	1270.76	2400	7400	2000-9000	0	0
EOSI	233	70.55215	101.1859	0	1050	0-1000	3	0
SEGM	233	4446.63	1278.13	2500	7200	700-6000	3	0
PLAT	397	384.8848	207.6684	112	818	250-750 x 10 ³ /μL	25	26
MCV	502	33.79645	12.98913	21.7	69.3	28-40fl	97	210
MCHC	489	30.59639	4.405534	20.9	39	31-34%	89	310
FIBR	211	0.32	0.16	0.1	0.8	0.1-0.5g/dl	34	0
CW								
RT	71	38.95905	0.566956	38.1	39.83	38,3-39,9 ^o C	29	2
RR	71	48	26.68333	20	120	20-34	48	0
HR	71	72.19048	13.23487	56	116	70-80	14	34
PCV	130	.	.	.	.	27-45%	.	.
TPP	130	.	.	.	.	6-7.5g/dl	.	.
RBC	34	12.5475	1.679275	10.12	16.49	9-15x10 ⁶ /μL	2	3
HB	34	8.625	1.14346	6.9	10.8	9-15g/dl	0	22
WBC	34	9.645833	2.220158	5.9	14.08	4-12 x 10 ⁶ /μL	5	2
MONO	.	.	.	.	.	0-750	.	.
LINF	.	.	.	.	.	2000-9000	.	.
EOSI	.	.	.	.	.	0-1000	.	.
SEGM	.	.	.	.	.	700-6000	.	.
PLAT	34	196	68.73401	87	321	250-750 x 10 ³ /μL	0	29
MCV	34	23.55833	1.28166	21.7	26.6	28-40fl	0	34
MCHC	34	29.25833	1.538274	27.2	32.8	31-34%	0	30
FIBR	34	0.37	0.24	0.1	0.8	0.1-0.5g/dl	14	0
LA								
RT	89	39.07879	1.01173	36.7	40.3	38,3-39,9 ^o C	22	19
RR	111	34.425	8.511674	16	40	20-34	28	2
HR	110	73.675	23.72318	32	126	70-80	27	43
PCV	148	31.88407	4.078637	25	39	27-45%	0	6
TPP	130	5.949505	0.534719	4.8	7	6-7.5g/dl	0	47
RBC	164	9.75479	2.379758	5.5	14.67	9-15x10 ⁶ /μL	0	51
HB	163	9.878151	1.63594	6	12.9	9-15g/dl	0	44
WBC	123	7.887065	2.179834	4.7	13	4-12 x 10 ⁶ /μL	6	0
MONO	102	177.027	173.2425	0	600	0-750	0	0
LINF	102	5214.86	1091.15	3100	7100	2000-9000	0	0
EOSI	102	118.9189	136.1664	0	500	0-1000	0	0
SEGM	102	4483.78	1095.57	2700	6000	700-6000	0	0
PLAT	123	523.9022	195.8277	159	878	250-750 x 10 ³ /μL	8	27
MCV	163	34.88305	11.29939	22.5	60.8	28-40fl	40	34
MCHC	163	31.01513	4.817441	20	39.6	31-34%	43	86
FIBR	34	0.38	0.19	0.2	0.6	0.1-0.5g/dl	13	0

*Reece et al, 2015; Jain et al., 1993; LA: locally adapted; CW: commercial wool; CLA: commercial x locally adapted; N: number of observations; SD: standard deviation; Upper/Lower: number of observation above and below reference values; RT: rectal temperature (^oC); HR: heart rate (beats/minute); RR: respiratory rate (movements/minute); PCV: packed cell volume (%); TPP: total plasma protein(g/dl); FIBR: plasma fibrinogen (mg/dl); WBC: leukocytes; RBC: red blood cell (10⁶/μl); HB: concentration of hemoglobin (g/dl); MONO: monocytes; LINF: lymphocytes; EOSI: eosinophils; SEGM; segmented neutrophils; MCV: Mean Corpuscular Volume; MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; PLAT: platelets; -:missing data.

Differences between the results and the values reported in the literature were also observed in the leucogram. Mean number of leukocytes was within the reference range, however maximum and minimum limits were different. The average number of segmented neutrophils were in agreement with the literature (Jain, 1993), however the values of the 97.5 percentiles were higher for all types and age groups except LA young sheep.

For hematological parameters, young CLA and CW sheep had lower packed cell volume. A greater number of red blood cells, lower concentration of hemoglobin and MCHC was observed in young sheep. MCV was higher in adults and LA sheep. Adult animals had higher TPP, PLAT and FIBR. As for the type, CW had higher TPP and LA higher PLAT. In the leucogram, lower number of leukocytes was observed in young CLA group (Tables 4 and 5). Adult CLA and adult LA had lower rectal temperature and respiratory rate respectively.

Table 4 Age and type interaction on physiological and blood characteristics

	CLA	CW	LA
Rectal temperature			
Adult (\geq 365 days)	38.12Bc	39.50Ba	38.68Bb
Young (< 365 days)	39.35Ab	39.67Aa	39.20Ab
Respiratory rate			
Adult (\geq 365 days)	67.44Ab	81.4Aa	46.19Bc
Young (< 365 days)	70.37Aa	82.18Aa	74.53Aa
Heart rate			
Adult (\geq 365 days)	-	113.51Aa	75.53Ab
Young (< 365 days)	74.395Aa	72.92Ba	74.63Ba
Packed cell volume			
Adult (\geq 365 days)	29.35Aa	30.78Aa	28.98Aa
Young (< 365 days)	28.1Ab	28.94Ab	31.5Aa
Hemoglobin concentration			
Adult (\geq 365 days)	9.Aa	9.70Aa	9.40Aa
Young (< 365 days)	8.Bb	8.53Bab	8.96Aa
MCHC			
Adult (\geq 365 days)	37.43Aa	33.53Ab	32.09Ab
Young (< 365 days)	29.00Ba	29.49Ba	28.84Ba
WBC			
Adult (\geq 365 days)	9.32Aa	8.74Aa	9.60Aa
Young (< 365 days)	7.47Bb	9.33Aa	8.45Aab
Platelets			
Adult (\geq 365 days)	464.96Ab	468.18Ab	734.36Aa
Young (< 365 days)	196.13Ba	194.72Ba	195.71Aa

* Means followed by different capital letters in the same line and different lower case letters in the same column are significantly different using the Tukey test ($P < 0.05$); LA: locally adapted; CW: commercial wool; CLA: commercial x locally adapted; MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration; WBC: white blood cells; -: missing data.

Table 5 Means for blood traits in relation to type and age

TYPE	TPP	RBC	MONO	LINF	SEGM	EOSI	MCV	FIBR
CLA	6.80b	11.42a	1135.2a	2747.9b	4347a	800.9ab	24.57c	317.67a
CW	7.51a	10.43b	1961.5a	3593.3a	5941a	1375.5a	28.4979b	371.14a
LA	6.82b	10.12b	1970.1a	2979.3b	4503a	527.4b	32.5651a	350.23a
AGE								
Adult (\geq 365 days)	6.98a	9.84b	2047.3a	3281.6a	5272.3a	1118.8a	32.9624a	345.54a
Young (< 365 days)	6.08b	12.08a	1238.4b	3055.6a	4959.1a	907.2a	23.7498b	340b

* Means followed by different capital letters in the same line and different lower case letters in the same column are significantly different using the Tukey test ($P < 0.05$); LA: locally adapted; CW: commercial wool; CLA: commercial x locally adapted ; TPP: total plasma protein(g/dl); FIBR: plasma fibrinogen (mg/dl); RBC: red blood cell ($10^6/\mu\text{l}$); MONO: monocytes; LINF: lymphocytes; EOSI: eosinophils; SEGM; segmented neutrophils; MCV: Mean Corpuscular Volume.

4 DISCUSSION

Physiological and blood parameters are used to evaluate the animal health status and are indicators of physiological changes. These parameters can be influenced by factors such as species, sex, age (Jain, 1993) and by stressful environmental conditions. So, in this study information obtained under environmental conditions with a THI less than 70 was used, which is considered thermal comfort zone (Silanikove, 2000). As in this study, Santana *et al.* (2009), when analyzing blood count of young sheep, also found that the average values of the number of red blood cells were in agreement with the literature, and in both studies the lower limit was lower than the normal range. Similarly, a study in Ceara with Morada Nova sheep noted that the average of this parameter was within reference values (Chaves *et al.*, 2009), but the intervals were not calculated in that work. However, different from the results found in the present study, David *et al.* (2012) reported average erythrocytes in Santa Ines lambs below the normal interval. It is noteworthy that David *et al.* (2012) analyzed only animals from one location (west of São Paulo State), whereas in the present study data were used from 11 experiments with this breed located in the Midwest (Distrito Federal and Goias) and South (Rio Grande do Sul) .

In the present study, mean hemoglobin concentration of CW young animals was lower than the reference values, corroborating with Correa *et al.* (2012) which also reported lower hemoglobin concentration in lambs. Although mean packed cell volume was within the normal range, the minimum limits (percentile 2.5%) were lower than the reference interval, similar to that noted by Santana *et al.* (2009). This difference may be due to environmental factors, because animals raised in different environmental, climate and management conditions

may differ in blood constituents (Pogliani & Junior, 2007). Likewise, it has been reported packed cell volume in Santa Ines sheep outside the normal interval for the specie (Cardoso *et al.*, 2011; David *et al.*, 2012). Considering that, in sheep, packed cell volume lower than 24 indicates anemia (Polizopoulou, 2010), this difference between the results found in the present study and the normality limits for the specie can lead to misdiagnosis.

In relation to age, greater number of red blood cells was noted in young animals, corroborating with Birgel Júnior *et al.* (2001) and Gama *et al.* (2007), who reported decrease in this parameter with age. However, David *et al.* (2012) noted lower number of erythrocytes in young animals, suggesting that blood constituents increases with age. This difference can be attributed to age of the animals, because David *et al.* (2012) compared Santa Ines lambs from birth to 60 days old, while in the present work the comparison was between young animals (less than 365 days) and adults (equal to or over 365 days). Regarding LA type, which Santa Ines is included, differences in hemoglobin concentration and packed cell volume between age groups were not observed. This is in agreement with David *et al.* (2012), who also did not report difference in packed cell volume for this breed.

Mean MCV was within normal range, however maximum and minimum values of adult LA were different from reference intervals. Chaves *et al.* (2009) and David *et al.* (2012) also reported mean MCV in agreement with the values reported in the literature for naturalized sheep, however these authors did not determine the upper and lower limits. Regarding difference between genetic groups, LA and CLA sheep had higher and lower MCV, respectively, which is in agreement with Correa *et al.* (2012) who reported lower MCV in animals crossed with Texel and higher in Santa Ines. Although, it is established that MCV decreases with age (Jain, 1993), in the present work young animals had lower MCV.

The average number of white blood cells was within reference interval, similar to that verified for Merino, Santa Ines and Dorper sheep (Lepherd *et al.*, 2009; David *et al.*, 2012; Madureira *et al.*, 2013). However, the upper and lower limits of this parameter were different, with values above the pre-established limits for all types and age groups. This difference can be attributed to the environmental conditions at the tropics, where animals are subjected to different stressors. This corroborates with Birgel Júnior *et al.* (2001), who stated that the WBC reference values established in the Northern Hemisphere should never be used for purposes of the clinical

diagnosis in São Paulo. Also, another study in São Paulo noted number of leukocytes lower and above normality intervals (Santana *et al.*, 2009).

Respiratory rate was the physiological parameter that the most diverged from normal intervals cited in the literature. Mean respiratory rate was well above the reference ranges for almost all type and age groups and was greater for both young and adult CW sheep as they are less adapted and tend to have higher frequencies. This is in accordance with a previous study that when comparing different genetic groups reported higher respiratory rate in sheep crossed with Texel, and the others also had parameters above the normal range (Correa *et al.*, 2012). As this parameter is influenced by climatic factors such as temperature and relative humidity, the values above normal interval may be due to different environmental conditions where these parameters were calculated. So, considering that this variable is often used to evaluate stress and adaptability situations, this difference between the observed and pre-established values can lead to a wrong interpretation.

Rectal temperature is the physiological parameter most often used to estimate heat tolerance in animals (Müller, 1982), as it increases indicates that the heat released mechanisms have become insufficient to maintain the homeothermy (Ferreira *et al.*, 2006), and is also important to detect pathological disorders. In this study, the mean rectal temperatures were within reference values for the specie, but the maximum rectal temperatures of CW adult and LA and CLA young sheep were higher than those considered as normal. Given that the reference intervals are based on information from temperate regions, these higher rectal temperatures may be due to higher environmental temperatures. Higher rectal temperatures were observed in adult CW animals when compared to adult LA and CLA, corroborating Marai *et al.* (2007) who stated that animals adapted to hot climates show less variation of this parameter due to morphological and physiological adaptations that assist in heat dissipation.

Increased heart rate increases superficial blood circulation, aiding heat dissipation. Thus, an increase in this parameter may indicates greater need for heat loss (Correa *et al.*, 2012). In this study mean heart rate was above reference limits in CW adult sheep and maximum values of all types and ages groups were higher than the normal range. This is in accordance with McManus *et al.* (2009) who reported that even with mild temperatures during the morning, heart rate of Santa Ines and Bergamascia sheep were above 80 beats/min. In the present study, this parameter was lower in LA and CW young sheep, corroborating Correa *et al.* (2012), which

reported lower rates in this breeds. Thus, this lower heart rate is the result of better adaptability of these animals to the tropical climate.

5 CONCLUSION

Although means of most parameters were within textbook reference ranges for sheep, the upper and lower limits of many variables were different from the reference values, with significant number of observations outside reference interval. Therefore, considering that physiological and hematological parameters are essential to evaluate pathological disorders, animal welfare and adaptability to the environment, the use of reference values based on animals with similar breed characteristics and subjected to similar environmental conditions is recommended for a correct interpretation of the results.

6 REFERENCES

- AHMAD, I.; GOHAR, A.; AHMAD, N.; AHMAD, M. Haematological profile in cyclic, non cyclic and endometritic cross-bred cattle. **Int. J. Agri. Biol**, v. 5, n. 3, p. 332-334, 2003.
- BIRGEL JÚNIOR, E.; DANGELINO, J.; BENESI, F.; BIRGEL, E. Valores de referência do eritrograma de bovinos da raça jersey criados no estado de são paulo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 53, 2001.
- CARDOSO, E. D. C.; DE OLIVEIRA, D. R.; BALARO, M. F. A.; RODRIGUES, L. F. S.; BRANDÃO, F. Z. Índices produtivos e perfil metabólico de ovelhas santa inês no pós-parto no nordeste do pará. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 18, n. 2-3, 2011.
- CHAVES, D.; MORAIS, D.; VALE, A.; MORAIS, J.; FACÓ, O.; GUILHERMINO, M. Parâmetros hematológicos e escore corporal de ovelhas da raça morada nova em ambiente quente. **Proc. XLVI Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Maringá**, v. 7, p. 14-17, 2009.
- CORREA, M. P. C.; CARDOSO, M. T.; CASTANHEIRA, M.; LANDIM, A. V.; DALLAGO, B. S. L.; LOUVANDINI, H.; MCMANUS, C. Heat tolerance in three genetic groups of lambs in central brazil. **Small Ruminant Research**, v. 104, n. 1-3, p. 70-77, 2012.
- DAVID, C. M. G.; LUQUETTI, B. C.; COSTA, R. L. D. D.; BONELLO, F. L. Padrão hematológico de cordeiros da raça santa inês criados sob manejo semi-extensivo na região oeste do estado de são paulo. **B. Indústr.anim.**, v. 69, n. 1, p. 079-084, 2012.
- FERREIRA, F.; PIRES, M.; MARTINEZ, M.; COELHO, S.; CARVALHO, A.; FERREIRA, P.; FACURY FILHO, E.; CAMPOS, W. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arq. bras. med. vet. zootec**, v. 58, n. 5, p. 732-738, 2006.

- GAMA, S.; MATOS, J.; ZACHARIAS, F.; CHAVES FILHO, R.; GUIMARÃES, J.; BITTENCOURT, T.; AYRES, M. Dinâmica do eritrograma de cordeiros, resultantes do cruzamento entre animais de raças nativas criadas no nordeste e a raça dorper, desde o nascimento até os seis meses de idade. **Rev. Bras. Saúde Prod. An.**, v. 8, n. 1, p. 11-23, 2007.
- HAHN, G. L.; GAUGHAN, J. B.; MADER, T. L.; EIGENBERG, R. A. Thermal indices and their applications for livestock environments. **Livestock energetics and thermal environmental management**, 2009.
- JAIN, N. C. **Essentials of veterinary hematology**. 1993. ISBN 081211437X.
- LEPHERD, M.; CANFIELD, P.; HUNT, G.; BOSWARD, K. Haematological, biochemical and selected acute phase protein reference intervals for weaned female merino lambs. **Australian Veterinary Journal**, v. 87, n. 1-2, p. 5-11, 2009.
- MADUREIRA, K. M.; GOMES, V.; BARCELOS, B.; ZANI, B. H.; DE LARA SHECAIRA, C.; COSTA, C. R.; BENESI, F. J. Parâmetros hematológicos e bioquímicos de ovinos da raça dorper. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 811-816, 2013.
- MARAI, I.; EL-DARAWANY, A.; FADIEL, A.; ABDEL-HAFEZ, M. Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. **Small Ruminant Research**, v. 71, n. 1, p. 1-12, 2007.
- MCMANUS, C.; PALUDO, G.; LOUVANDINI, H.; GUGEL, R.; SASAKI, L.; PAIVA, S. Heat tolerance in brazilian sheep: Physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, Jan 2009.
- MÜLLER, P. B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Sulina, 1982.
- POGLIANI, F. C.; JUNIOR, E. B. Valores de referência do lipidograma de bovinos da raça holandesa, criados no estado de são paulo. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 44, n. 5, p. 373-383, 2007.
- POLIZOPOULOU, Z. Haematological tests in sheep health management. **Small Ruminant Research**, v. 92, n. 1, p. 88-91, 2010.

- REECE, W. O.; ERICKSON, H. H.; GOFF, J. P.; UEMURA, E. E. **Dukes' physiology of domestic animals**. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 1118501497.
- RESENDE, W. J.; BORGES, K. O.; LACERDA, D. Perfil hematológico de pacientes atendidos em uma clínica de medicina e segurança do trabalho no sul goiano. **Rev Bras Hematol Hemoter.**, v. 35, n. 1, p. 42-43, 2013.
- SANTANA, A. M.; DA SILVA, D. G.; BERNARDES, P. A.; PIZAURO, L. J. L.; MALUTA, R. P.; DE VASCONCELLOS AQUINO, G.; GARCIA, K. O.; ÁVILA, F. A.; FAGLIARI, J. J. Hemograma e perfil bioquímico sérico de ovinos em idade de abate. **Ciência Animal Brasileira**, v. 1, p. 286-289, 2009.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock production science**, v. 67, n. 1, p. 1-18, 2000.
- ŠIMPRAGA, M.; ŠMUC, T.; MATANOVIĆ, K.; RADIN, L.; SHEK-VUGROVEČKI, A.; LJUBIČIĆ, I.; VOJTA, A. Reference intervals for organically raised sheep: Effects of breed, location and season on hematological and biochemical parameters. **Small Ruminant Research**, v. 112, n. 1, p. 1-6, 2013.
- VOJTA, A.; SHEK-VUGROVEČKI, A.; RADIN, L.; EFENDIĆ, M.; PEJAKOVIĆ, J.; ŠIMPRAGA, M. Hematological and biochemical reference intervals in dalmatian pramenka sheep estimated from reduced sample size by bootstrap resampling. **Veterinarski arhiv**, v. 81, n. 1, p. 25-33, 2011.

CAPITULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas com o objetivo de analisar padrões raciais que mais se adaptam às condições climáticas da região, principalmente neste momento de mudanças ambientais e de aquecimento global são importantes para auxiliar os produtores na seleção dos animais. Um exemplo de seleção equivocada que ocorreu ao longo dos anos foi a seleção dos ovinos Santa Inês maiores e de pelagem escura. Animais com menor tamanho corporal e com maior luminosidade do pelo apresentaram menor temperatura retal indicando melhor tolerância ao calor. Assim, características como menor tamanho corporal e pelagem mais clara deveriam ser selecionadas.

A termografia infravermelha é uma ferramenta adequada para aferir a temperatura corporal do animal, tendo como vantagem ser um método não invasivo que pode ser utilizado para avaliar estresse térmico. Fatores relacionados com o estresse no manejo e na manipulação do animal não irão influenciar a temperatura obtida utilizando-se um termógrafo.

Os índices de tolerância ao calor são úteis para prever situações de estresse térmico e possibilitar a adoção de medidas paliativas preventivas. Existem diversas equações que utilizam diferentes variáveis e sua escolha irá influenciar na classificação do grau de estresse que o animal está submetido. No entanto, para que a classificação seja apropriada é necessário estar atento à equação utilizada, pois os limites classificatórios de desconforto térmico podem variar de acordo com a espécie e fórmula empregada.

A utilização de intervalos de referência de livros nos quais os dados foram baseados em animais de clima temperado pode não ser adequada à realidade brasileira. Foi observado que os intervalos de alguns parâmetros divergiram dos valores de referência citados na literatura. Isto pode levar a interpretações equivocadas, sendo necessária a elaboração de tabelas de referência com dados baseados em animais com características raciais semelhantes e submetidos a condições ambientais similares.