



**Universidade Federal do Pará
Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Amazônia Oriental
Universidade Federal Rural da Amazônia
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal**

PRISCILA REIS KAHWAGE

**Respostas termolíticas e qualidade seminal de ovinos naturalizados
criados em ambiente tropical**

**Belém
2015**

PRISCILA REIS KAHWAGE

**Respostas termolíticas e qualidade seminal de ovinos naturalizados
criados em ambiente tropical**

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal. Programa de Pós-graduação em Ciência Animal. Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural. Universidade Federal do Pará. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Amazônia Oriental. Universidade Federal Rural da Amazônia.

Área de concentração: Produção Animal.
Orientador Prof. Dr. Alexandre Rossetto Garcia

**Belém
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) –

Sistema de Bibliotecas da UFPA

Kahwage, Priscila Reis, 1980 -

Respostas termolíticas e qualidade seminal de ovinos naturalizados criados em ambiente tropical / Priscila Reis Kahwage - 2015.

Orientador: Alexandre Rossetto Garcia

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Belém, 2015.

1. Ovino – Reprodução. 2. Sêmen. 4. Reprodução animal. I. Título.

CDD 23. ed. 636.30822

PRISCILA REIS KAHWAGE

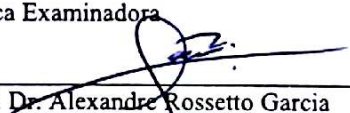
**Respostas termolíticas e qualidade seminal de ovinos naturalizados
criados em ambiente tropical**

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutora em Ciência Animal. Programa de Pós-graduação em Ciência Animal. Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural Universidade Federal do Pará. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Amazônia Oriental. Universidade Federal Rural da Amazônia.


Área de concentração: Produção Animal.

Data da aprovação. Belém-PA: 30/10/2015

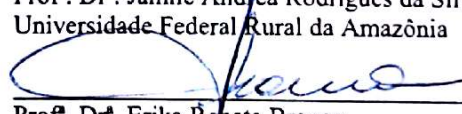
Banca Examinadora



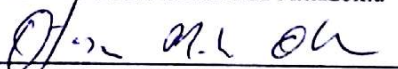
Prof. Dr. Alexandre Rossetto Garcia
Embrapa Pecuária Sudeste



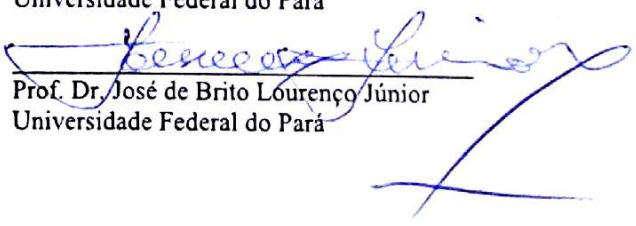
Prof. Dr. Jamile Andréa Rodrigues da Silva
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Erika Renata Branco
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Otávio Mitio Ohashi
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. José de Brito Lourenço Júnior
Universidade Federal do Pará

À minha família, pelo amor incondicional,
o grande responsável por me trazer até
aqui...

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por seu infinito amor traduzido em força, proteção, direcionamento, ensinamentos e providências. Sua constante presença me levou à conclusão dessa importante etapa.

A meus pais, **Nelson e Lucilene**, pelo amor, ensinamentos, apoio, motivação e por serem meus exemplos de integridade, honestidade e luta. Sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus irmãos, **Luciana e Nelson Júnior** pelo amor e incentivo.

Ao **Professor Dr. Alexandre Rossetto Garcia** pela confiança, oportunidade e valiosas orientações, as quais foram responsáveis por minha evolução profissional. Obrigada por me ensinar a trabalhar com seriedade e comprometimento. Ao senhor dedico grande admiração, respeito, estima e gratidão. Obrigada, Mestre!

Aos amigos de São Carlos: **Verônica Schinaider, Silmara Juliana Pereira, Messy Hannear Pantoja, Maria Carolina Miguel Villani, Leticia Passeri, Kaue Mahlmeister, Leandro Sakamoto, Wellison Jarles, Gilberto Cesár Agostinho, Amanda Lemes, Narian Romanello, Rebeca Wilk, Caio Volante e Kamila Oliveira**, pelos bons momentos, carinho, apoio, ajuda e incentivos tão importantes.

Aos **amigos** de longa data, pelos conselhos, motivação, paciência, apoio e compreensão. Obrigada, amigos queridos!

Aos Dr. **Sérgio Novita Esteves** e Dr. **Manuel Jacinto** que acreditaram na ideia e não mediram esforços para viabilizarem a realização dos experimentos.

Às Dra. **Luciana Regitano** e Dra **Simone Meo Niciura**, pela imprescindível ajuda e apoio.

Ao Dr. **Waldomiro Barioni**, pela fundamental contribuição e bons momentos de descontração.

À **Dona Sônia Alencar e Emília Maria P. Camarnado**, pela grande ajuda e amizade.

Aos analistas **Wilson Malagó Junior** e **Flávia Aline Bressani Donatoni**, pelo apoio e ajuda.

Às estagiárias do Laboratório de Curtimento de Couros, **Karina Laurindo de Mendonça, Tatiane Verhalen e Laís Lima**, pela dedicação, trabalho e apoio fundamentais para realização de parte importante dessa pesquisa.

Aos funcionários da Fazenda Canchim: **Rosa, Maria, Tadeu, Cosme, Rafael, Zé e Didoné**, pela imprescindível ajuda.

À **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Pecuária Sudeste**, pela colaboração e apoio ao ceder animais, funcionários, instalações e equipamentos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho. Igualmente, pelos recursos financeiros advindos dos projetos Rede Morada Nova (#02.12.02.003.00.00) e Rede Biotec-Rede de Inovação em Biotecnologia Animal (#01.13.06.001.05.04).

À **Universidade Federal do Pará, Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental** que, através do Curso de Pós-graduação em Ciência Animal, proporcionaram a oportunidade de qualificação profissional e apoio à realização da ciência.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Muito obrigada!

RESUMO

O estudo visou aprofundar o conhecimento sobre as características anátomo-fisiológicas relacionadas à capacidade de perda de calor corpóreo e sua relação com a qualidade seminal de machos ovinos naturalizados ao ambiente tropical. Nove machos da raça Santa Inês (SIN) e sete da raça Morada Nova (MN) foram submetidos a dois experimentos. O primeiro ensaio compreendeu o monitoramento das características de pelame (quantidade de melanina, espessura de capa, comprimento e diâmetro dos pelos), da taxa de sudorese, dos indicadores fisiológicos de conforto térmico (frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura retal, temperatura de superfície de pelame, temperatura de epiderme e temperaturas superficiais escrotais) da qualidade seminal (concentração espermática, motilidade progressiva, integridade de membrana plasmática, defeitos maiores, defeitos menores e defeitos totais) e integridade do parênquima testicular aliados às variáveis meteorológicas, aferidas ao longo do ano. A análise estatística foi realizada com uso dos procedimentos GLM e LSMEANS do programa SAS, versão 9.1.3. Diferenças significativas ($P < 0,05$) foram observadas entre o verão e as estações mais amenas do ano (outono e inverno), havendo incremento dos parâmetros termolíticos durante a estação quente. Já a qualidade seminal não variou ao longo do ano. No segundo experimento, foi avaliada a capacidade de manutenção da homeotermia corpórea e testicular de ovinos naturalizados sob desafio térmico. Os animais foram submetidos ao teste de tolerância ao calor que consiste na manutenção do animal à sombra (período 1), seguida de exposição ao sol (período 2) e retorno à sombra (período 3). Nos três períodos foram aferidos: frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura de superfícies de tronco, dorso, globo ocular e bolsa escrotal, por termografia infravermelha. O nível de adaptabilidade dos animais foi medido pelo índice de tolerância ao calor. A qualidade seminal e integridade de parênquima testicular foram avaliadas antes e após o desafio térmico. No Período 1, as variáveis apresentaram valores basais, em ambos os genótipos. No Período 2 observou-se incremento significativo das variáveis envolvidas na termólise ($P < 0,05$), condizente com situação de desconforto térmico. No Período 3, as variáveis retomaram os valores basais, e algumas apresentaram valores mais baixos que os observados no Período 1. As variáveis seminais e ultrassonográficas não sofreram ação do insulto térmico. Conclui-se que ovinos MN e SIN apresentam eficientes mecanismos termolíticos que favorecem a preservação da funcionalidade gonadal, sendo considerados resilientes ao desafio térmico imposto em sistemas de produção em clima tropical.

Palavras-chave: *Ovis aries*. Ambiente tropical. Termorregulação. Qualidade seminal. Estresse térmico.

ABSTRACT

The study aimed to deepen knowledge about anatomical and physiological features related to body heat loss ability and relation to semen quality of naturalized sheep Morada Nova and Santa Ines on tropical environment. Nine male Santa Inês and seven Morada Nova breed were subjected to two experiments. The first test included monitoring of coat features (amount of melanin, thick, length and diameter of the fibers), sweat rate, physiological indicators of thermal comfort (respiratory rate, heart rate, rectal temperature, surface temperature, skin temperature and scrotal surface temperature), sperm quality (sperm concentration, progressive motility, plasma membrane integrity, major defects, minor defects and total defects) and testicular parenchyma integrity coupled with the meteorological variables measured throughout the year. Statistical analysis was performed using the GLM and LSMEANS procedures of SAS software, version 9.1.3. Significant differences ($P < 0.05$) were observed between the summer and fall and winter, with increase in thermolytic parameters during the hot season. Already sperm quality did not vary throughout the year. The second experiment evaluated the capacity of rams to maintain body and testicular homeothermy under thermal challenge. Animals were subjected to heat tolerance test, which consists maintenance in the shade (period 1), followed by exposure to the sun (period 2) and return to the shadow (period 3). In the three periods were measured: respiratory rate, heart rate, body surface temperature, back, eyeball and scrotum, by infrared thermography. Adaptability of the animals was measured by heat tolerance index calculation. Sperm quality and testicular parenchyma integrity were evaluated before and after the heat challenge. In Period 1, the variables had baseline values for both genotypes. In Period 2, the variables involved in thermolysis significantly increased ($P < 0.05$), which matches a thermal discomfort situation. In Period 3, the variables returned to baseline values and some values were lower than those in Period 1. Seminal and ultrasonographic variables did not share with thermal insult. It is concluded that MN and SIN rams had efficient thermolytic mechanisms that favor preserving gonadal functionality. The animals were considered resilient to a thermal challenge.

Keywords: *Ovis aries*. Tropical environment. Thermoregulation. Semen quality. Heat stress.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1

- Figura 1- Perfis de (a) temperatura do ar (máxima, média e mínima), (b) umidade relativa do ar (máxima, média e mínima), (c) precipitação pluviométrica acumulada e radiação solar média diária e (d) ITU = Índice de Temperatura e Umidade (máximo, médio e mínimo) registrados ao longo do período experimental (ano de 2014). A linha pontilhada no gráfico (d) indica valor de referência, acima do qual ovinos apresentam estresse térmico severo (Marai *et al.* 2007)..... 47
- Figura 2- Gradientes térmicos entre temperatura retal e funículo espermático (DIF1); temperatura retal e polo testicular ventral (DIF2); temperatura retal e cauda do epidídimo (DIF3) e temperatura do polo testicular dorsal e ventral (DIF4), observados ao longo das estações do ano (a) e entre turnos do dia (b), em machos ovinos criados em ambiente tropical..... 52
- Figura 3- Perfis de (a) NSE – número de espermatozoides totais ($\times 10^9$ sptz), (b) MP - motilidade progressiva (%), (c) IMP - integridade de membrana plasmática (%), (d) DEFMA - defeitos espermáticos maiores (%), (e) DEFME - defeitos espermáticos menores (%), (f) DEFT - defeitos espermáticos totais (%) observados no sêmen *in natura* de ovinos Morada Nova e Santa Inês, em ambiente tropical..... 56

ARTIGO 2

- Figura 1- Imagens termográficas e respectivas avaliações gráficas do tronco direito (a, b), do globo ocular direito (c, d) e do escroto (e, f). Os traçados demonstrados nas figuras b e d determinam as informações térmicas analisadas..... 75
- Figura 2- Temperaturas de superfície obtidas por termografia infravermelha das regiões do tronco (mínima, média e máxima), dorso (mínima, média e máxima), ocular e testículos (TPD - temperatura de polo testicular dorsal, TPV - temperatura de polo testicular ventral e TTM - temperatura testicular média) de ovinos das raças Morada Nova (a, c, e, g) e Santa Inês (b, d, f, h) durante o teste de tolerância ao calor..... 80

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) de folículos pilosos primários (FP, número/mm ²), secundários (FS, número/mm ²), proporção de folículos secundários e primários (FS/FP) e densidade pilosa (DFP número/mm ²) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliadas durante verão e inverno, em ambiente tropical.....	48
Tabela 2	Médias por quadrados mínimos (\pm erro) da área da glândula sudorípara (AGS, x 10 ³ µm ²) e proporção de área glandular em relação ao epitélio (PAG, %) da pele de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliadas no verão e inverno.....	49
Tabela 3	Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) da espessura de capa (ESP, mm), comprimento de pelos (COMP, mm) e diâmetro de pelos (DIAM, µm) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliados durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.....	49
Tabela 4	Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) da taxa de sudação (g/m ² /h) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), monitorada nos turnos da manhã e da tarde, juntamente com o índice de temperatura e umidade (ITU) do momento da coleta, aferidos durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.....	50
Tabela 5	Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) da frequência respiratória (FR, mov/min), frequência cardíaca (FC, bat/min) e da temperatura retal (TR, °C) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), juntamente com o índice de temperatura e umidade (ITU) do momento da coleta, aferidos durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.....	51
Tabela 6	Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) das temperaturas de superfície da fronte (TF, °C), da superfície do pelame (TS, °C) da epiderme (TP, °C), do funículo espermático (TFE, °C), do polo testicular dorsal (TPD, °C), do polo testicular ventral (TPV, °C) e da cauda do epidídimo (TEP, °C) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), juntamente com o índice de temperatura e umidade (ITU) do momento da coleta, aferidos durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.....	53

Tabela 7	Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) do escore de homogeneidade e presença de pontos hiperecoicos no parênquima testicular de ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), observadas no verão, na primavera e no inverno, em ambiente tropical.....	57
----------	--	----

ARTIGO 2

Tabela 1	Temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro (médias \pm erro padrão) registrados nos dias de teste de tolerância ao calor.....	78
Tabela 2	Valores médios e erros padrão da média (SEMs) da frequência respiratória (RR), frequência cardíaca (CF) e temperatura retal (RT) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN) aferidos durante o teste de tolerância ao calor.....	79
Tabela 3	Valores médios e erros padrão da média (SEMs) da concentração espermática (CONC), motilidade progressiva (MP), integridade de membrana plasmática (IMP), defeitos maiores (DefMa), defeitos menores (DefMe) e defeitos totais (DefT) em ejaculados de ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliados antes e depois do desafio térmico imposto por teste de tolerância ao calor.....	82
Tabela 4	Valores médios e erros padrão da média (SEMs) de perímetro escrotal (PE), consistência testicular (CONS), volume testicular (VT), escore de homogeneidade (HOM) e de presença de pontos hiperecoicos (HIP) no parênquima testicular de ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliados antes e depois do desafio térmico imposto por teste de tolerância ao calor.....	83
Tabela 5	Coefficientes de correlações entre o Índice de Tolerância ao Calor, temperatura retal (TR) e temperatura de superfície (IRT) de diferentes regiões anatômicas de ovinos Morada Nova e Santa Inês.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACTH – hormônio Adrenocorticotrópico

ABS – absorvância, propriedade física relacionada à capacidade de absorção de energia

AGS – área da glândula sudorípara

bat – batimentos cardíacos

°C - grau Celsius, unidade de temperatura

CBRA - colégio Brasileiro de Reprodução Animal

cm - centímetro, unidade de medida de comprimento

COMP – comprimento

CRH – hormônio liberador de corticotropina

CONS – consistência testicular

db – temperatura do ar

DEFMA – defeitos espermáticos maiores

DEFME - defeitos espermáticos menores

DEFT - defeitos espermáticos totais

DFP – densidade de folículos pilosos

DIAM – diâmetro dos pelos

DIF 1 – gradiente de temperatura entre temperatura retal e funículo espermático

DIF 2 – gradiente de temperatura entre temperatura retal e polo testicular ventral

DIF 3 - gradiente de temperatura entre temperatura retal e cauda do epidídimo

DIF 4 - gradiente de temperatura entre polo testicular dorsal e polo testicular ventral

DNA - ácido desoxirribonucleico

ESP – espessura de capa

FC – frequência cardíaca

FP – folículo piloso primário

FR – frequência respiratória

FS – folículo piloso secundário

FSH – hormônio folículo estimulante

g/m²/h – grama por metro quadrado por hora, unidade de medida da taxa de sudação

GnRH – hormônio liberador de gonadotropinas

h- hora

HHA – eixo hipotalâmico hipofisário adrenal

ICB – índice de conforto de Benezra

IMP – integridade de membrana plasmática

IRT – termografia infravermelha

ITC – índice de tolerância ao calor

ITGU – índice de temperatura e globo negro

ITU – Índice de temperatura e umidade

kg - quilograma, unidade de medida de massa do sistema internacional de unidades (SI)

LH – hormônio luteinizante

MJ/m² – megajoule por metro quadrado, unidade de medida de energia térmica

m - metro, unidade de medida de comprimento

mm – milímetro, unidade de medida de comprimento

m² - metro quadrado, unidade de medida de área

mm² – milímetro quadrado, unidade de medida de área

MHZ – mega-hertz, unidade de medida de frequência

MN – raça de ovinos Morada Nova

MP – motilidade progressiva

mOSm/L – miliosmol por litro, unidade de medida de osmolaridade, quantidade de partículas dissolvidas em solvente

MSH – hormônio melanotrófico

mov – movimentos respiratórios

NSE – número de espermatozoides por ejaculado

µl - microlitro, unidade de medida de volume

µm - micrometro, unidade de medida de comprimento

µm² – micrometro quadrado, unidade de medida de área

mg - miligrama, unidade de medida de massa

mL mililitro, unidade de medida de volume

mm - milímetro, unidade de medida de comprimento

mm² – milímetro quadrado, unidade de medida de área

P - símbolo estatístico que denota grau de significância entre as variáveis estudadas

PAG – proporção da área glandular em relação ao epitélio

PER – perímetro escrotal

r - símbolo estatístico que representa o grau de correlação entre variáveis avaliadas

ROS – espécies reativas de oxigênio

SIN – raça de ovinos Santa Inês

sptz - espermatozoide, gameta masculino

sptz/mL - espermatozoides por mililitro, unidade de concentração espermática

T1 – período 1, animais à sombra

T2 – período 2, animais ao sol

T3 - período 3, animais à sombra

T3 – hormônio tireoidiano triiodotironina

T4 - hormônio tireoidiano tiroxina

Ta - temperatura do ar

TD - temperatura de dorso

TEP - temperatura de cauda de epidídimo

TFE - temperatura de funículo espermático

TOC - temperatura de globo ocular

Tgn - temperatura de globo negro

TP - temperatura de pele

TPD - temperatura de polo testicular dorsal

TPV - temperatura de polo testicular ventral

TR - temperatura retal

TR1 - temperatura retal obtida no final do período 1

TR3 - temperatura retal obtida no final do período 3

TS - temperatura da superfície do pelame

TSX - taxa de sudação

TT - temperatura de tronco

TTM - temperatura testicular

UR - umidade relativa do ar

VOL - volume testicular

LISTA DE SÍMBOLOS

\pm - símbolo utilizado entre as unidades estatísticas de média e desvio padrão

$<$ - símbolo matemático que indica valores inferiores

\geq - símbolo matemático que indica valores iguais ou superiores

% - porcentagem, unidade de razão na base 100

10^9 - bilhões

x - vezes

$^{\circ}$ - grau

' - minuto

'' - segundo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 EFEITO DO CLIMA SOBRE A PRODUÇÃO ANIMAL.....	19
3.2 ESTRESSE TÉRMICO.....	21
3.3 INDICADORES FISIOLÓGICOS DE ESTRESSE TÉRMICO.....	24
3.4 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR ANIMAL.....	27
3.5 EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO NA QUALIDADE SEMINAL.....	28
3.6 CARACTERÍSTICAS DE ADAPTAÇÃO AO CLIMA TROPICAL.....	30
REFERÊNCIAS	33
4 ARTIGO 1 – CARACTERÍSTICAS ADAPTATIVAS DA PELE E PELAME FAVORECEM A TERMORREGULAÇÃO E A QUALIDADE SEMINAL DE OVINOS SELECIONADOS EM AMBIENTE TROPICAL	40
RESUMO.....	40
INTRODUÇÃO.....	41
MATERIAL E MÉTODOS.....	42
RESULTADOS.....	47
DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
5 ARTIGO 2 – MAIOR EFICIÊNCIA TERMOLÍTICA SISTÊMICA E TESTICULAR DURANTE O TESTE DE TOLERÂNCIA AO CALOR REFLETE MELHOR QUALIDADE SEMINAL EM OVINOS DE RAÇAS TROPICALIZADAS	71
RESUMO.....	70
INTRODUÇÃO.....	71
MATERIAL E MÉTODOS.....	72
RESULTADOS.....	78
DISCUSSÃO.....	84
CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIAS.....	88
6 CONCLUSÃO GERAL	94

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o cenário da ovinocultura brasileira vem sofrendo transformações decorrentes das modificações socioeconômicas mundiais, as quais são favoráveis ao incremento da produção de carne e pele nacionais. A atividade vem se consolidando em território brasileiro, com rentabilidade e crescimento anual médio de 3,4%. Em alguns estados brasileiros, a atividade vem recebendo mais atenção, e tem assumido a condição de principal fonte de renda, sobretudo nas pequenas propriedades (CARTAXO et al., 2009; SOUZA, 2009; RENAUDEAU et al., 2012).

O Brasil possui efetivo de rebanho ovino de 16,6 milhões de cabeças, as quais se encontram distribuídas nas regiões: Nordeste (10,1 milhões), Sul (4,9 milhões), Centro-Oeste (1,2 milhões), Sudeste (768 mil) e Norte (627 mil) (IBGE, 2011). Embora seja considerada promissora, a cadeia produtiva brasileira ainda não gera produtos de origem ovina em volume e qualidade suficientes para atender demandas internas, já que o número de importações supera as exportações. A produção brasileira representa 1,4% da produção mundial, número inexpressivo, considerando sua disponibilidade territorial e recursos naturais.

Para elevar a capacidade produtiva do rebanho brasileiro, estratégias reprodutivas podem ser adotadas, visando à interação de genótipos que agreguem características de interesse econômico, não somente para ganhos em conversão alimentar, rusticidade e prolificidade, mas também para o incremento da adaptabilidade dos animais (FAÇANHA et al., 2013).

Atualmente, as áreas situadas em zonas tropicais e subtropicais respondem aproximadamente por 50% e 60% da produção mundial de carne e leite, respectivamente. Para elevar esses números, é realizada a importação de genótipos de alta performance, porém, limitados fisiologicamente para o enfrentamento dos efeitos provocados pelas elevadas temperaturas e umidade relativa do ar (RENAUDEAU et al., 2012). A combinação dos elementos climáticos, associada às práticas indevidas de manejo, interfere negativamente na manifestação do fenótipo de interesse. Deste modo, a adaptação às condições edafoclimáticas é critério imprescindível para a sobrevivência em ambiente tropical, onde o estresse calórico é facilmente estabelecido, impondo significativa adversidade aos organismos (SEJIAN; MAURIA; NAQVY, 2010).

Assim como outras funções, a reprodução é significativamente afetada pelo calor, sendo capaz de causar períodos transitórios de infertilidade (RIVERA; HANSEN, 2001). A produção de gametas masculinos é dependente de eficiente termorregulação corpórea e

testicular (KASTELIC, 2014). De acordo com a intensidade e duração do estresse calórico, a funcionalidade do parênquima testicular é comprometida significativamente, a ponto de reduzir o potencial fertilizante dos gametas, expressa pela queda quantitativa e qualitativa dos parâmetros seminais (HANSEN; FUQUAY, 2011).

A alternativa para viabilizar a produção animal nos trópicos é a identificação, conhecimento aprofundado e seleção de fenótipos termotolerantes, desenvolvidos em território brasileiro, os quais possuem atributos morfofuncionais que conferem maior eficiência dos mecanismos regulatórios, permitindo a termólise, sem o desvio energético dos processos produtivos e reprodutivos (FAÇANHA et al., 2013). Nesse contexto, ovinos naturalizados como Morada Nova e Santa Inês destacam-se, principalmente, por suas prolificidade e tolerância ao calor, as quais os tem elegido para programas de melhoramento genético de rebanhos voltados para corte.

Diante do exposto, propõe-se a investigação das características termorreguladoras relacionadas à qualidade seminal de ovinos naturalizados. Para tanto, admitiu-se como hipótese de pesquisa a ideia de que ovinos de raças naturalizadas apresentam dinamismo morfofuncional favorável à termorregulação corpórea e testicular frente às variações sazonais tropicais, sendo capazes de manter sua qualidade seminal durante o ano.

As informações geradas podem contribuir com avanços na fronteira do conhecimento sobre como explorar mais eficientemente animais criados nos trópicos e como se valer de uma possível maior adaptabilidade de indivíduos oriundos de raças ou linhagens mais produtivas, quando expostas aos desafios do clima tropical.

A tese foi estruturada em modelo híbrido, o qual abrange tópicos convencionais (introdução, objetivos, revisão de literatura e referências bibliográficas correlatas) e dois artigos científicos produzidos segundo as exigências dos periódicos selecionados para submissão. Ao final do trabalho, foram destacados os achados mais relevantes aliados aos futuros desdobramentos desta pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Ampliar o conhecimento sobre características anátomo-funcionais de adaptabilidade ao clima tropical em machos ovinos das raças Santa Inês e Morada Nova, e sua associação com a manutenção da qualidade seminal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Caracterizar os atributos morfológicos do pelame durante o ano, e avaliar a estrutura morfofuncional da pele e das glândulas sudoríparas, durante o verão e o inverno.

b) Avaliar a capacidade de termorregulação corpórea e testicular, aliada à produção espermática durante primavera, verão, outono e inverno.

c) Avaliar as respostas termolíticas locais e sistêmica, e os parâmetros andrológicos de ovinos após serem submetidos ao teste de tolerância ao calor.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 EFEITO DO CLIMA SOBRE A PRODUÇÃO ANIMAL

A interação genótipo-ambiente é imperativa para a produtividade animal. O meio pode viabilizar ou suprimir a manifestação fenotípica de determinado genótipo, modificando o valor produtivo do animal (ALENCAR et al., 2005). Para que o potencial genético seja eficientemente aproveitado, é necessário que as condições de criação proporcionem não somente a nutrição e sanidade adequadas, mas o bem estar animal, o qual possui relação inversa ao estresse (MOLENTO, 2005). A sociedade atual exige que o bem-estar seja inserido nas práticas de produção, de modo a considerá-lo como critério importante, até mesmo para a consolidação das relações comerciais entre países (MOLENTO, 2005). As novas tendências de mercado vêm estimulando estudos que busquem métodos de identificação da condição de conforto animal.

O clima configura importante agente perturbador do bem-estar animal, acarretando impacto negativo e significativo ao desempenho zootécnico, sobretudo em regiões de clima tropical, onde se estabelece facilmente o estresse calórico (McMANUS et al., 2011). Estudos sobre o futuro do clima mundial preveem incremento de 1,1 a 2,9 °C na temperatura do globo terrestre, o qual refletirá, invariavelmente, em climas regionais. Espera-se que as mudanças elevem, sobremaneira, a média das temperaturas máximas diárias e provoquem frequentes e intensas ondas de calor, imprimindo impactos severos às produções agrícolas, e, sobretudo, aos animais, os quais sofrerão demasiado desafio para a manutenção da homeotermia (RIVERA; HANSEN, 2001).

A região intertropical do planeta (situada entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio) é caracterizada pela baixa amplitude térmica ao longo do ano, com grande oscilação térmica diária e ausência de estação fria, de modo que, ao nível do mar, a temperatura do ar não ultrapassa 18 °C, no mês mais ameno do ano. As estações são definidas pelo regime de chuvas e umidade relativa do ar, segregando-as em períodos chuvoso e seco (AYOADE, 1991). A região intertropical corresponde a 40% do globo terrestres, e atualmente responde por parcela importante da produção mundial de alimentos (RENAUDEAU et al., 2012). Projeções futuras apontam para a intensificação da produção agropecuária nessa região, a fim de suprir a necessidade alimentar da crescente população mundial (SCHOLTZ et al., 2013).

Dois terços do território brasileiro estão situados na zona intertropical do planeta, onde há incidência de intensa radiação solar e conseqüente predomínio de elevada temperatura do

ar (média acima de 20 °C, com máximas entre 35 e 38 °C) aliada à elevada umidade relativa do ar, ao longo do ano. A ação combinada ou isolada desses elementos modifica a condição de conforto térmico dos animais incitando reações corpóreas que, invariavelmente, afetam o desenvolvimento, ganho de peso, sistema imunológico, produção leiteira e reprodução (STRASSBURG et al., 2014).

Cada elemento climático imprime efeitos diretos e indiretos sobre os animais. A temperatura do ar interfere nas trocas térmicas entre animais e o meio. Sob temperaturas mais amenas, os animais dissipam calor sensível por radiação, condução e convecção, responsáveis por 71% das perdas térmicas em mamíferos (PEREIRA, 2005). Ao passo que, diante da elevação da temperatura do ar, ocorre redução do gradiente térmico entre a superfície do corpo e o ar, o que acarreta a diminuição das trocas térmicas pelos processos acima descritos. A partir de então, são ativadas as vias termolíticas (perda de calor) evaporativas (ofegação e sudorese) consideradas mais eficientes e energeticamente dispendiosas, bem como a modificação comportamental (SILVA et al., 2002).

A umidade relativa do ar interfere na eficiência das trocas térmicas evaporativas. A baixa umidade confere velocidade aos processos evaporativos, já a elevada umidade do ar dificulta o resfriamento corpóreo e eleva a sensação de desconforto. A radiação solar intensa contribui para o incremento da temperatura do ar e pode provocar queimaduras cutâneas (MULLER, 1989).

O vento facilita a evaporação do suor e da água aspergida, além de acelerar a convecção quando a temperatura do ar estiver abaixo da temperatura da pele. Porém, seus efeitos benéficos estão associados com a temperatura e umidade relativa do ar (SILVA, 2000).

A temperatura do ar é um dos fatores climáticos com maior influência sobre o ambiente físico em que o animal se encontra. Em ambientes com temperaturas do ar acima de 30 °C ocorre a quebra da homeostase para a maioria dos animais domésticos, desencadeando importantes acomodações metabólicas que podem influenciar o potencial produtivo dos animais (GARCIA, 2013).

Para a avaliação da condição de conforto de cada espécie é importante a determinação da zona de termoneutralidade ou zona de conforto térmico (ZCT), que compreende a faixa da temperatura ambiental em que balanço térmico entre o animal e o ambiente seja nulo, ou seja, o calor produzido pelo animal acrescido do calor do ambiente seja igual à perda por radiação, convecção, condução e evaporação (LUZI et al., 2013), configurando uma situação de equilíbrio ou homeostase. A faixa é delimitada por ponto crítico inferior e ponto crítico superior. O ponto crítico inferior é definido como a temperatura ambiental abaixo da qual o

animal aumenta a produção de calor para manter o balanço térmico. Enquanto que o limite crítico superior consiste a temperatura ambiental a partir da qual o animal eleva as taxa metabólicas, aumenta as perdas por evaporação e apresenta isolamento térmico mínimo (SILANIKOVE, 2000).

A condição climática adequada para a exploração da maioria dos animais domésticos é caracterizada por temperaturas do ar entre 13 °C e 18 °C, umidades relativas do ar, de 60% a 70% e velocidade do vento de 5 a 8 km/h (AYOADE, 1991). Em ambiente tropical, esses limites são constantemente suplantados, o que ocasiona a quebra do equilíbrio entre a termogênese e a termólise, e desafia os animais à sobrevivência a esses ambientes.

3.2 ESTRESSE TÉRMICO

Estresse é o ajustamento orgânico sofrido pelo animal frente à qualquer estímulo (extrínseco ou intrínseco) que ocasione a alteração do equilíbrio corpóreo (JOHNSON et al., 1992). O estresse térmico, pelo frio ou pelo calor, ocorre quando a temperatura ambiental supera os limites críticos, inferior ou superior, da zona de conforto térmico dos animais, desencadeando uma série de reações sistêmicas, cujo objetivo é a retomada da homeostase (AMES et al., 1971). Os fatores que promovem a interrupção do equilíbrio são denominados agentes estressores, ao passo que as reações orgânicas ativadas a fim de neutralizar os efeitos estressores são chamadas de respostas adaptativas (JOHNSON et al., 1992).

Em regiões intertropicais, o estresse pelo calor é frequentemente estabelecido, pela ocorrência das elevadas temperaturas do ar e umidade relativa do ar, por várias horas do dia, na maior parte do ano, suplantando o limite crítico superior da maioria das espécies domésticas. Desse modo, o conforto térmico é alterado e a cascata de mecanismos termolíticos é ativada (dissipação de calor), visando o reestabelecimento do equilíbrio entre a produção e dissipação de calor (PEREIRA, 2005). Entretanto a retomada da homeostase representa até 30% do custo energético corpóreo, muitas vezes mobilizado de importantes atividades produtivas e reprodutivas (MULLER, 1989).

Animais endotérmicos possuem capacidade de adaptação às variações climáticas, mesmo sendo dotados de elevada taxa metabólica, a qual produz temperaturas corpóreas entre 35 °C e 39 °C, superando as temperaturas ambientais (BICEGO et al., 2007). Para esses organismos, o equilíbrio térmico é atingido através da termorregulação, definida como a capacidade intrínseca do animal em manter a temperatura corporal dentro de uma determinada faixa fisiológica (HANSEN, 2009). A termorregulação de mamíferos é realizada por

mecanismos biofísicos (condução, convecção, radiação e evaporação), comportamentais (ingestão de água, redução do consumo de alimentos, procura por sombra e superfície frias) e fisiológicos (sudorese, elevação de frequência respiratória e cardíaca, eriçamento de pelos e velocidade metabólica) regulados por complexos e integrados processos neuroendócrinos, os quais conferem ajustes na temperatura corpórea (termogênese e/ou termólise), tornando-a compatível com a realização de seus processos fisiológicos (HELDMAIER et al., 2004).

O calor é percebido por sensores localizados na pele, no próprio cérebro, no cordão espinhal e nas vísceras, que levam as informações do ambiente térmico às estruturas termosensitivas, localizadas na região anterior do hipotálamo (área pré-óptica) (MERCER; SIMON, 1984; BOULANT, 1998). Imediatamente ocorre a ativação do eixo hipotalâmico-hipofisário-adrenal – HHA, que controla as mudanças nos processos fisiológicos (JOHNSON et al., 1992). Primeiramente, o hipotálamo eleva a síntese e secreção do hormônio liberador de corticotropina (CRH), o qual estimula a hipófise a elevar os níveis do hormônio adrenocorticotrófico (ACTH), de β -endorfina e do hormônio melanotrófico (MSH). O ACTH, por sua vez, se liga aos receptores específicos presentes na medula e no córtex da glândula adrenal, estimulando a síntese dos hormônios, diretamente envolvidos nas respostas adaptativas (FRANDSON; LEE; FALLS, 2005).

A medula adrenal responde ao estímulo hipofisário elevando os níveis de adrenalina e noradrenalina responsáveis pelas reações rápidas e imediatas, quais sejam: mobilização da glicose sanguínea, elevação do fluxo sanguíneo para os órgãos vitais, incremento da frequência cardíaca, das taxas catabólicas e da sudorese (CARLSON, 2002) O córtex adrenal produz glicocorticóides, em particular, o cortisol, que orchestra as modificações orgânicas essenciais ao enfrentamento ao estresse e exerce feedback negativo sobre a liberação de CRH (RANDALL; BURGRREN; FRENCH, 2000; CARLSON, 2002).

O cortisol incita alterações comportamentais, alterações quantitativas e morfológicas nas células vermelhas e brancas do sangue, hiperglicemia e mobilização lipídica e proteica necessárias ao restabelecimento da homeostase (RANDALL; BURGRREN; FRENCH, 2000). Os picos plasmáticos de cortisol podem ser observados 20 minutos após a exposição ao estresse agudo, permanecendo elevados por até 2 horas (HABEEB et al., 1992).

Na fase adaptativa ao estresse calórico, os níveis de cortisol reduzem e as funções vitais se normalizam. Porém, se o agente estressor for intenso e duradouro, o animal apresenta os mesmos sinais da fase aguda, ocasionando a sobrecarga fisiológica em virtude de novos picos de cortisol. Os sinais de esgotamento são: supressão imunológica, redução da produção dos hormônios tireoidianos (T3 e T4), e consequente diminuição do metabolismo basal,

redução do consumo alimentar, uso exacerbado dos mecanismos evaporativos (ofegação e sudorese), que culminam com aumento da produção de calor interno e aceleração das reações bioquímicas. Além disso, a intensa perda hídrica por ofegação e sudorese pode ocasionar perda excessiva de água promovendo um quadro desidratação (MARAI et al., 2007).

Se essas tentativas falharem na redução da temperatura corpórea, o animal entra em colapso e morre pelo calor. A maioria dos mamíferos morre ao atingir entre 42 a 45 °C, ultrapassando de 3 a 6 °C do limite fisiológico superior (SILANIKOVE, 2000).

O estresse calórico pode afetar negativamente a atividade reprodutiva, uma vez que, o mecanismo que controla a atividade do pulso estimulatório do hormônio liberador de gonadotropinas (GnRH) tem ligação com o eixo neuroendócrino adrenal. Picos de CRH provocam o decréscimo nos pulsos de GnRH e consequentemente nos níveis séricos do hormônio luteinizante (LH) e folículo estimulante (FSH), logo as funções gonadais LH e FSH dependentes são afetadas (TILBROOK; TURNER; CLARKE, 2000; GUZELOGLU et al., 2001; OZAWA et al., 2005).

O terço inicial da gestação é a fase mais susceptível ao estresse calórico, pois é nessa fase que ocorre o desenvolvimento placentário dependente de níveis adequados de fatores de crescimento. Fêmeas gestantes mantidas entre 30 e 40°C, a 40% de umidade, sofrem alteração na expressão gênica desses fatores resultando na formação de placenta mais leve, com capacidade de síntese proteica reduzida, impactando negativamente na evolução embrionária, na taxa de sobrevivência de fetos e peso ao nascimento do filhote (REGNAULT et al., 2002, GARCIA, 2013).

Apesar de serem considerados mais resistentes ao calor que outros ruminantes, os ovinos possuem seus índices zootécnicos afetados negativamente pelo clima tropical, sobretudo, quando a temperatura do ar ultrapassa 30 °C (limite crítico superior para ovinos deslanados). Trabalhos com animais mantidos a 30 °C demonstraram significativa redução no consumo de matéria seca e concentrado (13%), no tempo de pastejo, na conversão alimentar, e aumento do consumo de água (em torno de 50%), os quais contribuíram para o lento desenvolvimento ponderal, pior acabamento e menor qualidade de carcaça (MARAI et al., 2000; BERNABUCCI et al., 2010; BAUMGARD e RHOADS, 2012). Cordeiros expostos a elevadas temperaturas do ar apresentaram comprometimento das taxas de crescimento, em virtude da redução do anabolismo e aumento do catabolismo, provocado pela diminuição do consumo de nutrientes essenciais, para frear a produção de calor endógeno (ABDEL-HAFEZ, 2002). Machos ovinos adultos submetidos à elevada carga térmica apresentaram redução de 22% do consumo alimentar e 5,2% do ganho de peso (ALHIDARY et al., 2012).

3.3 INDICADORES FISIOLÓGICOS DE ESTRESSE TÉRMICO

Existem diversas formas de se avaliar as variáveis que interferem na termorregulação, e que podem determinar certo grau de estresse no animal (ARIAS; MADER, 2009). A identificação de animais em estresse térmico norteia a adoção de práticas de manejo preventivas ou corretivas.

As variáveis fisiológicas relacionadas à termorregulação e tomadas como indicadoras do grau de estresse térmico, imposto ao animal são: frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura retal, taxa de sudação e temperaturas superficiais (MARAI et al., 2007). A frequência respiratória e a temperatura retal têm sido utilizadas como os indicadores mais sensíveis e fidedignos para avaliar o conforto e a adaptabilidade dos animais (ABBI SAAB; LEIMAN, 1995).

As vias evaporativas, traduzidas em sudorese e ofegação, são as mais eficientes vias de dissipação de calor em ambientes quentes, e correspondem a perda de calor latente por conversão da água em vapor (SILANIKOVE, 2000). Quanto maior é a sensação de calor, maior será a ativação dos mecanismos evaporativos. Entretanto, sua eficiência é limitada pela elevação da umidade relativa do ar, dificultando o resfriamento corpóreo e favorecendo a elevação da temperatura interna (SILVA et al., 2002).

Em ovinos, a ofegação é o mecanismo termolítico prioritariamente ativado. Logo, a mensuração da frequência respiratória é apontada como importante indicador da condição de estresse desses animais (SEJIAN et al., 2013). A perda calórica por evaporação das secreções respiratórias, em ovinos, representa 20% do total dissipado, em animais mantidos a 12°C, e 60% das perdas calóricas, quando submetidos a 35°C (MARAI et al., 2007). Contudo, o aumento da frequência respiratória pode ser influenciado pela nutrição, medo, excitação, estado fisiológico e produtivo (MARAI et al., 2000). Esses aspectos devem ser considerados, a fim de evitar equívocos na determinação do grau de estresse térmico de ovinos.

A taxa respiratória basal de ovinos está entre 20 a 30 movimentos por minuto. O nível de estresse de ovinos é categorizado de acordo com o incremento dos movimentos respiratórios. Considera-se estresse baixo quando a frequência respiratória está entre 40 e 60 movimentos por minuto, estresse médio a alto entre 60 a 80 movimentos por minuto, estresse alto entre 80 a 120 movimentos por minuto e estresse severo acima de 200 movimentos por minuto (SILANIKOVE, 2000).

Estudos sobre adaptabilidade e efeito do estresse térmico na produção de ovinos, em machos e fêmeas, e em diversas categorias zootécnicas, utilizam a frequência respiratória

como indicador de estresse térmico, reportando, invariavelmente, seu acréscimo nos períodos mais quentes (SILVA et al., 2002; McMANUS et al., 2009; EUSTAQUIO FILHO et al., 2011; BATISTA et al., 2014).

A temperatura retal expressa o balanço térmico instantâneo do animal. É medida fisiológica que melhor expressa a condição térmica do núcleo central, o qual é constituído pelo cérebro, órgãos do tórax e abdômen, e apresenta temperatura mais elevada que a periferia corpórea, porém mais estável (MULLER, 1989). A temperatura retal pode sofrer influência da dieta, do consumo de água, da hora do dia, do trabalho muscular, idade, sexo, estado fisiológico e adaptabilidade (BACCARI JUNIOR, 1998).

Sob o calor moderado, os animais conseguem manter o equilíbrio térmico, porém se o calor é alto (30 a 50 °C), e supera a capacidade termoregulatória do animal, ocorre a hipertermia (temperatura retal de 42 °C). O incremento de 1°C na temperatura retal é suficiente para promover a queda da produtividade em muitas espécies domésticas (SHEBAITA; EL-BANNA, 1982). Em condições de termoneutralidade a temperatura retal de ovinos varia entre 38,3 e 39,9 °C (MARAI et al., 2007).

A sudorese em ovinos é ativada após a ofegação, ou simultaneamente, durante o estresse severo. A sudorese recruta menor aporte energético, e em algumas raças, corresponde por até 63% da perda calórica total (SILVA; STARLING, 2003). A eficiência desse mecanismo depende do número de glândulas sudoríparas ativas, do aporte sanguíneo periférico e do tipo de capa externa e sua capacidade de condução do suor, visto que, espessa camada de pelos ou de lã, funciona como barreira física para a transformação do suor em vapor, tornando o resfriamento do corpo incompleto. Nesses casos, a sudorese é responsável por até 35% das perdas de calor corpóreo, sendo a perda por evaporação respiratória mais eficiente (SILVA; MAIA, 2013). As glândulas sudoríparas de ovinos são do tipo apócrina e a eliminação de suor ocorre somente após o completo preenchimento do lúmen glandular, seguido da contração da camada mioepitelial (SILVA; MAIA, 2013). A taxa de sudação varia entre raças e entre indivíduos. Ovinos da raça polwarth, mantidas a 25 e 46 °C, apresentaram taxa de sudação de $90,5 \pm 5,5$ g/m²/h. Animais Santa Inês, a 26°C e umidade de 41%, apresentaram taxa de $93,8$ g/m²/h (LUZ et al., 2014).

Outra variável fisiológica possível de ser investigada por mensuração direta é a temperatura de superfície de alguns pontos do corpo de um indivíduo, a qual tem se mostrado altamente correlacionada com a temperatura retal (KOTRBA et al., 2007; LUZI et al., 2013). As temperaturas superficiais de pelame e da pele indicam a termólise realizada na fronteira do corpo do animal com o meio. As características morfológicas do pelame definem a eficiência

da dissipação de calor sensível, pois determinam o grau de isolamento térmico do revestimento externo, o qual funciona como barreira bidimensional à transferência de calor (SILVA, 2000). A temperatura da pele é definida pelo fluxo sanguíneo e de fatores termolíticos intrínsecos (sudação, vasodilatação e perspiração insensível), que imprimem gradiente térmico de 4 a 5 °C com a temperatura retal. Durante o estresse calórico, ocorrem a vasodilatação e o aumento do fluxo sanguíneo para a pele, visando à transferência do calor excedente do núcleo central (RANDALL; BURGRREN; FRENCH, 2000).

Atualmente, a avaliação térmica dos pontos superficiais tem sido realizada por termografia. A técnica tem ganhado espaço como método de diagnóstico que produz termogramas, baseado na geração e interpretação de imagens infravermelhas capazes de refletir a dinâmica microcirculatória da superfície cutânea dos pacientes em tempo real (BRIOSCHI et al., 2003).

Recentemente, o uso de câmeras de irradiação infravermelha, também chamadas de termógrafos, tem sido regularmente citado na literatura como eficiente método não invasivo para avaliar temperatura de superfície em animais de produção (ROBERTO; SOUZA, 2014; TALUKDER et al., 2015) e de companhia (DURRANT et al., 2006). A tecnologia termografia infravermelha (IRT) é de uso comum no setor industrial e nos últimos tempos tem sido de grande utilidade para identificação de patologias na medicina humana e animal.

A IRT é capaz de identificar aumento de perfusão sanguínea e metabolismo através da radiação infravermelha emitida pelo corpo em análise, seja por condições patológicas (traumas e lesões agudas locais) e/ou por condições fisiológicas (início de gestação, cio) (LUZI et al., 2013). Nesse contexto, vem sendo utilizada também para identificar falhas na termorregulação em órgãos específicos, tendo seus resultados altamente correlacionados às alterações funcionais dos mesmos (TALUKDER et al., 2015). Alguns fatores podem interferir na eficiência da técnica, tais como a temperatura do ar, no momento da coleta, sendo necessária a correção por fórmula matemática, e a condição da superfície avaliada, a qual deve estar livre de sujidades e completamente seca (BASILE et al., 2010).

Pesquisa recente com ovinos mostrou correlação positiva entre as termografias, os dados ambientais e temperatura retal e frequência respiratória, demonstrando a eficiência da técnica para a avaliação da condição de conforto do animal (McMANUS et al., 2015).

A frequência cardíaca traduz o equilíbrio do sistema circulatório e do metabolismo em geral. Em resposta ao insulto térmico agudo, a frequência cardíaca sofre aumento compensatório para evitar a queda da pressão arterial, ocasionada pela redistribuição

sanguínea para a periferia corpórea (SILANIKOVE, 2000). Sob estresse prolongado, os batimentos cardíacos são reduzidos em função das baixas taxas metabólicas.

3.4 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO E BEM-ESTAR ANIMAL

Para que seja possível estudar as interferências do meio na homeostase, é necessário o estabelecimento de medidas da variação climática e da fisiologia animal, de modo a entender como as condições climáticas influenciam o conforto térmico animal e sua capacidade termorregulatória (ARIAS; MADER, 2009; TITTO et al., 2011).

Por isso, em pesquisas de interesse bioclimatológico, é importante realizar o monitoramento de variáveis ambientais, tais como as medidas de temperatura de termômetro de bulbo seco, de bulbo úmido, de globo negro, de radiação solar global e da umidade relativa do ar. Essas informações podem compor índices ou serem relacionadas às respostas fisiológicas no animal, gerando relevantes informações sobre a condição de bem-estar animal. Dentre os índices mais conhecidos e rotineiramente utilizados em estudos dessa natureza, citam-se o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Carga Térmica (ICT) e o Índice de Temperatura e Globo Negro (ITGU) (BOHMANOVA et al., 2007; CASTRO et al., 2008; TORRES-JÚNIOR et al., 2008). Estes índices podem ser individualmente correlacionados às variáveis fisiológicas (temperatura retal - TR, frequência cardíaca - FC, frequência respiratória - FR), ao Índice de Conforto de Benezra (ICB), que consiste em uma estimativa de conforto térmico, calculada com base na TR e na FR de cada animal (BENEZRA, 1954), ou ainda ao índice de tolerância ao calor (ITC), desenvolvido em teste de avaliação da adaptabilidade animal mediante desafio térmico.

O ITU foi desenvolvido por THOM (1959) e desde então é utilizado pelo United States Weather Bureau como um índice de conforto térmico humano. Recentemente, o ITU tem constituído um indicador bioclimatológico nos sistemas de produção, visando à intervenção com medidas de manejo para aliviar desconforto térmico dos animais, e seu cálculo deriva de uma equação que considera os valores de temperatura e da umidade relativa do ar (BUFFINGTON et al., 1982).

Em estudos mais recentes, o ICT também tem sido apontado como um indicador eficiente e mais correlacionado a alterações na temperatura retal e na frequência respiratória de bovinos de corte (GAUGHAN et al., 2008). O ICT utiliza dados de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar, e é bastante indicado para regiões de clima

tropical, já tendo sido usado e validado em diversas espécies criadas no Brasil (SOUZA et al., 2010).

O ITGU, por sua vez, incorpora a temperatura de globo negro ao índice de temperatura e umidade, em substituição à temperatura de bulbo seco, e estima em um único valor os efeitos da temperatura e da velocidade do ar, da umidade relativa e da radiação solar (BUFFINGTON et al., 1982). Já o ICB foi desenvolvido especificamente para a avaliação do conforto térmico de bovinos criados em condição de clima tropical (BENEZRA, 1954). Esse índice contempla dois fatores que, isoladamente, não são considerados suficientes para fornecer uma ampla interpretação da condição de conforto do animal. São eles: a temperatura retal e a frequência respiratória. Considera-se que para valores do ICB próximos a dois (2,0), os animais apresentem maior grau de adaptabilidade ao meio ambiente e para valores maiores que dois, os animais apresentem dificuldades adaptativas (BENEZRA, 1954).

O ITC foi criado a partir da submissão de búfalos ao teste de tolerância ao calor por seis dias. O teste consistiu na contenção dos animais na sombra, seguida de exposição ao sol, e posterior retorno à sombra. A temperatura retal obtida nos períodos pré e pós exposição ao sol foram usadas para a criação do índice. Valores de ITC próximos de 10 indicam que o animal possui capacidade de retomar a temperatura retal inicial ou atingir valores próximos, considerando-o adaptado (BACCARI JUNIOR et al., 1986).

3.5 EFEITO DO ESTRESSE TÉRMICO NA QUALIDADE SEMINAL

O alojamento dos testículos em bolsa externa à cavidade abdominal favorece a manutenção do gradiente de temperatura de 2 a 6 °C, existente entre as gônadas e o núcleo central, garantindo que a produção de gametas ocorra normalmente (KASTELIC; COOK; COULTER, 1996).

O resfriamento da bolsa escrotal e dos testículos é realizado pela ação integrada do plexo pampiniforme (resfria o sangue arterial antes que atinja os testículos), túnica *dartus* (aproxima ou afasta a bolsa escrotal do corpo), músculo cremáster (aproxima ou afasta os testículos do corpo) e glândulas sudoríparas escrotais (responsáveis pela sudorese escrotal) (KASTELIC; COOK; COULTER, 1997; HANSEN, 2009).

Machos constantemente submetidos à temperatura ambiente superior a 30 °C são susceptíveis à sobrecarga dos mecanismos termoregulatórios escrotais e testiculares. O resfriamento insuficiente dos testículos leva ao incremento de sua temperatura e estabelecimento da degeneração testicular, considerada a causa mais frequente de infertilidade

em machos, atribuída à queda da qualidade espermática, e, portanto incapacidade de fertilização (ALVARENGA; PAPA, 2009). Em locais em que a temperatura do ar atinge 40 °C, a temperatura escrotal pode aumentar de 33 para 36 °C, podendo comprometer a funcionalidade do parênquima testicular (SETCHELL, 1998).

O aumento da temperatura gonadal estimula o metabolismo celular, sem que haja o suprimento sanguíneo suficiente para tal, acarretando a hipóxia celular. A falta de oxigênio para os processos metabólicos leva à produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS), estabelecendo a condição de estresse oxidativo. Os radicais livres passam a atacar as moléculas lipídicas e proteicas presentes nas membranas plasmáticas, gerando danos estruturais e funcionais irreversíveis. As moléculas dos ácidos nucleicos também são alvos dos radicais livres, cuja ação resulta em fragmentação molecular, descondensação da cromatina e ativação da apoptose (DURAIRAJANAYAGAM et al., 2014). As células mais sensíveis a esses processos são espermatócitos e espermátides, as quais originarão gametas estruturalmente e funcionalmente deficientes. Por isso, embriões formados a partir de gametas masculinos sob estresse térmico apresentam reduzida capacidade de desenvolvimento (HANSEN, 2009). Além disso, fêmeas acasaladas com machos sob estresse calórico produzem fetos menores (JANNES et al., 1998).

Ovinos da raça Merino apresentaram redução de 45% do peso testicular, após 21 dias de exposição a 42 °C, por 30 minutos. Com 14 dias de exposição, os animais perderam 70% do peso testicular inicial. Histologicamente, o estresse calórico ocasiona aumento de espermatócitos e espermátides degenerados, e ligeira redução nos ciclos espermáticos (PARVINEN et al., 1992). A exposição de reprodutores ovinos à intensa carga térmica causou a redução da motilidade progressiva e da concentração espermática, e aumentou porcentagem das células morfológicamente anormais. Essas consequências foram observadas 1 a 2 semanas após o insulto térmico (MIEUSSET et al., 1992).

Para a observação do impacto negativo do calor sobre as características seminais de ovinos, deve ser levado em consideração o tempo necessário para a finalização da fase epididimária (13 a 15 dias) e do ciclo espermático (42 a 53 dias) contados a partir do momento do insulto térmico (MOREIRA et al., 2001). Portanto, entre 15 e 30 dias após o insulto, é observada maior porcentagem de patologias correlatas ao período de trânsito epididimário, tais como: cabeça isolada e gota citoplasmática proximal. Após 30 dias, podem ser observadas cabeças subdesenvolvidas, células redondas e formas teratogênicas e persistência da gota citoplasmática proximal (ALVARENGA; PAPA, 2009).

A avaliação da temperatura da superfície escrotal pode ser ferramenta importante para o exame da termorregulação testicular, em virtude da forte relação entre essas estruturas ($r=0,95$) (COULTER et al., 1988). A temperatura escrotal apresenta gradiente térmico de 1,6 °C entre os polos dorsal e ventral, enquanto que a temperatura intratesticular é mais homogênea. O gradiente térmico entre a bolsa escrotal e os testículos é de 4,8 °C (KASTELIC; COOK; COULTER, 1996).

Touros avaliados ao longo do ano apresentaram temperaturas escrotais mais elevadas durante o verão, o que contribuiu para a redução do gradiente térmico entre os polos testiculares. e diminuição nos valores de turbilhonamento, motilidade progressiva e vigor espermático (MENEGASSI et al., 2015). Por outro lado, garanhões de diferentes idades foram submetidos à intensa carga radiante, porém não apresentaram incremento na temperatura escrotal, fato atribuído à termoregulação testicular eficiente (RAMIRES NETO et al., 2013). Foi encontrada relação negativa entre a temperatura escrotal e o grau de fragmentação de DNA ($r=-0,179$, $P= 0,004$) de ejaculados ovinos (MALAMA et al., 2013).

3.6 CARACTERÍSTICAS DE ADAPTAÇÃO AO CLIMA TROPICAL

A capacidade de adaptação animal é determinada por suas habilidades genéticas em perceber o estímulo ambiental e realizar ajustes morfofuncionais e comportamentais que possibilitem sua sobrevivência. Do ponto de vista genético, a adaptação é consolidada pela transmissibilidade de genes que favorecem a seleção natural de indivíduos superiores para uma determinada característica (SILVA; MAIA, 2013).

A adaptação à adversidade climática é avaliada sob dois aspectos: a adaptabilidade fisiológica, a qual é verificada pela utilização dos mecanismos corpóreos para a manutenção da temperatura corpórea dentro de limites fisiológicos, mesmo diante de extremos climáticos (SILVA, 2000). E a adaptabilidade de rendimento, que consiste na manutenção da capacidade de produção e reprodução animal, mesmo sob estresse.

O animal adaptado aos trópicos deve ser capaz de aproveitar ao máximo a energia alimentar para manter o equilíbrio entre produzir e dissipar o calor corpóreo, garantir o isolamento contra a radiação solar, suportar o alto grau de desidratação e o incremento térmico corpóreo, desenvolver resistência a doenças, possuir longevidade e baixa taxa de mortalidade (BACCARI JUNIOR et al., 1986).

A eficiência para a termoregulação pode ser constatada mediante componentes estruturais e fisiológicos diretamente envolvidos com esta atividade. Vários estudos apontam

o pelame como atributo termolítico importante, por constituir a fronteira entre o animal e o meio, e sua participação nas trocas térmicas é significativa, de modo a influenciarem no balanço térmico orgânico (MAIA et al., 2003, BERTIPAGLIA et al., 2008, MAIA et al., 2009, McMANUS et al., 2011). O pelame favorece a troca de calor sensível, além de conferir proteção à epiderme contra os raios ultravioletas (SILVA, 2000).

Para animais mantidos nos trópicos, principalmente em sistema extensivo, é recomendado que apresentem pelame de cor clara, com pelos curtos, grossos, medulados e bem assentados, sobre uma epiderme altamente pigmentada. Essa constituição permitiria maior habilidade para a troca de calor sensível favorecendo a termólise, principalmente, nos períodos mais quentes (SILVA, 2000). Adicionalmente, a espessura do revestimento externo, bem como a densidade pilosa devem ser consideradas, pois podem representar dificuldade para a transferência do calor eliminado pela epiderme (HOLMES, 1981).

Em trabalho com vacas holandesas, verificou-se que animais com maior área corpórea coberta por pelame preto apresentaram vantagens quanto à dissipação de calor. Para compensar a maior absorção de energia atribuída à cor preta, houve redução do comprimento dos pelos, do número de pelos por unidade de área e aumento do diâmetro piloso, favorecendo a termólise por convecção e evaporação cutânea (MAIA et al., 2003)

Por outro lado, carneiros de pelagem clara mostraram vantagens sobre animais de pelo escuro, quanto a manutenção dos parâmetros fisiológicos relacionados à adaptação (McMANUS et al., 2011). Animais de pelagem preta, em geral, apresentam maiores valores de frequência respiratória, temperatura superficial e temperatura retal (BATISTA et al., 2014).

Em relação aos indicadores fisiológicos, a adaptação está atrelada a menor demonstração de desequilíbrio térmico, traduzida em menores valores de frequência respiratória, temperaturas superficiais e temperatura retal.

Em ambientes em que a temperatura do ar excede a do corpo, a forma mais eficiente de perda de calor é a evaporação, por ofegação e sudorese (FAÇANHA et al., 2013). Ovinos utilizam a ofegação como a forma de resfriamento mais eficiente tanto animais deslanados quanto lanados (STARLING et al., 2002). Enquanto que a taxa de sudação auxilia na quebra de calor, aumentando linearmente com o incremento térmico ambiental (McMANUS et al., 2009).

Sabe-se que a resposta ao ambiente varia entre raças e entre indivíduos. A possível identificação de um ou mais desses atributos, voltados a adaptação climática, podem tornar genótipos menos estudados em uma alternativa para a utilização em programas de melhoramento genético em todo o país (MORAIS, 2000). Nesse contexto, os ganhos de

conhecimento sobre genótipos originados em território brasileiro podem contribuir para maior entendimento da sua complexidade biológica e ampliar a potencialidade de uso visando ganhos biológicos e econômicos no campo. Dentre os genótipos que possuem amplo potencial de exploração científica se encontram as raças Santa Inês e Morada Nova.

A raça Santa Inês é considerada naturalizada (McMANUS et al., 2010) e foi desenvolvida no nordeste brasileiro, a partir de cruzamentos entre grupos genéticos europeu, africano e brasileiro. Após anos de seleção, foi alcançada padronização racial que vem despertando grande interesse em seu uso e incrementando sua difusão (ANDRADE et al., 2007), em virtude de sua boa habilidade materna, prolificidade, rusticidade, precocidade, menor exigência nutricional, e por não apresentar estacionalidade reprodutiva (SOUSA; LOBO; MORAIS, 2003). Já a raça Morada Nova é, também, um grupo genético nativo do nordeste brasileiro, com aptidão para corte, boa habilidade materna, rusticidade e alta taxa de fertilidade (ESTEVEES et al., 2013).

Pesquisas realizadas na Embrapa demonstram que a raça também tem se destacado por sua excepcional aptidão para produção de pele de altíssima qualidade, despertando interesse da indústria para produção de artefatos finos de couro e com alto valor agregado (ESTEVEES et al., 2013, JACINTO et al., 2004). Entretanto, seu porte médio e peso corpóreo menor do que de outras têm contribuído para que produtores com interesse em produção de carne façam opção pela criação de animais de raças exóticas, com maior aptidão para corte. Tal fato, aliado a cruzamentos indiscriminados, com consequente absorção do genótipo Morada Nova, vêm reduzindo o rebanho brasileiro desta raça, o que pode acarretar no seu desaparecimento ou descaracterização racial. Além, disso, poucos estudos com a raça vêm sendo conduzidos, principalmente no tocante aos atributos relacionados à termorresistência (SANTOS et al., 2006).

Embora estudos prévios indiquem que há similaridade racial quanto aos atributos zootécnicos desejáveis, é observada superioridade da raça Morada Nova quanto à termotolerância ao calor (SANTOS et al., 2006), gerando a demanda por estudos que explorem com maior profundidade esses achados.

REFERÊNCIAS

- ABI SAAB, S.; SLEIMAN, F.T. Physiological responses to stress of filial crosses compared to local Awassi sheep. **Small Ruminant Research**, v. 16, p. 55-59, 1995.
- ABDEL-HAFEZ, M.A.M. **Studies on the reproductive performance in sheep**. Ph.D. thesis. Faculty of Agriculture, Zagazig University, Zagazig, Egypt, 2002.
- ALHIDARY, I.A. et al. Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 212-220, 2012.
- ALVARENGA, A.M.; PAPA, F.O. Principais distúrbios reprodutivos observados em garanhões no Brasil. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, n. 6, p. 204-209, 2009.
- AMES, D.R.; NELLOR, J.E.; ADAMS, T. Energy balance during heat stress in sheep. **Journal of Animal Science**, v.32, p.784-788, 1971.
- ANDRADE, I.S; SOUZA, B.B; PEREIRA FILHO, J.M. Parâmetros fisiológicos e desempenho de ovinos Santa Inês submetidos a diferentes tipos de sombreamentos e a suplementação em pastejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 540-547, 2007.
- ARIAS, R.; MADER, T.L. **Effects of environmental factors on body temperature of feedlot cattle**. **Nebraska Beef Cattle Report**, p. 102-104, 2009. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/animalscincbcr/510>. Acesso em 02 de janeiro de 2014.
- AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991, 332p.
- ALENCAR, M.M.; MASCIOLI, A.S.; FREITAS, A.R. Evidências de interação genótipo × ambiente sobre características de crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 489-495, 2005.
- BACCARI JUNIOR, F. Manejo ambiental para produção de leite em climas quentes. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2, 1998, Goiânia.-GO. **Anais**, Goiânia: SBBiomet, p. 136-161.
- BACCARI JUNIOR, F. et al. Um novo índice de tolerância ao calor para bubalinos. Correlação com o ganho de peso. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 23, Campo Grande, 1986. **Anais**. p. 316.
- BASILE, R.C. et al. A. Guia prático de exames termográficos em equinos. **Revista Brasileira de Medicina Equina**, v. 6, n. 31, p. 24-28, 2010.
- BATISTA, N.L. et al. Tolerância ao calor em ovinos de pelames claro e escuro submetidos ao estresse térmico. **Journal of Animal Behaviour Biometereology**. v. 2, n. 3, p. 102-108, 2014.
- BAUMGARD, L.H.; RHOADS, R.P. Ruminant Production and Metabolic Responses to Heat. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 1855-1865, 2012.

- BENEZRA, M.V. A new index measuring the adaptability of cattle to tropical conditions, **Journal of Animal Science**, v. 13, p. 1015, 1954.
- BERNABUCCI, U. et al. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. **Animal**, v. 4, p. 1167–1183, 2010.
- BERTIPAGLIA, E.C.A.; SILVA, R.G.; CARDOSO, V.; FRIES, L.A. Desempenho reprodutivo, características do pelame e taxa de sudação em vacas da raça Braford. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 9, 1573-1583, 2008.
- BICEGO, K.C.; BARROS, R.C.H.; BRANCO, L.G.S. Review Physiology of temperature regulation: Comparative aspects. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 147, p. 616–639, 2007.
- BOULANT, J.A. Hypothalamic neurons: mechanisms of sensitivity to temperature. **Annals of New York Academic Science**, v. 856, p. 108–115, 1998.
- BOHMANOVA, J.; MISZTAL, I.; COLE, J.B. Temperature-Humidity Indices as indicators of milk production losses due to heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 1947-1956, 2007.
- BRIOSCHI, M.L.; MACEDO, J.F.; MACEDO, R.A.C. Skin thermometry: new concepts. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 2, p. 151-160, 2003.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTO, G.H. **Shade management system to reduce heat stress for dairy cows**. St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1982, 16p.
- CARLSON, N.R. **Fisiologia do comportamento**. 7. ed. Barueri-SP: Manole, 2002, 699p.
- CARTAXO, F.Q.; CEZAR M.F.; SOUSA, W.H. Características quantitativas das carcaças de cordeiros terminados em confinamento e abatidos em diferentes condições corporais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 697-704, 2009.
- CASTRO, A.C. et al. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2395-2402, 2008.
- COULTER, G.H.; SENGER, P.L.; BAILEY, R.C. Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. **Journal of Reproduction and Fertility**, v. 84, p. 417–423, 1988.
- DURAIRAJANAYAGAM, D.; AGARWAL, A.; ONG, C. Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. **Reproductive BioMedicine Online**, v. 30, p. 14–27, 2014.
- DURRANT, B.S. et al. New technologies for the study of carnivore reproduction. **Theriogenology**, v. 66, n. 6-7, p. 1729-1736, 2006.
- ESTEVES, S.N. et al. **Provas de desempenho de ovinos da raça Morada Nova dos produtores da região de Franca: Resultados e aplicações (Resultado das avaliações da**

pele de ovinos da raça Morada Nova). São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013, p. 21-23, (Série Documentos), v.1.

EUSTÁQUIO FILHO, A. et al. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 8, p. 1807-1814, 2011.

FAÇANHA, D.A.E. et al. Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 1, p. 91-103, 2013.

FRANDSON, R.D.; LEE WILKE W.; FAILS, A.D. **Anatomia e fisiologia dos animais de fazenda**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. p. 188.

GARCIA, A.R. Conforto termico de bubalinos criados em condições tropicais. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 37, n. 2, p. 121-130, 2013.

GAUGHAN, J.B. et al. A new heat load index for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 226-234, 2008.

GUZELOGLU, A. et al. Long-term follicular dynamics and biochemical characteristics of dominant follicles in dairy cows subjected to acute heat stress. **Animal Reproduction Science**, v. 66, n. 1-2, p. 15-34, 2001.

HABEEB, A.A.M.; MARAI, I.F.M.; KAMAL, T.H. Heat stress. In: PHILIPS, C., PIGHINS, D. (Eds), **Farm animals and the environment**. CAB international, Wallingford, UK, 1992, pp. 27-47.

HANSEN, P.J.; FUQUAY, J.W. Heat stress: effects on reproduction. In: FUQUAY, J.W.; FOX, P.F.; McSWEENEY, P.L.H. **Encyclopedia of dairy sciences**. v. 4, San Diego: Academic Press, 2011, p. 567-574.

HANSEN, P.J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 364, n. 1534, p. 3341–3350, 2009.

HELDMAIER, G.; ORTMANN, S.; ELVERT, R. Natural hypometabolism during hibernation and daily torpor in mammals. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 141, n. 3, p. 317-329, 2004.

HOLMES, C.W. A note on the protection provided by the hair coat or fleece of the animal against the thermal effects of simulated rain. **Animal Production**, v. 32, p. 225-226, 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal – Efetivo dos rebanhos de médio porte em 31.12, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação - 2011**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas>>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2013.

JACINTO, M.A.C.; SILVA SOBRINHO, A.G.; COSTA, R.G. Características anatômico-estruturais da pele de ovinos (*Ovis aries*, L.) lanados e deslanados, relacionadas ao aspecto físico-mecânico do couro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 4, p. 1001-1008, 2004.

JANNES, P. et al. Male subfertility induced by acute scrotal heating affects embryo quality in normal female mice. **Human Reproduction**, v. 13, n. 2, p.372-375, 1998.

JOHNSON, E.O. et al. Mechanisms of Stress: A dynamic overview of hormonal and behavioral homeostasis. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, v. 16, p. 115-130, 1992.

KASTELIC, J.P. Understanding and evaluating bovine testes. **Theriogenology**, v. 81, n. 1, p.18-23, 2014.

KASTELIC, J.P.; COOK, R.B.; COULTER, G.H. Contribution of the scrotum , testes and testicular artery to scrotal and testicular thermoregulation in bulls at two ambient temperatures. **Science**, v. 45, p. 255-261, 1997.

KASTELIC, J.P.; COOK, R.B.; COULTER, G.H. Contribution of the scrotum and testes to scrotal and testicular thermoregulation in bulls and rams. **Journal of Reproduction and Fertility**, v. 108, p. 81-85, 1996.

KOTRBA, R. et al. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 32, n. 6, p. 355-359, 2007.

LUZ, C.S.M. et al. Estimativas de características termorreguladoras de ovinos em período seco e chuvoso criados na região do vale do gurguéia, sul do estado do piauí. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 1, p. 19-24, 2014.

LUZI, F. et al. **Thermography: Current status and advances in livestock animals and in Veterinary Medicine**. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche:Brescia, v. 1, p. 236, 2013.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; ANDRADE, P.C. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos em câmara climática. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 104-108, 2009.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; 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. 3, p. 843-853, 2003.

MALAMA, E. et al. Chromatin integrity of ram spermatozoa relationships to annual fluctuations of scrotal surface temperature and temperature-humidity index. **Theriogenology**, v. 80, n. 5, p. 533-41, 2013.

MARAI, I.F.M. et al. Fattening performance, some behavioural traits and physiological reactions of male lambs fed concentrates mixture alone with or without natural clay, under hot summer of Egypt. **Annals of Arid Zone**, v. 39, n. 4, p. 449-460, 2000.

MARAI, I.F.M. et al. Physiological traits as affected by heat stress in sheep - a review. **Small Ruminant Research**, v. 71, n. 1-3, p. 1-12, 2007.

- McMANUS, C. et al. Infrared thermography to evaluate heat tolerance in different genetic groups of lambs. **Sensors**, v. 15, n. 7, p. 17258-17273, 2015.
- McMANUS, C.; PAIVA S.R.; ARAÚJO, R.O. Genetics and breeding of sheep in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 236-246, Suppl, 2010.
- McMANUS, C. et al. 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, 2011.
- McMANUS, C. et al. Heat tolerance in Brazilian sheep: Physiological and blood parameters. **Tropical Animal Health and Production**, v. 41, n. 1, p. 95-101, 2009.
- MENEGASSI, S.R.O. et al. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 3, p. 357-364, 2015.
- MERCER, J.B.; SIMON, E. A comparison between total body thermosensitivity and local thermosensitivity in mammals and birds. **Pflügers Archiv**, v. 400, n. 3, p. 228-234, 1984.
- MIEUSSET, R. et al. The effects of heating the testes and epididymides of rams by scrotal insulation on fertility and embryonic mortality in ewes inseminated with frozen semen. **Journals of Reproduction & Fertility**, v. 94, p. 337-343, 1992.
- MOLETO, C.F.M. Bem-estar e produção animal: aspectos econômicos-revisão. **Archives of Veterinary Science**, v. 10, n. 11, p. 1-11, 2005.
- MORAIS, O. R. Melhoramento genético de ovinos no Brasil: situação e perspectivas. In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE MELHORAMENTO ANIMAL, 3, 2000, Belo Horizonte. **Anais do III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2000. p. 266-272.
- MOREIRA, E.P. et al. Efeitos da Insulação Escrotal sobre a Biometria Testicular e Parâmetros Seminais em Carneiros da Raça Santa Inês Criados no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 1704-1711, 2001.
- MULLER, P.B. **Bioclimatologia aplicada aos animais domésticos**. 3. ed. Porto alegre: Sulina, 1989. 262p.
- OZAWA, M. et al. Alterations in follicular dynamics and steroidogenic abilities induced by heat stress during follicular recruitment in goats. **Reproduction**, v. 129, n. 5, p. 621-630, 2005.
- PARVINEN, M. et al. Expression of B-nerve growth factor and its Receptor in rat seminiferous epithelium: specific function at the onset of meiosis. **Journal of Cell Biology**, v. 117, p. 629-64, 1992.
- PEREIRA, J.C.C. **Fundamentos de bioclimatologia aplicados à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2005. 195p.

RAMIRES NETO, C. et al. The relationships between scrotal surface temperature, age and sperm quality in stallions. **Livestock Science**, v. 157, p. 358-363, 2013.

RANDALL, D.; BURGRREN, W.; FRENCH, K. **Fisiologia Animal - Mecanismos e Adaptações**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A., 2000.

REGNAULT, T.R.H. et al. Placental expression of VEGF, PlGF and their receptors in a model of placental insufficiency-intrauterine growth restriction (PI-IUGR). **Placenta**, v. 23, n. 2-3, p. 132-144, 2002.

RENAUDEAU, D. et al. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.

RIVERA, R.M.; HANSEN, P.J. Development of cultured bovine embryos after exposure to high temperatures in the physiological range. **Reproduction**, v. 121, n. 1, p. 107-115, 2001.

ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B. Utilização da termografia de infravermelho na medicina veterinária e na produção animal. **Journal of Animal Behaviour Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 73-84, 2014.

SCHOLTZ, M.M. et al. The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. **Natural Science**, v. 5, n. 1A, p. 106-119, 2013.

SANTOS, J.R.S. et al. Respostas fisiológicas e gradientes térmicos de ovinos das Santa Inês, Morada Nova e de seus cruzamentos com a raça Dorper às condições do semiárido nordestino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n.5, p. 1-6, 2006.

SHEBAITA, M.K.; EL-BANNA, I.M. Heat load and heat dissipation in sheep and goats under environmental heat stress. In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ANIMAL AND POULTRY PRODUCTION, 6, 1982, Zagazig. **Proceedings...** Zagazig: University of Zagazig, 1982, 21-23.

SEJIAN, V. et al. Effect of multiple stresses on growth and adaptive capability of Malpura ewes under semi-arid tropical environment. **Tropical Animal Health and Production**, v. 45, p. 107-116, 2013.

SEJIAN, V.; MAURIA, V.P.; NAQVY, S.M.K. Adaptive capability as indicated by endocrine and biochemical responses of Malpura ewes subjected to combined stress (thermal and nutritional) in a semiarid tropical environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, p. 653-661, 2010.

SETCHELL, B.P. The Parkes Lecture. Heat and the testis. **Journal of Reproduction and Fertility**, v. 114, p. 179-194, 1998.

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

SILVA, R.G.; MAIA, A.S.C. **Principles of animal biometereology**. 1. ed. New Zealand: Springer Science & Business Media, 2013, 265p.

SILVA, R.G.; STARLING, J.M.C. Evaporação cutânea e respiratória em ovinos sob altas temperaturas ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1956-1961, 2003.

SILVA, R.G. et al. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. **International Journal of Biometeorology**, v. 46, n. 3 p. 136–140, 2002.

SILVA, R.G. **Introdução à Bioclimatologia Animal**. São Paulo, Nobel, 2000. 286p.

SOUSA, W.H.; LÔBO, R.N.B.; MORAIS, O.R. **Ovinos Santa Inês: estado da arte e perspectivas**. 2003. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86181/1/AAC-Ovinos-Santa-Ines.pdf>>. Acesso: 27 maio de 2014.

SOUZA, W. et al. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 3, p. 677-684, 2010.

SOUZA, D.A. **Carne ovina no Uruguai e sua relação com o mercado brasileiro**. FarmPoint ovinos e caprinos. 21/12/2009 Disponível em <http://www.farmpoint.com.br/carne-ovina-no-uruguai-e-sua-relacao-com-o-mercado-domestico-brasileiro_noticia_59404_1_2_.aspx>. Acesso: 18 de fevereiro. 2014.

STARLING, J.M.C. et al. Análises 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.

STRASSBURG, B.B.N. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 84–97, 2014.

TALUKDER, S. et al. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, v. 83, n. 4, p. 739-748, 2015.

TILBROOK, A.J.; TURNER, A.I.; CLARKE, I.J. Effects of stress on reproduction in non-rodent mammals: the role of glucocorticoids and sex differences. **Reviews Reproduction**, v. 5, p. 105-113, 2000.

TITTO, C.G. et al. Heat tolerance and the effects of shade on the behavior of Simmental bulls on pasture. **Animal Science Journal**, v. 82, p. 591-600, 2011.

THOM, E.C. Cooling degrees - day air conditioning, heating, and ventilating. **Transactions of the ASAE**, v. 55, n. 7, p. 65-72, 1959.

TORRES-JÚNIOR, J.R.S. et al. Effect of maternal heat-stress on follicular growth and oocyte competence in *Bos indicus* cattle. **Theriogenology**, v. 69, p. 155-166, 2008.

4 ARTIGO 1 - CARACTERÍSTICAS ADAPTATIVAS DA PELE E PELAME FAVORECEM A TERMORREGULAÇÃO E A QUALIDADE SEMINAL DE OVINOS SELECIONADOS EM AMBIENTE TROPICAL

Adaptive features of skin and hair coat favor thermoregulation and semen quality of rams selected in tropical environment.

*O artigo segue as normas do periódico Small Ruminant Research, ao qual será submetido.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os ajustes termorreguladores da superfície cutânea, sistêmicos e testiculares, e sua interferência na qualidade seminal de ovinos naturalizados criados em ambiente tropical. O estudo foi realizado em região de clima tropical de altitude, no Brasil, compreendendo as estações climáticas de verão, outono, inverno e primavera. Dezesseis machos ovinos das raças Santa Inês-SIN (n=9) e Morada Nova-MN (n=7) foram avaliados mensalmente, quanto às características de pelame, pele, parâmetros fisiológicos, taxa de sudação, frequência respiratória, frequência cardíaca, temperatura retal e temperaturas „superficiais do pelame, da pele e do escroto. Adicionalmente foram avaliadas a qualidade seminal e os aspectos ultrassonográficos de testículos. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias, adotando 5% de significância. As modificações morfométricas do pelame foram observadas principalmente raça SIN, a qual apresentou pelagem de verão e de inverno bem distintas ($P<0,05$), enquanto ovinos MN apresentaram acomodação sazonal apenas da densidade pilosa. No verão foram observados maiores valores de área de glândula sudorípara e taxa de sudação, independentemente do genótipo. Os parâmetros fisiológicos, taxa de sudação e as temperaturas superficiais variaram entre as estações e entre turnos, sendo observados os maiores valores para as tardes da primavera e do verão. A qualidade seminal se manteve ao longo do ano para ambas as raças, sendo encontrada superioridade da raça MN para alguns parâmetros seminais. A avaliação ultrassonográfica mostrou aumento da heterogeneidade de parênquima durante o verão. Desse modo, apesar da elevação dos parâmetros ocorridos no verão, ovinos MN e SIN possuem atributos anátomo-funcionais que os tornam eficientes quanto à dissipação de calor nos trópicos, sem maior comprometimento reprodutivo.

Palavras-chave: Ovinos, Raças naturalizadas, Ambiente tropical, Termorregulação, Qualidade seminal, Santa Inês, Morada Nova.

INTRODUÇÃO

Projeções futuras apontam para expansão e intensificação da produção agropecuária da região intertropical do planeta, a fim de suprir a necessidade alimentar da crescente população mundial (Renaudeau et al., 2012; Scholtz et al., 2013). Entretanto, o clima tropical é considerado um fator restritivo à maior produtividade na pecuária, em função do estresse calórico facilmente estabelecido nos animais (Garcia, 2013; Strong et al., 2015). Assim como outros animais de produção (Kadzere et al., 2002; Garcia et al., 2011; Bova et al., 2014; Lida e Koketsu, 2015), os ovinos também estão sujeitos aos efeitos negativos do calor tropical (Marai et al., 2007; Salehian et al., 2015) e necessitam dissipar o excesso de calor metabólico e de calor absorvido do meio (Randall et al., 2000). Por isso, o clima tropical pode se tornar hostil à ovinocultura, em função da constância dos elementos climáticos estressores, o que pode ocasionar sobrecarga termorregulatória até mesmo para ovinos de raças consideradas adaptadas a esses ambientes (McManus et al., 2015).

Quando submetidos a temperaturas ambientais constantemente elevadas, reprodutores ovinos tornam-se mais susceptíveis à elevação da temperatura escrotal e à degeneração testicular (Rasooli et al., 2010). Essa situação pode ocasionar redução na qualidade seminal e estabelecimento de quadros de infertilidade ou subfertilidade (Marai et al., 2007; Garcia, 2013). Tanto a temperatura absoluta de diferentes porções dos testículos quanto o gradiente térmico testicular de animais têm se mostrado interessantes indicadores da qualidade seminal (Menegassi et al., 2015) e da fertilidade (Lunstra e Coulter, 1997) de animais criados a campo.

Sendo animais homeotérmicos, os ovinos possuem complexos e interligados mecanismos para a manutenção da estabilidade térmica interna. Quando há retenção excessiva de calor corpóreo, a pele e os pelos desempenham papel importante para a perda de calor (Singh et al., 2014). Nos ovinos, a capacidade de transmissão do calor por convecção, condução e radiação está intimamente atrelada à natureza estrutural da pele e da pelagem (Gebremedhin et al., 1997), sendo que a morfometria e a densidade dos pelos interferem diretamente na termólise (Singh et al., 2014), ou seja, na capacidade de dissipação do calor corpóreo. Por isso, uma das estratégias para incremento da fertilidade nos sistemas de produção animal em ambiente tropical é o uso de reprodutores de raças produtivas e mais resilientes ao desafio térmico. Genótipos ovinos desenvolvidos nos trópicos, como as raças Morada Nova e Santa Inês, apresentam em tese maior possibilidade de resistirem ao calor, pois foram selecionados em ambientes de climas megatérmicos, além de possuírem atributos

como rusticidade, prolificidade, bom rendimento de carcaça e adaptabilidade (Rajab et al., 1992).

Diante disso, o conhecimento das características morfológicas e funcionais adaptativas ao ambiente tropical pode subsidiar a escolha do genótipo a ser utilizado, seja como base para programas de melhoramento ou conservação de patrimônio genético. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar ao longo do ano as modificações anátomo-fisiológicas de pelame e pele relacionadas à capacidade de perda de calor corpóreo, sua relação com a capacidade de manutenção da homeotermia e com a qualidade seminal de machos ovinos das raças Morada Nova e Santa Inês criados em ambiente tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e caracterização climática

As atividades experimentais foram realizadas entre janeiro e dezembro de 2014, na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP, Brasil (Latitude: 21°96'00"S, Longitude: 47°84'18"W, altitude 854 m). O tipo climático da região é Cwa, tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Kottek et al. 2006), apresentando inverno seco e verão quente. Ao longo do ano, ocorrem quatro estações climáticas definidas: verão (21 de dezembro a 20 de março), outono (21 de março a 20 de junho), inverno (21 de junho a setembro) e primavera (21 de setembro a 20 de dezembro) (CPPSE, 2014).

Monitoramento das variáveis climáticas

Durante o período experimental, as variáveis climáticas de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), precipitação pluviométrica (mm) e radiação solar global (MJ/m²) foram monitoradas em estação meteorológica automática localizada a 400 metros do local de alojamento dos animais. Posteriormente, foi calculado o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o qual é indicador das condições ambientais relacionadas ao conforto animal. Optou-se pela fórmula específica para ovinos, a seguir: $ITU = db - \{(0,31 - 0,31UR) (db - 14,4)\}$, onde db é a temperatura do ar (°C) aferida em termômetro de bulbo seco, e UR é o valor da umidade relativa do ar (UR%)/100. Os valores de ITU obtidos indicam o seguinte: <22,2 = ausência de estresse térmico; 22,2 a <23,3 = estresse térmico moderado; 23,3 a <25,6 = estresse térmico severo; e $\geq 25,6$ = estresse térmico muito severo (Marai et al., 2007).

Animais experimentais e manejo

Dezesseis machos ovinos (*Ovis aries*) adultos e sadios foram estudados. Os animais foram distribuídos em dois grupos experimentais, de acordo com seu genótipo: Grupo Santa Inês (SIN, n=9, pelame preto, 51,0±3,8 kg) ou Grupo Morada Nova (MN, n=7, pelame vermelho, 40,6±4,3kg) (Anexo A). Ambos os genótipos são deslanados, desenvolvidos no Brasil e adaptados ao clima tropical. Os animais foram semiconfinados em lote único, em piquete de 900m² com sombreamento natural mínimo. A alimentação foi composta por volumoso (silagem de milho e *Cynodon nlemfuensis*), concentrado a 2% (grão de milho, farelo de soja, calcário calcítico e sal mineral para ovinos) e água *ad libitum*.

Delineamento experimental

Os grupos experimentais foram monitorados ao longo das quatro estações climáticas, considerando os atributos do pelame e da pele, a taxa de sudção, os parâmetros fisiológicos, a qualidade seminal e a integridade de parênquima testicular. Somente as amostras pele foram obtidas nos meses mais representativos dos extremos climáticos (verão e inverno). Os dados de sudção e das variáveis fisiológicas foram aferidos mensalmente nos turnos da manhã e da tarde. As amostras de pelame, bem como a avaliação seminal e a análise ultrassonográfica dos testículos foram avaliados mensalmente, sendo esta última realizada durante os meses componentes do verão e do inverno. Os dados coletados mensalmente foram posteriormente agrupados por estação climática para avaliação do comportamento sazonal.

Avaliação das características da pele

Dois fragmentos de pele foram colhidos da região escapular, previamente submetida à anestesia local infiltrativa (cloridrato de lidocaína 2%, sem vasoconstritor). Os fragmentos (Anexo A) foram removidos com auxílio de punch de 8 mm de diâmetro e então fixados em solução de formalina (McManus et al., 2011) para posterior processamento histotécnico padrão. Foram realizados seis cortes transversais e seis longitudinais fixados em lâmina de vidro, e posteriormente corados com tricômica de Masson (Chang et al., 2008). Os cortes histológicos foram dispostos em microscópio óptico para a obtenção de imagens digitalizadas, de forma seriada e padronizada. Nas imagens dos cortes transversais (Anexo A), foram quantificados os folículos primários (FP, número/mm²) e secundários (FS, número/mm²). Os primeiros foram diferenciados por sua associação com o ducto secretor das glândulas

sudoríparas. A densidade de folículos pilosos foi dada pela somatória dos folículos primários e secundários (DFP, número/mm²) (Moore et al., 2015). Nas imagens dos cortes longitudinais (Anexo A), foi feita a mensuração da área da porção secretora das glândulas sudoríparas (AGS, µm²). As mensurações foram feitas usando o programa Image J (Anexo A) (Rajwa et al., 2004; Moore et al., 2015). A proporção da área glandular em relação ao epitélio (PAG, %) foi obtida pela razão centesimal da somatória das áreas glandulares em relação à área total da imagem avaliada (McManus et al., 2011).

Avaliação das características de pelame

Para determinação da coloração dos pelos, ao início do experimento uma amostra de cada animal foi coletada na região do tronco com auxílio de alicate adaptado (Silva, 2000). As fibras pilosas foram então submetidas à digestão com ureia, cujo produto dessa reação foi disposto em espectrofotômetro, o qual gerou valores de absorbância relacionados à quantidade de melanina intrínseca aos pelos (Schleger, 1962).

A espessura de capa (mm) foi determinada *in situ* com uso de paquímetro posicionado no tronco do animal, 20 cm abaixo da coluna vertebral (Silva, 2000). Para a análise de comprimento e diâmetro dos pelos foram retiradas quatro amostras na mesma região anatômica em que foi realizada a aferição da espessura de capa, por meio de alicate adaptado (Anexo B). Em seguida, foi realizada a seleção das dez maiores unidades pilosas, as quais foram submetidas à aferição do comprimento (mm), com auxílio de paquímetro digital. Sucessivamente, cada pelo foi fotografado por câmera digital acoplada a microscópio óptico, sob aumento de 200x. Cada imagem foi analisada em programa específico para editoração de imagem, a fim de determinar o diâmetro dos pelos (µm). Os resultados de comprimento e diâmetro foram gerados a partir da média aritmética de cada amostra.

Determinação da taxa de sudação e variáveis fisiológicas

As variáveis descritas a seguir foram mensuradas nos turnos da manhã (8:00-9:00h) e da tarde (14:00-15:00h) (Roda et al., 1992), durante três dias consecutivos. A taxa de sudação (TXS, g/m²/h) foi avaliada na pele da região escapular, previamente tricotomizada e submetida à técnica de Schleger e Turner (1965) (Anexo B). A frequência respiratória (FR, mov/min) foi obtida por inspeção da região tóraco-abdominal e contagem dos movimentos respiratórios durante um minuto. A temperatura retal (TR, °C) foi determinada com uso de

termômetro clínico veterinário (escala até 44°C). A frequência cardíaca (FC, bat/min) foi determinada pela contagem dos movimentos cardíacos por minuto (Correa *et al.* 2013). As temperaturas superficiais da frente (TF, °C) do pelame (TS, °C), da pele (TP, °C), do funículo espermático (TFE, °C), do polo dorsal testicular (TPD, °C), polo ventral testicular (TPV, °C) e da cauda do epidídimo (TEP, °C) foram aferidas em tempo real por meio de termômetro digital infravermelho com mira a laser (ST-600, Incoterm, Brasil) posicionado perpendicularmente a 0,3 m da região analisada. As temperaturas do pelame e da pele foram obtidas da região interescapular, sendo realizado o afastamento dos pelos para a aferição da temperatura da pele. A avaliação das temperaturas das estruturas reprodutivas compreendeu a análise bilateral dos cordões espermáticos, polos dorsal e ventral dos testículos e cauda do epidídimo. O resultado da temperatura de cada estrutura foi apresentado como a média das estruturas contralaterais.

Posteriormente, foram calculados quatro gradientes de temperatura (°C), a saber: DIF1 = diferença entre temperatura retal e temperatura do funículo espermático; DIF2 = diferença entre temperatura retal e do polo testicular ventral; DIF3 = diferença entre temperatura retal e da cauda do epidídimo; DIF 4 = diferença entre temperatura do polo testicular dorsal e do polo testicular ventral.

Coleta e avaliação do sêmen

A qualidade seminal foi monitorada quinzenalmente, com uso da vagina artificial (Moore, 1985). Após a coleta, a amostra seminal foi mantida a 36°C até a finalização das análises imediatas, realizadas conforme CBRA (2013). Foram considerados como parâmetros mais relevantes: número de espermatozoides totais (NSE, $\times 10^9$), motilidade espermática progressiva (MP, %), integridade da membrana plasmática dos espermatozoides (IMP, %) e a morfologia espermática. Para a determinação da variável NSE, foi primeiramente calculada a concentração espermática ($\times 10^9$ sptz/mL) pela contagem de espermatozoides em câmara de Neubauer (diluição de 1:400). Posteriormente, multiplicou-se o valor da concentração pelo volume do ejaculado, o resultado corresponde ao NSE. A motilidade espermática progressiva foi avaliada em microscopia óptica, sob aumento de 100X. A integridade da membrana plasmática dos espermatozoides foi avaliada por meio do teste hiposmótico, que consiste na incubação de alíquota seminal em solução hiposmótica (água, citrato e frutose, a 150 mOsm/L). Posteriormente, 400 células foram contadas em microscópio de campo claro, sendo classificadas de acordo com a curvatura apresentada pelas caudas: células portadoras de

membrana plasmática intacta (cauda dobrada ou enrolada) ou células com membrana plasmática lesada (cauda reta). O resultado foi apresentado em porcentagem (Gundogan et al., 2010). A morfologia espermática foi realizada pela técnica da gota úmida, após fixação de alíquota seminal em solução de formol salino (Phetudomsinsuk et al., 2008). Posteriormente, foi realizada a contagem de 200 células em microscópio de contraste de fase (E-200, Nikon, Japão), as quais foram classificadas como portadoras de defeitos espermáticos em maiores (DEFMA, %) ou menores (DEFME, %), e sua somatória expressaram os defeitos totais (DEFT, %) (Bloom, 1973).

Avaliação ultrassonográfica do parênquima testicular

O exame ultrassonográfico dos testículos direito e esquerdo foi feito em modo B (DP-20 Vet®, Mindray, China) considerando a homogeneidade e à presença de pontos hiperecoicos no parênquima (Alves, 2014). A homogeneidade foi classificada em escala de 0 a 2, sendo 0 = parênquima homogêneo (ausência de pontos anecoicos patológicos), 1 = pouco heterogêneo (presença de poucos pontos anecoicos patológicos) e 2 = muito heterogêneo (presença de muitos pontos anecoicos patológicos). A hiperecogenicidade do parênquima foi classificada em escala de 0 a 3, sendo 0 = ausência de pontos hiperecoicos; 1 = presença de até cinco pontos hiperecoicos, 2 = presença de mais de cinco pontos hiperecoicos próximos ao mediastino e distanciados, 3 = presença de mais de cinco pontos hiperecoicos difusos no parênquima testicular (Anexo C). Os resultados da homogeneidade e da hiperecogenicidade do parênquima foram apresentados como a média dos testículos contralaterais.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à avaliação descritiva, seguida da análise de variância realizada pelo procedimento GLM do SAS (SAS, 2010). Para as variáveis de pele, de pelame, de sêmen e parâmetros ultrassonográficos foram avaliados os efeitos de raça (MN e SIN) e da estação (verão, outono, inverno, primavera) e suas interações, seguindo o modelo: $Y = \text{raça} + \text{animal (raça)} + \text{estação} + \text{raça*estação} + \text{erro}$. Para os parâmetros fisiológicos foram considerados os efeitos de raça, estação e turno (manhã e tarde) e suas interações, seguindo o modelo: $Y = \text{raça} + \text{animal (raça)} + \text{turno} + \text{raça*turno} + \text{animal (raça*turno)} + \text{estação*turno} + \text{raça*estação} + \text{raça*turno*estação} + \text{erro}$. O efeito animal (raça) foi o erro considerado para testar raça. A comparação múltipla entre médias foi feita por meio da opção

LSMEANS. O grau de associação entre as variáveis foi determinado pela correlação de Pearson. O grau de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

Variáveis climáticas

A variação dos elementos climáticos ocorrida ao longo do ano pode ser observada na Figura 1. Os meses mais quentes do ano (dezembro, janeiro e fevereiro) apresentaram elevadas temperaturas e umidade relativa do ar. Consequentemente, o ITU médio dessa época do ano indicou condição de estresse moderado (valores entre 22,2 e 23,3), e em condições máximas o ITU suplantou 31,0°C, indicando situação de estresse muito severo.

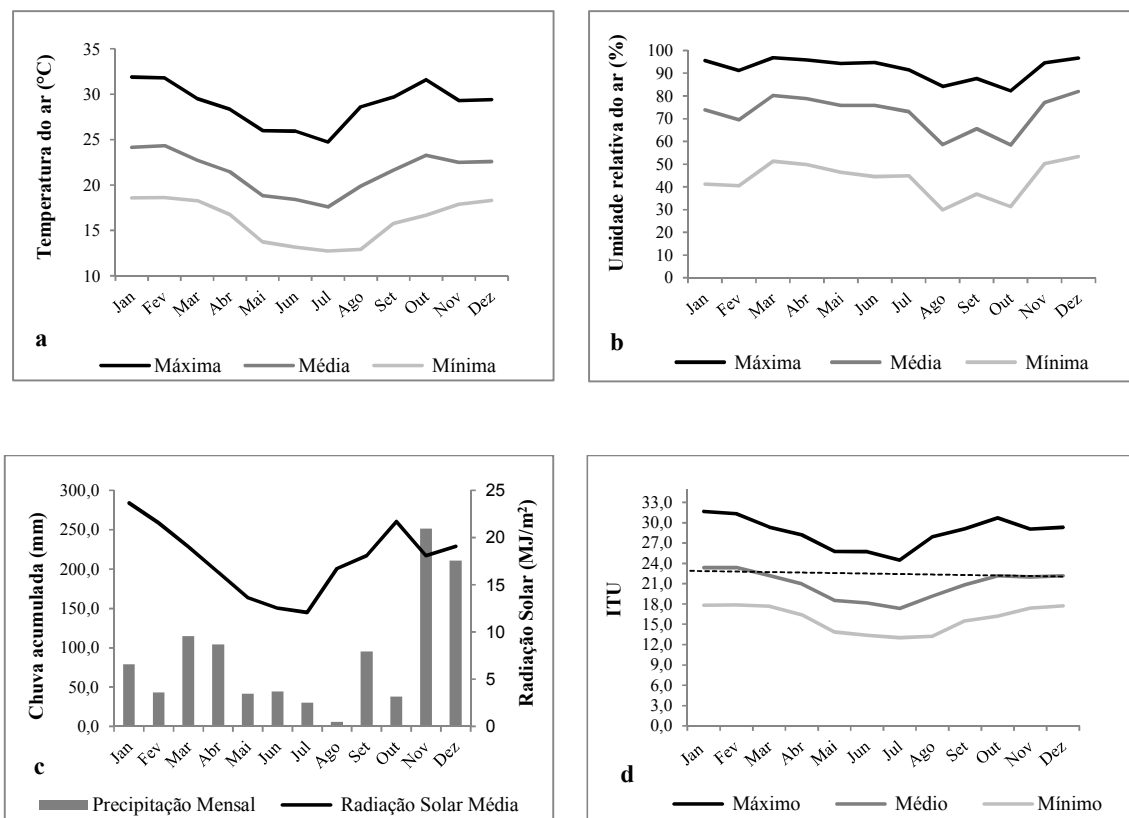


Figura 1 - Perfis de (a) temperatura do ar (máxima, média e mínima), (b) umidade relativa do ar (máxima, média e mínima), (c) precipitação pluviométrica acumulada e radiação solar média diária e (d) ITU = Índice de Temperatura e Umidade (máximo, médio e mínimo) registrados ao longo do período experimental (ano de 2014). A linha pontilhada no gráfico (d) indica valor de referência, acima do qual ovinos apresentam estresse térmico severo (Marai *et al.* 2007).

Aspectos morfométricos do pelame e da pele

A absorvância dos pelos dos animais MN foi $1,3 \pm 0,04$, enquanto que animais SI apresentaram absorvância $1,9 \pm 0,04$, significativamente maior ($P=0,01$). Durante o verão, o número de folículos pilosos primários para animais MN foi menor que no inverno. Também no verão, observou-se que o número de folículos secundários e a densidade de folículos pilosos foram menores que no inverno, em ambos os genótipos (Tabela 1).

A área média das glândulas sudoríparas foi significativamente maior no verão, independentemente da raça (Tabela 2). A proporção de área glandular apresentou o mesmo comportamento, embora a diferença significativa entre estações tenha sido observada para os animais SIN. Ovinos MN apresentaram maiores proporções glandulares que os SIN.

Tabela 1 - Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) de folículos pilosos primários (FP, número/mm²), secundários (FS, número/mm²), proporção de folículos secundários e primários (FS/FP) e densidade pilosa (DFP número/mm²) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliadas durante verão e inverno, em ambiente tropical.

Variável	Raça	Estação Climática	
		Verão	Inverno
FP	MN	$4,4 \pm 0,19^{Ab}$	$5,6 \pm 0,19^{Aa}$
	SIN	$4,7 \pm 0,17^{Aa}$	$4,3 \pm 0,17^{Ba}$
FS	MN	$13,4 \pm 0,87^{Ab}$	$17,2 \pm 0,87^{Aa}$
	SIN	$13,8 \pm 0,77^{Ab}$	$16,1 \pm 0,77^{Aa}$
DFP	MN	$14,8 \pm 0,76^{Ab}$	$19,0 \pm 0,76^{Aa}$
	SIN	$15,4 \pm 0,67^{Aa}$	$17,1 \pm 0,67^{Aa}$

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente ($P < 0,05$).

a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente ($P < 0,05$).

Tabela 2 - Médias por quadrados mínimos (\pm erro) da área da glândula sudorípara (AGS, $\times 10^3 \mu\text{m}^2$) e proporção de área glandular em relação ao epitélio (PAG, %) da pele de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliadas no verão e inverno.

Variável	Raça	Estação Climática	
		Verão	Inverno
AGS	MN	25,2 \pm 1,58 ^{Aa}	18,1 \pm 1,58 ^{Ab}
	SIN	21,1 \pm 1,39 ^{Aa}	13,0 \pm 1,39 ^{Bb}
PAG	MN	10,0 \pm 0,62 ^{Aa}	8,7 \pm 0,62 ^{Aa}
	SIN	8,0 \pm 0,55 ^{Ba}	5,8 \pm 0,55 ^{Bb}

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente ($P < 0,05$).
a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente ($P < 0,05$).

Animais SIN apresentaram espessura de capa e comprimento de pelos maiores no inverno e menores no verão ($P < 0,05$) (Tabela 3). O diâmetro dos pelos desses animais apresentou aumento significativo entre inverno e primavera. A pelagem de ovinos MN não apresentou oscilação das variáveis estudadas. Os valores da espessura de capa para animais SIN foram maiores que os observados para MN durante o outono, o inverno e a primavera, ao passo que animais MN apresentaram maior diâmetro de pelo que os SIN ao longo do ano todo.

Tabela 3 - Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) da espessura de capa (ESP, mm), comprimento de pelos (COMP, mm) e diâmetro de pelos (DIAM, μm) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliados durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.

Variável	Raça	Estação Climática			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
ESP	MN	6,8 \pm 0,36 ^{Aa}	7,0 \pm 0,21 ^{Ba}	7,6 \pm 0,26 ^{Ba}	7,1 \pm 0,26 ^{Ba}
	SIN	7,3 \pm 0,32 ^{Ab}	7,6 \pm 0,18 ^{Ab}	8,3 \pm 0,23 ^{Aa}	7,8 \pm 0,23 ^{Aab}
COMP	MN	18,2 \pm 1,09 ^{Aa}	20,2 \pm 0,63 ^{Aa}	22,0 \pm 0,77 ^{Aa}	20,4 \pm 0,77 ^{Aa}
	SIN	17,9 \pm 0,96 ^{Ac}	21,2 \pm 0,55 ^{Ab}	23,8 \pm 0,68 ^{Aa}	20,2 \pm 0,68 ^{Abc}
DIAM	MN	184,8 \pm 4,69 ^{Aa}	182,0 \pm 2,71 ^{Aa}	186,5 \pm 3,32 ^{Aa}	189,3 \pm 3,32 ^{Aa}
	SIN	166,3 \pm 4,14 ^{Ba}	156,9 \pm 2,39 ^{Bab}	152,5 \pm 2,93 ^{Bb}	163,2 \pm 2,93 ^{Ba}

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente ($P < 0,05$).
a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente ($P < 0,05$).

Taxa de sudção e parâmetros fisiológicos

A taxa de sudção variou entre as estações climáticas e entre os turnos, para ambas as raças (Tabela 4), tendo sido observados os maiores valores no turno da tarde, no verão. O ITU das manhãs de verão e das tardes de outono, inverno e primavera indicou condição de estresse severo, enquanto que durante as tardes de verão houve indicativo de estresse muito severo (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) da taxa de sudção ($\text{g/m}^2/\text{h}$) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), monitorada nos turnos da manhã e da tarde, juntamente com o índice de temperatura e umidade (ITU) do momento da coleta, aferidos durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.

Raça	Turno	Estação Climática			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera
MN	Manhã	88,1 \pm 8,48 ^{Ba}	55,5 \pm 10,94 ^{Ab}	35,0 \pm 7,74 ^{Ab}	85,1 \pm 7,74 ^{Aa}
	Tarde	127,9 \pm 8,48 ^{Aa}	53,23 \pm 10,94 ^{Ac}	52,2 \pm 7,74 ^{Ac}	102,7 \pm 7,74 ^{Ab}
SIN	Manhã	110,0 \pm 7,47 ^{Ba}	55,8 \pm 9,65 ^{Ab}	37,2 \pm 6,82 ^{Bb}	92,6 \pm 6,82 ^{Aa}
	Tarde	138,8 \pm 7,47 ^{Aa}	80,2 \pm 9,65 ^{Ac}	63,8 \pm 6,82 ^{Ac}	106,6 \pm 6,82 ^{Ab}
ITU	Manhã	24,8 \pm 1,7	23,1 \pm 3,8	20,2 \pm 1,7	22,0 \pm 1,2
	Tarde	27,4 \pm 1,9	25,5 \pm 3,2	25,1 \pm 1,6	25,6 \pm 1,8

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente, dentro de raça ($P<0,05$).

a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente ($P<0,05$).

A frequência respiratória foi sempre mais elevada no período da tarde ($P<0,05$), havendo diferença significativa nos valores observados durante o outono, independentemente do genótipo (Tabela 5). A temperatura retal variou entre estações climáticas e entre turnos, com maiores valores expressos no período da tarde, principalmente do verão. Animais SIN apresentaram temperatura retal mais elevada que os MN ($P<0,05$), independente da estação do ano, com exceção do período vespertino do verão, quando houve equiparação dos valores entre raças. A FC cardíaca foi maior no turno vespertino tanto para animais MN quanto para SIN. Os valores mais elevados foram observados no verão e os menores no outono e inverno, para ambas as raças. Ao longo do ano, animais MN apresentaram FC superior que a de ovinos SIN. O ITU das tardes de inverno e outono apontou condição de estresse severo, enquanto que

durante a primavera e o verão, as condições climáticas foram condizentes com estresse muito severo para ovinos (Tabela 5).

Tabela 5 - Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) da frequência respiratória (FR, mov/min), frequência cardíaca (FC, bat/min) e da temperatura retal (TR, °C) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), juntamente com o índice de temperatura e umidade (ITU) do momento da coleta, aferidos durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.

Variável-		Estação Climática			
Raça	Turno	Verão	Outono	Inverno	Primavera
FR – MN	Manhã	25,2 \pm 3,68 ^{Ba}	18,3 \pm 2,72 ^{Ba}	21,5 \pm 3,19 ^{Ba}	19,1 \pm 3,19 ^{Ba}
	Tarde	62,6 \pm 3,68 ^{Aab}	46,6 \pm 2,72 ^{Ac}	71,5 \pm 3,19 ^{Aa}	58,4 \pm 3,19 ^{Ab}
FR – SIN	Manhã	30,5 \pm 3,25 ^{Ba}	20,2 \pm 2,40 ^{Bb}	20,4 \pm 2,81 ^{Bb}	20,9 \pm 2,81 ^{Bb}
	Tarde	56,3 \pm 3,25 ^{Aa}	48,2 \pm 2,40 ^{Ab}	59,6 \pm 2,81 ^{Aa}	57,9 \pm 2,81 ^{Aa}
FC –MN	Manhã	84,2 \pm 1,54 ^{Ba*}	79,2 \pm 1,14 ^{Bbc*}	80,2 \pm 1,34 ^{Bb*}	75,7 \pm 1,34 ^{Bc*}
	Tarde	92,2 \pm 1,54 ^{Aa*}	84,5 \pm 1,14 ^{Ac*}	87,8 \pm 1,34 ^{Abc*}	91,2 \pm 1,34 ^{Aab*}
FC –SIN	Manhã	79,4 \pm 1,36 ^{Ba}	73,9 \pm 1,00 ^{Bb}	70,7 \pm 1,18 ^{Bc}	70,0 \pm 1,18 ^{Bc}
	Tarde	84,8 \pm 1,36 ^{Aa}	79,0 \pm 1,00 ^{Ab}	74,9 \pm 1,18 ^{Ac}	85,5 \pm 1,18 ^{Aa}
TR – MN	Manhã	38,4 \pm 0,06 ^{Ba}	37,7 \pm 0,04 ^{Bc}	37,8 \pm 0,05 ^{Bc}	37,9 \pm 0,05 ^{Bb}
	Tarde	38,8 \pm 0,06 ^{Aa}	38,3 \pm 0,04 ^{Ac}	38,5 \pm 0,05 ^{Ab}	38,6 \pm 0,05 ^{Ab}
TR – SIN	Manhã	38,7 \pm 0,05 ^{Ba*}	37,9 \pm 0,04 ^{Bc*}	38,1 \pm 0,04 ^{Bb*}	38,2 \pm 0,04 ^{Bb*}
	Tarde	39,0 \pm 0,05 ^{Aa*}	38,6 \pm 0,04 ^{Ac*}	38,7 \pm 0,04 ^{Abc*}	38,8 \pm 0,04 ^{Ab*}
ITU	Manhã	23,7 \pm 2,2	20,9 \pm 2,1	20,5 \pm 3,0	23,8 \pm 1,9
	Tarde	27,3 \pm 1,0	24,2 \pm 2,0	24,7 \pm 2,0	26,8 \pm 2,7

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente ($P < 0,05$).

a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente ($P < 0,05$).

* Médias seguidas de asteriscos na mesma coluna diferem significativamente entre raças ($P < 0,05$).

As temperaturas superficiais aferidas nas regiões da frente, interescapular e sua derme correspondente e regiões testiculares foram mais elevadas no turno da tarde (Tabela 6) para ovinos MN e SIN. Houve variação sazonal para essas variáveis, com diferenças significativas observadas no verão e no outono.

Houve efeito da estação climática e do turno sobre os gradientes de temperatura DIF1, DIF2, DIF3 e DIF4 (Figura 2), independentemente do genótipo. Os valores das DIF1, DIF2 e DIF3 foram notadamente menores no verão ($P < 0,05$). Houve redução das DIF1, DIF2 e DIF3 no turno da tarde, independentemente da estação e do genótipo. A DIF4 apresentou o comportamento inverso, apresentando os maiores valores nas tardes de verão.

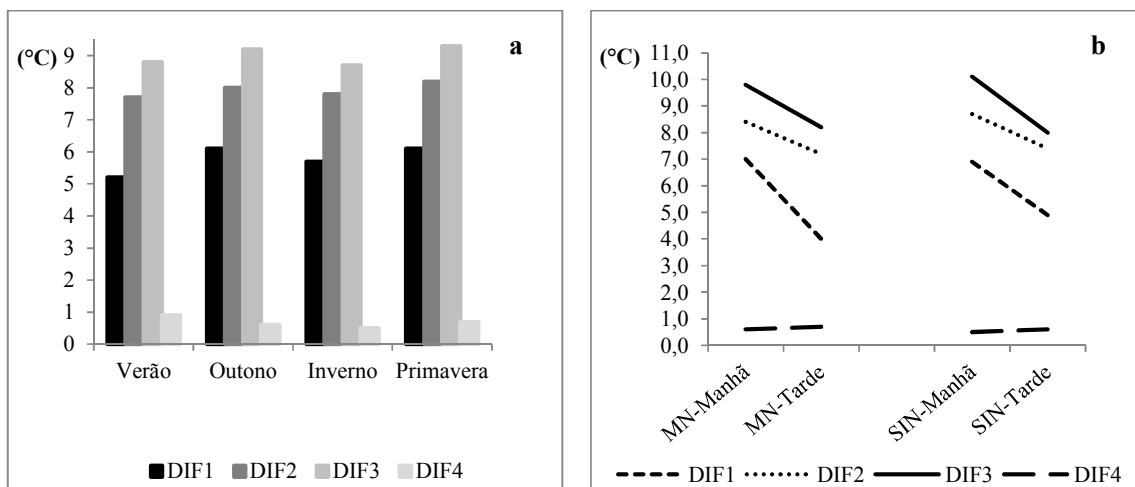


Figura 2 - Gradientes térmicos entre temperatura retal e funículo espermático (DIF1); temperatura retal e polo testicular ventral (DIF2); temperatura retal e cauda do epidídimo (DIF3) e temperatura do polo testicular dorsal e ventral (DIF4), observados ao longo das estações do ano (a) e entre turnos do dia (b), em machos ovinos criados em ambiente tropical.

Tabela 6 - Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) das temperaturas de superfície da frente (TF, °C), da superfície do pelame (TS, °C) da epiderme (TP, °C), do funículo espermático (TFE, °C), do polo testicular dorsal (TPD, °C), do polo testicular ventral (TPV, °C) e da cauda do epidídimo (TEP, °C) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), juntamente com o índice de temperatura e umidade (ITU) do momento da coleta, aferidos durante as quatro estações climáticas, em ambiente tropical.

Variável	Turno	Morada Nova				Santa Inês			
		Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
TF	Manhã	29,3 \pm 0,43 ^{Ba}	28,1 \pm 0,32 ^{Bb}	27,5 \pm 0,37 ^{Bb}	28,5 \pm 0,37 ^{Bab}	29,8 \pm 0,38 ^{Ba}	28,2 \pm 0,28 ^{Bc}	28,6 \pm 0,33 ^{Bbc}	29,3 \pm 0,30 ^{Bab}
	Tarde	33,0 \pm 0,43 ^{Aa}	30,8 \pm 0,32 ^{Ab}	32,0 \pm 0,37 ^{Aa}	32,4 \pm 0,37 ^{Aa}	33,4 \pm 0,38 ^{Aa}	31,0 \pm 0,28 ^{Ab}	32,7 \pm 0,28 ^{Aa}	32,8 \pm 0,28 ^{Aa}
TS	Manhã	28,3 \pm 0,63 ^{Ba}	27,0 \pm 0,47 ^{Ba}	27,6 \pm 0,55 ^{Ba}	27,3 \pm 0,55 ^{Ba}	29,2 \pm 0,56 ^{Ba}	27,9 \pm 0,41 ^{Ba}	28,7 \pm 0,48 ^{Ba}	28,4 \pm 0,48 ^{Ba}
	Tarde	32,6 \pm 0,63 ^{Aa}	30,4 \pm 0,47 ^{Ab}	31,9 \pm 0,55 ^{Aa}	31,7 \pm 0,55 ^{Aab}	32,7 \pm 0,56 ^{Aa}	30,6 \pm 0,41 ^{Ab}	33,0 \pm 0,48 ^{Aa}	32,7 \pm 0,48 ^{Aa}
TP	Manhã	30,8 \pm 0,40 ^{Ba}	29,4 \pm 0,29 ^{Bb}	30,1 \pm 0,35 ^{Bab}	30,5 \pm 0,35 ^{Ba}	31,2 \pm 0,35 ^{Ba}	29,7 \pm 0,26 ^{Bb}	30,7 \pm 0,30 ^{Ba}	31,1 \pm 0,30 ^{Ba}
	Tarde	33,7 \pm 0,40 ^{Aa}	31,9 \pm 0,29 ^{Ab}	33,9 \pm 0,35 ^{Aa}	33,0 \pm 0,35 ^{Aa}	33,8 \pm 0,35 ^{Aa}	32,3 \pm 0,26 ^{Ab}	34,0 \pm 0,30 ^{Aa}	33,6 \pm 0,30 ^{Aa}
TFE	Manhã	32,0 \pm 0,24 ^{Ba}	30,7 \pm 0,18 ^{Bb}	30,7 \pm 0,21 ^{Bb}	30,6 \pm 0,21 ^{Bb}	32,5 \pm 0,21 ^{Ba}	31,0 \pm 0,16 ^{Bb}	31,2 \pm 0,18 ^{Bb}	31,1 \pm 0,18 ^{Bb}
	Tarde	34,4 \pm 0,24 ^{Aa}	33,1 \pm 0,18 ^{Ab}	34,1 \pm 0,21 ^{Aa}	33,8 \pm 0,21 ^{Aa}	34,1 \pm 0,21 ^{Aa}	33,1 \pm 0,1 ^{Ac}	34,3 \pm 0,18 ^{Aa}	33,7 \pm 0,18 ^{Ab}
TPD	Manhã	30,1 \pm 0,22 ^{Ba}	30,0 \pm 0,16 ^{Bbc}	29,7 \pm 0,19 ^{Bc}	30,2 \pm 0,19 ^{Bb}	31,0 \pm 0,19 ^{Ba}	29,7 \pm 0,14 ^{Bb}	29,8 \pm 0,17 ^{Bb}	30,0 \pm 0,17 ^{Bb}
	Tarde	32,2 \pm 0,22 ^{Aa}	31,7 \pm 0,16 ^{Ac}	32,2 \pm 0,19 ^{Aab}	31,9 \pm 0,19 ^{Ab}	32,7 \pm 0,19 ^{Aa}	31,5 \pm 0,14 ^{Ac}	32,1 \pm 0,17 ^{Ab}	31,8 \pm 0,17 ^{Ac}
TPV	Manhã	29,7 \pm 0,21 ^{Ba}	29,4 \pm 0,16 ^{Bb}	29,3 \pm 0,19 ^{Bb}	29,2 \pm 0,19 ^{Bb}	29,1 \pm 0,19 ^{Bb}	29,2 \pm 0,14 ^{Ba}	29,4 \pm 0,16 ^{Ba}	29,3 \pm 0,1 ^{Ba}
	Tarde	31,7 \pm 0,21 ^{Aa}	30,9 \pm 0,16 ^{Ab}	31,6 \pm 0,19 ^{Aa}	31,1 \pm 0,19 ^{Aab}	31,5 \pm 0,19 ^{Aa}	30,8 \pm 0,14 ^{Ab}	31,7 \pm 0,16 ^{Aa}	31,1 \pm 0,16 ^{Ab}

TEP	Manhã	28,1±0,24 ^{Ba}	28,1±0,18 ^{Ba}	28,0±0,21 ^{Bb}	27,7±0,21 ^{Bb}	29,0±0,22 ^{Ba}	27,9±0,16 ^{Bb}	28,1±0,19 ^{Bb}	27,9±0,19 ^{Bb}
	Tarde	30,8±0,24 ^{Aa}	29,7±0,18 ^{Ab}	30,8±0,21 ^{Aa}	30,2±0,21 ^{Ab}	31,2±0,22 ^{Aa}	29,8±0,16 ^{Ab}	31,2±0,19 ^{Aa}	30,6±0,19 ^{Aa}
ITU	Manhã	23,7±2,2	20,9±2,1	20,5±3,0	23,8±1,9	23,7±2,2	20,9±2,1	20,5±3,0	23,8±1,9
	Tarde	27,3±1,0	24,2±2,0	24,7±2,0	26,8±2,7	27,3±1,0	24,2±2,0	24,7±2,0	26,8±2,7

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente, dentro de raça (P<0,05).

a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente (P<0,05).

*Médias seguidas de asteriscos na mesma coluna diferem significativamente entre raças (P<0,05).

Qualidade seminal

A concentração espermática de animais MN foi maior no verão e menor durante o inverno (Figura 3), enquanto animais SIN não apresentaram variação sazonal para essa variável. A motilidade espermática progressiva não variou entre as estações climáticas, sendo sempre mais elevada nos animais MN. A menor porcentagem de células com membrana plasmática intacta foi observada na primavera para animais MN, enquanto os animais SIN apresentaram melhores níveis de integridade de membrana no verão. O total de defeitos espermáticos foi mais elevado durante o outono, influenciado pela quantidade de defeitos maiores, que apresentou o mesmo comportamento. Os defeitos menores apresentaram incremento durante o verão. Animais MN apresentaram superioridade quanto à motilidade progressiva, durante todo o período experimental, e de integridade de membrana e concentração espermática durante o verão, o outono e a primavera.

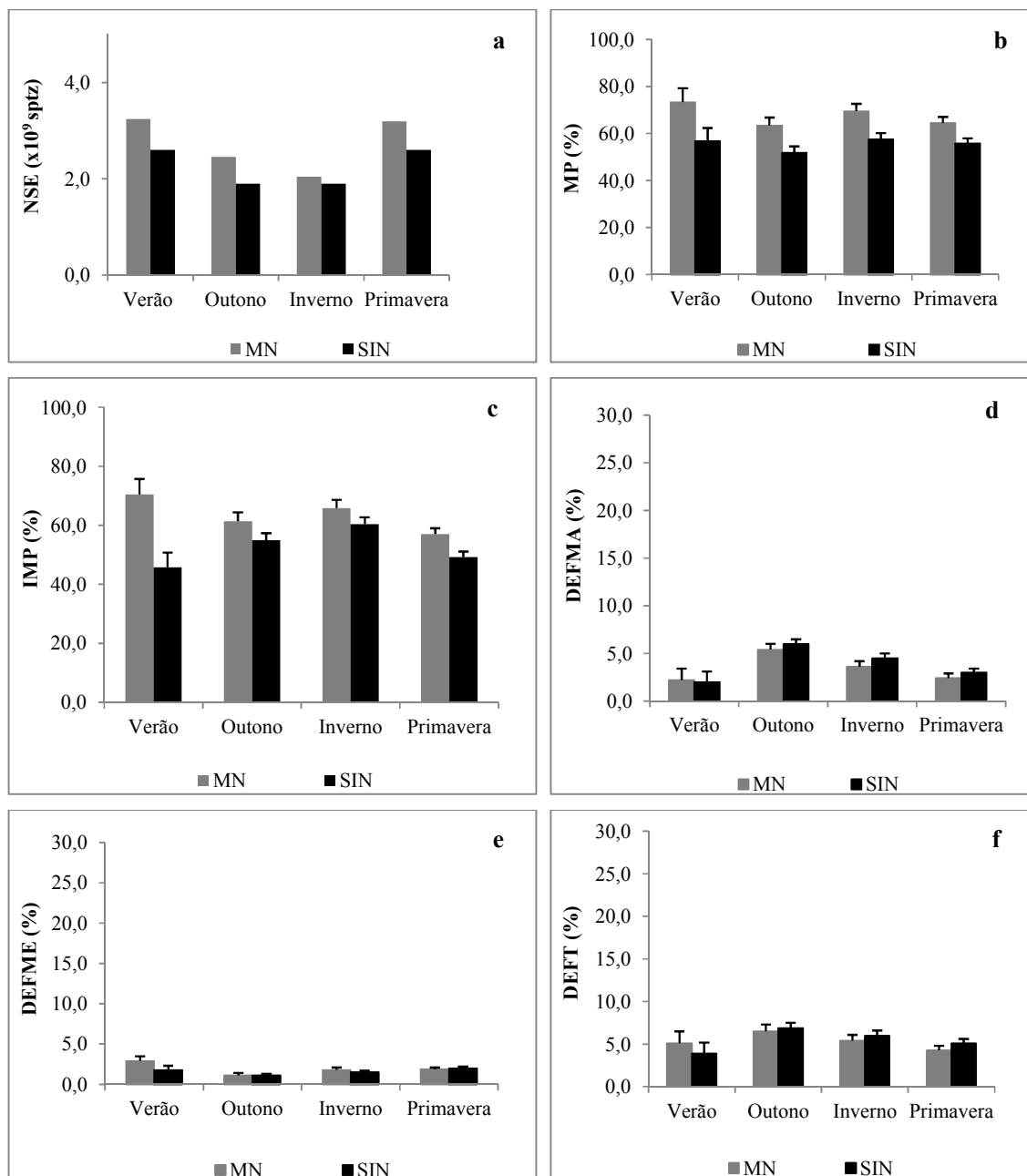


Figura 3 - Perfis de (a) NSE – número de espermatozoides totais (x10⁹ spztz), (b) MP -motilidade progressiva (%), (c) IMP - integridade de membrana plasmática (%), (d) DEFMA - defeitos espermáticos maiores (%), (e) DEFME - defeitos espermáticos menores (%), (f) DEFT - defeitos espermáticos totais (%) observados no sêmen *in natura* de ovinos Morada Nova e Santa Inês, em ambiente tropical.

Parâmetros ultrassonográficos testiculares

A homogeneidade do parênquima testicular sofreu redução durante o verão ($P<0,05$), fenômeno igualmente observado para animais MN e SIN (Tabela 7). Quanto à presença de pontos hiperecoicos, não houve efeito da estação do ano para ambas as raças. Contudo, machos SIN apresentaram escores mais elevados que animais MN durante todo o período experimental.

Tabela 7. Médias por quadrados mínimos (\pm erro padrão) do escore de homogeneidade e presença de pontos hiperecoicos no parênquima testicular de ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), observadas no inverno, na primavera e no verão, em ambiente tropical.

Variável	Raça	Estação Climática	
		Verão	Inverno
Homogeneidade (0-2)	MN	1,0 \pm 0,11 ^{Aa}	0,1 \pm 0,19 ^{Ab}
	SIN	0,9 \pm 0,17 ^{Aa}	0,1 \pm 0,17 ^{Ab}
Hiperecogenicidade (0-3)	MN	1,2 \pm 0,17 ^{Ba}	1,1 \pm 0,17 ^{Ba}
	SIN	2,1 \pm 0,15 ^{Aa}	2,1 \pm 0,15 ^{Aa}

A, B Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma coluna diferem significativamente, dentro de raça ($P<0,05$).

a, b Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma linha diferem significativamente ($P<0,05$).

Correlações entre características seminais e temperaturas superficiais

A integridade de membrana plasmática dos espermatozoides apresentou correlação negativa, significativa e de baixa intensidade com a temperatura de superfície interescapular ($r= -0,24$; $P=0,003$), com a temperatura de epiderme ($r= -0,24$; $P=0,003$) e temperatura de funículo espermático ($r= -0,21$; $P=0,009$). Adicionalmente, a IMP demonstrou correlação positiva e significativa com a diferença entre a temperatura retal e temperatura de funículo espermático (DIF1 $r= 0,62$; $P=0,03$).

DISCUSSÃO

Variáveis climáticas

No período estudado, a temperatura do ar apresentou comportamento típico ao clima tropical de altitude, com elevados valores registrados nos meses de verão (janeiro e fevereiro), acompanhados de elevada radiação solar global e alta umidade relativa do ar. Como consequência, no verão, o ITU médio atingiu valores entre 22,2 e 23,4, indicativos de estresse térmico moderado a severo em ovinos. Nos períodos de outono (março a junho) e inverno (junho a setembro), as condições climáticas médias foram mais amenas e favoreceram o conforto térmico dos animais. O período da primavera (setembro a dezembro) foi caracterizado como um período transicional, com ascensão da temperatura do ar, incremento das chuvas e da umidade relativa do ar. Contudo, vale ressaltar que durante o ano todo, nos momentos do dia em que os valores de temperatura e umidade alcançaram seus máximos, o valor do ITU máximo suplantou, mesmo que transitoriamente, os níveis indicativos de estresse térmico para ovinos. Durante a coleta de dados das estações quentes, o ITU apontou condição de estresse térmico severo a muito severo, o que impôs aos animais o desafio à manutenção da homeotermia e incitando-os ativar suas habilidades voltadas à termólise. Tal condição ambiental altera continuamente o conforto térmico dos animais e compromete, sobremaneira, o bem-estar e a sustentabilidade da produção animal, até mesmo de genótipos cuja temperatura máxima de conforto supera 30°C. O monitoramento ambiental permite a identificação dos períodos críticos ocorridos ao longo do ano e do dia, e norteia a busca de soluções que garantam a oferta de sombreamento adequado ao conforto térmico dos animais, sobretudo, para animais mantidos em sistemas de produção a pasto.

Aspectos morfométricos do pelame e da pele

Em ovinos, a ciclicidade pilosa é regulada, entre outros fatores, pelo fotoperíodo e pela temperatura do ar (Sumner e Bigham, 1993). Possivelmente, as variações climáticas naturalmente ocorridas ao longo do ano induziram modificações morfofuncionais na pelagem e nas glândulas sudoríparas de ovinos MN e SIN. Estudos recentes apontam estreita relação entre características de pele e pelame com resistência ao estresse térmico, e devem ser levadas em consideração na seleção de animais criados sob constante desafio climático (Castanheira et al., 2010). Até então, não havia relatos prévios na literatura sobre a absorvância da pelagem

de ovinos MN, raça caracterizada como portador de pelagem vermelha. Os dados de absorvância dos pelos indicaram que os ovinos MN apresentaram menor quantidade de melanina que os SIN nas fibras pilosas, o que se traduz em distinta pigmentação do pelame. De fato, foi observada absorvância 46% maior nos pelos dos animais SIN, dotados de cor preta.

A maior quantidade de melanina presente nos pelos confere proteção contra os raios ultravioletas, de elevada incidência em ambiente tropical (Garcia, 2013). Por outro lado, a pelagem escura predispõe o animal a absorver mais radiação solar direta, o que confere incremento calórico corpóreo e maior susceptibilidade ao estresse pelo calor, o que ocasiona a elevação de seus parâmetros fisiológicos, sobretudo, da temperatura retal (McManus et al., 2009; McManus et al., 2011; Barros et al., 2015).

É aceito que animais adaptados ao clima tropical apresentem pelos claros, brilhantes, menos densos, curtos, grossos e bem assentados sobre a pele pigmentada (McManus et al., 2011). A reunião desses atributos garante eficiência na dissipação de calor por conferir maior reflexibilidade e menor absorção dos raios ultravioletas, bem como maior facilidade para a perda de calor pela termólise convectiva e evaporativa (Maia et al., 2003; McManus et al., 2009). Diante do estímulo ambiental, animais MN e SIN realizaram acomodações fisiológicas em seu revestimento piloso necessárias à dissipação e conservação de energia térmica. Contudo, os genótipos responderam ao ambiente de forma distinta. Animais SIN apresentaram nítida sazonalidade dos atributos morfométricos de pelame. No verão, seu pelame apresentou-se menos espesso, com fibras mais curtas e grossas, viabilizando a perda de calor. No inverno, contudo, a pelagem se mostrou mais espessa, com pelos mais compridos e finos, favoráveis à preservação da energia térmica. Histologicamente, o ajuste morfofuncional para esse grupo genético ocorreu, principalmente, sobre número de folículos secundários, cuja quantidade reduziu no verão e aumentou no inverno.

A morfometria das fibras pilosas de ovinos MN sofreu pouca alteração ao longo do ano. Suas modificações pronunciadas giraram em torno número de folículos pilosos primários, folículos pilosos secundários e densidade pilosa, os quais reduziram no verão e aumentaram no inverno. Nesse estudo, ovinos SIN apresentaram maior espessura de capa que animais MN, principalmente no inverno e nas estações transicionais, fato atribuído ao ângulo de inclinação dos pelos, com menor assentamento das fibras pilosas sobre a pele. Por outro lado, machos MN apresentaram maior diâmetro piloso ao longo do ano.

A maior oscilação morfológica da pelagem dos animais SIN reflete respostas compensatórias à maior pigmentação dos pelos, e, portanto, maior absorção de calor

ambiental. A necessidade de sobrevivência ao ambiente quente incitou mudanças significativas nas propriedades estruturais nas fibras pilosas, as quais capacitam o animal mais escuro ao enfretamento à intensa carga radiante incidente nos trópicos (Maia et al., 2003). A capa pilosa com menor espessura de capa composta por fibras de menor comprimento e maior diâmetro observada durante o verão favorece a termólise por convecção e condução, pois confere menor resistência à entrada de vento e possibilita a renovação da massa de ar aprisionada no seu interior, facilitando a troca térmica (Maia et al., 2009).

A estratégia termolítica de ovinos MN foi aumentar o diâmetro piloso, reduzir a densidade pilosa no verão, com pelos mais assentados (menor espessura que a observada em SIN). A primeira característica favorece a condutibilidade térmica, por haver incremento da superfície de troca e assim maior dissipação de calor através do pelo (Maia et al., 2003). A menor densidade pilosa facilita a termólise evaporativa, evitando a formação de ambiente úmido entre a pele e a camada de pelos, aspecto desfavorável para dissipação térmica durante o verão (Hansen, 2004).

Para ovinos, os ajustes fisiológicos da capa externa se iniciam durante as estações de transição, de modo que, ao atingirem o inverno e o verão, períodos de maior exigência climática, o corpo esteja devidamente preparado para a conservação ou dissipação de calor. No outono se forma gradativamente a capa externa de inverno, de aspecto espesso e lanoso. Na primavera ocorre o aumento na taxa de crescimento piloso para a composição da pelagem de verão, menos densa com pelos mais grossos (Sumner e Bigham, 1993). Essas informações são corroboradas pelos dados observados no presente experimento, onde, apesar de serem animais deslanados, foi registrada menor densidade pilosa no verão, principalmente para animais MN, e maior diâmetro dos pelos nas estações da primavera e verão.

Taxa de sudação e parâmetros fisiológicos

A plasticidade morfológica e funcional das glândulas sudoríparas é imprescindível para a eficiência da dissipação de calor latente pela pele (Ferreira et al., 2009). No verão, a maior ativação das glândulas, tanto para ovinos MN quanto para SIN, foi constatada pelo aumento da área da glândula sudorípara, aumento da proporção ocupada pelas glândulas sudoríparas e aumento da taxa de sudação. O incremento da sudorese observado no período da tarde revelou a resposta orgânica ao período de maior calor ambiental, principalmente no verão, época em que a temperatura máxima do ar foi sempre próxima ou superior a 30°C, corroborando relatos prévios (McManus et al., 2009). Apesar de maior sudorese ter sido

observada no verão, os resultados obtidos foram de menor magnitude do que os previamente observados em ovelhas sob intenso estresse calórico ($169,7 \pm 5,9$ g/m²/h) (Sejian et al., 2013), e em ovinos Santa Inês de pelagem preta ($187,5$ g/m²/h) (McManus et al., 2009).

As vias evaporativas (sudorese e ofegação) compreendem os meios mais eficientes para a termólise, por sua independência do gradiente de temperatura estabelecido entre a superfície corpórea e o meio (Silva et al., 2002). Ovinos mantidos sob temperatura do ar entre 38 e 40°C utilizam a sudorese em sua máxima capacidade. Contudo, após 12 horas seguidas sob essa condição, suas unidades secretoras de suor sofrem sobrecarga metabólica, com consequente redução do volume de suor produzido, sendo necessária a compensação pela ofegação ou combinação dos dois mecanismos (Ames et al., 1971). Ovinos MN e SIN utilizaram a sudorese com a mesma intensidade, o que pode ser explicado pela similaridade morfológica e quantidade de células produtoras de suor, bem como pela proximidade da glândula à superfície (Carvalho et al., 1995), embora a área glandular de machos MN seja maior que a de animais SIN, independente da época do ano. No inverno, quando a temperatura média do ar foi próxima aos 20°C e a temperatura máxima não ultrapassou os 26°C, a necessidade termolítica foi significativamente menor, corroborada pela redução dos aspectos morfofuncionais das glândulas sudoríparas nos animais estudados, independentemente do genótipo.

Indicadores sensíveis da condição termorregulatória dos animais são temperatura retal e frequência respiratória, em repouso. A frequência respiratória basal de ovinos varia entre 25 e 30 movimentos/minuto. A elevação da frequência respiratória entre 40 e 60 movimentos demonstra estresse baixo, entre 60 a 80 revela estresse moderado, entre 80-120 representa estresse alto, e acima de 200 indica estresse severo (Silanikove, 2000). No período da tarde, com exceção do outono, animais MN e SIN demonstraram leve grau de desconforto, com certa elevação da frequência respiratória. Contudo, esta perceptível elevação da frequência respiratória simplesmente demonstra a ativação do mecanismo evaporativo respiratório preventivo à hipertermia. Adicionalmente, observou-se elevação da frequência cardíaca nas tardes de primavera e verão, como resposta compensatória diante da necessidade do aumento de fluxo sanguíneo para a periferia corpórea, favorecendo as perdas calóricas por vasodilatação (Fadare et al., 2013). Isso permitiu aos animais, independentemente do genótipo, manterem sua temperatura retal dentro de padrões considerados normais para a espécie, que variam de 38,3 a 39,9°C (Marai et al., 2007). Entretanto, ovinos MN mostraram FC mais elevada que animais SIN, ao longo do ano, o que pode favorecer o arrefecimento corporal por tornar mais eficiente a troca de calor sensível via condução. Apesar da

manutenção da homeotermia, animais SIN apresentaram TR mais elevada que MN durante todas as estações climáticas, fato provavelmente atribuído à cor escura do animal (Silanikove, 2000, Castanheira et al., 2010; Correa et al., 2013; Fadare et al., 2013). Vale destacar que a zona de termoneutralidade para ovinos deslanados varia entre 20 e 30°C, e que quando a temperatura ambiente atinge 32°C, a temperatura corpórea pode sofrer incremento (Cunningham, 2011). A variação da temperatura retal em torno de 1°C acima dos limites fisiológicos pode afetar as funções vitais dos animais de produção, fato que merece atenção (Silanikove, 2000).

A elevação das temperaturas de superfície da fronte, do pelame, da pele e das diferentes regiões escrotais detectada nas estações mais quentes do ano, sobretudo no período da tarde, está associada à maior absorção de carga térmica ambiental, naturalmente ocorrida nesses períodos, o que acarretou acúmulo de energia térmica corporal para ambos os genótipos. Não foi encontrada diferença na expressão das temperaturas de pelame e pele, muito embora exista propensão de animais mais escuros de apresentarem maiores temperaturas devido a sua menor refletância à radiação solar (McManus et al., 2009; Façanha et al., 2010). Além disso, as características de pelame colaboram para a manutenção de maior ou menor temperatura, visto que animais com pelos longos e espessos armazenam mais calor (Silva, 2000). A elevação da temperatura da pele se dá em consequência ao aumento do calor interno, quando o animal busca dissipar calor promovendo involuntariamente o maior aporte sanguíneo para a vascularização periférica. Concomitantemente, a superfície de contato para troca térmica entre o sangue e o meio externo aumenta, favorecendo a dissipação de calor quando o ambiente se encontra em temperatura mais baixa que a temperatura interna corpórea (Silanikove, 2000) e ressalta a necessidade de seleção e uso de genótipos mais adaptados ao calor, quando se tem por intuito estabelecer a produção de ovinos em regiões de clima tropical.

As diferenças entre a temperatura retal e as temperaturas de superfície escrotais (DIF1, DIF2 e DIF3) foram maiores que o gradiente térmico considerado adequado para a funcionalidade do parênquima testicular e espermatogênese em ruminantes (Kastelic et al., 1999). Nas tardes de verão, as DIFS diminuem em virtude do incremento térmico corpóreo, entretanto seus valores permanecem dentro da normalidade. A diferença entre os polos testiculares dorsal e ventral (DIF4) não sofreu efeito de turno, mesmo no verão, o que denota a independência e estabilidade termorregulatória testicular mesmo diante da oscilação corpórea (Maloney e Mitchell, 1996).

As temperaturas superficiais testiculares apresentaram o mesmo perfil que as demais temperaturas, sendo os maiores valores encontrados também no período vespertino do verão e da primavera. Desse modo, a alta correlação entre as temperaturas superficiais escrotais e testiculares permite afirmar que houve aumento da temperatura intratesticular nos meses mais quentes do ano, conforme já observado em trabalhos prévios (Coulter et al., 1988). Mesmo diante da elevação da temperatura da superficial escrotal, o gradiente térmico escrotal positivo que denota a diferença de temperatura entre polos testiculares dorsal e ventral, foi mantido. Os valores encontrados foram menores (0,9°C em MN, e 0,7°C em SIN) do que os observados em carneiros a 25°C (Kastelic et al., 1999), diferentemente do que ocorre quando reprodutores ovinos se encontram em situação de estresse térmico testicular (Alves, 2014).

Qualidade Seminal

O incremento térmico testicular observado foi transitório e insuficiente para comprometer a estrutura e funcionalidade do parênquima testicular, e ocasionar redução significativa na qualidade seminal, situação comum em quadros de degeneração testicular de origem ambiental. Os maiores valores de defeitos maiores e defeitos totais foram observados no outono, enquanto que os menores valores de células com membrana plasmática intacta foram detectados sob elevadas temperaturas do ar ocorridas na primavera. Os resultados de defeitos maiores encontrados nos ejaculados de outono podem ser provenientes da ação térmica ocorrida no final do verão, manifestada após a conclusão do ciclo espermático de 53 dias, quando os espermátócitos e espermátides que sofreram danos podem ser avaliados no ejaculado (Setchell, 1998). Entretanto, o incremento dos defeitos maiores não foi suficiente para elevar a totalidade dos defeitos espermáticos a ponto de suplantarem o valor de 30%, considerado o limite aceitável de defeitos morfológicos em ejaculados de reprodutores considerados aptos à reprodução.

A intensidade e a duração do insulto térmico determinam a severidade do processo degenerativo instalado, que, por sua vez, define o grau de acometimento morfofuncional dos espermatozoides. Animais acometidos por degeneração apresentam redução da motilidade espermática, do vigor espermático e aumento de células morfológicamente anormais, com decréscimo em seu potencial fertilizante (Rahman et al., 2014). De modo geral, os defeitos diretamente envolvidos com a fertilidade são encontrados nos ejaculados entre 10 e 21 dias após o insulto térmico, perpetuando-se por até 7 semanas após a exposição térmica (Armengol et al., 2015). As alterações mais comumente observadas são cabeça isolada, gota

protoplasmática proximal, cauda fortemente enrolada, comprometimento de peça intermediária e outros importantes defeitos de cabeça e acrossoma, cuja frequência aumenta com a gravidade da lesão tecidual (Fernandes et al., 2008; Rahman et al., 2011).

Outra característica observada em ejaculados de animais que sofreram estresse térmico pelo calor é a redução da concentração espermática (Setchell, 1998; McManus et al., 2015). Ao longo do ano, as concentrações espermáticas para animais MN e SIN apresentaram pequena variação e, apesar do incremento ocorrido no verão, os valores apresentados se encontram dentro dos limites fisiológicos preconizados para reprodutores da espécie (CBRA, 2013). A manutenção da maioria dos parâmetros seminais dentro dos valores estabelecidos como padrão para a espécie ovina (CBRA, 2013) demonstra a integridade morfofuncional do escroto e do funículo espermático dos animais de ambos genótipos estudados, o que garantiu a eficiente termorregulação testicular desses animais, quando mantidos em condições ambientais tropicais. Durante as estações quentes, houve superioridade da raça MN quanto à concentração espermática e integridade de membrana plasmática dos espermatozoides, enquanto a motilidade espermática foi maior ao longo do ano todo.

Parâmetros ultrassonográficos testiculares

Os achados ultrassonográficos podem auxiliar na determinação da fase e grau de degeneração testicular. O acometimento das gônadas pode ser traçado pela homogeneidade do parênquima, a qual é diretamente relacionada a características seminais importantes, e pela intensidade de calcificação dos túbulos seminíferos (Ahmadi et al., 2012). A homogeneidade do parênquima se modificou durante as estações de temperaturas do ar mais elevadas. Entretanto, as alterações não atingiram escores compatíveis à degeneração testicular (Alves, 2014), mesmo que em grau leve, fato ratificado pela manutenção da qualidade seminal ao longo das estações do ano. Adicionalmente, o escore para presença de pontos hiperecoicos não variou durante o período experimental. A hiperecogenicidade do parênquima testicular em animais adultos pode simplesmente indicar deposição de cálcio de origem desconhecida, sem que haja reflexos negativos na qualidade seminal (Jucá et al., 2009).

CONCLUSÃO

Os ovinos das raças Morada Nova e Santa Inês apresentaram dinamismo quanto às características de pelame e de pele, observados principalmente durante as estações de

extremos climáticos (inverno e verão). Contudo, os ajustes fisiológicos ocorreram distintamente para os genótipos, sendo a sazonalidade mais proeminente em animais SIN. No período do ano de calor mais intenso animais SIN apresentaram pelame menos denso, formado por pelos mais curtos e mais grossos. Já animais MN apenas reduziram a densidade pilosa. Essas diferenças podem estar relacionadas com a cor do pelame, a qual determinará a quantidade de energia térmica absorvida, e, portanto, o grau de modificação anatomofuncional das estruturas primariamente envolvidas na termólise. De maneira geral, os ajustes fisiológicos manifestados por ambos os genótipos favoreceram a ação dos mecanismos de dissipação de calor, o que permitiu aos ovinos manter a homeotermia, mesmo nos momentos do dia em que o calor foi mais intenso. Durante o verão, período mais desafiador para os animais, as características seminais se mantiveram constantes, ocorrendo incremento da porcentagem de defeitos menores, porém sem comprometimento da qualidade dos ejaculados. Por isso, os ovinos das raças Morada Nova e Santa Inês podem ser considerados animais tropicalizados e resilientes aos desafios térmicos impostos pelo clima tropical, pois possuem atributos corpóreos favoráveis ao enfretamento ambiental sem maior comprometimento reprodutivo.

REFERÊNCIAS

- Ahmadi, B., Lau, C.P.S., Giffin, J., Santos, N., Hahnel, A., Raeside, J., Christie, H., Bartlewski, P., 2012. Suitability of epididymal and testicular ultrasonography and computerized image analysis for assessment of current and future semen quality in the ram. *Exp. Biol. Med.* 237, 186–193.
- Alves, M.B.R., 2014. Tratamento da degeneração testicular em carneiros com suplementação de vitamina A ou laserterapia de baixa intensidade, (Dissertation, University of São Paulo).
- Ames, D.R., Nellor, J.E., Adams, T., 1971. Energy balance during heat stress in sheep. *J. Anim. Sci.* 32, 784-788.
- Barros, D.V., Silva, L.K.X., Lourenço Junior, J.B., Silva, A.O.A., Silva, A.G.M., Franco, I.M., Oliveira, C.M.C., Tholon, P., Martorano, L G., Garcia, A.R., 2015. Evaluation of thermal comfort, physiological, hematological, and seminal features of buffalo bulls in an artificial insemination station in a tropical environment. *Trop. Anim. Health. Pro.* 47, 805-813.
- Bloom, E., 1973. The ultrastructure of some characteristic sperm defects. *Nord. Vet. Med.* 25, 283.
- Bova, T.L., Chiavaccini, L., Cline, G.F., Hart, C.G., Matheny, K., Muth, A.M., Voelz, B.E., Kesler, D., Memili, E., 2014. Environmental stressors influencing hormones and systems physiology in cattle. *Reprod. Biol. Endocrinol.* 12, 2-5.

Carvalho, F.A., Lammoglia, M.A., Simoes, M.J., Randel, R.D., 1995. Breed affects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. *J. Anim. Sci.* 73, 3570-3573.

Castanheira, M., Paiva, S.R., Louvandini, H., Landim, A., Fiorvanti, M.C.S., Dallago, B.S., Correa, P.S., McManus, C., 2010. Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central Brazil. *Trop. Anim. Health. Pro.* 42, 1821-1828.

CBRA - Colégio Brasileiro de Reprodução Animal. 2013. Manual para exame andrológico e avaliação seminal, segunda ed. Belo Horizonte: CBRA.

Chang, S.P., Tsai, H.H., Chen, W.Y., Lee, W.R., Chen, P.L., Tsai, T.H., 2008. The wrinkles soothing effect on the middle and lower face by intradermal injection of botulinum toxin type A. *Int. J. Dermatol.* 47, 1287-1294.

Correa, M.P.C., Dallago, B.S.L., Paiva, S.R., Canozzi, M.E.A.C., Louvandini, H., Barcellos, J.J., McManus, C., 2013. Multivariate analysis of heat tolerance characteristics in Santa Inês and crossbred lambs in the Federal District of Brazil. *Trop. Anim. Health. Pro.* 45, 1407-1414.

Coulter, G.H., Senger, P.L., Bailey, R.C., 1988. Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. *J. Reprod. Fertil.* 84, 417-423.

CPPSE - Embrapa Pecuária Sudeste. Condições Meteorológicas da Estação da Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, 2014. Available in: <http://www.cppse.embrapa.br/dados-meteorologicos>. Accessed: 25 of February, 2014.

Cunningham, J., 2011. *Veterinary Physiology*. Elsevier: New York.

Fadare, A.O., Sunday, O.P., Yakubu, A., Sonibare, A.O., Adekayode, O., Adeleke, M.A., Ozoje, M.O., Imumorin, I.G., 2013. Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics. *Trop. Anim. Health. Pro.* 45, 157-165.

Façanha, D.A.E., Silva, R.G., Maia, A.S.C., Guilhermino, M.M., Vasconcelos, A.M., 2010. Variação anual de características morfológicas e da temperatura de superfície do pelame de vacas da raça Holandesa em ambiente semiárido. *R. Bras. Zootec.* 39, 837-844.

Fernandes, C.E., Dode, M.A., Pereira, D., Silva, A.E., 2008. Effects of scrotal insulation in Nellore bulls (*Bos taurus indicus*) on seminal quality and its relationship with in vitro fertilizing ability. *Theriogenology.* 70, 1560-1568.

Ferreira, F., Campos, W.E., Carvalho, A.U., Pires, M.F.A., Martinez, M.L., Silva, M.V.G.B., Verneque, R.S., Silva, P.F., 2009. Taxa de sudação e parâmetros histológicos de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 61, 763-768.

Garcia, A.R., 2013. Conforto térmico na reprodução de bubalinos criados em condições tropicais. *Rev. Bras. Reprod. Anim.* 37, 121-130.

- Garcia, A.R., Matos, L.B., Lourenço Junior, J.B., Nahúm, B.S., Araújo, C.V., Santos, A.X., 2011. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 46, 1409-1414.
- Gebremedhin, K.G., NI, H., Hillman, P.E., 1997. Modeling temperature profile and heat flux through irradiated fur layer. *T. ASAE.* 40, 1441-1447.
- Gundogan, M., Yeni, D., Avdatek, F., Fidan, A.F., 2010. Influence of sperm concentration on the motility, morphology, membrane and DNA integrity along with oxidative stress parameters of ram sperm during liquid storage. *Anim. Reprod. Sci.* 122, 200-207.
- Hansen, P.J., 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83, 349-360.
- Jucá, A.F., Moura, J.C.A., Gusmão, A.L., Bittencourt, T.C., Nascimento, M.C., Barbosa, C. M.P., 2009. Avaliação ultrassonográfica dos testículos e das glândulas sexuais anexas de carneiros santa inês. *Ciênc. Anim. Bras.* 10, 650-659.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.* 77, 59-91.
- Kastelic, J.P., Cook, R.B., Coulter, G.H., 1999. Effects of ambient temperature and scrotal fleece cover on scrotal and testicular temperatures in rams. *Can. J. Vet. Res.* 63, 157-160.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.* 15, 259-263.
- Lida, R., Koketsu, Y., 2015. Climatic factors associated with abortion occurrences in Japanese commercial pig herds. *Anim. Reprod. Sci.* 157, 78-86.
- Lunstra, D.D., Coulter, G.H., 1997. Relationship between scrotal infrared temperature patterns and natural-mating fertility in beef bulls. *J. Anim. Sci.* 75, 767-774.
- Maia, A.S.C., Silva, R.G., Andrade, P.C., 2009. Efeitos da temperatura e da movimentação do ar sobre o isolamento térmico do velo de ovinos em câmara climática. *R. Bras. Zootec.* 38,104-108.
- Maia, A.S.C., Silva, R.G., Bertipaglia, E.C.A., 2003. Características do pelame de vacas holandesas em ambiente tropical: um estudo genético e adaptativo. *R. Bras. Zootec.* 32, 843-853.
- Maloney, S.K., Mitchell, D., 1996. Regulation of ram scrotal temperature during heat exposure, cold exposure, fever and exercise. *J. Physiol.* 496.2, 421-430.
- Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Fadiel, A., Abdel-Hafez, M.A.M., 2007. Physiological traits as affected by heat stress in sheep - a review. *Small. Ruminant. Res.* 71, 1-12.

- McManus, C., Bianchini, E., Paim, T.P., Lima, F.G., Neto, B.J., Castanheira, M., Esteves, G. I., Cardoso, C.C., Dalcin, V.C., 2015. Infrared thermography to evaluate heat tolerance in different genetic groups of lambs. *Sensors*. 15, 17258-17273.
- McManus, C., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L.C.B., Bianchini, E., Bernal, F.E.M., Paiva, S.R., Paim, T.P., 2011. Skin and coat traits in sheep in Brazil and their relation with heat tolerance. *Trop. Anim. Health. Pro.* 43, 121-126.
- McManus, C., Paludo, G.R., Louvandini, H., Gugel, R., Sasaki, L.C.B., Paiva, S.R., 2009. Heat tolerance in Brazilian sheep: Physiological and blood parameters. *Trop. Anim. Health. Pro.* 41, 95-101.
- Menegassi, S.R.O., Barcellos, J.O.J., Dias, E.A., Koetz Jr., C., Pereira, G.R., Peripolli, V., McManus, C., Canozzi, M.E.A., Lopes, F.G., 2015. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int. J. Biometeorol.* 59, 357-364.
- Moore, K.E., Maloney, S.K., Blache, D., 2015. High follicle density does not decrease sweat gland density in *Huacaya alpacas*. *J. Therm. Biol.* 47, 1-6.
- Moore, R.W., 1985. A comparison of electro-ejaculation with the artificial vagina of ram semen collection. *New Zeal. Vet. J.* 33, 22-23.
- Rahman, M.B., Vandaele, L., Rijsselaere, T., El-Deen, M.S., Maes, D., Shamsuddin, M., Van Soom, A., 2014. A Bovine spermatozoa react to in vitro heat stress by activating the mitogen-activated protein kinase 14 signalling pathway. *Reprod. Fertil. Dev.* 26, 245-57.
- Rahman, M.B., Vandaele, L., Rijsselaere, T., Maes, D., Hoogewijs, M., Frijters, A., Noordman, J., Granados, A., Dernelle, E., Shamsuddin, M., Parrish, J.J., Van Soom, A., 2011. Scrotal insulation and its relationship to abnormal morphology, chromatin protamination and nuclear shape of spermatozoa in Holstein-Friesian and Belgian Blue bulls. *Theriogenology*. 76, 7, 1246-57.
- Rajab, M.H., Cartwright, T.C., Dahm, P.F., Figueiredo, E.A., 1992. Performance of three tropical hair sheep breeds. *J. Anim. Sci.* 70, 3351-3359.
- Rajwa, B., McNally, H., Varadharajan, P., Sturgis, J., Robinson, J., 2004. AFM/CLSM data visualization and comparison using an open-source toolkit. *Microsc. Res. Techniq.* 64, 176-184.
- Randall, D., Burggren, W., French, K., 2000. *Fisiologia Animal - Mecanismos e Adaptações*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A.
- Rasooli, A., Taha Jalali, M., Nouri, M., Mohammadian, B., Barati, F., 2010. Effects of chronic heat stress on testicular structures, serum testosterone and cortisol concentrations in developing lambs. *Anim. Reprod. Sci.* 117, 55-59.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De basilio, V., Gourdine, J.L., Collier, R.J., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6, 707-728.

Roda, D.M., Santos, L.E., Cunha, E.A., Silva, D.J., Feitoza, A.S.L., 1992. Avaliação da temperatura retal, frequência respiratória e aspectos hematológicos de cordeiros em dois ambientes distintos. *B. Industr. Anim.* 49, 21-26.

Statistical Analyses System Institute – SAS., 2010. The SAS-System for Windows. User's Guide. Versão 9.1.3 Cary.

Salehian, Z., Naderi, N., Souri, M., Mirmahmoudi, R., Hozhabri, F., 2015. Seasonal variation of fibre follicle activity and wool growth in fat-tailed Sanjabi sheep in west Iran. *Trop. Anim. Health. Pro.* 47, 567-573.

Schleger, A.V., Turner, H.G., 1965. Sweating rates of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. *Aust. J. Agr. Res.* 16, 92-106.

Schleger, A.V., 1962. Physiological attributes of coat colour in beef cattle. *Aust. J. Agr. Res.* 14, 1291-1300.

Scholtz, M.M., McManus, C., Leeuw, K.J., Louvandini, H., Seixas, L., De Melo, C.B., Theunissen, A., Naser, F.W.C., 2013. The effect of global warming on beef production in developing countries of the southern hemisphere. *Nat. Sci.* 5, 106-119.

Sejian, V., Maurya, V.P., Kumar, K., Naqvi, S.M.K., 2013. Effect of multiple stresses on growth and adaptive capability of Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Trop. Anim. Health. Prod.* 45, 107-116.

Setchell, B.P., 1988. The Parkes Lecture. Heat and the testis. *J. Reprod. Fertil.* 114, 179–194.

Silanikove, N., 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67, 1-18.

Silva, R.G., 2000. *Introdução à Bioclimatologia Animal*. São Paulo: Nobel.

Silva, R.G., Lascala Jr, N., Lima Filho, A.E., Catharin, M.C., 2002. Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. *Int. J. Biometeorol.* 46, 136–140.

Silva, R.G., Maia, A.S.C., Costa, L.L.M., Queiroz, J.P.A.F., 2012. Latent heat loss of dairy cows in an equatorial semi-arid environment. *Int. J. Biometeorol.* 56, 927-932.

Singh, A.K., Upadhyay, R.C., Malakar, D., Singh, S.V., Kumar, S., Devi, R., 2014. Role of Animal Skin in Thermoregulation. In: *Climate Resilient Livestock & Production System* (Singh, V.S., Upadhyay, R.C., Sirohi, S., Singh, A.K), pp. 51-62. Karnal: Intech Printers & Publishers.

Strong, R.A., Silva, E.B., Cheng, H.W.S., Eicher, D., 2015. Acute brief heat stress in late gestation alters neonatal calf innate immune functions. *J. Dairy. Sci.* 15, 601-603.

Sumner, R.M.W., Bigham, M.L., 1993. Biology of fibre growth and possible genetic and non-genetic means of influencing fibre growth in sheep and goats - a review. *Livest. Prod. Sci.* 33, 1-29.

5 ARTIGO 2 - MAIOR EFICIÊNCIA TERMOLÍTICA SISTÊMICA E TESTICULAR DURANTE O TESTE DE TOLERÂNCIA AO CALOR REFLETE MELHOR QUALIDADE SEMINAL EM OVINOS DE RAÇAS TROPICALIZADAS.

Higher systemic and testicular thermolytic efficiency during the heat tolerance test reflects better semen quality in rams of tropical breeds.

* O artigo segue as normas do periódico International Journal of Biometeorology, ao qual será submetido.

RESUMO

O trabalho objetivou avaliar a capacidade de manutenção da homeotermia corpórea e testicular de ovinos das raças Morada Nova (MN) e Santa Inês (SI), sob desafio térmico. Durante cinco dias de verão, dezesseis machos (SI=7 e MN=9) foram submetidos ao teste de tolerância ao calor, a saber: Período 1 – animais mantidos à sombra (11:00 às 12:00 horas), Período 2 – animais expostos ao sol (12:00 às 13:00 horas), Período 3 – animais retornaram à sombra (13:00 às 14:00 horas). Em cada período foram avaliadas variáveis fisiológicas e temperaturas de superfície por infravermelho (IRT) de tronco, dorso, globo ocular e testículos. Foi calculado o índice de tolerância ao calor (ITC), indicador do nível de adaptabilidade dos animais. A qualidade seminal e a integridade do parênquima testicular foram avaliadas antes e após o desafio térmico. Análises estatísticas foram realizadas adotando 5% de significância. No Período 1, as variáveis apresentaram valores basais, em ambos os genótipos. No Período 2 observou-se incremento significativo das variáveis envolvidas na termólise ($P<0,05$), condizente com situação de desconforto térmico. No Período 3, as variáveis retomaram os valores basais, e algumas apresentaram valores mais baixos que os observados no Período 1. A qualidade seminal e a integridade do parênquima testicular não sofreram efeitos negativos do insulto térmico. Houve correlação positiva entre IRT ocular e IRT testicular ($P<0,05$). Conclui-se que ovinos MN e SIN apresentam eficientes mecanismos termolíticos que favorecem a preservação da funcionalidade gonadal, sendo considerados resilientes ao desafio térmico imposto em sistemas de produção em clima tropical. Adicionalmente, a avaliação por termografia infravermelha constitui ferramenta eficiente para a aferição da termorregulação corpórea e testicular.

Palavras-chave: *Ovis aries*, Estresse térmico, Ambiente tropical, Termorregulação, Sêmen, Termografia Infravermelha, Andrologia.

INTRODUÇÃO

A elevação do desempenho produtivo dos rebanhos é dependente da seleção e uso de reprodutores eficientes, seja na monta natural ou em programas de inseminação artificial. Um reprodutor ideal deve apresentar notável desempenho em programas de melhoramento genético, deve ser capaz de efetuar a monta (McGowan et al. 2002; Stellflug et al. 2008), bem como ter alta produção qualitativa e quantitativa de gametas férteis (Arruda et al. 2015). Por sua vez, a produção e diferenciação normal dos espermatozoides estão sujeitas à capacidade de termorregulação corpórea e testicular (Kastelic et al. 1996).

Os ovinos são animais que possuem testículos extracavitários, os quais requerem temperaturas testiculares mais baixas que a temperatura corpórea para que a espermatogênese ocorra de modo normal (Garcia 2004; Cruz Júnior et al. 2015). Em ambiente tropical, a exposição constante à elevada radiação solar predispõe animais menos adaptados à degeneração testicular em razão do aumento da temperatura testicular, resultando em subfertilidade ou em infertilidade (Marai et al. 2007). Nesse contexto, a escolha de reprodutores para uso nos trópicos deve contemplar seu mérito genético, bem como o conhecimento de suas habilidades em se adaptar a climas megatérmicos.

A resistência térmica em ovinos é avaliada pela capacidade individual de dissipação de calor (Paim et al. 2013; Fadare et al. 2013). A adequação do animal ao ambiente pode ser analisada pelo monitoramento de variáveis fisiológicas de relevância clínica (Chauhan et al. 2014; Meza-Herrera et al. 2015), bem como de suas temperaturas de superfície corpórea (McManus et al. 2015). Uma das formas de identificação de animais com fenótipo mais adaptados ao calor se dá pelo uso de índices preditivos de termotolerância, que podem ser usados para relacionar a manutenção da homeotermia à eficiência produtiva e reprodutiva (Benezra 1954; Alhidary et al. 2012; Barros et al. 2015; Mahjoubi et al. 2015; Silva et al. 2015).

Dentre os testes bioclimatológicos existentes para avaliação da tolerância ao calor, cita-se o teste proposto por Baccari Junior (1986). Com seu uso, é possível calcular um índice que mensura o nível de estresse após exposição dos animais à radiação solar direta e posterior retorno a áreas sombreadas. Esse teste, denominado teste de tolerância ao calor, vem sendo utilizado com sucesso em bovinos (Titto et al. 1998), caprinos (Santos et al. 2005) e ovinos (Verissimo et al. 2009; McManus et al. 2015). Contudo, não há trabalhos na literatura que

relatem o nível de desconforto ou de compensação fisiológica exigidos dos animais durante a exposição à radiação solar no transcorrer do referido teste.

Adicionalmente, métodos menos invasivos, mais sensíveis e precisos para avaliação da termorregulação corpórea têm sido desenvolvidos e usados em medicina veterinária nos últimos anos (Schaefer et al. 2007; Moraes Júnior et al. 2010; Reid et al. 2012; Ozeki et al. 2014). Nesse contexto, a termografia de infravermelho (IRT) vem se destacando como uma técnica aplicada também em avaliações andrológicas. A IRT permite a detecção de anormalidades aprofundadas e superficiais do escroto em algumas espécies animais, como equinos (Ramires Neto et al. 2013), bovinos (Kastelic 2014; Menegassi et al. 2015), ovinos (Cruz Júnior et al. 2015) e bubalinos (Barros et al. 2016).

Portanto, tendo como premissa que a capacidade de dissipação de calor corpóreo pode variar entre raças distintas, objetivou-se avaliar a capacidade de homeotermia, a estabilidade das temperaturas de superfície corpórea e os parâmetros andrológicos de ovinos de raças consideradas adaptadas ao ambiente tropical, quando submetidos à aplicação de teste de tolerância ao calor.

MATERIAL E MÉTODOS

Período, Local experimental e Caracterização climática

O ensaio foi realizado na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP, Brasil, (21°96'00"S, 47°84'18"W, elevação 854 m), entre janeiro e fevereiro de 2015, sob aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais Experimentais (Declaração CEUA-CPPSE #2106/2013).

O tipo climático da região é Cwa, tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen-Geiger (Kottek et al. 2006). O clima local apresenta quatro estações climáticas definidas, com inverno seco e verão chuvoso. Ao longo do ano, a média da temperatura máxima do ar varia entre 29,2 e 36,6°C, com picos de até 38,0°C. A umidade relativa do ar média varia de 55,3 a 90,5%, com média anual de chuvas de 1361 mm (Embrapa 2015).

Animais experimentais e manejo

Dezesseis machos ovinos (*Ovis aries*) adultos (12±4,0 meses, 45,9±4,0 kg) e clinicamente sadios foram divididos em dois grupos experimentais, de acordo com a raça, a

saber: Morada Nova (Grupo MN, n=7) e Santa Inês (Grupo SIN, n=9). Ambas as raças foram desenvolvidas no Brasil e são desprovidas de lã. Os animais foram mantidos em lote único, em piquete de pastagem de 900m². A alimentação foi composta por volumoso (silagem de milho e capim *Cynodon nlemfuensis*) e concentrado (milho em grão, farelo de soja, calcário calcítico e sal mineral), ofertado a 2% do peso vivo, em cocho coletivo. A água foi ofertada em bebedouro automático, para consumo *ad libitum*. Nos dias de aplicação do teste de termotolerância os animais foram conduzidos para curral de manejo anexo à pastagem.

Monitoramento microclimático

Para a caracterização microclimática dos ambientes do curral (Anexo D) onde foi aplicado o teste de tolerância ao calor (áreas com sombra ou a pleno sol), foram mensuradas variáveis climáticas durante os cinco dias de teste de tolerância ao calor. Foram consideradas a temperatura do ar (Ta, °C), umidade relativa do ar (Ur, %) e temperatura de globo negro (Tgn, °C). Duas estações meteorológicas automáticas foram usadas no curral, uma em área sombreada e outra em área contígua, a pleno sol. A AT e a RH foram determinadas com conjuntos psicrométricos (Vaisalla HMP50, National Instruments, Austin, TX, EUA), protegidos por abrigo micrometeorológico. A BGT foi obtida com termopar tipo T (cobre-constantan) inserido em globo metálico preto, instalado a 2,0m acima do solo. Os sensores foram acoplados a um sistema automático de aquisição de dados (CR3000 Micrologger®, Campbell Scientific, Logan, UT, EUA), programado para leituras a cada 5 segundos e geração de médias a cada 15 minutos.

Cálculo do Índice de Temperatura e Umidade

Os dados de Ta e Ur aferidos no momento das avaliações dos animais foram usados para calcular o THI, conforme a fórmula $THI = AT - \{(0,31 - 0,31RH) (AT - 14,4)\}$, onde AT é a temperatura do ar aferida em termômetro de bulbo seco (°C) e RH é o valor da umidade relativa do ar (%)/10. Os valores de THI obtidos indicam: <22,2 = ausência de estresse térmico; 22,2 a <23,3 = estresse térmico moderado; 23,3 a <25,6 = estresse térmico severo; e ≥25,6 = estresse térmico muito severo (Marai et al. 2007).

Teste de tolerância ao calor e respostas fisiológicas

O teste de tolerância ao calor foi aplicado aos animais em curral de manejo. O teste ocorreu durante cinco dias típicos de verão tropical, conforme proposto por Baccari Junior (1986). Cada dia de teste compreendeu três etapas: Período 1 - animais mantidos à sombra (11:00 às 12:00 horas); Período 2 - animais mantidos a pleno sol (12:00 às 13:00 horas) e Período 3 - animais retornaram à sombra (13:00 às 14:00 horas). Durante o momento do teste, os animais foram contidos em cabrestos, sem acesso a alimento ou água. O período de tempo compreendido pelos cinco dias de aplicação do teste de tolerância ao calor foi considerado como “desafio térmico” aos animais.

Dentro de cada dia do teste, em cada um dos períodos, foi realizado o monitoramento da frequência respiratória (FR, mov/min), frequência cardíaca (FC, bat/min) e temperatura retal (TR, °C), nesta ordem. A FR foi determinada pela inspeção da movimentação da região tóraco-abdominal e contagem dos movimentos respiratórios durante um minuto. A FC foi avaliada com estetoscópio veterinário, após contagem dos batimentos cardíacos por um minuto. A TR foi aferida com termômetro clínico veterinário durante dois minutos (Alhidary et al. 2012).

Para cada animal, foi calculado o Índice de Tolerância ao Calor (ITC), conforme a fórmula: $ITC=10 - (TR3 - TR1)$, onde 10 = constante, TR3 = temperatura retal obtida ao final do Período 3 e TR1 = temperatura retal obtida ao final do Período 1. Valores próximos de 10 indicam que o animal é melhor adaptado ao calor (Baccari Junior 1986; McManus et al. 2015).

Temperaturas de superfície por infravermelho (IRT)

As temperaturas de superfície foram avaliadas pela técnica de termografia por infravermelho, durante cada um dos três períodos que compõem o teste de tolerância ao calor. As imagens termográficas foram geradas com câmera termográfica portátil (Testo 875i-2; TestoAG; Lenzkirch, Alemanha), com os animais individualmente contidos. Foram analisadas as seguintes regiões corpóreas: tronco, globo ocular e escroto (Fig. 1), sempre nessa ordem (Kotrba et al. 2007; Schaefer et al. 2007; Menegassi et al. 2015). A câmera foi mantida ao nível da região anatômica avaliada, com distância aproximada de 2,0 m para o tronco do animal, 0,5 m para globo ocular e 0,7 m para o escroto. A emissividade adotada foi de 0,98 (Hoffmann et al. 2013).

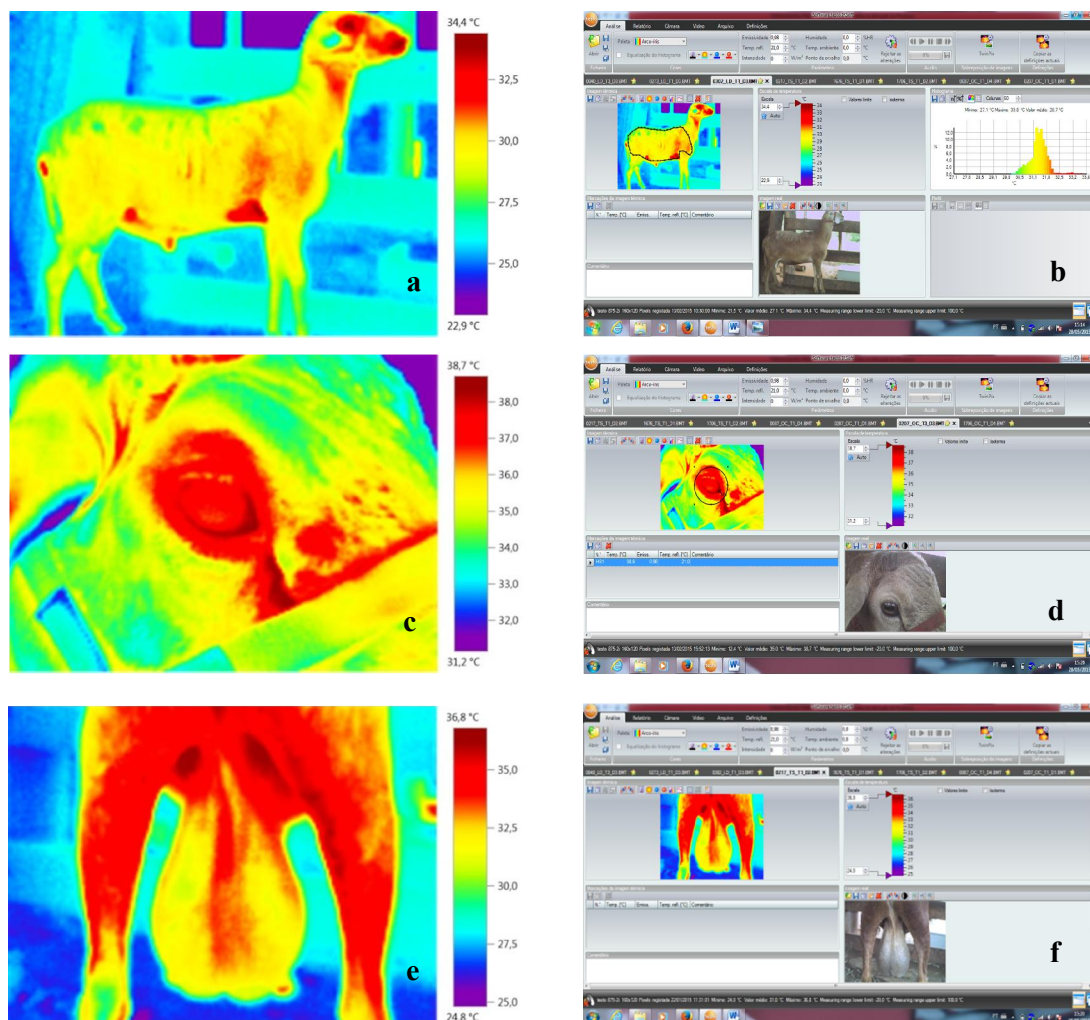


Figura 1 - Imagens termográficas e respectivas avaliações gráficas do tronco direito (a, b), do globo ocular direito (c, d) e do escroto (e, f). Os traçados demonstrados nas figuras b e d determinam as informações térmicas analisadas

As características definidas como sendo de interesse foram: temperatura de tronco (TT, °C), temperatura de dorso (TD, °C), temperatura de globo ocular (TOC, °C), temperatura de polo testicular dorsal (TPD, °C), temperatura de polo testicular ventral (TPV, °C) e temperatura de testículos (TTM, °C). Os resultados de TT e TD foram gerados com valores de temperatura máxima, média e mínima, enquanto para TPD, TPV e TTM foram considerados os valores médios. Para TOC, foram considerados os valores de temperatura máxima (hot spots), conforme metodologia de Hoffmann et al. (2013).

As imagens foram interpretadas com o programa IR Soft 3.1 SP3 (Testo, TestoAG; Lenzkirch, Alemanha). Para a análise da TT utilizou-se o estilo de traçado à mão livre (Kotrba et al. 2007). A TOC foi avaliada com traçado circular automático, incluindo na análise o

globo ocular e a glândula lacrimal (Schaefer et al. 2007; Hoffmann et al. 2013). As TD, TPD e TPV foram determinadas com traçado em polígono retangular. A TTM foi determinada por traçado à mão livre, considerado o contorno do órgão, sem inclusão do epidídimo (Barros et al. 2016).

Biometria escrotal e testicular

Para a análise do efeito do desafio térmico sobre a biometria testicular foram realizadas avaliações pré (sete dias) e pós (sete dias) o teste de tolerância ao calor. Foram consideradas relevantes as características de perímetro escrotal, volume e consistência do parênquima testicular. O perímetro escrotal (SC, cm) foi mensurado ao nível do maior diâmetro após o posicionamento paralelo dos testículos no fundo do escroto, com uso de fita métrica maleável graduada. O volume testicular (TV, cm³) foi determinado conforme Bailey et al. (1998), com base nos valores de comprimento e a largura testiculares, os quais foram aferidos com paquímetro metálico. A consistência testicular (CONS) foi avaliada pelo método da palpação e categorizada em escala de 1 a 5 (1: flácida – 5: firme) (CBRA 2013).

Ultrassonografia testicular

A integridade do parênquima testicular foi mensurada por ultrassonografia, concomitantemente à biometria escrotal. Foi usada probe linear em frequência de 7,5 MHz, no modo B (DP-20 Vet, Mindray, Shenzhen, China). O parênquima dos testículos direito e esquerdo foi avaliado quanto à homogeneidade tecidual e à ecogenicidade decorrente da presença de pontos hiperecoicos (Alves 2014). A homogeneidade (HOM) foi classificada em escala de 0 a 2: 0 = parênquima homogêneo (ausência de pontos anecoicos patológicos), 1 = pouco heterogêneo (presença de poucos pontos anecoicos patológicos) e 2 = muito heterogêneo (presença de muitos pontos anecoicos patológicos). A hiperecogenicidade do parênquima (HIP) foi classificada em escala de 0 a 3: 0 = ausência de pontos hiperecoicos; 1 = presença de até cinco pontos hiperecoicos, 2 = presença de mais de cinco pontos hiperecoicos próximos ao mediastino, 3 = presença de mais de cinco pontos hiperecoicos difusos no parênquima testicular. Os resultados de HOM e HIP foram apresentados como a média dos testículos contralaterais. Pela classificação adotada, quanto menor o valor, melhor a condição do parênquima testicular (Alves, 2014).

Qualidade do sêmen

Amostras de sêmen de todos os animais foram colhidas a cada sete dias, por duas semanas consecutivas, antes do início do desafio térmico, para avaliar a condição dos animais no “pré-desafio”. Após o final do desafio térmico, amostras de sêmen foram também colhidas por duas semanas consecutivas, para avaliação no momento “pós-desafio”. Os parâmetros seminais considerados foram: concentração espermática, motilidade espermática progressiva, integridade da membrana plasmática dos espermatozoides e a morfologia espermática.

A concentração espermática (CONC, $\times 10^9$ spz/mL) foi avaliada em câmara de Neubauer (diluição 1:400). A motilidade espermática progressiva (MP, %) foi avaliada em microscopia óptica, sob 100x de magnificação. A integridade da membrana plasmática dos espermatozoides (IMP, %) foi avaliada por teste hiposmótico, com diluição 1:10 em solução hiposmótica (150 mOsm/L), seguida de incubação. Quatrocentas células por amostra foram examinadas para IMP em microscópio de contraste de fase, sob 400x de magnificação, conforme Fukui et al. (2004). A morfologia espermática foi determinada pela técnica de gota úmida. Um total de 200 células foram examinadas em microscópio de contraste de fase, sob 1000x de magnificação. As células foram classificadas de acordo com suas características morfológicas como portadoras de defeitos espermáticos maiores (DefMa, %) ou menores (DefMen, %), e sua somatória expressou os defeitos totais (DefT, %), conforme previamente descrito (Bloom 1973).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à avaliação descritiva seguida da análise de variância, realizada pelo procedimento GLM do SAS (SAS 2010). Para as variáveis fisiológicas foi considerado o efeito de raça (SI e MN) de período (1, 2 e 3) e suas respectivas interações, seguindo o modelo: $Y = \text{raça} + \text{animal (raça)} + \text{período} + \text{raça*período} + \text{erro}$. Para as variáveis seminais e ultrassonográficas, foi considerado o efeito de raça (SI e MN) e momento (pré e pós-desafio), seguindo o modelo: $Y = \text{raça} + \text{animal (raça)} + \text{desafio} + \text{raça*desafio} + \text{erro}$. Para a comparação múltipla entre médias foi adotada a opção LSMEANS. O efeito animal (raça) foi o erro considerado para testar raça. O grau de associação entre as variáveis foi determinado pela correlação de Pearson. As correlações foram calculadas para avaliar a associação entre o ICTI, as IRTs, as variáveis fisiológicas e seminais, sendo demonstradas nos

resultados apenas aquelas com nível de associação significativo. O nível de significância adotado para todos os testes foi de 5%.

RESULTADOS

Os valores médios da Ta, Ur e Tgn apresentaram oscilações ao longo da aplicação do teste de tolerância ao calor, com extremos observados no Período 2, quando os animais encontravam-se a pleno sol (Tabela 1).

Tabela 1 - Temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro (médias \pm erro padrão) registrados nos dias de teste de tolerância ao calor.

	Período 1 1100 às 1200 hs (sombra)	Período 2 1200 às 1300 hs (pleno sol)	Período 3 1300 às 1400 hs (sombra)
Temperatura do ar (°C)	25,7 \pm 1,2	29,8 \pm 2,2	28,0 \pm 4,6
Umidade relativa (%)	67,9 \pm 9,3	56,6 \pm 7,0	57,8 \pm 15,3
Temperatura globo negro (°C)	27,5 \pm 1,5	40,6 \pm 6,3	29,7 \pm 5,7

O ITU registrado no Período 1 foi de 25,0 e apontou condição de estresse térmico severo aos animais, enquanto que os valores de 27,0 e 26,3, observados nos Períodos 2 e 3, respectivamente, revelaram situação de estresse térmico muito severo.

As variáveis fisiológicas avaliadas sofreram elevação significativa no Período 2 (Tabela 2). A FR atingiu valores de 110 e 126 mov/min, tendo sido mais elevada para animais SIN, com alguns indivíduos demonstrando valores máximos próximos a 260 mov/min. Contudo, cessada a exposição solar direta, rapidamente houve retorno da FR ao nível basal, em ambos os grupos. A FC se manteve estável no Período 2 para animais MN, ao passo que sofreu incremento nos ovinos SIN. Contudo, ao final do teste de tolerância ao calor, a FC foi menor que no Período 1, independentemente do genótipo. Interessante notar que tanto antes como após o teste, os animais MN apresentaram FC mais elevada que os animais SIN ($P<0,05$).

Com a exposição à radiação solar direta, a TR apresentou incremento significativo de 0,7°C para animais MN e 0,6°C para SIN ($P<0,05$), mas retornou aos níveis basais no Período 3. Ao retornarem à sombra, animais MN conseguiram reduzir a TR para valores ainda inferiores aos apresentados por animais SIN ($P<0,05$). O ITC médio determinado para os

animais MN foi de 9,9 enquanto que para os animais SIN foi de 9,8, não havendo diferença significativa entre os mesmos ($P>0,05$).

Tabela 2 - Valores médios e erros padrão da média (SEMs) da frequência respiratória (RR), frequência cardíaca (CF) e temperatura retal (RT) de machos ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN) aferidos durante o teste de tolerância ao calor

Variável	Raça	Período 1	Período 2	Período 3	SEM
		1100 às 1200 hs (sombra)	1200 às 1300 hs (pleno sol)	1300 às 1400 hs (sombra)	
FR (mov/min)	MN	26,2Ab	110,4Ba	34,2Ab	6,10
	SIN	31,2Ab	126,9Aa	36,8Ab	5,30
CF (bat/min)	MN	86,2Aa	87,5Aa	80,5Ab	1,50
	SIN	79,6Bb	85,8Aa	75,0Bc	1,30
RT (°C)	MN	38,3Ab	39,0Aa	38,4Bb	0,06
	SIN	38,5Ab	39,1Aa	38,7Ab	0,05

A, B letras maiúsculas distintas na mesma coluna denotam diferença estatística, entre raças ($P<0,05$)

a, b letras minúsculas distintas na mesma linha denotam diferença estatística ($P<0,05$)

Para as duas raças, TT, TD, TOC, TPD, TPV e TTM apresentaram incremento significativo no Período 2, e sucessivo retorno aos valores basais no Período 3 (Figura 2). A diferença de temperatura média entre os Períodos 2 e 3 para TT foi de 7,0°C para MN e 6,8°C para SIN. Com o retorno à sombra, TD declinou em torno de 12°C e 11,5 °C para MN e SIN, respectivamente. Para animais MN os valores máximos de TT e TD atingiram 48,7±1,0 e 48,4±1,0°C, enquanto machos SIN apresentaram temperaturas máximas de 47,9±0,9 e 47,6±0,9°C, para as respectivas regiões.

A TOC dos animais MN sofreu incremento de 0,9°C no Período 2 (37,3±0, °C 1 para 38,2±0,1°C) e, com o retorno dos animais à sombra, declinou 0,5°C, sendo que o valor observado ao final do teste de termotolerância (37,7±0,1°C) foi semelhante ao observado no Período 1 (37,8±0,1°C). Os animais SIN também apresentaram acréscimo de 0,9°C após exposição ao sol (de 37,4±0,1°C para 38,3±0,1°C), seguido de redução de 0,8°C ao final do teste (37,5±0,1°C).

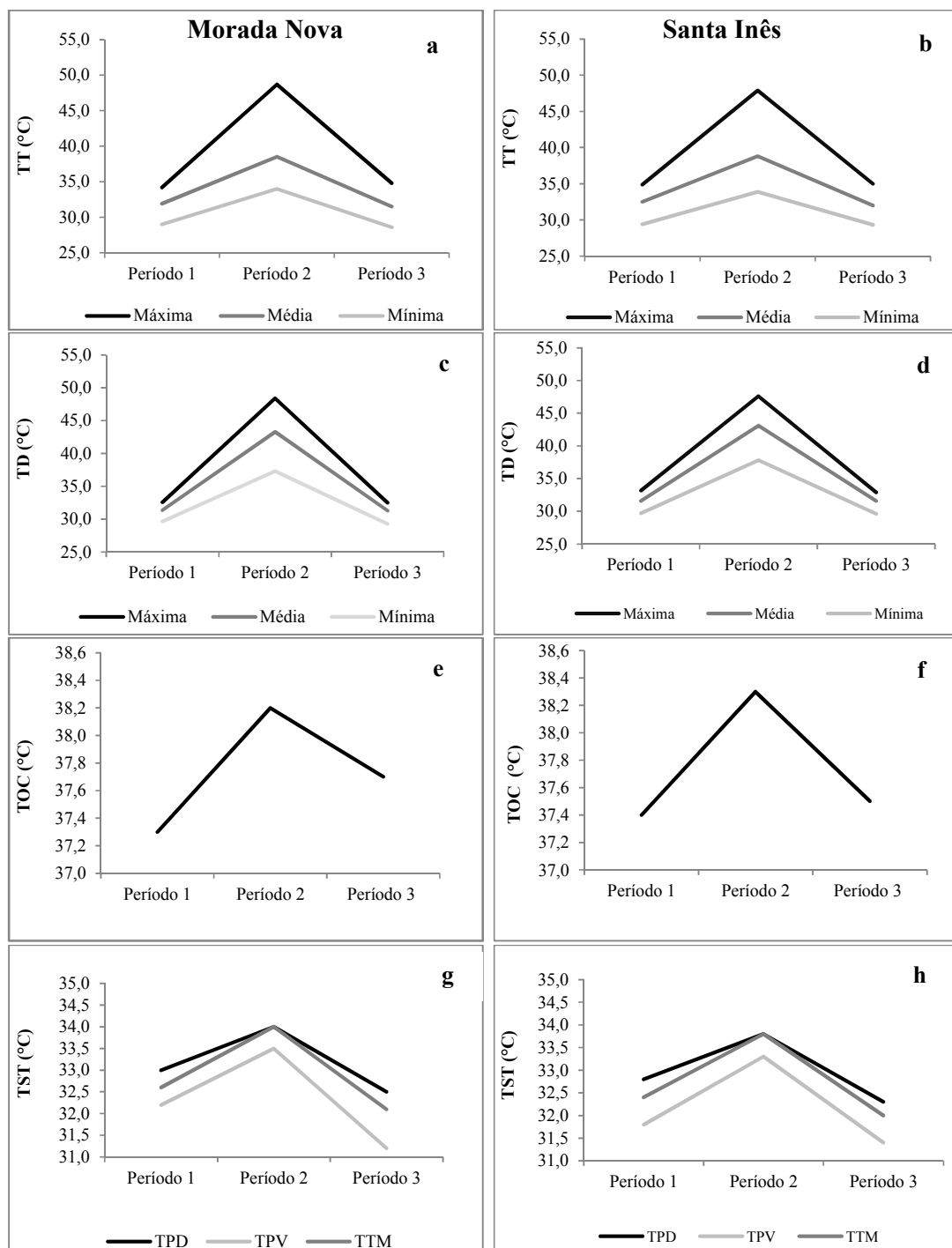


Figura 2- Temperaturas de superfície obtidas por termografia infravermelha das regiões do tronco (mínima, média e máxima), dorso (mínima, média e máxima), ocular e testículos (TPD - temperatura de polo testicular dorsal, TPV - temperatura de polo testicular ventral e TTM - temperatura testicular média) de ovinos das raças Morada Nova (a, c, e, g) e Santa Inês (b, d, f, h) durante o teste de tolerância ao calor

O gradiente térmico entre os polos dorsal e ventral dos testículos observado no Período 1, tanto para animais MN quanto para SIN foi de $0,9^{\circ}\text{C}$ (Fig. 2). No Período 2 ocorreu diminuição de $0,5^{\circ}\text{C}$ no gradiente térmico ($P < 0,05$) em ambas as raças. Já no Período

3, os dois genótipos mostraram o restabelecimento do gradiente testicular, de modo que ovinos MN restabeleceram a diferença de 1,1°C, enquanto que machos SIN, apresentaram gradiente de 0,9°C. Para machos MN, a temperatura do polo testicular ventral após o teste de tolerância ao calor foi significativamente menor que a temperatura aferida no Período 1 ($32,1 \pm 0,2$ vs $31,4 \pm 0,2^\circ\text{C}$, $P < 0,05$).

Os resultados de qualidade seminal antes e após o desafio térmico demonstraram que a exposição cumulativa à radiação solar não afetou significativamente o sêmen dos animais de ambos os genótipos, quando considerados os valores de concentração espermática, motilidade espermática progressiva, integridade de membrana plasmática e defeitos espermáticos maiores (Tabela 3). Um leve acréscimo no total de anomalias na morfologia espermática ocorreu em ambas as raças, com incremento não superior a 4% entre o pré e o pós-desafio. Quando comparadas após o desafio, as médias de MP e de IMP foram significativamente superiores nos animais MN ($P < 0,05$).

Tabela 3 - Valores médios e erros padrão da média (SEMs) da concentração espermática (CONC), motilidade progressiva (MP), integridade de membrana plasmática (IMP), defeitos maiores (DefMa), defeitos menores (DefMe) e defeitos totais (DefT) em ejaculados de ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliados antes e depois do desafio térmico imposto por teste de tolerância ao calor.

Variável	Raça	Desafio	
		Pré	Pós
CONC ($\times 10^9$ sptz/mL)	MN	2,4 \pm 0,2Aa	2,3 \pm 0,1Aa
	SIN	2,2 \pm 0,2Aa	2,3 \pm 0,1Aa
MP(%)	MN	70,8 \pm 5,3Aa	74,5 \pm 3,7Aa
	SIN	60,0 \pm 4,5Aa	55,6 \pm 3,2Ba
IMP (%)	MN	62,8 \pm 4,9Aa	63,4 \pm 3,0Aa
	SIN	52,7 \pm 4,3Aa	41,8 \pm 3,0Ba
DefMa (%)	MN	4,4 \pm 0,9Aa	4,7 \pm 0,6Aa
	SIN	2,5 \pm 0,8Aa	3,4 \pm 0,6Aa
DefMe (%)	MN	2,1 \pm 1,0Aa	3,4 \pm 0,7Aa
	SIN	2,0 \pm 0,9Ab	4,5 \pm 0,6Aa
DefT(%)	MN	4,3 \pm 1,2Ab	8,1 \pm 0,8Aa
	SIN	4,5 \pm 1,0Ab	8,0 \pm 0,7Aa

A, B letras maiúsculas distintas na mesma coluna denotam diferença estatística, entre raças ($P < 0,05$)
a, b letras minúsculas distintas na mesma linha denotam diferença estatística ($P < 0,05$)

Após o desafio pelo calor, não houve diferença para SC, CONS e TV entre os animais das diferentes raças (Tabela 4). Contudo, os escores de HOM e HIP observados foram significativamente menores para animais MN, indicando maior integridade tecidual após o desafio térmico.

Tabela 4 - Valores médios e erros padrão da média (SEMs) de perímetro escrotal (PE), consistência testicular (CONS), volume testicular (VT), escore de homogeneidade (HOM) e de presença de pontos hiperecoicos (HIP) no parênquima testicular de ovinos Morada Nova (MN) e Santa Inês (SIN), avaliados antes e depois do desafio térmico imposto por teste de tolerância ao calor.

Variável	Raça	Desafio		SEM
		Pré	Pós	
PE (cm)	MN	33,6Aa	33,0Ab	0,10
	SIN	33,4Aa	33,5Aa	0,10
CONS (1 a 5)	MN	3,0Aa	2,6Ab	0,10
	SIN	2,7Aa	2,7Aa	0,10
VT (cm ³)	MN	793,0Aa	710,5Aa	29,50
	SIN	736,1Aa	779,9Aa	26,00
HOM (0 a 2)	MN	1,0Aa	0,7Ba	0,10
	SIN	1,4Aa	1,2Aa	0,10
HIP (0 a 3)	MN	1,4Ba	1,2Ba	0,10
	SIN	2,1Aa	1,7Aa	0,10

A, B letras maiúsculas distintas na mesma coluna denotam diferença estatística, entre raças ($P < 0,05$)

a, b letras minúsculas distintas na mesma linha denotam diferença estatística ($P < 0,05$)

O ITC apresentou correlação negativa e significativa com TR e com a maioria das temperaturas de superfície mensuradas por infravermelho (Tabela 5). A TOC apresentou correlação positiva e significativa com todas as temperaturas de superfícies avaliadas e com a TR, porém sendo esta última de baixa magnitude.

Tabela 5 - Coeficientes de correlações entre o Índice de Tolerância ao Calor, temperatura retal (TR) e temperatura de superfície (IRT) de diferentes regiões anatômicas de ovinos Morada Nova e Santa Inês.

Variável	Índice de Tolerância ao Calor	IRT ocular
TR	-0,68**	0,27*
TOC	n.s.	1,00
TT	n.s.	0,59**
TD	-0,37*	0,59**
TPD	-0,36*	0,62**
TPV	-0,44*	0,70**
TTM	-0,40*	0,67**

* $P \leq 0,01$; ** $P \leq 0,001$; n.s. não significativo

DISCUSSÃO

Durante os três períodos avaliados, a condição ambiental pode ser considerada desconfortável para ovinos do ponto de vista térmico (Marai et al. 2007). Como aproximadamente dois terços do território brasileiro se encontra na zona intertropical, onde a temperatura do ar ultrapassa 25°C na maior parte do ano, observa-se uma condição propícia para a ocorrência de estresse térmico em várias espécies domésticas (Verissimo et al. 2009; Sejian et al. 2013; Barros et al. 2015). No verão tropical, o desconforto térmico é estabelecido, em virtude das elevadas temperatura do ar e umidade relativa do ar, aliadas à intensa carga radiante. Essa situação favorece maior absorção corpórea de radiação térmica proveniente do meio, elevando a possibilidade de hipertermia nos animais.

No Período 1, quando os animais estavam acomodados à sombra, suas variáveis fisiológicas apresentavam valores considerados basais para ovinos, tanto nos animais MN quanto nos SIN. Contudo, durante o processo de exposição à radiação solar direta, houve incremento calórico que provocou elevação significativa da FR (com picos de até 260 mov/min observados em alguns animais) e das temperaturas de superfície corpórea, fato condizente com situação de estresse térmico severo (Silanikove 2000), mesmo que transitório.

O incremento da FR corresponde à ativação do processo de resfriamento corpóreo por evaporação das secreções respiratórias, mecanismo prioritário de prevenção à hipertermia para ovinos, responsável por 65% de sua termólise total (Silva et al. 2002; Alhidary et al. 2012; Luz et al. 2014). Quando a temperatura do ar atinge ou supera 30°C, o gradiente térmico entre o animal e o meio diminui, comprometendo a eficiência da dissipação de calor

sensível. Assim, as perdas evaporativas por sudação e ofegação tornam-se as vias termolíticas preferenciais (Silva et al. 2002). Logo, a frequência respiratória constitui um indicativo notável da intensidade do estresse enfrentado pelo animal (Sejian et al. 2013). O incremento da taxa respiratória acima de 120 mov/min também foi previamente relatado em ovinos criados ambiente tropical, principalmente no turno da tarde (McManus et al. 2015).

No retorno à sombra, os animais apresentaram capacidade de resfriamento corpóreo, demonstrado pelo retorno dos parâmetros aos níveis fisiológicos, e, eventualmente, a valores menores do que os observados ao início do desafio térmico, como observado para a FC e TPV em ambos genótipos.

Pode-se inferir que a elevação da FC observada no momento de desconforto térmico, nos animais SIN, foi decorrente de aporte sanguíneo compensatório necessário à vasodilatação periférica, visando a troca de calor por condução e convecção (Castanheira et al. 2010; Correa et al. 2013). Ainda que tenha ocorrido incremento na TR (0,7°C para MN e 0,6°C para SIN), os mecanismos compensatórios termorregulatórios da FR e FC, entre outros ajustes corpóreos não estudados neste trabalho, foram suficientes para que o ganho térmico não ultrapassasse o limite fisiológico superior de 39,9°C para a espécie (Taylor et al. 2014). Esse fato é ratificado pelo ITC de 9,9 encontrado para a raça MN e de 9,8 para a raça SIN, valores indicativos de grande adaptabilidade ao calor, similares ao observado por Verissimo et al. (2009) e superiores ao observado em ovinos Santa Inês por McManus et al. (2015).

As temperaturas de superfície de várias regiões corpóreas também são consideradas referências fisiológicas sobre o dinamismo térmico dos animais (Santos et al. 2005). Quando a temperatura do ar ultrapassa a temperatura da pele, há transferência térmica para o animal e imediata elevação da temperatura de superfície corpórea. Entre os Períodos 1 e 2, as TT média e máxima aumentaram 6,6°C e 14,5°C para MN, e 6,3 °C e 13,0°C para SIN, respectivamente. Essa discrepância térmica demonstra a magnitude do ganho calórico e do desconforto térmico do animal, sob intensa radiação solar, situação que pode ser similar à enfrentada por animais mantidos em pastagens isentas de sombreamento, em região de clima tropical.

A temperatura de globo ocular está sujeita às variações térmicas em função da presença da glândula lacrimal que a sensível à oscilação térmica (Schaefer et al. 2007). Em razão disso, a TOC tem sido altamente correlacionada à temperatura retal, e, portanto, apontada como medida alternativa para avaliação de estados febris (Schaefer et al. 2007) e de estresse térmico (Stewart et al. 2005; Martins et al. 2013). No presente estudo, a TOC também acompanhou o comportamento das outras variáveis, sofrendo acréscimo nos animais de

ambas as raças durante o Período 2. Contudo, o coeficiente de correlação entre TOC e TR observado foi significativo, mas de menor magnitude dos que valores previamente reportados (George et al. 2014; Alves et al 2016).

As temperaturas da superfície escrotal correlatas aos polos dorsal e ventral testiculares avaliadas em condição de conforto, bem como o gradiente térmico entre essas regiões, estão de acordo com os valores citados como normais para ovinos mantidos a 25°C (Kastelic et al. 1999). Um dado interessante e digno de nota é o fato da TPV mensurada no Período 3 ter sido menor que a observada no Período 1, principalmente nos animais MN. Tal evento demonstra a retomada do gradiente térmico necessário à normalidade da espermatogênese, mesmo após desafio térmico ambiental, o que permite a manutenção das características espermáticas (Kastelic et al. 1996; Menegassi et al. 2015). Não há relatos na literatura sobre a análise térmica da superfície escrotal de ovinos Morada Nova.

Uma vez que a temperatura de superfície escrotal apresenta correlação alta e positiva com a temperatura intratesticular, pois a temperatura da pele escrotal pode espelhar o fluxo sanguíneo subjacente (Coulter et al. 1988; Paulrud et al. 2002), sua avaliação por meio de termografia infravermelha pode indicar a condição térmica gonadal. Fisiologicamente, em animais com testículos alojados fora da cavidade abdominal, a diferença entre a gônada e sua superfície é próxima a 4,8°C e deve ser mantida para que a espermatogênese se processe eficientemente (Coulter et al. 1988; Kastelic et al. 1995). A elevação da temperatura escrotal pode indicar falha no sistema de termorregulação testicular, resultando em elevação térmica intragonadal (Ramires Neto et al. 2013).

Frequência, duração e intensidade do agente causador da hipertermia testicular podem ocasionar degeneração do epitélio germinativo seminífero (Garcia 2004). A consequente disfunção metabólica e gênica nos túbulos seminíferos resulta em produção excessiva de espécie reativas de oxigênio, responsável por danos moleculares importantes (Durairajanayagam et al. 2015), que reduzem a produção de gametas funcionais e afetam a fertilidade do reprodutor (Kim et al. 2013) por ativar o processo apoptótico das células germinativas (Xu et al. 2016), reduzindo a qualidade seminal. Ejaculados de animais com termorregulação testicular imperfeita apresentam número reduzida concentração espermática, espermatozoides desprovidos de movimentação progressiva (Hamilton et al. 2016), com menor integridade de membranas, maior percentual de anormalidades morfológicas e maiores taxas de fragmentação de DNA (Ramires Neto et al. 2013; Alves et al. 2016; Zhang et al. 2016).

Os animais MN e SN não apresentaram redução significativa na maioria das características seminais avaliadas, mesmo tendo recebido alta carga térmica ao longo do desafio térmico e tendo ocorrido redução temporária do gradiente térmico escrotal. Em animais com temperatura de superfície escrotal mais elevada, o número de defeitos maiores em geral se eleva (Ramires Neto et al. 2013). O incremento de defeitos menores ocorrido para ambos os genótipos não foi suficiente para desqualificar o sêmen dos animais. Contudo, é recomendável estender em novos estudos o acompanhamento por período mais longo, de modo a determinar possíveis modificações celulares ocorridas em espermátócitos e espermátides, considerados os tipos celulares mais sensíveis ao calor (Setchell 1998), muito embora os defeitos espermáticos já apareçam a partir da primeira semana após o insulto térmico (Cruz Júnior et al. 2015; Garcia 2004).

A integridade do parênquima testicular dos animais estudados não sofreu efeito do insulto térmico aplicado, contrariamente ao que habitualmente ocorre em animais acometidos por degeneração testicular, os quais exibem maior heterogeneidade tecidual em função dos pontos de calcificação disseminados no parênquima gonadal (Ahmadi e Noakes 1995; Kastelic e Brito 2012). Após o desafio térmico, os animais MN apresentaram redução de 0,6 cm no PE e de 0,4 ponto na CONS. Isso pode estar associado ao início de alteração tecidual ocasionada pelo desafio térmico, muito embora não tenha sido impactante sobre a funcionalidade gonadal a ponto de afetar negativamente a qualidade seminal. A redução das variáveis biométricas testiculares também foi constatada em ovinos submetidos à insulação escrotal, que podem apresentar redução do SC a partir de 8 dias após o insulto, com retomada dos valores normais após 50 dias de cessado o estresse térmico (Moreira et al. 2001).

Dentre as correlações, destacaram-se as estabelecidas entre ITC com a temperatura média dos testículos e temperatura do polo ventral testicular. Essa relação sugere que a avaliação da temperatura de superfície escrotal poderia prever capacidade de adaptação de ovinos, uma vez que quanto maior a capacidade de manter a temperatura de superfície escrotal baixa, maior o ITC, e, portanto, mais adaptado o animal. Este tipo de análise reforça a tese de que a seleção genética para a regulação da temperatura corporal é uma estratégia potencial para atenuar os efeitos do estresse térmico em animais de produção (Dikmen et al. 2012). Adicionalmente, as correlações entre TOC e as temperaturas de superfície escrotal (TPD, TPV e TTM), sobretudo a TPV ($r=0,70$, $P=0,001$) sugerem que a realização de termograma da região orbital pode constituir meio alternativo para avaliação da eficiência termorreguladora do escroto e dos testículos.

CONCLUSÃO

Considerando a adaptabilidade climática, machos das raças Morada Nova e Santa Inês mostraram-se resilientes e podem ser indicados para uso como reprodutores em sistemas de produção de ovinos em clima tropical, uma vez que, demonstraram grande habilidade em realizar a dissipação de calor corpóreo. Sob condição ambiental de estresse severo, os animais ativaram eficientemente seus mecanismos termolíticos, os quais preveniram a hipertermia e permitiram a retomada das variáveis fisiológicas aos níveis basais. Adicionalmente, a adaptabilidade desses animais foi ratificada pela manutenção das temperaturas de superfície testicular e o gradiente térmico testicular em níveis considerados ideais, o que garantiu a preservação da qualidade seminal, mesmo após condições térmicas desafiadoras. Ademais, a termografia infravermelha constituiu método alternativo eficiente para o mapeamento térmico de superfícies corporais de interesse, podendo ser utilizada como ferramenta auxiliar na identificação de animais termotolerantes.

REFERÊNCIAS

- Ahmadi N, Noakes DE (1995) Ultrasound imaging in determining the presence of testicular degeneration in two male goats. *Brit Vet J* 151:101-110.
- Alhidary IA, Shini S, Al Jassim RAM, Gaughan JB (2012) Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load. *J Anim Sci* 90:212-220.
- Alves MBR (2014) Tratamento da degeneração testicular em carneiros com suplementação de vitamina A ou laserterapia de baixa intensidade. Dissertation, University of São Paulo, Brazil.
- Alves MB, Andrade AF, Arruda RP, Batissaco L, Florez-Rodriguez SA, Oliveira BM, Torres MA, Lançoni R, Ravagnani GM, Prado Filho RR, Vellone VS, Losano JD, Franci CR, Nichi M, Celeghini EC (2016) Recovery of normal testicular temperature after scrotal heat stress in rams assessed by infrared thermography and its effects on seminal characteristics and testosterone blood serum concentration. *Theriogenology* 86:795-805.
- Arruda RP, Celeghini ECC, Garcia AR, Santos GC, Leite TG, Oliveira LZ, Lançoni R, Rodrigues MP (2015) Morfologia espermática de touros: interpretação e impacto na fertilidade. *Rev Bras Reprod Anim* 39:47-60.
- Baccari Junior F (1986) Métodos e técnicas de avaliação da adaptabilidade dos animais nos trópicos. In: SEMANA DE ZOOTECNIA, 11, Pirassununga, 1986, Proceedings... Pirassununga: Fundação Cargill, p. 53-64.

Bailey TL, Hudson RS, Powe TA, Riddell MG, Wolfe DF, Carson RL (1998) Caliper and ultrasonographic measurements of bovine testicles and a mathematical formula for determining testicular volume and weight in vivo. *Theriogenology* 49:581-598.

Barros DV, Silva LKX, Kahwage PR, Lourenço Junior JB, Sousa JS, Silva AGM, Franco IM, Martorano LG, Garcia AR (2016) Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arq Bras Med Vet Zoo* 68:422-430.

Barros DV, Silva LKX, Lourenço Junior JB, Silva AOA, Silva AGM, Franco IM, Oliveira CMC, Tholon P, Martorano LG, Garcia AR (2015) Evaluation of thermal comfort, physiological, hematological and seminal features of buffalo bulls in an artificial insemination station in a tropical environment. *Trop Anim Health Prod* 47:805-813.

Benezra MV (1954) A new index measuring the adaptability of cattle to tropical conditions. *J Anim Sci* 13:1015.

Bloom E (1973) The ultrastructure of some characteristic sperm defects and a proposal for a new classification of the bull spermogram. *Nord Vet Med* 25:383-391.

CBRA - Colégio Brasileiro de Reprodução Animal (2013) Manual para exame andrológico e avaliação seminal. CBRA, Belo Horizonte, Brazil.

Castanheira M, Paiva SR, Louvandini H, Landim A, Fiorvanti MCS, Dallago BS, Correa OS, McManus C (2010) Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central Brazil. *Trop Anim Health Prod* 42:1821-1828.

Chauhan SS, Celi P, Fahri FT, Leury BJ, Dunshea FR (2014) Dietary antioxidants at supranutritional doses modulate skeletal muscle heat shock protein and inflammatory gene expression in sheep exposed to heat stress. *J Anim Sci* 92:4897-908.

Correa MPC, Dallago BSL, Paiva SR, Canozzi MEAC, Louvandini H, Barcellos JJ, McManus C (2013) Multivariate analysis of heat tolerance characteristics in Santa Inês and crossbred lambs in the Federal District of Brazil. *Trop Anim Health Prod* 45:1407-1414.

Coulter GH, Senger PL, Bailey RC (1988) Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. *J Reprod Fertil* 84:417-423.

Cruz Júnior CA, Lucci CM, Peripolli V, Silva AF, Menezes AM, Morais SRL, Araújo AMS, Ribeiro LMCS, Mattos RC, McManus C (2015) Effects of testicle insulation on seminal traits in rams: preliminary study. *Small Ruminant Res* 130:157-165.

Dikmen S, Cole JB, Null DJ, Hansen PJ (2012) Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle. *J Dairy Sci* 95:3401-3405.

Durairajanayagam D, Agarwal A, Ong C (2015) Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reprod Biomed Online* 30:14-27.

Embrapa (2015) Condições meteorológicas da estação da Embrapa Pecuária Sudeste. <http://www.cppse.embrapa.br/dados-meteorologicos>. Accessed 02 March 2015.

Fadare AO, Peter SO, Yakubu A, Sonibare AO, Adeleke O, Adeleke MA, Ozoje MO, Imumorin IG (2013) Physiological and haematological indices suggest superior heat tolerance of white-coloured West African Dwarf sheep in the hot humid tropics. *Trop Anim Health Prod* 45:157-165.

Fukui Y, Togawa M, Abe N, Takano Y, Asada M, Okada A, Iida K, Ishikawa H, Ohsumi S (2004) Validation of the sperm quality analyzer and the hypo-osmotic swelling test for frozen-thawed ram and minke whale (*Balaenoptera bonarensis*) spermatozoa. *J Reprod Dev* 50:147-154.

Garcia AR (2004) Efeitos do estresse térmico testicular e do uso da somatotropina recombinante bovina nas características seminais, integridade de membranas, função mitocondrial e estrutura da cromatina de espermatozóides de touros Simental (*Bos taurus taurus*). Thesis, University of São Paulo, Brazil.

George WD, Godfrey RW, Ketring RC, Vinson MC, Willard ST (2014) Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. *J Anim Sci* 92:4949-55.

Hamilton TR, Mendes CM, de Castro LS, de Assis PM, Siqueira AF, Delgado JC, Goissis MD, Muiño-Blanco T, Cebrián-Pérez JÁ, Nichi M, Visintin JA, Assumpção ME (2016) Evaluation of Lasting Effects of Heat Stress on Sperm Profile and Oxidative Status of Ram Semen and Epididymal Sperm. *Oxid Med Cell Longev* 2016:1-13.

Hoffmann G, Schmidt M, Ammon C, Rose-Meierhöfer S, Burfeind O, Heuwieser W, Berg W (2013) Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Vet Res Commun* 37:91-99.

Kastelic JP (2014) Understanding and evaluating bovine testes. *Theriogenology* 81:18-23.

Kastelic JP, Brito LF (2012) Ultrasonography for monitoring reproductive function in the bull. *Reprod Domest Anim* 47 Suppl 3:45-51.

Kastelic JP, Cook RB, Coulter GH (1999) Effects of ambient temperature and scrotal fleece cover on scrotal and testicular temperatures in rams. *Can J Vet Res* 63:157-160.

Kastelic JP, Cook RB, Coulter GH, Wallins GL, Entz T (1996) Environmental factors affecting measurement of bovine scrotal surface temperature with infrared thermography. *Anim Reprod Sci* 41:153-159.

Kastelic JP, Coulter GH, Cook RB (1995) Scrotal Surface, subcutaneous, intratesticular and intraepididymal temperatures in bulls. *Theriogenology* 44:147-152.

Kim B, Park K, Rhee K (2013) Heat stress response of male germ cells. *Cell Mol Life Sci* 70, 2623-2636.

Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F (2006) World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z* 15: 259-263.

Kotrba R, Knížková I, Kunc P, Bartos L (2007) Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infrared thermography. *J Therm Biol* 32: 355-359.

Luz CSM, Fonseca WJL, Barros Junior CP, Sousa GT, Amorim RB, Silva LA, Lima LA, Sousa Junior SC, Santos KR (2014) Estimativas de características termorreguladoras de ovinos em período seco e chuvoso criados na região do Vale do Guruguéia, sul do estado do Piauí. *Acta Vet Brasil* 8:19-24.

Mahjoubi E, Yazdi MH, Aghaziarati N, Noori GR, Afsarian O, Baumgard LH (2015) The effect of cyclical and severe heat stress on growth performance and metabolism in Afshari lambs. *J Anim Sci* 93:1632-1640.

Marai IFM, El-darawany AA, Fadiel A, Abdel-hafez MAM (2007) Physiological traits as affected by heat stress in sheep - a review. *Small Ruminant Res* 71:1-12.

Martins RF, Paim TP, Abreu CC, Stéfano L DB, Melo CB, Louvandini H, McManus C (2013) Mastitis detection in sheep by infrared thermography. *Res Vet Sci* 94:722-734.

McGowan MR, Bertram JD, Fordyce G, Fitzpatrick LA, Miller RG, Jayawardhana GA, Doogan VJ, De Faveri J, Holroyd RG (2002) Bull selection and use in northern Australia. 1. Physical traits. *Anim Reprod Sci* 71:25-37.

McManus C, Bianchini E, Paim TP, Lima FG, Neto BJ, Castanheira M, Esteves GI, Cardoso CC, Dalcin VC (2015) Infrared thermography to evaluate heat tolerance in different genetic groups of lambs. *Sensors* 15:17258-17273.

Menegassi SRO, Barcellos JOJ, Dias EA, Koetz Jr C, Pereira GR, Peripolli V, McManus C, Canozzi MEA, Lopes FG (2015) Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int J Biometeorol* 59:357-364.

Meza-Herrera CA, Vicente-Pérez A, Osorio-Marín Y, Girón-Gómez BS, Beltran-Calderon E, Avendaño-Reyes L, Correa-Calderon A, Macías-Cruz U (2015) Heat stress, divergent nutrition level, and late pregnancy in hair sheep: effects upon cotyledon development and litter weight at birth. *Trop Anim Health Prod* 47:819-24.

Moraes Júnior RJ, Garcia AR, Santos NFA, Nahúm BS, Lourenço Junior JB, Araújo CV, Costa NA (2010) Conforto ambiental de bezerros bubalinos (*Bubalus bubalis* Linnaeus, 1758) em sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental. *Acta Amazonica* 40:629-640.

Moreira EP, Moura AD, Araujo AA (2001) Effects of scrotal insulation on testis size and semen criteria in Santa Ines hairy sheep raised in the state of Ceará, Northeast of Brazil. *Braz J Anim Sci* 30:1704-11.

Ozeki LM, Fahlman A, Stenhouse G, Arnemo JM, Caulkett N (2014) Evaluation of the accuracy of different methods of monitoring body temperature in anesthetized brown bears (*Ursus arctos*). *J Zoo Wildl Med* 45:819-24.

Paim TP, Borges BO, Lima PMT, Gomes EF, Dallago BSL, Fadel R, Menezes AM, Louvandini H, Canozzi MEA, Barcellos JOJ, McManus C (2013) Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *Int J Biometeorol* 57:59-66.

Paulrud CO, Clausen S, Andersen PE, Bjerring M, Rasmussen MD (2002) Infrared thermography to evaluate milking induced alterations in teat tissue fluid circulation. *J Dairy Sci* 85:84, Supp.

Ramires Neto C, Monteiro GA, Delfiol DJZ, Farras MC, Dell'aqua Júnior JA, Papa FO, Alvarenga MA (2013) The relationships between scrotal surface temperature, age and sperm quality in stallions. *Liv Sci* 157:358-363.

Reid ED, Fried K, Velasco JM, Dahl GE (2012) Correlation of rectal temperature and peripheral temperature from implantable radio-frequency microchips in Holstein steers challenged with lipopolysaccharide under thermoneutral and high ambient temperatures. *J Anim Sci* 90:4788-4794.

Santos FCB, Souza BB, Alfaro CEP, César MF, Pimenta Filho EC, Acosta AAA, Santos JRS (2005) Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do Nordeste brasileiro. *Cienc Agrotec* 29:142-149.

SAS - Statistical Analyses System Institute (2010) The SAS-System for Windows. User's Guide. Version 9.1.3, Cary.

Schaefer AL, Cook NJ, Church JS, Basarab J, Perry B, Miller C, Tong AKW (2007) The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Res Vet Sci* 83:376-384.

Setchell BP (1998) The Parkes Lecture. Heat and the testis. *J Reprod Fertil* 114:179-194.

Sejian V, Maurya VP, Kumar K, Naqvi SMK (2013) Effect of multiple stresses on growth and adaptive capability of Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Trop Anim Health Prod* 45:107-116.

Silanikove N (2000) Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Liv Prod Sci* 67:1-18.

Silva JA, Araújo AA, Lourenço Júnior JB, Santos NF, Garcia AR, Oliveira RP (2015) Thermal comfort indices of female Murrah buffaloes reared in the Eastern Amazon. *Int J Biometeorol* 59:1261-1267.

Silva RG, Lascala JRN, Lima Filho AE, Catharin MC (2002) Respiratory heat loss in the sheep: a comprehensive model. *Int J Biometeorol* 46:136-140.

Stellflug JN, Cockett NE, Lewis GS (2008) The influence of breeding intensity on above- and below-average sexual performance rams in single- and multiple-sire breeding environments. *Anim Reprod Sci* 104:248-256.

Stewart M, Webster JR, Schaefer AL, Cook NJ, Scott SL (2005) Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Anim Welfare* 14:319-325.

Taylor NAS, Tipton MJ, Kenny GP (2014) Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *J Therm Biol* 46:72-101.

Titto EAL, Velloso L, Zanetti MA, Cresta A, Toledo LRA, Martin JH (1998) Teste de tolerância ao calor em novilhos Nelore e Marchigiana. *Rev Port Zootec* 5:67-70.

Verissimo CJ, Titto CG, Katiki LM, Bueno MS, Cunha EA, Mourão GB, Otsuk IP, Pereira AMF, Nogueira Filho JCM, Titto EAL (2009) Tolerância ao calor em ovelhas Santa Inês de pelagem clara e escura. *Rev Bras Saúde Prod Anim* 10:159-167.

Xu YR, Dong HS, Yang WX (2016) Regulators in the apoptotic pathway during spermatogenesis: Killers or guards? *Gene* 582:97-111.

Zhang MH, Shi ZD, Yu JC, Zhang YP, Wang LG, Qiu Y (2015) Scrotal heat stress causes sperm chromatin damage and cysteinyl aspartate-specific proteinases 3 changes in fertile men. *J Assist Reprod Genet* 32:747-55.

6 CONCLUSÃO GERAL

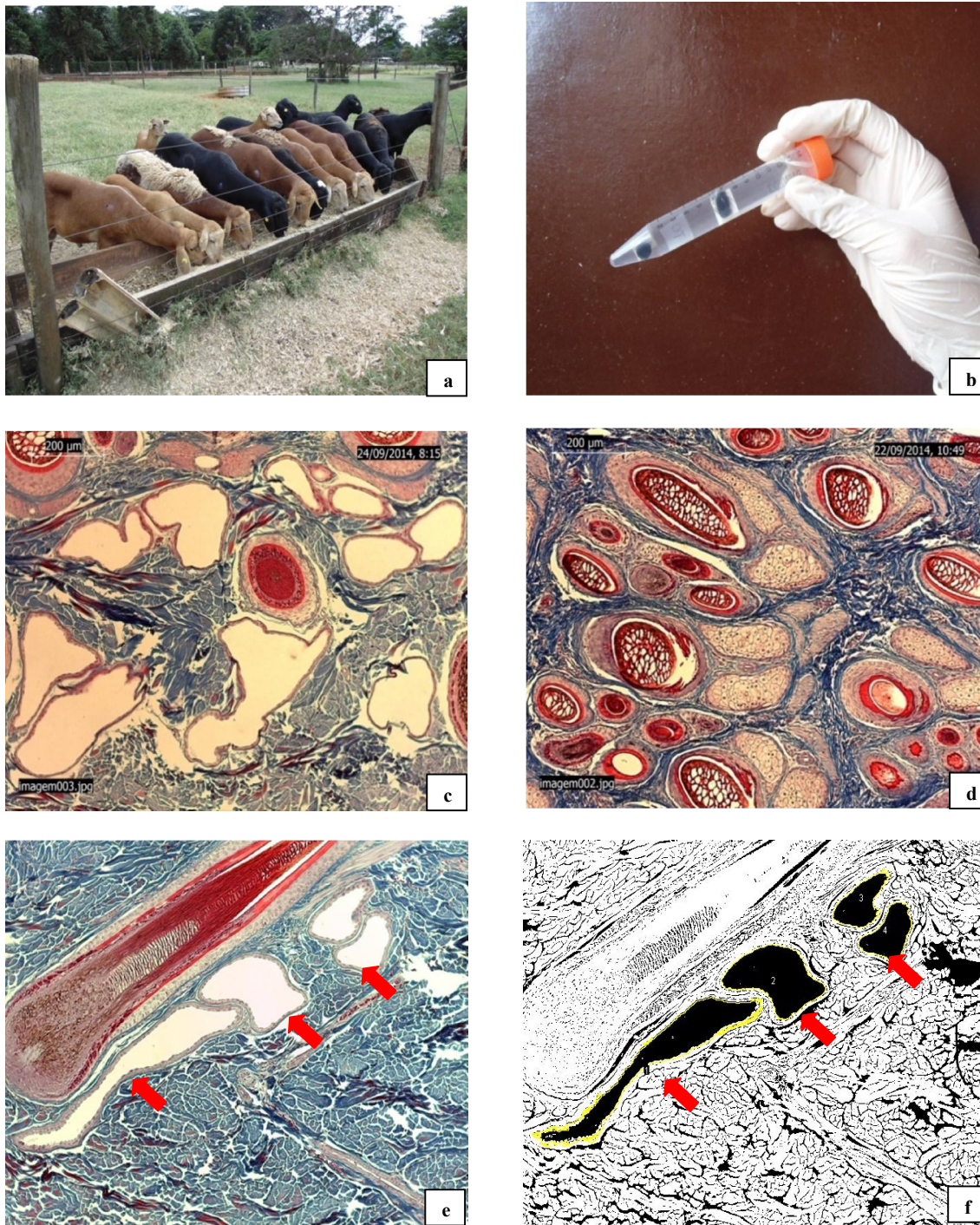
Ovinos Morada Nova e Santa Inês são dotados de atributos morfofuncionais que favorecem a manutenção da homeotermia sob a hostilidade inerente ao clima tropical. Para o enfrentamento das variações sazonais, a pelagem e as glândulas sudoríparas se acomodam à necessidade térmica dos extremos climáticos, proporcionando a conservação da energia no inverno, e a dissipação de calor, no verão. Diante do calor intenso ocorrido no verão, os animais ativam seus mecanismos termolíticos evaporativos, os quais combatem eficientemente a hipertermia. Fato corroborado pela manutenção da temperatura retal entre os limites fisiológicos, durante a exposição à intensa carga radiante, momento em que os animais encontravam-se sob estresse térmico severo.

Contrariamente à premissa de sazonalidade reprodutiva, não foi observada oscilação significativa qualitativa e quantitativa dos parâmetros seminais avaliados, o que permite afirmar que esses animais mantêm potencial fertilizante ao longo do ano. Além disso, seus mecanismos termorregulatórios não penalizam seus processos reprodutivos, podendo ser utilizados para monta natural ou programas de inseminação artificial em qualquer época do ano, em regiões de características biometeorológicas semelhantes ao local do estudo.

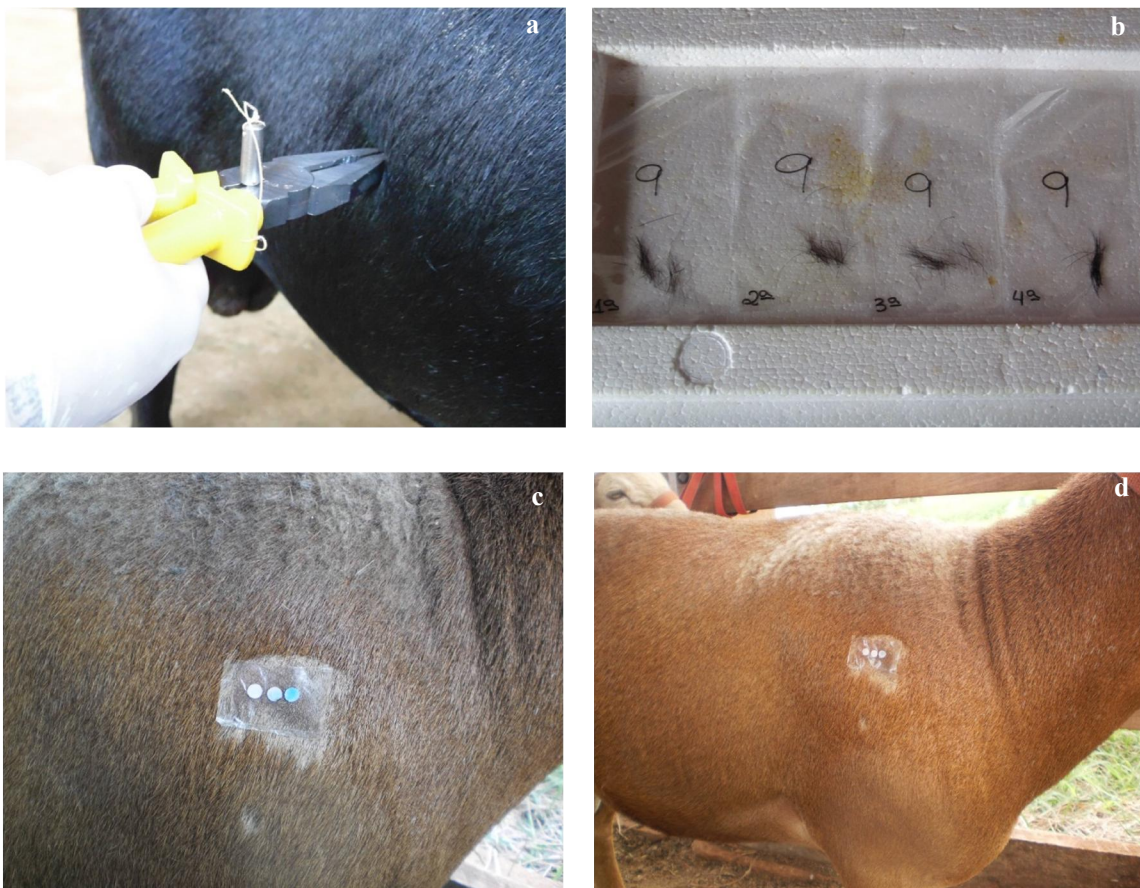
Também relevantes foram os resultados gerados pelo uso da tecnologia de termografia infravermelha para avaliação de temperaturas de superfície em ovinos deslanados. Contudo, estudos adicionais sobre seu uso em Medicina Veterinária devem ser planejados, sobretudo na espécie ovina, a fim de consolidá-la como ferramenta de avaliação da condição de conforto térmico dos animais.

ANEXOS

ANEXO A – (Animais experimentais e avaliação histológica da pele)

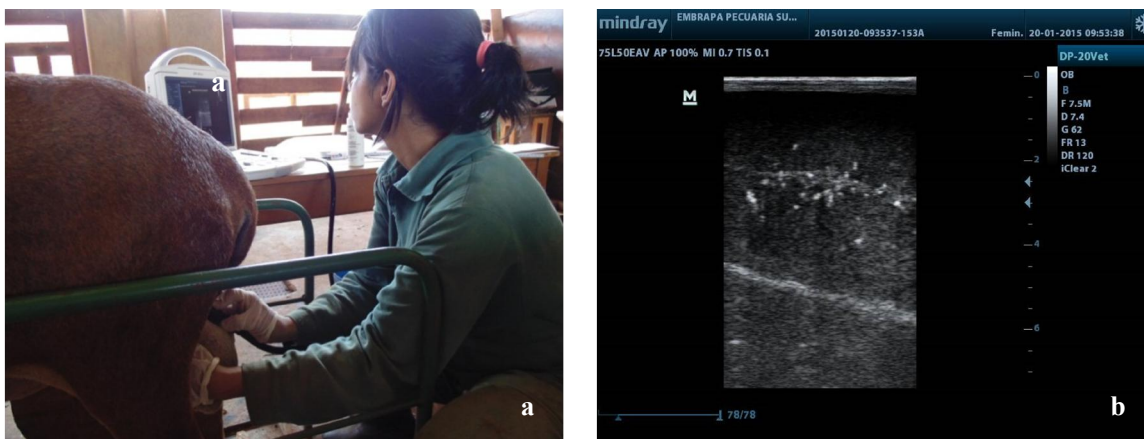


Legenda: **a** – Machos Morada Nova e Santa Inês mantidos em lote único; **b** – Fragmentos de pele obtidos com punch; **c**- Corte longitudinal da pele (corado com coloração tricômica de Masson) utilizado para contagem e mensuração de glândulas sudoríparas (200x); **d** - Corte transversal da pele (corado com coloração tricômica de Masson) utilizado para contagem de folículos pilosos primários e secundários (200x); **e** – Identificação da luz de glândulas sudoríparas (setas); **f** - Mensuração da área da luz glandular (setas) em imagem digital.

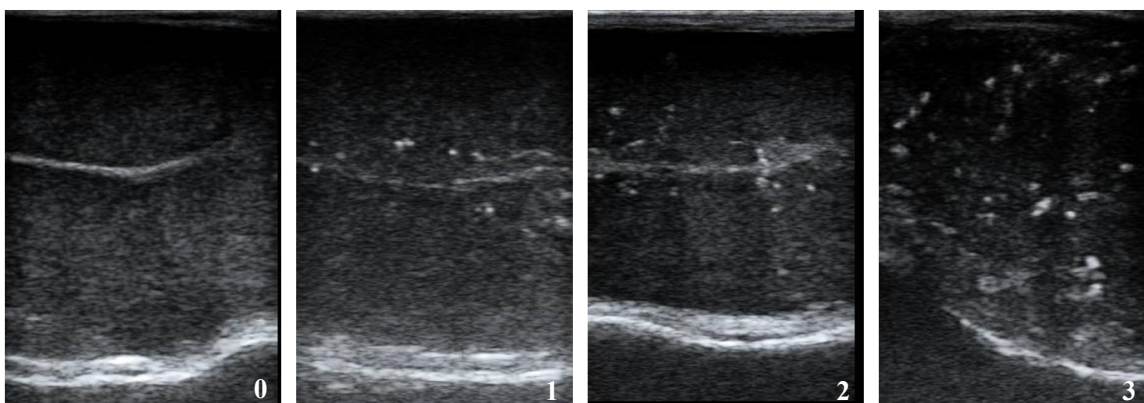
ANEXO B – (Obtenção de amostras de pelos e avaliação da taxa de sudação)

Legenda: **a** – retirada de pelos com auxílio de alicate adaptado; **b** – amostras de pelos identificadas; **c** – obtenção da taxa de sudação de ovino Santa Inês; **d** – obtenção da taxa de sudação de ovino Morada Nova.

ANEXO C – (Avaliação ultrassonográfica do parênquima testicular de ovinos)



Legenda: **a** - contenção do animal para a varredura testicular realizada com uso da probe 7,5 MHz (DP-20 Vet®, Mindray); **b** – imagem ultrassonográfica do parênquima testicular de carneiros.



Legenda: imagens ultrassonográficas (em modo B, obtidas com probe 7,5 MHz) de corte longitudinal do parênquima testicular de ovinos, visando à avaliação do grau de hiperecogeneidade testicular, classificada nos seguintes escores. **Escore 0:** ausência de pontos hiperecoicos no parênquima; **escore 1:** presença de até cinco pontos hiperecoicos; **escore 2:** presença de mais de cinco pontos hiperecoicos próximos ao mediastino e distanciados; **escore 3:** presença de mais de cinco pontos hiperecoicos difusos no parênquima testicular.

ANEXO D – (Ambientes componentes do teste de tolerância ao calor (TTC) e suas respectivas avaliações)



Legenda: **a** – ambiente de sombra correspondente aos períodos 1 e 3 do TTC; **a1** - aferição da frequência respiratória; **a2** - aferição da frequência cardíaca; **a3** - aferição da temperatura retal, **b** – ambiente de sol, correspondente ao período 2 do TTC; **b1** - aferição da frequência respiratória; **b2** - aferição da frequência cardíaca; **b3** – aferição da temperatura retal.