

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**Índices microclimáticos e indicadores de estresse térmico em bovinos de
corte**

Nivaldo Karvatte Junior
Orientadora: Prof^a. Dra. Eliane Sayuri Miyagi

GOIÂNIA
2018



**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☐ Dissertação ☒ Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

Nome completo do autor: Nivaldo Karvatte Junior

Título do trabalho: Índices microclimáticos e indicadores de estresse térmico em bovinos de corte.

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☐ SIM ☒ NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 24 / 08 / 2018

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² A assinatura deve ser escaneada.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o(a) autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico: ☐ Dissertação ☒ Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação:

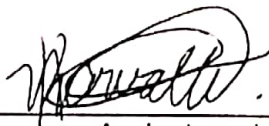
Nome completo do(a) autor(a): Nivaldo Karvatte Junior

Título do trabalho: **Índices microclimáticos e indicadores de estresse térmico em bovinos de corte**

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

Independente da concordância com a disponibilização eletrônica, é imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do(a) autor(a)²

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)²

Data: 08/07/2022

¹ Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a). b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

² As assinaturas devem ser originais sendo assinadas no próprio documento. Imagens coladas não serão aceitas.

NIVALDO KARVATTE JUNIOR

Índices microclimáticos e indicadores de estresse térmico em bovinos de corte

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Zootecnia junto à Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás.

Área de concentração:

Produção animal

Orientadora:

Prof^a. Dra. Eliane Sayuri Miyagi - EVZ/UFG

Comitê de orientação:

Dra. Fabiana Villa Alves - Embrapa Gado de Corte

Dr. Paulo Hellmeister Filho – EVZ/UFG

GOIÂNIA

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Karvatte Junior, Nivaldo

Índices microclimáticos e indicadores de estresse térmico em bovinos de corte. [manuscrito] / Nivaldo Karvatte Junior. - 2018. xiv, 85 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Eliane Sayuri Miyagi; co-orientadora Dra. Fabiana Villa Alves; co-orientador Dr. Paulo Hellmeister Filho.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia (EVZ), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Goiânia, 2018.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de tabelas.

1. Adaptabilidade. 2. bem-estar animal. 3. cortisol. 4. imagens térmicas. 5. sistemas sustentáveis . I. Sayuri Miyagi, Eliane, orient. II. Título.

CDU 635

1 ATA NÚMERO 27 DA SESSÃO DE JULGAMENTO DA DEFESA DE DOUTORADO DO
2 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA DA ESCOLA DE VETERINÁRIA
3 E ZOOTECNIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, realizada por NIVALDO
4 KARVATTE JUNIOR. Aos 13/08/2018 a partir das 09h00min, na sala de Reuniões do
5 Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de
6 Goiás, nesta Capital, realizou-se a sessão pública de Defesa de Doutorado apresentado (a) pelo
7 (a) Pós-Graduando (a) NIVALDO KARVATTE JUNIOR, intitulada “Novas metodologias e
8 indicadores para avaliação de estresse térmico em bovinos de corte”, para obtenção do
9 Título de Doutor em Zootecnia, junto à Área de Concentração: Produção Animal desta
10 Universidade. Os trabalhos foram instalados pelo (a) Presidente da Comissão Julgadora,
11 Orientador (a) Profa. Dra. Eliane Sayuri Miyagi Okada, com a participação dos demais
12 membros da Banca Examinadora Prof. Dr. Roberto Giolo de Almeida – Embrapa Gado de
13 Corte (Vídeo Conferencia); Profa. Dra. Darliane de Castro Santos – IFGoiano/Rio
14 Verde/GO; Prof. Dr. Diogo Alves da Costa Ferro - POS-DOC/PPGZ/EVZ e Prof. Dr.
15 Rafael Alves da Costa Ferro - POS-DOC/PPGZ/EVZ. Iniciando os trabalhos, o Presidente
16 concedeu a palavra ao (a) candidato (a) NIVALDO KARVATTE JUNIOR para exposição em
17 cinquenta minutos do seu trabalho. A seguir, o senhor Presidente concedeu a palavra, pela
18 ordem, aos demais membros da banca, os quais passaram a arguir o (a) candidato (a), durante o
19 prazo máximo de trinta minutos, assegurando-se ao mesmo, igual prazo para responder aos
20 Senhores Membros da Banca Examinadora. Ultimada a arguição, que se desenvolveu nos termos
21 regimentais, a Comissão, em sessão secreta, expressou seu Julgamento, considerando o (a)
22 candidato (a) Aprovado (Aprovado/Reprovado) pelos seus membros.
23 Proclamados os resultados da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar
24 lavrou-se a presente ata que, após lida e achada conforme vai assinada pelos membros da Banca
25 Examinadora.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Eliane Sayuri Miyagi Okada (Orientador(a))
Prof. Dr. Roberto Giolo de Almeida – Embrapa Gado de
Corte (vídeoconferencia)
Profa. Dra. Darliane de Castro Santos – IFGoiano/Rio
Verde/GO
Prof. Dr. Diogo Alves da Costa Ferro - POS-
DOC/PPGZ/EVZ
Prof. Dr. Rafael Alves da Costa Ferro - POS-
DOC/PPGZ/EVZ

ASSINATURA

Eliane Sayuri Miyagi Okada
Roberto Giolo de Almeida
Darliane de Castro Santos
Diogo Alves da Costa Ferro
Rafael Alves da Costa Ferro

A Banca Examinadora aprovou a seguinte alteração no título da tese:

Índices microclimáticos e indicadores de estresse térmico em bovinos
de corte

*À razão do meu ser, pensar e viver.
Minha família amada e protetora.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus sobre todas as coisas.

À minha família, pais Marilei e Nivaldo e irmãs Aline e Elisandra. Obrigado por todo amor, carinho e compreensão. Vocês me deram força, direção e inspiração. Este título é nosso! Amo vocês.

À Universidade Federal de Goiás e a Università di Pisa, bem como aos professores, por todos estes anos disponibilizando ensinamentos, profissionais e pessoais, amizades e dedicação.

À Embrapa Gado de Corte e a todos os pesquisadores e funcionários pela disponibilidade de área experimental, recursos e mão de obra concedidos, bem como ensinamentos e amizades concretizadas.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg), pela bolsa de estudos concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelos recursos financeiros concedidos para realização do projeto e período de Doutorado Sanduíche no exterior.

Às orientadoras Dra. Eliane Sayuri Miyagi e Dra. Fabiana Villa Alves, conselheiras, amigas, mães e companheiras. Obrigado por me mostrarem que a integridade e a ética profissional sempre geram os melhores frutos. Obrigado por todos estes anos de grandes e valiosas lições.

Aos amigos Ariadne, Bruna, Camilla, Caroline, Guilherme, Melissa e Saullo pelo companheirismo, festas, conversas, trabalhos; E por controlarem o tempo com seus super-poderes (né Bruna?).

Aos amigos do Jambalaia: Cida, Lucca, Nilton, Eliane, Matheus (*in memoriam*), Lyz, Thomaz, Curica e Stella. Vocês me proporcionaram uma família em Goiânia. Uma família muito amada!

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão desta tese.

Todos vocês fizeram parte desta história, muito obrigado.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	15
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVO	17
1.1.1. Geral	17
1.1.2. Específicos.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1. Conforto térmico.....	18
2.1.1. Microclima e conforto térmico	20
2.2. Estresse térmico	21
2.2.1. Percepção ao agente estressor.....	22
2.2.2. Estresse agudo e estresse crônico	23
2.2.3. Indicadores fisiológicos para avaliação de estresse térmico em animais.....	24
2.2.3.1. Características do pelo e análise de cortisol.....	27
2.2.3.2. Características do pelo e incorporação do cortisol.....	29
2.2.4. Indicadores de conforto térmico para avaliação do ambiente.....	30
2.2.4.1. Termografia por infravermelho	34
2.2.4.2. Termografia por infravermelho para o bem-estar e conforto térmico animal.....	35
2.2.5. Sistemas silvipastoris como estratégia para mitigação do estresse térmico	38
3. Referências Bibliográficas.....	40
CAPÍTULO 2.....	53
TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA AVALIAÇÃO DO MICROCLIMA E CONFORTO TÉRMICO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS.....	53
1. Introdução	53
2. Material e métodos	55
2.1. Caracterização da área experimental	55
2.2. Período experimental e mensurações.....	55
2.2.1. Registros termográficos e imagens térmicas	56
2.2.2. Registros microclimáticos	57
2.2.3. Indicativos de conforto térmico animal	57

2.3. Design experimental e análises estatísticas	58
3. Resultados	59
3.1. Termografia por infravermelho, temperatura do ar e umidade relativa.....	59
3.2. Variações microclimáticas.....	60
3.3. Indicativos de conforto térmico animal.	61
3.4. Análise de componentes principais.	62
3.5. Coeficientes de correlação e regressões lineares.	62
3.6. Teste Qui-Quadrado (χ^2).	63
4. Discussão	64
5. Conclusão	66
6. Agradecimentos.....	67
7. Referências Bibliográficas	67
CAPÍTULO 3.....	71
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE BOVINOS DE CORTE EM ESTRESSE TÉRMICO PRODUZIDOS EM CONFINAMENTO E A PASTO	71
1. Introdução	71
2. Material e métodos	73
2.2. Animais e procedimentos experimentais	73
2.3. Cortisol no pelo.....	74
2.4. Parâmetros fisiológicos.....	74
2.5. Parâmetros hematológicos	75
2.6. Design experimental e análise estatística	75
3. Resultados	75
4. Discussão	78
5. Conclusão	80
6. Agradecimentos.....	81
7. Referências Bibliográficas	81
CAPÍTULO 4.....	84
Considerações Finais.....	84

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1.....	15
Tabela 1. Matrizes utilizadas como moduladores das concentrações de cortisol para inferências do estresse.....	27
Tabela 2. Limiares de estresse térmico sugeridos pelo Índice de Carga Térmica.....	33
Tabela 3. Estudos de avaliação do conforto térmico a pasto.....	34
Tabela 4. Aplicações da termografia por infravermelho na agricultura.....	36
Tabela 5. Efeito de árvores nas mudanças microclimáticas e uso da termografia.....	37
CAPÍTULO 2.....	53
Tabela 1. Médias de termografia por infravermelho, temperatura do ar e umidade relativa, em sistemas silvipastoris (SN e SA), para estações (inverno e verão), horário (manhã, meio-dia, tarde) e local (pleno sol e sombra).....	60
Tabela 2. Médias das variáveis microclimáticas em sistemas silvipastoris (SN e SA), para estações (inverno e verão), horário (manhã, meio-dia, tarde) e local (pleno sol e sombra).....	61
Tabela 3. Médias dos índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris (SN e SA), para estações (inverno e verão), horário (manhã, meio-dia, tarde) e local (pleno sol e sombra).....	61
Tabela 4. Contribuição das variáveis originais para a formação das Componentes Principais (PC 1 e PC 2).....	62
Tabela 5. Coeficientes de correlação (r variando de -1 a 1) e equações de regressões lineares (P-Value; R ² e R ² adj) para as interações entre termografia(X), microclima (Y) e conforto térmico animal (Y) e em sistemas silvipastoris.....	63
Tabela 6. Coeficientes de correlação (r variando de -1 a 1) e teste de Qui-quadrado (χ^2 variando de 0 a 1) para a validação das equações de interações entre termografia, microclima e conforto térmico, em sistemas silvipastoris.....	64
CAPÍTULO 3.....	71
Tabela 1. Valores médios dos parâmetros microclimáticos e de conforto térmico durante os procedimentos experimentais.....	73
Tabela 2. Médias de cortisol no pelo e parâmetros fisiológicos de bovinos de corte em estresse térmico.....	76
Tabela 3. Concentrações médias dos parâmetros hematológicos de bovinos de corte submetidos ao estresse térmico.....	77

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros fisiológicos de bovinos de corte produzidos a pasto e em confinamento submetidos ao estresse térmico 78

Tabela 5. Valores médios dos parâmetros hematológicos de bovinos de corte produzidos a pasto e em confinamento submetidos ao estresse térmico 78

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2.....	53
Figura 1. Imagem aérea da área experimental e representação esquemática da disposição das árvores em sistema silvipastoril (SA) e sistema controle (CON).....	55
Figura 2. Representação esquemática da captura das imagens termográficas (coloração vermelha) e registros microclimáticos (linhas pontilhadas), no pleno sol (A) e na sombra (B), em sistema silvipastoril (a) e controle (b).....	56
Figura 3. Termogramas de temperatura (a e b) e umidade (c e d), dos sistemas avaliados....	57
Figura 4. Contribuição bidirecional das variáveis originais para a formação das componentes principais 1 (49.9 %) e 2 (20.7 %) e interações ortogonais.....	62
CAPÍTULO 3.....	71
Figura 1. Concentração média de cortisol (pg.mg^{-1} de pelo) de bovinos de corte durante estresse térmico.....	77

RESUMO

Objetivou-se utilizar índices microclimáticos e propor indicadores de estresse térmico em bovinos de corte para avaliar sistemas de produção animal. Para isso, foram realizados dois experimentos: (i) utilizando a termografia por infravermelho para avaliação do microclima e conforto térmico em sistemas silvipastoris; e (ii) avaliando a adaptabilidade fisiológica de bovinos de corte produzidos em confinamento e a pasto, submetidos ao estresse térmico. O primeiro experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, no período de junho de 2015 a fevereiro de 2016. As avaliações foram realizadas em dois sistemas silvipastoris com diferentes densidades e arranjos espaciais de árvores cultivadas e nativas, das 08h às 16h, com intervalos de uma hora entre as avaliações. Foram registradas as emissões de radiação infravermelha de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade (%) das copas das árvores e da pastagem, na projeção da sombra e no pleno sol. Concomitantemente, foram avaliados os parâmetros microclimáticos e posteriormente calculados os índices de conforto térmico animal. Os resultados mostram variações de temperatura e umidade da copa das árvores e da pastagem, com influências diretas no microclima e conforto térmico animal. As maiores flutuações ocorreram durante o verão e ao meio dia com substanciais melhorias na sombra. A Análise de Componentes Principais extraiu duas componentes na ordem de sua importância para explicar 70.6 % da variância total observada entre as variáveis. Correlações moderadas e fortes ($r \geq 0.63$ ou $r \leq -0.80$) demonstraram efeitos lineares positivos ($R^2_{\text{adj}} \geq 0.40$ ou ≤ 0.63) entre termografia, microclima e índices de conforto térmico. Os resultados mostram que as temperaturas e umidades das superfícies da copa e da pastagem podem ser monitoradas continuamente com o uso da termografia por infravermelho, tornando-a potencial ferramenta ($r \geq 0.53$ ou $r \leq -0.78$) para predição do microclima e conforto térmico em sistemas silvipastoris. O segundo experimento foi conduzido em fazendas localizadas em Civitella Paganico, província de Grosseto, Itália, em parceria com a Università di Pisa, no período de maio a setembro de 2017, utilizando 60 animais (20 Aubrac; 20 Maremmano e 20 $\frac{1}{2}$ Maremmano x $\frac{1}{2}$ Piemontês) produzidos em confinamento e a pasto. Foram avaliados o cortisol no pelo, variáveis fisiológicas (temperaturas retais, de pelo e pele, frequências cardíaca, respiratória e hematológicas (hemograma completo). De acordo com as análises estatísticas, não foram observados efeitos de sistema de produção ($P > 0.05$). Entretanto, os grupos genéticos, período de avaliação e a interação grupos genéticos x sistemas de produção afetaram significativamente ($P < 0.05$) todos os parâmetros avaliados. O grupo genético mestiço apresentou as maiores concentrações de cortisol durante todo o período experimental, favorecendo as maiores variações nos parâmetros fisiológicos e demonstrando-se mais suscetível ao estresse crônico. Métodos não invasivos, de rápida e fácil execução, como a amostragem de pelos nos animais e a aplicação da termografia por infravermelho para a avaliação dos sistemas de produção, colaboram para o avanço da pesquisa científica em diversas áreas do conhecimento.

Palavras-chave: Adaptabilidade, bem-estar animal, cortisol, imagens térmicas, produção animal, sistemas sustentáveis

ABSTRACT

The objective was to use microclimatic indexes and to propose indicators of thermal stress in beef cattle to evaluate animal production systems. For that, two experiments were carried out: (i) using infrared thermography to evaluate microclimate and thermal comfort in silvopastoral systems; and (ii) evaluating the physiological adaptability of beef cattle in feedlot and pasture submitted to thermal stress. The first experiment was conducted at the Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, in Campo Grande, Mato Grosso do Sul, from July 2015 to February 2016. The evaluations were carried out in two silvopastoral systems with different densities and spatial arrangements of cultivated and native trees, from 08h to 16h, with intervals of one hour between evaluations. Infrared radiation emissions of temperature (°C) and humidity (%) of the canopy and pasture surface were recorded, in the shadow projection and in the full sun. At the same time, the microclimatic parameters were evaluated and the main thermal comfort indices were subsequently calculated. Variations of canopy and pasture temperature and humidity were observed, with direct influences on microclimate and animal thermal comfort. The greatest fluctuations occurred during the summer and at noon with substantial improvements in the environment under the canopy. The Principal Components Analysis extracted two components in order of their importance to explain 70.6% of the total variance observed between the variables. Moderate and strong correlations ($r \geq 0.63$; or, $r \leq -0.80$) showed positive linear effects ($R^2_{adj} \geq 0.40$, or, ≤ 0.63) between thermography, microclimate and thermal comfort indices. The results show that temperatures and humidities of canopy and pasture surfaces can be continuously monitored using infrared thermal imagers, making it a potential tool ($r \geq 0.53$; or, $r \leq -0.78$) for microclimate prediction and thermal comfort in silvopastoral systems. The second experiment was conducted on farms located in Civitella Paganico, Grosseto province, Italy, in partnership with Università di Pisa (Italy), from May to September 2017, using 60 animals (20 Aubrac, 20 Maremmano and 20 $\frac{1}{2}$ Maremmano x $\frac{1}{2}$ Piemontês) divided into two production systems (confinement and pasture). Cortisol in the hair, physiological variables (rectal, hair and skin temperatures, cardiac and respiratory frequency) and hematological variables (complete blood count) were evaluated. No effects of production system were observed ($P > 0.05$). However, the effects of genetic groups, the evaluation period and the interaction between genetic groups and production systems significantly affected ($P < 0.05$) all evaluated parameters. The crossbreed genetic group had the highest concentrations of cortisol during the whole experimental period, favoring the greater variations in the physiological parameters and being more susceptible to chronic stress. Non-invasive methods, such as the sampling of hairs on animals and the application of infrared thermography for the evaluation of production systems, contribute to the advancement of scientific research in several areas of knowledge.

Keywords: Adaptability, animal welfare, cortisol, thermal imaging, animal production, sustainable systems

CAPÍTULO 1:

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o interesse social e político pelo bem-estar e manejo dos animais de produção aumentou substancialmente frente às atuais pressões de mercado ¹. Com o reconhecimento de que os animais são seres sencientes, a sociedade consumidora passou a exigir maiores preocupações com a saúde e proteção dos animais de fazenda, no sentido de proporcionar condições mais humanizadas de sobrevivência ². Neste sentido, a adoção de sistemas de produção a pasto vem sendo cada vez mais discutida mundialmente por favorecer ao bem-estar animal ^{3,4}.

De fato, em muitos países da Europa, a produção animal com acesso ao pasto é preferível àqueles em confinamento e vem se demonstrando cada vez mais eficiente por permitir a expressão da maioria dos comportamentos naturais, reduzir a incidência de doenças e obter melhores índices de produção ⁵. Entretanto, em regiões tropicais, o desempenho de bovinos produzidos a pasto está relacionado, muitas vezes, às condições microclimáticas nas quais os animais são submetidos, principalmente à baixa umidade relativa e temperatura do ar elevada ⁶.

Concomitante a estes eventos climáticos, em períodos de elevada incidência de radiação solar, o estresse hídrico foliar altera a condutância estomática e influencia no balanço térmico das superfícies das copas, podendo mudar drasticamente em pequenas distâncias e superar a temperatura do ar quando esta se encontra acima de 35°C ⁷⁻⁹. Como consequência, a transpiração foliar é inibida, colaborando para o aumento da temperatura do ar e da temperatura do solo, devido ao maior fluxo térmico irradiado, alterando ainda mais o microclima abaixo do dossel e favorecendo ao estresse térmico dos animais ^{8, 10-12}.

Do ponto de vista microclimático, nos últimos anos, diversos estudos foram realizados para avaliar o ambiente na tentativa de quantificar o conforto térmico animal ¹³⁻¹⁹. Tais experimentos utilizam equipamentos que, apesar de eficientes, excluem a parcela de radiação relativa às emissões por infravermelha irradiadas pelas vegetações e limitam a identificação das relações existentes com o microclima e conforto térmico animal.

Neste sentido, a termografia por infravermelho é capaz de identificar as variações térmicas existentes em diferentes superfícies e estruturas e, nos últimos anos, tem se

demonstrado amplamente eficiente quando utilizada para a mensuração da temperatura foliar e condutância estomática em formações florestais, indicando a existência de relações diretas com o microclima do interior florestal e sugerindo uma potencial ferramenta para a avaliação de sistemas silvipastoris ^{9, 20-22}.

Do ponto de vista animal, a ação individual ou combinada de todos estes agentes estressores submete o seu organismo a uma superexposição a hormônios do estresse, gerando uma “carga alostática” e, conseqüentemente, um custo biológico suficiente para alterar as funções biológicas e induzir o sofrimento devido à má adaptação ^{23, 24}. De fato, durante os períodos em que um organismo sofre coação fisiológica em função do estresse, o cortisol age no organismo para mobilizar reservas energéticas e evitar o acúmulo excessivo de calor ^{25, 26}. Neste processo, a elevação da temperatura retal é acompanhada por aumentos progressivos nas frequências cardíacas e respiratórias como mecanismos primordiais para a dissipação do excedente de energia térmica armazenada, como respostas de tolerância ao estresse em curto prazo ^{27, 28}.

Mesmo que os animais se apresentem aparentemente adaptados ao seu agente estressor, um bom marcador biológico promove alterações sutis e de longo prazo nas respostas fisiológicas. Assim, a detecção de concentrações de cortisol no pelo parece fornecer um valor integrado dos níveis retrospectivos circulantes ²⁹, tendo sido amplamente utilizado para avaliar o estresse crônico em humanos ³⁰, primatas ³¹ e mais recentemente em animais de produção, tais como bovinos de leite ³²; de corte ³³; suínos ³⁴; e equinos ³⁵, apoiando fortemente a hipótese de que o pelo é um marcador válido de concentrações de cortisol sistêmico de longo prazo ³⁶.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Geral

Objetivou-se avaliar índices microclimáticos e propor indicadores de estresse térmico em bovinos de corte para avaliação de sistemas de produção.

1.1.2. Específicos

Avaliar as variações locais e diárias de temperatura e umidade das superfícies da copa de árvores e da pastagem, em sistemas silvipastoris, utilizando uma câmera termográfica;

Avaliar o microclima e o conforto térmico animal em sistemas silvipastoris;

Caracterizar as relações existentes entre termografia por infravermelho, variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico animal, em sistemas silvipastoris;

Avaliar a termografia por infravermelho como potencial ferramenta para predição do microclima e conforto térmico em sistemas silvipastoris, e;

Avaliar a adaptabilidade fisiológica de bovinos de corte produzidos em confinamento e a pasto, por meio dos parâmetros hormonal, fisiológicos e hematológicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conforto térmico

As discussões sobre o bem-estar e o conforto térmico animal aumentaram concomitante aos impactos causados pelas mudanças climáticas e aquecimento global. Especialmente em regiões onde a produção animal é predominantemente a pasto ³⁷, a elevada incidência de radiação solar direta provoca alterações microclimáticas que se traduzem no aquecimento do ambiente e consequente estresse térmico para os animais ²⁰. De fato, no microclima, a combinação dos elementos climáticos em diferentes escalas gera condições locais peculiares que altera o balanço e o fluxo de energia nas camadas de ar acima do solo (até dois metros de altura), interferindo na qualidade do ambiente e na sobrevivência dos animais ³⁸⁻⁴⁰.

Entre os trópicos, onde as temperaturas são elevadas em quase a totalidade do ano, o aumento de apenas 1.0 °C de temperatura no ambiente produtivo, acima da zona de conforto térmico animal (-1°C e 21°C *Bos taurus*; 10°C a 32°C *Bos indicus*; e, 5°C e 31°C raas mestiças). Dentro destas condições, se espera que os animais apresentem máxima produtividade e melhor eficiência na conversão alimentar, pode resultar em mudanças fisiológicas (aumento da frequência cardíaca e respiratória, da temperatura retal e da taxa de sudação), como medidas adaptativas resultantes do estresse térmico enfrentado ⁴²⁻⁴⁵. Estudos indicam que bovinos submetidos a ambientes termicamente estressantes apresentam redução de até 27 % na produção leiteira, resultado da redução de até 30% no consumo de matéria seca ^{25, 46}, devido a procura ou permanência de áreas sombreadas a maior parte do tempo (57 %), na tentativa de reestabelecer o equilíbrio térmico corporal ²⁵.

Quando um animal é inserido em um determinado ambiente, as trocas térmicas realizadas dependem da situação em que ambos se encontram. Se o ambiente apresenta temperaturas diferentes daquelas nas quais o organismo está na zona de conforto, então há uma condição de estresse térmico. Assim, mesmo capazes de tolerar melhor a baixas do que a elevadas temperaturas, a ação combinada dos elementos climáticos altera o equilíbrio térmico interno corporal, exigindo respostas fisiológicas necessárias para o retorno a homeostase ⁴⁷.

Em condições estressantes, quando não adaptados às altas temperaturas, a hipertermia promove uma resposta fenotípica ao estresse através dos processos sensíveis de arrefecimento (condução, convecção e radiação), por meio do aumento no consumo de água e diminuição no consumo de alimentos, alteração dos padrões comportamentais e buscando por

áreas sombreadas ^{6, 17, 49}. No entanto, a utilização de áreas sombreadas pode ser limitada se o espaço for restrito e/ou houver competição entre os animais ^{17, 42, 50}.

Neste sentido, Schultz et al. ⁵⁰, estudando a influência do tamanho da sombra sobre o comportamento e fisiologia de vacas leiteiras a pasto, observaram que com acesso a 9,6 m² de sombra por animal, as vacas gastaram 50 % do tempo exercendo suas atividades diárias neste local e apresentaram 70 % menos interações agressivas em comparação àquelas que tiveram acesso a 2,4 m² de sombra por animal (24% do tempo). Alterações comportamentais e busca por maiores áreas sombreadas, aumento no consumo de água e diminuição no consumo de alimentos, foram estratégias comuns observadas nos animais deste último grupo.

Entretanto, mesmo alterando os padrões comportamentais a eficiência dos processos sensíveis de perda de calor é dependente de um gradiente térmico. À medida que a temperatura ambiente se torna mais estressante, aproximando-se da temperatura interna corporal, este gradiente torna-se menos eficiente e os animais tornam-se cada vez mais suscetíveis ao estresse por calor, passando a depender das perdas latentes, por meio do aumento da frequência respiratória e aumento do fluxo sanguíneo (vasodilatação periférica), favorecendo a transpiração cutânea ^{29, 43, 45, 51}. De fato, para o controle homeotérmico em altas temperaturas, os processos evaporativos são meios eficazes para o resfriamento corporal, no entanto, podem ser comprometidos em ambientes com alta umidade relativa ⁵².

Por outro lado, se a temperatura está abaixo da zona de conforto térmico, a hipertermia estimula a vasoconstrição periférica e reduz a frequência cardíaca como meios para a retenção de calor. Porém, mesmo que seja observado um incremento na taxa metabólica, a perda de calor para o ambiente é mais rápida do que a produção de calor ⁵³. Dentro destas condições, as alterações comportamentais observadas envolvem a procura por áreas de exposição ao sol (ganho de calor por radiação), e quando não suficiente, ocorre a ativação do tecido adiposo marrom e a execução de exercícios (caminhadas), podendo gerar tensões imperceptíveis da musculatura, aumento do metabolismo químico e doenças (febre)⁵³.

De modo geral, animais adultos são mais resistentes às adversidades climáticas ⁵⁴. No entanto, o conhecimento dos principais elementos microclimáticos e seus efeitos sob o conforto térmico e bem-estar de animais a pasto, independente da espécie ou categoria animal, assume importância relevante para a adoção de técnicas de manejos que venham a colaborar para o sucesso da produção pecuária.

2.1.1. Microclima e conforto térmico

O microclima é definido como o ambiente climático de uma área restrita às combinações atmosféricas locais (temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa, vento e precipitação), o qual difere do macroclima (território relativamente grande, que reúne dados durante um longo período de tempo, geralmente 30 anos), devido à topografia irregular do terreno ou diferenças na cobertura vegetal e posição geográfica (latitude, longitude e altitude). Assim, dentro de um macroclima pode existir uma série de microclimas diferentes entre si e em importâncias ecológicas ⁴⁰.

Na produção animal, os principais elementos microclimáticos que interferem na saúde e bem-estar são a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade e a velocidade dos ventos. Neste sentido, ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é dividida entre os espectros ultravioleta (UV) e visível infravermelho (IR). Juntos, estes espectros contêm 45% da energia total emitida, com níveis máximos de intensidade energética de 5% para radiação UV e de 50% para radiação IR ⁵⁵, sendo que a intensidade e proporção de radiação solar direta (proveniente do sol) e difusa (influências microclimáticas e condições locais) que atinge o solo são representadas pela absorção, transmissão e reflexão da luz por partículas e vapor d'água constituintes da atmosfera e decorrentes da cobertura por nuvens ⁵⁶.

Neste sentido, em regiões intertropicais, a quantidade de radiação solar incidente é alta em determinadas épocas do ano e atingem valores superiores a 1.000 Wm^{-2} , com comprimento de ondas (curtas) que variam em torno de 250-2.500 nm durante os meses de verão (solstício), reduzindo consideravelmente (para 800 Wm^{-2} ou menos) no restante do ano ^{42, 43}.

Ao contrário da produção em confinamento, onde se tem um maior controle da radiação solar que incide sobre os animais ⁵⁷, em regiões de produção a pasto o fluxo de radiação global apresenta variabilidade espacial e temporal devido à orientação relativa do terreno, presença de elementos como construções ou dossel vizinho (renques, densidade e disposição das árvores) e presença de clareiras, acarretando em maior carga térmica disponível aos animais. Entretanto, em regiões arborizadas, no seu interior a radiação solar difusa (50 a 100 Wm^2) apresenta uniformidade, mesmo em condições de dossel heterogêneo ^{12, 29}.

A atenuação da radiação solar pelo dossel florestal atua diretamente no balanço de energia, permitindo menor reflexão da radiação e maior capacidade de retenção da água precipitada em comparação a áreas de campo aberto, possibilitando manter altas taxas de evapotranspiração (incremento de umidade relativa do ar) e menores temperaturas do ar ⁵⁸.

Cerca 80% da radiação solar incidente é interceptada pelas copas e menos de 5% chega no sub-bosque ⁵⁹, correspondendo a uma redução de 28,3% na Carga Térmica Radiante ¹⁶.

Neste sentido, a presença de formações florestais em sistemas de produção a pasto desempenha papel importante no fluxo de calor latente e sensível diurno, devido ao aproveitamento de uma fração da radiação solar que incide no sub-bosque, a qual diminui a disponibilidade para os animais e colabora para melhorar a sensação de bem-estar e conforto térmico ^{16, 51, 58}. Esta fração, denominada de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), corresponde ao fluxo de fótons na faixa de 350 a 750 nm do espectro solar e é responsável pelo balanço da umidade relativa e temperatura do ar no local sombreado ⁶⁰⁻⁶². Através da interceptação da radiação solar realizada pelas copas ^{39, 42}, a energia solar direta é transformada em energia química latente, reduzindo a incidência de insolação durante o dia e conservando um microclima mais agradável durante a noite ^{16, 38}.

Karvatt Junior et al. ¹⁶ concluíram que a presença de árvores em pastagem promove alterações microclimáticas e de conforto térmico, a partir da redução de 2.7 a 8.9 °C de temperatura do ar e aumentos de 1.4 a 4.5 pontos percentuais na umidade relativa do ar ao avaliar o efeito da sombra em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com diferentes densidades de árvores. Do mesmo modo, de Oliveira et al. ¹⁹ avaliando o conforto térmico animal em dois sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta registraram diferenças de 1.1 a 8.9 °C de temperatura do ar sob a copa entre as estações, com variações consideráveis na redução da velocidade do vento de acordo com o número de árvores e distância entre os renques.

Diante deste contexto, quando as diferenças de temperaturas entre dois meios (por exemplo, uma área arborizada e um campo aberto) são mais proeminentes, ocorre o deslocamento de massas de ar (ventilação térmica) com consequente retirada da umidade do ar e podendo, inclusive, causar danos físicos dentro de um sistema quando em alta velocidade. Entretanto, esta variável climática é fundamental para que ocorram trocas térmicas, principalmente por convecção, entre os animais e o ambiente ⁶³. O movimento da camada de ar próxima à pele tende a retirar o ar quente e substituí-lo por outro mais frio, sendo desejável quando a velocidade é de aproximadamente 1.3 a 1.9 m.s⁻¹, causando preocupação quando atingem 8.0 m.s⁻¹ ⁶⁴.

2.2. Estresse térmico

As diferentes combinações dos elementos microclimáticos geram forças externas que atuam sobre um animal aumentando a temperatura corporal e exigindo uma resposta fisiológica decorrente do estresse térmico ⁶⁵. O fluxo excessivo de energia (na forma de calor

ininterrupto) para o corpo, além do esgotamento das reservas energéticas necessárias para a produção e o crescimento, pode ocasionar a diminuição da qualidade de vida e, em casos extremos, morte dos animais mais debilitados ou estressantemente afetados ²⁵. Com base neste contexto, nos últimos anos é observada uma preocupação crescente relacionada aos efeitos do estresse no bem-estar e conforto térmico dos animais de produção, devido à estreita relação entre a geração de calor metabólico e o nível de produção ⁶⁶.

Para melhor descrever estes efeitos, Hans Selye propôs o termo “Síndrome da Adaptação Geral” como referência às respostas complexas, mas bastante uniformes desencadeadas em um organismo quando a sua homeostase é comprometida ⁶⁷, definindo três estágios de resposta à estimulação nociva: alarme, resistência e exaustão.

No primeiro estágio, ao perceber o agente estressor, a reação de alarme é iniciada com a ativação do sistema nervoso simpático (SNS) e do eixo hipotálamo-hipofise-adrenal (HHA) em busca das respostas neurofisiológicas necessárias para uma determinada situação estressante, a partir de mudanças neuroendócrinas, comportamentais, fisiológicas e/ou imunológicas; segundo, um "estágio de resistência" é iniciado, com o qual as respostas adaptativas desencadeadas pelos sinais neuroendócrinos ajudam a conter o estresse; e o terceiro, caracterizado pelo "estágio de exaustão" onde ocorre um declínio gradual da resistência ao estresse, devido à superação fisiológica (ocasionado na superação do estresse agudo) ou sofrimento (associado ao estresse crônico) ^{67, 68}.

No entanto, para provocar uma resposta de sofrimento, o estressor deve ser percebido como um fator perigoso pelo animal, causando efeitos deletérios ²⁴. Os efeitos e a duração desta percepção dependem inteiramente de fatores individuais de cada espécie animal, tais como fatores genéticos, experiências anteriormente vividas, contexto psicológico do estresse, idade, tipos e a duração dos estressores ⁷⁰, as quais influenciarão na resposta final. Em qualquer caso, uma cascata de respostas fisiológicas adaptativas (alostáticas) está envolvida na tentativa de lidar com os estímulos adversos que ocorrem no ambiente. Como resultado, essas modificações adaptativas podem manter (eustress) ou piorar (diestresse) a homeostase.

2.2.1. Percepção ao agente estressor

Quando o animal percebe o agente estressor atuando sobre ele, neurotransmissores especializados do sistema nervoso periférico (SNP), localizados em todo o corpo, enviam sinais ao sistema nervoso central (SNC) que estimulam neurônios hipofisiotrópicos, localizados no *locus coeruleus* (SNS) e na subdivisão parvocelular medial do núcleo paraventricular do

hipotálamo (PVN - HHA), a síntese e secreção do fator liberador de corticotropina (CRF) e em menor concentração arginina vasopressina (AVP), os principais reguladores do eixo HHA ⁷¹.

Em resposta ao estresse, o CRF e a AVP são liberados nos vasos porta hipofisários que acessam a glândula pituitária anterior e o SNS. A ligação do CRF e da AVP ao seu receptor nos corticotrópicos pituitários induz a liberação do hormônio adrenocorticotrópico (ACTH) na circulação sistêmica, onde o principal alvo é o córtex adrenal para estimular a síntese e liberação de glicocorticoides, especialmente o cortisol, pela zona fasciculada, no eixo HHA, com respostas rápidas adaptativas (fuga) ^{26, 71}. Os efeitos catabólicos destas reações resultam na degradação das reservas energéticas dos tecidos musculares e na disponibilização de glicose aos tecidos nobres para uma recuperação rápida e completa do equilíbrio fisiológico ^{26, 43, 44}.

Por outro lado, na zona medular da adrenal, a ação do ACTH estimula a síntese e liberação de catecolaminas (noradrenalina e adrenalina) no SNS. As respostas adaptativas observadas durante esta situação incluem aumento da circulação sanguínea, dos movimentos respiratórios e consequente aumento da temperatura retal e da sudorese ⁷²⁻⁷⁴.

Os glicocorticóides e catecolaminas destes eixos regulam as mudanças fisiológicas por meio de receptores intracelulares distribuídos em todo o corpo para controle da homeostase. O *feedback* inibitório dos glicocorticóides na resposta secretora de ACTH atua limitando a duração da exposição total dos tecidos aos glicocorticoides e catecolaminas, minimizando, assim, os efeitos catabólicos, antireprodutivos e imunossupressores desses hormônios ⁷¹.

Os efeitos biológicos destes processos são geralmente adaptativos; no entanto, a ativação inadequada ou excessiva do eixo HHA, em função do tipo e intensidade do agente estressor, pode contribuir para o desenvolvimento de patologias.

2.2.2. Estresse agudo e estresse crônico

Durante as respostas ao agente estressor são refletidas algumas características particulares nos indivíduos, em função do tempo de atuação no organismo. De acordo com Trevisi e Bertoni ⁷¹, existem duas principais condições em relação ao tempo de ação do agente estressor que melhor descrevem os efeitos consequentes durante a fase de resistência:

- (1) Condição de estresse agudo: relacionado aos efeitos transitórios de curta duração, e;
- (2) Condição de estresse crônico: relacionado aos efeitos continuados de um, ou mais agentes estressores por um longo período.

Independente do tempo de atuação, uma vez que o SNC percebe o estresse, respostas adaptativas envolvendo alterações comportamentais, no sistema nervoso autônomo,

neuroendócrinas e imunológicas, são desencadeadas em defesa do organismo ⁶⁹, sendo que a interação entre elas resultará ou não no equilíbrio homeostático ²⁵.

Desse modo, o estresse agudo ocorre consequente a uma situação negativa de curta duração, seja física, emocional ou psicológica, que geralmente permite uma recuperação rápida e completa do equilíbrio fisiológico (superação ao estresse). Durante uma resposta aguda ao estresse, o SNS e o eixo HHA são ativados para aumento da magnitude dos pulsos de CRH e AVP, que normalmente são de dois ou três pulsos síncronos em cada hora.

Ao amanhecer (entre 06h00 e 07h00) quando esses pulsos atingem o pico, é possível observar a magnitude dos pulsos de cortisol ⁷⁵. Quando o estresse cessa, o SNS e o eixo HHA não são mais estimulados (*feedback* negativo) e os efetores e hormônios envolvidos voltam para os níveis normais (recuperação), sendo que em alguns casos (durante a alimentação e reprodução, por exemplo), as respostas observadas podem melhorar o bem-estar.

Por outro lado, se ocorre a ativação contínua do sistema fisiológico, o animal entra em um estado emocional de estresse crônico ⁷⁶. Isso ocorre quando o corpo experimenta tantos estressores ou a exposição repetida ao mesmo estresse agudo, que o sistema nervoso autônomo raramente tem a chance de ativar a resposta de relaxamento (por exemplo, elevadas temperaturas, intensa radiação solar). Nessa situação, a superexposição a hormônios do estresse resulta em uma “carga alostática” e em um custo biológico suficiente para alterar as funções biológicas e induzir o sofrimento devido à má adaptação ^{23, 24}. Portanto, o estresse crônico é uma condição de má adaptação que pode estar associada a uma redução direta no nível de bem-estar. Além disso, essa condição pode afetar o início ou a suscetibilidade à doença e a sua progressão, mesmo que seja decorrente de outros motivos.

2.2.3. Indicadores fisiológicos para avaliação de estresse térmico em animais

Conforme postulado por Broom ⁷⁷, o bem-estar animal deve ser medido cientificamente, independente de considerações morais, de maneira sólida e objetiva. Entretanto, definir quão estressante é um ambiente de produção não é uma tarefa fácil, visto que cada animal responde aos seus estímulos de maneira diferente. Nos últimos anos, uma variedade de parâmetros fisiológicos vem sendo utilizada para inferir a adaptação animal frente a diversos agentes estressores ^{28, 45, 79, 80}. Na literatura, os indicadores mais utilizados atualmente incluem a frequência cardíaca e respiratória, temperaturas retal e epitelial, bem como a evaporação cutânea ^{28, 45, 81}.

De fato, durante os períodos em que um organismo sofre coação fisiológica em função do estresse, o cortisol age no organismo para mobilizar reservas energéticas e evitar o

acúmulo excessivo de calor^{25, 26}. Neste processo, a elevação da temperatura retal decorrente é acompanhada por aumentos progressivos na frequência respiratória como mecanismos primordiais para a dissipação do excedente de energia térmica armazenada em curto prazo^{27, 28}.

Neste contexto, a temperatura retal ideal de conforto para bovinos varia de 36.7 a 39.1°C, enquanto que a frequência respiratória de 26 a 50 mov.min⁻¹ e a frequência cardíaca 36 – 60 bat.min⁻¹^{82, 83}, sendo que, durante a dissipação térmica em curto prazo, o aumento da frequência respiratória acima de 120 mov.min é considerado como prejudicial a saúde animal, podendo causar efeitos deletérios a partir da insuficiência dos mecanismos de liberação e manutenção de calor em função da homeotermia⁸⁴.

Desse modo, a frequência respiratória é geralmente associada como o primeiro sinal visível do animal em estresse térmico. Araújo et al.⁸⁵ avaliando a adaptabilidade de bezerros mestiços (Holandês x Gir) criados a campo e em instalações, verificaram que a frequência respiratória dos animais a pasto foi superior (55.8 mov.min), sugerindo que a evaporação por condensação foi o mecanismo mais eficiente para dissipação térmica por estes animais. Do mesmo modo, Vizzotto et al.⁸⁶ avaliando as mudanças nas respostas fisiológicas de vacas leiteiras mantidas em pastagem durante estação quente, observaram maior frequência respiratória (80.5 mov.min) no ambiente sem sombra em comparação ao ambiente sombreado (60.5 mov.min).

Como o calor é transportado do interior para a superfície do corpo através dos vasos sanguíneos, a maior pressão sanguínea decorrente da vasoconstrição arterial (FC) colabora para o suprimento adequado de sangue aos tecidos periféricos (com maior oxigenação), resultando no aumento progressivo da temperatura epitelial para favorecer a dissipação térmica com o ambiente^{80, 87}.

De acordo com Detweiler⁸⁸, a frequência cardíaca é controlada pela interação dos centros cardioinibidor e cardioacelerador na medula oblonga, os quais, por sua vez, estão sob a influência do sistema nervoso central, incluindo o hipotálamo e o sistema límbico. A temperatura ambiental, além de outras variáveis fisiológicas pode intensificar a atividade dos centros cardioacelerador e vasoconstritor, portanto, elevando a frequência cardíaca. Vizzotto et al.⁸⁶ observaram diferença na frequência cardíaca, com aumento de 6 bat.min⁻¹ no ambiente sem sombra (84.4 vs 90.3 bat.min⁻¹). Dalcin et al.⁴⁵ avaliando as mudanças nos parâmetros fisiológicos de vacas de leite sob estresse térmico encontraram valores frequência cardíaca próximos à 76 bat.min⁻¹.

Os componentes sanguíneos, além das várias informações para avaliação do estado de saúde, também são utilizados para indicação do estado de estresse dos animais ⁸⁹. Os valores de referência para a interpretação devem ser preferencialmente regionais, pois são influenciados de acordo com a espécie, sexo, raça, idade, estado fisiológico, hora do dia, umidade relativa do ar e temperatura ambiente ⁹⁰. Animais criados sob diferentes condições climáticas e de manejo podem apresentar evidentes variações dos elementos constituintes do hemograma.

Entretanto, a elevada desidratação corporal realizada pelos processos evaporativos durante a dissipação de energia térmica pode causar depressão do volume plasmático com reflexos significativos nas concentrações de células brancas e vermelhas do sangue ⁹¹. Em bovinos termicamente estressados a contagem de células brancas e leucócitos pode aumentar em 21 a 26 % e a de células vermelhas em 12 a 20 %, devido à destruição dos eritrócitos durante a desidratação corporal ⁹².

McManus et al. ⁹³ avaliando a tolerância ao calor em cinco raças de bovinos de corte naturalizadas e duas exóticas observaram que as variações térmicas do ambiente foram responsáveis pelas maiores variações nos parâmetros hematológicos, mas sem causar prejuízos à saúde dos animais. Do mesmo modo, Cardoso et al. ⁸⁷ avaliando a tolerância ao estresse térmico de cinco raças zebuínas observaram que as variações microclimáticas afetaram o volume corpuscular médio com reflexos diretos nas concentrações dos demais parâmetros hematológicos (células vermelhas e brancas).

A avaliação por meio destes parâmetros expressa as respostas provenientes da liberação de catecolaminas durante a ativação do eixo HHA e sistema SNS e encontra-se bem estabelecida para a inferência do estresse agudo ⁹⁴. Entretanto, ainda não existe um parâmetro que melhor representa a real situação adaptativa dos animais, uma vez que as respostas obtidas durante estas avaliações são facilmente confundidas pelos efeitos de manejo, que por sua vez podem induzir ao estresse momentâneo (agudo) e não ao real causador ²⁸.

Neste sentido, para as condições de estresse, um bom marcador biológico promove alterações sutis e de longo prazo nas respostas fisiológicas (sistema endócrino, hematológico, metabólico, imunológico), mesmo que os animais se apresentem aparentemente adaptados ao seu agente estressor. Assim, a avaliação das condições de estresse crônico é mais discutível do que a do estresse agudo por apresentar reflexos diretos das modificações da atividade do eixo HHA, e especialmente na concentração de cortisol ⁹⁵.

2.2.3.1. Características do pelo e análise de cortisol

Por muitos anos, diversas matrizes foram utilizadas como moduladores das concentrações de cortisol como indicadores de estresse (Tabela 1). Estas matrizes oferecem a possibilidade de explorar a dinâmica e as concentrações, agudas (soro, saliva) ou circulantes, de cortisol em curto prazo (urina) ⁹⁶. Apesar de algumas matrizes tais como urina e fezes fornecerem informações do cortisol livre, as concentrações obtidas ainda flutuam significativamente ao longo do dia e refletem as consequências do estresse dentro de 12 a 24 horas ⁹⁷.

Tabela 1. Matrizes utilizadas como moduladores das concentrações de cortisol para inferências do estresse

Autores	Ano	Estudo
Hernandez CE et al.	2014	Time lag between peak concentrations of plasma and salivary cortisol following a stressful procedure in dairy cattle.
Chiesa L et al.	2016	Study on cortisol, cortisone and prednisolone presence in urine of Chianina cattle breed.
Tarantola M et al.	2016	Effects of abrupt housing changes on the welfare of Piemontese cows.
Rees A et al.	2016	Effect of heat stress on concentrations of faecal cortisol metabolites in dairy cows.
Pawluski et al.	2017	Low plasma cortisol and fecal cortisol metabolite measures as indicators of compromised welfare in domestic horses (<i>Equus caballus</i>).
Peric T et al.	2017	Cortisol and DHEA concentration in the hair of dairy cows managed indoor or on pasture.
Uetake K et al.	2017	Hair cortisol levels of lactating dairy cows in cold and warm temperature regions in Japan.
Lu X et al.	2018	Association of ultimate pH and stress-related blood variables in cattle.

Fonte: Elaborado por Nivaldo Karvate Junior.

Desse modo, o pelo tem sido amplamente utilizado como matriz biológica para uso na avaliação dos níveis de concentrações armazenadas de cortisol em longo prazo. As amostras de pelo parecem fornecer um valor integrado dos níveis retrospectivos circulantes das concentrações de cortisol durante o seu crescimento ²⁹. Por meio desta matriz é possível obter respostas da ativação do eixo HHA decorrendo de um mês ou mais de acúmulo a partir da deposição do cortisol na haste pilosa ⁹⁴.

Apesar dos mecanismos precisos de deposição e acúmulo deste hormônio ainda não serem totalmente compreendidos, estudos de validação direta e indireta apoiam fortemente a

hipótese de que as concentrações de cortisol no pelo fornecem um marcador válido para o estresse sistêmico em longo prazo ³⁶. Além de ser uma técnica simples (podendo ser realizada com um barbeador elétrico, por exemplo) e não invasiva, sem estar sujeita à influência da variação circadiana ou da interferência do estresse momentâneo da captura durante o procedimento de amostragem, as amostras podem ser armazenadas por um maior período sem que ocorram perdas ou degradação do material.

O uso do pelo para avaliar os níveis de longo prazo da secreção de cortisol tem sido estudado em humanos ⁹⁶, *macaques rhesus* ^{97, 98}, gatos e cães ^{99, 100}, vacas leiteiras e novilhas ^{101, 102}, suínos ¹⁰³, equinos ¹⁰⁴ e mais recentemente bovinos de corte ³², uma vez que para esta última espécie, as medidas obtidas eram, na maioria dos casos, confirmadas pelos efeitos do manejo animal, induzindo, dessa forma, o estresse agudo ²⁴. Entretanto, outros fatores podem afetar a deposição de cortisol na haste do pelo, mesmo dentro de uma mesma espécie, tais como nutrição, estação do ano, fotoperíodo, categoria animal e idade ¹⁰⁵.

Neste sentido, Moya et al. ³² avaliando as concentrações de cortisol no pelo de bovinos de corte e identificando a influência do local de coleta de pelo nas concentrações de cortisol, observaram variação de 0.30 a 5.21 pg.mg de pelo com as maiores concentrações encontradas na cauda e no pescoço. González de la Vara et al. ¹⁰⁶ ao avaliar o estresse crônico de novilhas com dois anos e vacas leiteiras com cinco anos obtiveram concentrações significativamente maiores no pelo de novilhas (114.50±14.43 pg.mg), comparado às vacas (12.15±1.85 pg.mg), justificando esta diferença devido ao estresse pós desmama. Uetake et al. ¹⁰⁵ comparando os níveis de cortisol no pelo de vacas em lactação em região de clima temperado quente e frio, obtiveram variação de 1.60 a 13.00 pg.mg, sendo que as maiores concentrações ocorreram simultaneamente a elevação das temperaturas.

Além disso, a cor do pelo pode ter uma influência indireta na concentração de cortisol, principalmente em locais de severa carga térmica. Atualmente é bem estabelecido que sob condições de estresse por calor, a cor da pelagem pode desempenhar um papel importante através da absorção de calor e radiação solar com base nas cores branca e preta/marrom do pelo ¹⁰⁷. Em outras palavras, além de ser um indicador da resposta de um animal a situações estressantes, o hormônio cortisol modula as atividades de vários sistemas em resposta ao desconforto térmico diante das mudanças ambientais.

Neste contexto, González de la Vara et al. ¹⁰⁶ observaram, em vacas com dois anos de idade, maior concentração de cortisol no pelo de coloração branca (23.84±2.51 pg.mg) quando comparado a coloração preta (14.31±1.07 pg.mg), resultado do maior estresse térmico enfrentado durante os períodos de temperaturas mais elevadas. Do mesmo modo, Burnet et al.

¹⁰⁸ avaliando o efeito da coloração dos pelos, brancos e pretos, na concentração de cortisol de vacas Holandesas observaram maior concentração de cortisol nos animais de pelo branco (7.8 pg.mg) em relação aos animais de pelo preto (3.8 pg.mg). No entanto, Tallo-Parra et al. ¹⁰⁹, ao validar um protocolo para detecção do cortisol no pelo de bovinos leiteiros utilizando *enzyme immunoassay* (EIA), observaram que animais com pelagem preta apresentaram maior concentração de cortisol (3.9 pg.mg) em relação a pelagem branca (2.1 pg.mg), sugerindo que a deposição de cortisol também pode estar associado a maior concentração de melanócitos no pelo.

2.2.3.2. Características do pelo e incorporação do cortisol

Fisiologicamente, o folículo piloso está associado a uma glândula sebácea e encontra-se localizado a alguns milímetros abaixo da superfície da pele, envolto por um rico sistema capilar que promove o seu crescimento com os materiais metabólicos essenciais. As glândulas apócrinas, sebáceas e sudoríparas estão associadas com o folículo piloso. As secreções das duas primeiras glândulas banham a haste do pêlo no folículo e a da glândula sudorípara banha-o acima da superfície da pele ^{110, 111}.

O pelo é um anexo da pele, originado do folículo piloso e consiste de células queratinizadas coladas pelo complexo de membranas celulares que formam uma estrutura composta por bainhas concêntricas, cada uma com funções e características distintas para dar suporte e estabilidade ao pelo. No centro do folículo está a haste do pelo que consiste nas seguintes três estruturas concêntricas: a cutícula, córtex e medula. A cutícula forma a camada de revestimento na superfície do pelo; o córtex forma a maior parte do pelo e é composto por células queratinizadas que contêm pigmentos de melanócitos do bulbo, os quais também conferem a coloração dos pelos; a medula, mais interna, caracterizada pela presença de células que se diferenciam e estão dispostas em uma ou várias colunas, que participam da nutrição do pelo.

O tamanho e o tipo do pelo estão relacionados ao volume e à forma da derme. Entretanto, em bovinos, o crescimento médio é de aproximadamente 0.6 mm por dia, atingindo um comprimento médio de 1,0 cm por mês. Neste sentido, a incorporação do cortisol está intimamente ligada ao crescimento piloso, em 1,0 cm de pelo é possível obter resultados referentes a um mês de incorporação, sendo que acima de 5,0 cm resultados insatisfatórios podem ser obtidos devido à degradação da haste pilosa e/ou deterioração hormonal e causada pela ação dos fatores ambientais ¹¹².

O mecanismo exato de deposição na haste pilosa ainda não é totalmente conhecido. Entretanto, a hipótese mais comumente sugerida é baseada no modelo complexo de múltiplos compartimentos, proposta por Henderson, em 1993. Acredita-se que o cortisol penetre nos pelos principalmente no nível medular da haste por meio de difusão passiva provida pelo sangue durante o crescimento das células do folículo piloso. Neste cenário, hipotetizaria-se que o cortisol no pelo reflita a fração de cortisol livre integrada, ao invés da concentração total de cortisol no soro ^{103, 112}, como em amostras de sangue. Ao mesmo tempo, acredita-se que o cortisol adicional possa participar do revestimento da cutícula externa proveniente das secreções sebáceas e apócrinas, no entanto, nenhum estudo foi realizado para confirmar esta hipótese ¹¹²⁻¹¹⁴.

2.2.4. Indicadores de conforto térmico para avaliação do ambiente

Por muitos anos, pesquisadores vêm investigando os efeitos das altas temperaturas do ambiente no desempenho e produção de diferentes espécies de animais. As trocas de calor com o meio ambiente são processos cruciais para manter a homeotermia. Essas trocas envolvem a produção, conservação e dissipação de calor e dependem de fatores biológicos e físicos. A complexidade dessas trocas levou a muitas tentativas de representar os aspectos ambientais por meio de índices térmicos avaliados com base nos parâmetros climáticos do ambiente de produção ¹¹⁵. Neste sentido, os Índices de Conforto Térmico foram concebidos para caracterizar um ambiente qualquer, seja para conforto humano ou animal, por meio da combinação de diferentes parâmetros climáticos, em uma única medida ^{25, 116}.

Na produção animal, estes índices são associados a outros parâmetros, tais como temperatura corporal, taxa de respiração, entre outros, que possibilitam identificar a habilidade de um indivíduo específico ou um grupo destes anteriormente citados, em contornar as condições adversas proporcionadas pelos efeitos climáticos ^{25, 53}. Os mais utilizados, por muitos anos, foram o Índice de Temperatura e Umidade (ITU); o Índice de Temperatura de Globo e Umidade; e, a Carga Térmica Radiante. Neste sentido, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), adimensional, que incorpora os efeitos da temperatura ambiente com a umidade relativa, foi originalmente proposto por Thom ¹¹⁷ como um índice de conforto térmico humano, mais tarde adaptado às condições de campo e tem sido amplamente utilizado como um indicador de estresse térmico na produção animal ¹⁷. O ITU é dividido em categorias que potencialmente indicam o nível de estresse por calor, mas as definições variam entre pesquisadores e condições ¹¹⁸. Hahn e Mader ⁸⁴ consideram como confortáveis os ambientes que proporcionam valores de

ITU menores ou iguais a 70; entre 71 e 78 caracterizam ambientes críticos; de 79 a 83 a situação é de perigo; e acima de 83, é considerada condição de emergência.

Navarini et al.¹³, utilizaram-no para avaliar o ambiente térmico para a produção de bovinos da raça Nelore e observaram condições de estresse térmico [perigo (79) a emergência (88)], no pleno sol, porém, em ambientes sombreados por árvores dispostas em pequenos bosques, apesar do indicativo demonstrar situação crítica (72), foi possível identificar melhorias significativas no bem-estar animal. Do mesmo modo, Lopes et al.¹⁷, utilizando o ITU, demonstraram que diferentes estratégias de sistemas silvipastoris caracterizam substancial importância para o controle térmico e benefício do bem-estar animal. Neste estudo, foram obtidas variações diárias no ITU de 78 a 83 no pleno sol e de 76 a 80, na projeção da sombra. Segundo os autores, mesmo com baixa diferença no indicativo entre os locais avaliados, foi eficiente em avaliar o ambiente térmico para a produção animal.

Apesar da eficiência demonstrada pelo ITU, e sua ampla utilização até os dias de hoje, ainda existem discussões entre os pesquisadores quanto à fidelidade dos resultados obtidos, uma vez que este indicativo não considera a radiação solar direta que atinge o ambiente de produção. Neste sentido, Vernon, em 1932, propôs a utilização de um globo oco, pintado de preto, no interior do qual colocado um termômetro para medir sua temperatura interna. A temperatura indicada pelo globo proveria a estimativa dos efeitos combinados da energia radiante procedente do meio, em todas as direções possíveis, da temperatura do ar e da velocidade do vento, dando assim uma medida de conforto térmico proporcionado pelo ambiente nestas condições^{47, 116}.

De fato, de acordo com Silva¹¹⁹, a temperatura de globo negro é uma maneira de indicar os efeitos combinados da radiação, convecção, e sua influência no organismo vivo. Assim, na tentativa de contornar a limitação e tendo como base o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), em 1981, Buffington et al. propuseram o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), sendo cientificamente reconhecido como mais preciso índice para avaliar e determinar o conforto térmico de ambientes para a produção animal. O National Weather Service (1976) delimitou valores de ITGU até 74 como situação característica de ambientes confortáveis; entre 75 e 78, situação de alerta; 79 a 84, perigo; e acima de 84, situação crítica⁸⁴.

Utilizando o ITGU para avaliar o conforto térmico em sistemas silvipastoris formados com árvores da espécie *Acácia holosericea*, Silva et al.¹¹⁹ identificaram condição de perigo na sombra (80) e condição crítica no pleno sol (85). A variação diária em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com diferentes arranjos de eucaliptos e árvores nativas foi

classificada como confortável (70) a crítica (88) por Karvatte Junior et al.¹⁶, sendo o ambiente sombreado o mais indicado para o bem-estar e conforto térmico. Em ambos os trabalhos, os autores concluíram que mesmo com elevados valores, obtidos devido as condições experimentais, este índice é capaz de traduzir as condições adversas do clima colaborando para o bem-estar na produção animal.

A temperatura de globo negro também foi amplamente utilizada para determinar a Temperatura Radiante Média (TRM), combinando os efeitos da energia térmica radiante procedente do meio ambiente em todas as direções possíveis. De posse dessa variável, Esmay em 1971, propôs avaliar a radiação total recebida por um corpo de todo o espaço circundante a ele, por meio da Carga Térmica Radiante (CTR).

Este parâmetro, que não é um índice de conforto como os demais, não engloba a troca líquida de radiação entre o corpo e o seu meio circundante, mas inclui a radiação incidente no corpo. Assim, a CTR é estimada por meio da TRM combinando os efeitos obtidos pela temperatura de globo negro, da temperatura do ar e da velocidade do vento, dando assim uma medida do conforto térmico, desde que se suponha não haver trocas térmicas por evaporação entre o ambiente e o animal considerado^{120, 121}. Desse modo, quanto o menor valor possível obtido nos cálculos, melhor situação de conforto térmico em um ambiente de produção seria obtida.

Em condições experimentais de campo aberto, Baliscei et al.¹⁴ encontraram as 12h00, as maiores médias para a CTR, devido à maior elevação do Zenith solar. Os valores máximos encontrados foram 639.8 W.m⁻² em sistema silvipastoril e 778.4 W.m⁻² no pleno sol. O mesmo comportamento foi observado por Karvatte Junior et al.¹⁶, entretanto, estes autores obtiveram redução de até 29% na CTR em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, possibilitado devido à presença de árvores (794 W.m⁻² no pleno sol vs. 559 W.m⁻² na sombra).

A importância e aplicabilidade destes índices repercutiram durante muitos anos em estudos científicos utilizando animais a pasto e/ou em confinamento. No entanto, apesar da eficiência, estes índices não levam em consideração os efeitos acumulativos da carga de calor, resfriamento natural ou ambos. De acordo com Gaughan et al.¹²², o gado pode acumular calor durante o dia (com o aumento da temperatura corporal) e dissipar o calor durante a noite. Se houver a necessidade de resfriamento noturno e este não for dissipado o suficiente, o gado pode entrar no dia seguinte com uma carga de calor acumulada. Neste sentido, Gaughan et al.¹²² propuseram o Índice de Carga Térmica, adimensional, como um novo modelo para explicar o movimento do ar ou a radiação solar e seus efeitos sobre o conforto térmico de animais de produção. De acordo com este índice, valores menores que 70 são indicativos de baixa carga

térmica; acima de 70 e abaixo de 77, calor; acima de 77 e abaixo de 86 quente; e, acima de 86, muito quente, sendo que este índice é calculado com base nos registros de temperatura de globo negro do ambiente.

Do mesmo modo, integrando uma variedade de componentes ambientais em um único índice climático, Mader et al.¹²³ propuseram o Índice Climático Abrangente (CCI, adimensional), com o objetivo de descrever os limiares adequados de estresse ambiental que sejam flexíveis e reflitam as condições ambientais, nos níveis de manejo e no estado fisiológico, a partir da utilização de uma série de fatores de correção para determinados parâmetros climáticos. Os limiares de estresse térmico sugeridos por este índice de conforto podem ser analisados na Tabela 2.

Tabela 2. Limiares de estresse térmico sugeridos pelo Índice de Carga Térmica

Ambiente	Condição de calor	Condição de frio	
		Suscetibilidade animal	
		Alto	Baixo
Sem estresse	<25	>5	>0
Baixo estresse	25 a 30	0 a 5	0 a -10
Moderado	>30 a 35	<0 a -5	<-10 a -20
Severo	>35 a 40	<-5 a -10	<-20 a -30
Extremo	>40 a 45	<-10 a -15	<-30 a -40
Extremo perigo	>45	<-15	<-40

Fonte: Adaptado de Mader et al.¹²³

Apesar do grande interesse em descrever os efeitos do ambiente térmico e da aplicabilidade destes indicativos para o bem-estar e conforto térmico dos animais de produção, estes índices foram concebidos, na sua grande maioria, em câmaras climáticas, com o ambiente controlado e por muitas vezes direcionados para a produção de animais em confinamento. Para a produção animal a pasto, atualmente, inúmeros estudos vêm sendo realizados considerando estes indicativos de conforto térmico como parâmetros de avaliação do ambiente (Tabela 3).

Tabela 3. Estudos de avaliação do conforto térmico a pasto

Autores	Ano	Estudo
Navarini et al.	2009	Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol.
Baliscei et al.	2013	Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter.
Karvatte Junior et al.	2016	Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest.
Martello LS et al.	2016	Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in <i>Bos indicus</i> cattle in tropical conditions.
de Oliveira et al.	2017	Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah.

Fonte: Elaborado por Nivaldo Karvatte Junior.

Tais experimentos utilizam equipamentos que, apesar de eficientes, excluem a identificação das variações de radiação por ondas curtas irradiadas pelas superfícies das vegetações e limitam a identificação das relações existentes com o microclima e conforto térmico animal. Neste sentido, há uma crescente preocupação em avaliar as emissões de radiação livre em formações florestais, utilizando a termografia por infravermelho, por meio da mensuração da temperatura foliar e condutância estomática ^{9, 20}. Os resultados evidenciam claras diferenças temporais e espaciais em florestas com diferentes espécies de árvores, topografia e relevo, capazes de influenciar no microclima interno ^{21, 22}. Entretanto, ainda não foram reportados na literatura científica estudos avaliando esta fração da radiação infravermelha sob o conforto térmico de animais a pasto.

2.2.4.1. Termografia por infravermelho

As câmeras de termografia por infravermelho traduzem a energia térmica irradiada, na faixa infravermelha do espectro eletromagnético para uma imagem de energia visível em diferentes escalas de cores ^{124, 125}, possibilitando detectar falhas ou alterações do padrão de emissões térmicas de um sistema e/ou organismo qualquer. Os raios infravermelhos têm um comprimento de onda superior aos visíveis, podendo ser divididos em ondas curtas (2-5 μm) e ondas longas (8-14 μm), devido sua baixa absorção pela atmosfera, sendo que é neste último intervalo que trabalham as câmaras termográficas ¹²⁵.

O princípio de identificação é resultado da energia eletromagnética irradiada pelos corpos. Pequenas alterações de temperatura podem resultar em variações substanciais de energia irradiada. Esta energia é composta por fluxos de partículas de fótons sem massa atômica que se movimentam em um padrão de onda e se deslocam com a velocidade da luz, sendo os fótons com maior energia os relacionados a comprimentos de ondas curtas ¹²⁶.

Para que ocorra a leitura, primeiramente deve existir um contraste térmico entre o alvo e o meio, denominado de Resolução Geométrica, sem o qual o equipamento não é capaz de distinguir as emissões de radiação térmica entre uma superfície e outra ¹²⁷. Desse modo, para uma correta identificação, durante as avaliações deve-se garantir contraste térmico; sensibilidade e boa resolução térmica ¹²⁶.

Ao identificar uma variação de energia térmica, os sensores detectores sensíveis ao infravermelho captam a radiação térmica emitida e a convertem em sinais elétricos amplificados, permitindo sua leitura e processamento por meio de softwares, a partir de imagens térmicas digitais apresentadas em diferentes escalas de cores de acordo com sua emissividade. O sinal elétrico captado é transformado e convertido para a forma digital por elementos ou unidades denominadas pixels, em escalas de cores diferentes, onde cada pixel correspondendo a uma temperatura exata dentro do plano x e y na matriz da imagem ¹²⁸.

Desta forma, um termograma de cor é construído e representa um mapa da distribuição de temperaturas do objeto estudado. Uma vez que a quantidade de energia liberada pelo(s) organismo(s) é uma função da sua temperatura, os termogramas são representações quantitativas da temperatura da superfície dos objetos e/ou organismos ¹²⁹.

É importante notar que não só o objeto (material ou organismo), mas também a condição (idade, rugosidade, exposição ao ambiente), bem como a sua forma exercem influências importantes sobre a sua emissividade, devendo sempre estar atento a este parâmetro no momento da utilização do equipamento ^{130, 131}. Neste sentido, materiais como madeira, plástico, borracha, pedra ou concreto, que apresentam superfícies de baixa reflexão apresentam emissividade (ϵ) entre 0,80 a 0,95; enquanto que materiais orgânicos apresentam emissividade entre 0,95 e 0,99 ¹³², próxima de um corpo negro, semelhante a pele humana e de animais ^{133, 134}.

2.2.4.2. Termografia por infravermelho para o bem-estar e conforto térmico animal

A agropecuária brasileira encontra-se em um período de expansão tecnológica e inovativa. A necessidade de maior produção e de melhor qualidade dos produtos, concomitante a crescentes limitações devido a condições climáticas, escassez de recursos (água, solos de

qualidade) e legislações ambientais cada vez mais severas, impulsionaram a procura e o desenvolvimento de técnicas mais elaboradas, modernas e seguras, que permitam aos profissionais da área obter auxílios e informações imprescindíveis para um diagnóstico completo, seguro e eficiente de um sistema de produção ^{128, 135}.

Na agricultura, os termovisores de infravermelho vêm sendo utilizados desde 1960 como ferramenta de mensuração da temperatura da superfície do solo e foliar, investigando as relações existentes entre o fluxo de energia no estresse hídrico das plantas e a disponibilidade de água no solo (Tabela 4). Embora as imagens térmicas não meçam diretamente a condutância estomática, independente do ambiente avaliado, o comportamento estomático é influenciado predominantemente pelas mudanças de temperatura no dossel, interferindo no microclima circundante ¹³⁶.

Tabela 4. Aplicações da termografia por infravermelho na agricultura

Autores	Ano	Estudo
Jones et al.	2009	Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water.
Irmak et al.	2000	Determination of Crop Water Stress Index for Irrigation Timing and Yield Estimation of Corn.
Meron	2010	Crop water stress mapping for site-specific irrigation by thermal imagery and artificial reference surfaces
O'Shaughnessy et al.	2011	Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton.
Romano et al.	2011	Use of thermography for high throughput phenotyping of tropical maize adaptation in water stress.

Elaborado por Nivaldo Karvatte Junior.

De fato, a vegetação não apenas responde às condições térmicas locais como também influencia com uma variedade de processos e *feedbacks* ²⁰ em benefício do conforto térmico e bem-estar humano, perante as áreas de engenharia ambiental e arquitetura. Do ponto de vista humano, a temperatura das folhas das árvores em ambientes urbanos é particularmente interessante devido ao seu efeito refrescante sobre o microclima ¹². Durante os processos de fotossíntese a radiação solar direta é transformada em energia química latente. Altas taxas de evapotranspiração são geradas pelas copas das árvores, colaborando para o incremento de umidade relativa do ar e diminuição da temperatura do ar na projeção da sombra ^{16, 137}.

A temperatura da folha é o resultado do balanço energético ao nível da folha, a qual é influenciada por fatores intrínsecos de cada espécie arbórea (massa foliar, tamanho, forma,

ângulo, reflectância, etc.), fatores físicos do ambiente (energia radiante recebida, temperatura do ar, vento) e fatores biológicos (transpiração, controlada por condutância estomática) ¹³⁸. De acordo com Leuzinger et al. ¹², árvores com folhas largas e de menor espessura tendem a apresentar maior temperatura de copa (diferença de até 5.0°C), enquanto que árvores com folhas pequenas e de maior espessura geralmente apresentam temperaturas menores devido a maior eficiência na condutância estomática e perda de calor latente, colaborando para a formação de um microclima mais agradável sob a copa.

Para Abreu-Harbich et al. ³⁸, a presença de árvores em ambientes urbanos é o principal fator que influencia no microclima, controlando as mudanças térmicas do ambiente e velocidade do vento. Ao quantificar o microclima diário e sazonal de várias espécies arbóreas arranjadas em diferentes densidades, estes autores obtiveram reduções de 0 a 2.8 °C de temperatura por árvores isoladas e de 0.3 a 15.7 °C por bosques de árvores. Outros estudos podem ser observados no quadro abaixo (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito de árvores nas mudanças microclimáticas e uso da termografia

Autores	Ano	Estudo
Leuzinger et al.	2010	Tree surface temperature in an urban environment.
Abreu-Harbich et al.	2015	Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics.
Feye et al.	2016	Distance makes the difference in thermography for ecological studies.
Maes et al.	2016	A new wet reference target method for continuous infrared thermography of vegetations.
Feye et al.	2017	Does heterogeneity in crop canopy microclimates matter for pests? Evidence from aerial high-resolution thermography.
Hemmerle et al.	2017	Implications of atmospheric conditions for analysis of surface temperature variability derived from landscape-scale thermography.

Elaborado por Nivaldo Karvatte Junior.

Entretanto, em condições de elevadas temperaturas (>35°C) ocorre aumento da temperatura do dossel florestal como consequência da diminuição da transpiração das folhas ⁹. Ao atingir 40°C de temperatura foliar, a fotossíntese é inibida, colaborando para o aumento da temperatura do ar e da temperatura na superfície do solo, favorecendo a formação de ilhas de calor com consequente diminuição do conforto térmico ^{10, 12}.

Na literatura rural, estudos concordam que as características estruturais da copa são os fatores que mais colaboram para a eficiência em alteração do ambiente em termos

microclimáticos, indicando que, nestas regiões, a diferença térmica entre áreas sombreadas e a pleno sol pode variar de 2 a 8.9 °C, favorecendo o bem-estar e conforto térmico de animais a pasto ¹⁹. Entretanto, para ambientes arborizados, em meio rural, ainda não foram encontrados estudos que avaliam o fluxo e distribuição de radiação utilizando a termografia de infravermelho, existindo apenas informações de fundamental relevância na avaliação de galpões e áreas construídas ^{38, 139}. Neste sentido, as informações obtidas até o presente momento despertaram o interesse do autor pela utilização desta ferramenta como potencial uso para avaliação do microclima e conforto térmico animal em sistemas silvipastoris.

2.2.5. Sistemas silvipastoris como estratégia para mitigação do estresse térmico

Os sistemas silvipastoris foram inicialmente concebidos para a recuperação de áreas com solos e pastagens degradados, promovendo a conservação e melhoria da qualidade do solo e ambiental ^{140, 141}. De fato, os sistemas silvipastoris são particularmente indicados para a melhoria do bem-estar e conforto térmico animal em pastagens ¹⁹. A combinação e interação, de gramíneas, arbustos e/ou árvores de uso múltiplo, respondem ao ambiente térmico com uma variedade de processos e *feedbacks* ^{20, 142}. Nestes sistemas, os ecossistemas florestais modificam os parâmetros climáticos dentro de uma determinada área e criam um microclima favorável através de uma complexa interação entre topografia, composição vegetal e estrutura organizacional das árvores ^{8, 143}.

Neste sistema, o componente florestal exerce efeito substancial ao modificar o microclima das pastagens por atuar diretamente na redução da incidência de radiação solar e no balanço energético no sub-bosque, possibilitando alterações na temperatura, umidade relativa do ar e atuando como quebra-ventos ¹⁶. Diversos estudos vêm comprovando os efeitos benéficos das árvores no conforto térmico animal ¹⁵⁻¹⁷.

Karvatt Junior et al. ¹⁶, concluíram que diferentes arranjos de eucaliptos e árvores nativas dispersas proporcionam melhores condições de conforto térmico animal devido a obtenção de um microclima com menor Carga Térmica Radiante à sombra. Do mesmo modo, Baliscei et al. ¹⁴ observaram que a presença de árvores em sistemas de produção a pasto promove mudanças no ambiente pela redução da temperatura de globo negro e velocidade do vento, promovendo melhores índices de conforto térmico à sombra.

O desempenho animal é diretamente afetada pela combinação de diversas variáveis que causam consequências severas para o animal e afetam seu crescimento, metabolismo e fisiologia ¹⁴⁴. Desse modo, a associação de árvores com pastagens é uma forma econômica para intensificar a produção de bovinos de corte. Van Laer et al. ⁶, com o objetivo de avaliar o grau

de desconforto térmico para gado leiteiro e de corte, no verão, observaram que em regiões onde a produção era realizada em campo aberto os animais apresentavam maior procura e frequência de procura por sombra, motivados pelo maior comprometimento dos processos fisiológicos de termorregulação (frequência respiratória e sudação).

Em regiões de produção animal a pasto, o correto dimensionamento de um sistema para o provimento de sombra colabora para que ocorra equilíbrio entre as trocas térmicas entre o animal e o ambiente sem agredir o seu bem-estar e conforto térmico ¹⁶. Lopes et al. ¹⁷ avaliando o comportamento de novilhas Nelore em sistemas silvipastoris com diferentes estratégias de sombra, observaram que os animais que permaneceram expostos ao sol, apresentaram maior porcentagem do tempo caminhando (3.2 %) e pastejando (10.8 %) em comparação aos animais inseridos em sistema com área arborizada (caminhando 1.3 %; pastejando 6.5 %). O aumento na frequência dos comportamentos realizados na área de exposição ao sol está relacionado com a capacidade que o animal apresenta em manter sua homeotermia dentro dos limites para sua sobrevivência, sem afetar o consumo e a produtividade, e que o maior deslocamento permite aos animais encontrarem locais que facilitem estas trocas térmicas com o meio.

Do mesmo modo, de Oliveira et al. ¹⁹ corroboram da informação que diferentes densidades de árvores alteram os padrões comportamentais de animais em pastagem. Ao avaliar o ganho de peso de novilhas Nelore em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, estes autores observaram que sistemas com renques de eucaliptos (densidade de 227 árvores.ha⁻¹) não apresenta diferença na produção de forragem e no ganho de peso diário por animal quando comparado a sistemas de integração lavoura-pecuária. Para Ferreira et al. ¹⁴⁵, a distribuição de fezes é um indicativo de conforto térmico para animais em pastagens sombreadas. Os sistemas que apresentam árvores dispersas favorecem o deslocamento de animais e propiciam melhor bem-estar animal devido à homogeneidade microclimática dos piquetes.

3. Referências Bibliográficas

1. Barkema HW, von Keyserlingk MAC, Kastelic JP, Lam TJGM, Luby C, Roy JP, LeBlanc SJ, Keefe GP, Kelton DF. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *J. Dairy Sci.* 98:1–20. doi:10.3168/jds.2015-9377.
2. von Keyserlingk MA, Martin NP, Kebreab E, Knowlton KF, Grant RJ, Stephenson M, Sniffen CJ, Harner JP, Wright AD, Smith IJ. Invited review: Sustainability of the US dairy industry. *J. Dairy Sci.* 2013, 96:5405–5425.
3. Ellis KA, Billington K, McNeil B, McKeegan DEF. Public opinion on UK milk marketing and dairy cow welfare. *Anim. Welf.*, 2009, 18:267-282.
4. Boogaard BK, Bock BB, Oosting SJ, Wiskerke JSC, van der Zijpp AJ. Social acceptance of dairy farming: The ambivalence between the two faces of modernity. *J. Agric. Environ. Ethics*, 2011, 24:259–282.
5. Falk AC, Weary DM, Wincklet C, von Keyserlingk MAG. Preference for pasture versus freestall housing by dairy cattle when stall availability indoors is reduced. *J. Dairy Sci.*, 2012, 95:6409–6415. doi:10.3168/jds.2011-5208
6. Van Lear E, Moons CPH, Ampe B, Sonck B, VAndaele L, Campeneere S, Tuytens FAM. Effect of summer conditions and shade on behavioural indicators of thermal discomfort in Holstein dairy and Belgian Blue beef cattle on pasture. *Animal*, 2015, 9(9):1536-1546. doi: 10.1017/S1751731115000804
7. Bailey BN, Stoll R, Pardyjak ER, Miller NE (2016). A new three-dimensional energy balance model for complex plant canopy geometries: Model development and improved validation strategies. *Agric For Meteorol* [Internet].218–219:146–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.0217>
8. Kim Y, Still CJ, Hanson CV, Kwon H, Greer BT, Law BE (2016). Canopy skin temperature variations in relation to climate, soil temperature, and carbon flux at a ponderosa pine forest in central Oregon. *Agric For Meteorol* [Internet].;226–227:161–73. doi:10.1016/j.agrformet.2016.06.001
9. Ngao J, Adam B, Saudreau M (2017). Intra-crown spatial variability of leaf temperature and stomatal conductance enhanced by drought in apple tree as assessed by the RATP model. *Agric For Meteorol* [Internet].;237–238:340–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.036>

10. Weng Q, Lu D, Schubring J (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens Environ*;89(4):467–83.
11. Hammerle A, Meier F, Heinl M, Egger A, Leitinger G (2017). Implications of atmospheric conditions for analysis of surface temperature variability derived from landscape-scale thermography. *Int J Biometeorol*.;61(4):575–88.
12. Leuzinger S, Vogt R, Körner C (2010). Tree surface temperature in na urban environment. *Agricult F Meteorol*, 150(1):56-62.
13. Navarini FC, Klosowski ES, Campos AT, Teixeira RA, Almeida CP (2009). Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Eng Agric*, 29:508–517.
14. Baliscai MA, Barbosa OR, Souza W, Costa MAT, Fkutzmann, Queiroz EO. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Acta Scient Anim Sci*. 2013. doi:10.4025/actascianimsci.v35i1.15155
15. Gurgel EM, Seraphim OJ, Silva IJO. Métodos de avaliação bioclimática da qualidade da sombra de árvores visando ao conforto térmico animal. *Rev Energ Agric*, 2012, 2:20–34
16. Karvatt Junior N, Klosowski ES, Almeida RG de, Mesquita EE, Oliveira CC de, Alves FV. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest *Int J Biometeorol*, 2016, 60:1-9 DOI 10.1007/s00484-016-1180-5
17. Lopes LB, Eckstein C, Pina DS, Carnevalli RA. The influence of tree on the thermal environment and behaviour pf grazing heifers in Brazilian Midwest. *Trop Anim Health Prod*, 2016, 48:755-761. doi: 10.1007/s11250-016-1021-x
18. Martello LS, Silva SL, Gomes RC, Corte RRPS, Leme PR. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int J Biometeorol*, 2016, 60:173–181. Doi: 10.1007/s00484-015-1015-9
19. de Oliveira CC, Alves FV, de Almeida RG, Gamarra ÉL, Villela SDJ, Martins PGMDA. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agrof Syst*, 2017; 1–14. doi: 10.1007/s10457-017-0114-5
20. Gersony JT, Prager CM, Boelman NT, Eitel JUH, Gough L, Greaves HE, et al. Scaling Thermal Properties from the Leaf to the Canopy in the Alaskan Arctic Tundra. *Arctic*,

- Antarct Alp Res [Internet]. 2016, 48(4):739–54. Available from: <http://www.bioone.org/doi/10.1657/AAAR0016-013>
21. Kotchi SO, Barrette N, Viau AA, Jang J, Gond V. Estimation and Uncertainty Assessment of Surface Microclimate Indicators at Local Scale Using Airborne Infrared Thermography and Multispectral Imagery. *Geosp. Tech.* 2016.
 22. Maes WH, Baert A, Huete AR, Minchin PEH, Snelgar WP, Steppe K. A new wet reference target method for continuous infrared thermography of vegetations. *Agric For Meteorol* [Internet]. 2016;226–227:119–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.021>
 23. McEwen BS. Physiology and neurobiology of stress and adaptation central role of the brain. *Physiol Rev*, 2007, 87:873-904. doi: 10.1152/physrev.00041.2006.
 24. Moberg, G.P. Biological response to stress: implication for animal welfare. In: G.P. Moberg and G.A. Mench (eds.) *The biology of animal stress*. CABI, Publishing, Wallingford, Oxon, UK, pp 123-146, 2000.
 25. Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 2010, 4:1167–1183.
 26. Russell E, Koren G, Rieder M, Van Uum S. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology* [Internet]; 2012, 37(5):589–601. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.09.009>
 27. McManus C, Bianchini E, Paim TP, de Lima FG, Braccini Neto J, Castanheira M, Esteves GIF, Cardoso CC, Dalcin VC. Infrared Thermography to Evaluate Heat Tolerance in Different Genetic Groups of Lambs. *Sensors*, 2015, 15:17258-17273. doi:10.3390/s150717258
 28. Paim TP et al. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *Int J Biometeorol*, 2013, 57:59–66
 29. Meyer JS, Novak MA. Minireview: hair cortisol: a novel biomarker of hypothalamic-pituitary-adrenocortical activity. *Endocrinology* 2012;153(9):4120–7.
 30. Davenport MD, Lutz CK, Tiefenbacher S, Novak AM, Meyer JS. A rhesus monkey model of self-injury: effects of relocation stress on behaviour and neuroendocrine function. *Biol. Psych.* 2008, 63:990–996.
 31. Comin A, Prandi A, Peric T, Corazzin M, Dovier S, Bovolenta S. Hair cortisol levels in dairy cows from winter housing to summer highland grazing. *Livest. Sci.* 2011,

- 138:69–73.
32. Moya D, Schwartzkopf-Genswein KS, Veira DM. Standardization of a non-invasive methodology to measure cortisol in hair of beef cattle. *Livest Sci [Internet].*;2013, 158(1–3):138–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.10.007>
 33. Bacci ML, Nannoni E, Govoni N, Scorrano F, Zannoni A, Forni M, Marelli G, Sardi L. Hair cortisol determination in sows in two consecutive reproductive cycles. *Reprod. Biol.* 2014, (14):218-223.
 34. Duran MC, Janz DM, Waldner CL, Campbell JR, Marques FJ. Hair cortisol concentration as a stress biomarker in horses: Associations with body location and surgical castration. *J. Equine Vet. Sci.*, 2017. doi: 10.1016/j.jevs.2017.03.220
 35. Bennett A, Hayssen V. Measuring cortisol in hair and saliva from dogs: coat color and pigment differences. *Domest. Anim. Endocrinol.* 2010, 39, 171—180.
 36. Peric T, Corazzin M, Romanzin A, Bovolenta S, Prandi A, Montillo M, Comin A. Cortisol and DHEA concentration in the hair of dairy cows managed indoor or on pasture. *Livestock Sci.*, 2017, (202):39-43.
 37. Baêta FC, Souza CF. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal.* 2010, 2nd edn, UFV, Viçosa
 38. Abreu-Harbach LV, Labaki LC, Matzarakis A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Lands Urb Plan*, 2015, 138:99-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008>
 39. Konarska J, Lindberg F, Larsson A, Thorsson S, Homer B. Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees-application for outdoor thermal comfort modelling. *Theor Appl Climatol*, 2014, 117:363-376. doi: 10.1007/s00704-013-1000-3.
 40. Brown RD, Gillespie TJ. *Microclimate landscape design: Creating thermal comfort and energy efficiency.* John Wiley & Sons, New York, 1995.
 41. Silva IM, Pandorfi H, Almeida GLP, Guiselini C, Caldas AM, Jacob AL. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. *Rev Bras Eng Agr Ambient*, 2012, 16(8):903-909.
 42. Silva RG. Predição da configuração de sombra de árvores em pastagens para bovinos. *Eng Agric*, 2006, 26:268–281.
 43. Mader TL, Johnson LJ, Gaughan JB. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J Anim Sci*, 2010, 88:2153– 2165. doi:10.2527/jas.2009-2586

44. George P, Chrousos MD, Gold MD. The concepts of stress and stress system disorders. In: Stress and Stress Disorders, JAMA, 1992, 267(9):1244-1252.
45. Dalcin VC, Fischer V, Dos D, Daltro S, Priscila E, Alfonzo M, et al. Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *www.sbz.org.br R Bras Zootec* [Internet]. 2016;45(8):458–65. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000800006>.
46. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Liv. Sci.* 2010, 130, 57-69.
47. Silva RG. Introdução à bioclimatologia animal. São Paulo: Nobel, 2000. 286p.
48. Van Lear E, Moons CPH, Ampe B, Sonck B, VAndaele L, Campeneere S, Tuytens FAM. Effect of summer conditions and shade on behavioural indicators of thermal discomfort in Holstein dairy and Belgian Blue beef cattle on pasture. *Animal*, 2015, 9(9):1536-1546. doi: 10.1017/S1751731115000804
49. Jara IE, Keim JP, Arias RA. Behaviour, tympanic temperature and performance of dairy cows during summer season in Southern Chile. *Arch Med Vet*, 2016, 48:113-118.
50. Schütz KE, Cox NR, Tucker CB. A field study of the behavioral and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture. *J Dairy Sc.* 2014; 97(6):3599-3605. doi: 10.3168/jds.2013-7649
51. Altoé L e Oliveira Filho D. Termografia de infravermelho aplicada à inspeção de edifícios. *Acta Technol*, 2012, 7(1):55-59.
52. West JW. Effect of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci*, 2003, 86:2131-2144.
53. Reece WO, Erickson HH, Goff JP, Uemura EE. *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. 2015, Wiley-Blackwell, Oxford.
54. Romero LM, Dickens MJ, Cyr NE. The reactive scope model – A new model integrating homeostasis, allostasis, and stress. *Horm. Behav.*, 2009, 55:375-389.
55. Hodder SG, Parsons K. The effects of solar radiation on thermal comfort. *Int J Biometeorol*, 2007, 51:233–250. doi: 10.1007/s00484-006-0050-y
56. Dangel S, Grace J, MacArthur A. Transmissivity of solar radiation within a *Picea sitchensis* stand under various sky conditions. *Biogeosc*, 2015, 12:4195-4207. doi: 10.5194/bg-12-4195-2015

57. Polsky L and von Keyserlingk MAG. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* (2017), 100:8645-8657. doi: 10.3168/jds.2017-12651
58. Pearlmutter D, Jiao D, Garb Y. The relationship between bioclimatic thermal stress and subjective thermal sensation in pedestrian spaces. *Int J Biometeorol*, 2014, 58:2111-2127. doi: 10.1007/s00484-014-0812-x
59. Geiger R, Aron RH, Todhunter P. *The climate near the ground*, 6th edn. Rowman and Littlefield, Lanham, 2003.
60. Zhang M, Chen L, Xin M, Xu Z, Li J. Studies of forecast model of photosynthetic active radiation in sunlight greenhouse in Winter in Panjin. *Agricultural Basic Science and Technology*, 2015, 16(2):214-218.
61. Promis A, Schindler D, Reif A, Cruz G. Solar radiation transmission in and a round canopy gaps in an uneven-aged *Nothofagus betuloides* forest. *Int. J. Biometeorol*, 2009, 53:355-367. doi: 10.1007/s00484-009-0222-7.
62. Wall AJ, Kemp PD, Mackay AD, Power IL. Evaluation of easily measured stand inventory parameters as predictor of PAR transmittance for use in poplar silvipastoral management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 139:665-674. doi: 10.1016/j.agee.2010.10.012
63. Gregory NG, Grandin T. *Animal welfare and meat science*. London, UK: Cabi, 1998.
64. McDowell RE. *Improvement of livestock production in warm climate*. San Francisco, CA: WH Freeman and Co, 1972.
65. Dikmen S, and Hansen PJ. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 2009, 92:109–116. [https:// doi.org/ 10 .3168/ jds .2008 -1370](https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370).
66. Bernabucci U and Mele M. Effect of heat stress on animal production and welfare: the case of daity cow. *Agroch.*, 2016 (LVIII):2-9.
67. Calefi AS, Quinteiro-Filho WM, Ferreira AJP, Palermo-Neto J. Neuroimmunomodulation and heat stress in poultry. *World's Poutry Sci. J.*, 2017, (73):493-504.
68. Sanin YL, Cabrera AMZ, Morales AMT. Adaptative responses to thermal stress in mammals. *Rev. Med. Vet.*, 2016, 31:121-135.
69. Moberg, G.P. Biological response to stress: implication for animal welfare. In: G.P. Moberg and G.A. Mench (eds.) *The biology of animal stress*. CABI, Publishing, Wallingford, Oxon, UK, pp 123-146, 2000.

70. Tsigos C and Chrousos GP. Hypothalamic-pituitary-adrenal axis, neuroendocrine factors and stress. *J. Psych. Res.*, 2002, 53:865-871.
71. Trevisi E & Berton G. Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows, *Italian J. Anim. Sci.*, 2009, 8:sup1, 265-286, doi: 10.4081/ijas.2009.s1.265
72. Smith SM and Vale WW. The role of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in neuroendocrine responses to stress. *Dialog. Clin. Neurosci.*, 2006, 8(4):383-395.
73. Belda X, Fuentes S, Daviu N, Nadal R, Armario A. Stress-induced sensitization: The hypothalamic-pituitary-adrenal axis and beyond. *Stress*, 2015, 1-11.
74. George P and Chrousos MD. The hypothalamic-pituitary-adrenal axis and immune-mediated inflammation. In.: *Seminars in medicine of the Beth Israel hospital*, Boston, 1995, 332(20):1351-1362.
75. von Keyserlingk MA, Martin NP, Kebreab E, Knowlton KF, Grant RJ, Stephenson M, Sniffen CJ, Harner JP, Wright AD, Smith IJ. Invited review: Sustainability of the US dairy industry. *J. Dairy Sci.* 2013, 96:5405–5425.
76. Trevisi E & Berton G. Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows, *Italian J. Anim. Sci.*, 2009, 8:sup1, 265-286, doi: 10.4081/ijas.2009.s1.265
77. Broom DM. Animal welfare: concepts and measurements. *Journal of Animal Science*, Savoy, 1991, 69:4167-4175.
78. Dawkins MS. Who needs consciousness? *Animal Welfare*, 2001, 10:S19-S29.
79. Alfonzo EPM, Barbosa da Silva MVG, dos Santos Daltro D, Stumpf MT, Dalcin VC, Kolling G, et al. Relationship between physical attributes and heat stress in dairy cattle from different genetic groups. *Int J Biometeorol*; 2016, 60(2):245–53.
80. AL-Haidary AA. Physiological responses of Naimey sheep to heat stress challenge under semi-arid environments. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2004, 6, 307-309
81. Broom DM e Molento CFM. Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas-revisão. *Archives of Veterinarian Science*, 2004, 9:1-11.
82. Jain NC. *Essentials of veterinary hematology*. Lea and Febiger, Philadelphia, 1993.
83. Silanikove N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci domestic ruminants. Livest Prod Sci.* 2000, 67(October):1–18.

84. Hahn GL, Mader TL, Eigenberg RA. Perspective on development of thermal indices for animal studies and management. *EAAP Technic Series*, 2003, 7:31–44.
85. Araújo JIM, Araújo AC, Rodrigues HTM, Oliveira LG, Barros Junior CP, Fonseca WJL, Luz CSM, Sousa Junior SC. Efeito de diferentes ambientes climáticos sobre características fisiológicas de bezerros mestiços (Holandês x Gir). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 2016, 15(3):259-265.
86. Vizzotto EF, Fischer V, Thaler Neto A, Abreu AS, Stumpf MT, Werncke D, Schmidt FA, McManus CM. Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal*, 2015, 9(9):1559–1566. doi:10.1017/S1751731115000877
87. Cardoso CC, Peripolli V, Amador SA, Brandão EG, Esteves GIF, Sousa CMZ. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest Sci [Internet]*. 2015, 182:83–92. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.022>
88. Detweiler DK. Regulação cardíaca. In: DUKES, H. H. *Fisiologia dos animais domésticos*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 856p.
89. Paes PRO, Veloso LPH, Santos EJ, Facury Filho AU, Carvalho RA, Leme FOP, Silva NAM. Citologia de medulla óssea das primeiras seis semanas de vida de bovinos da raça Holandesa. *Arq. Bras Med Vet Zootec*, 2011, 63(2):499-502.
90. Birgel Júnior EH, D'Angelino JL, Benesi FJ. Valores de referência do eritrograma de bovinos da raça Jersey criados no Estado de São Paulo. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 2011, 53(2):164-171.
91. Ferreira F, Campos WE, Carvalho AU, Pires MFA, Martinez ML, Silva MVGB, Verneque RS, Silva PF. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 2009, 61(4):769-776.
92. Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J, Imtiwati, Kumar R. Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review, *Veterinary World*, 2016, 9(3): 260-268. doi: 10.14202/vetworld.2016.260-268
93. McManus C, Prescott E, Paludo GR, Bianchini E, Louvandini H, Mariante AS Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. *Livest Sci [Internet]*. 2009, 120(3):256–64. Available from: doi.org/10.1016/j.livsci.2008.07.014
94. Ladewig J. Chronic intermittent stress: a model for the study of long-term stressors. In: G.P. Moberg and J.A. Mench (eds.) *The biology of animal stress. Basic principles*

- and implications for animal welfare. CABI Publishing, 2000, New York, NY, USA, pp 159-169.
95. Nejad JG, Son JK, Know EG, West JW, Sung KI. Wool cortisol is a better indicator of stress than blood cortisol in ewes exposed to heat stress and water restriction. *Animal*, 2014, 8(1)128-132.
 96. Staufenbiel SM, Penninx BWJH, Spijker AT, Elzinga BM, van Rossum EFC. Hair cortisol, stress exposure, and mental health in humans: A systematic review. *Psychoneuroendocr*, 2013, 38:1220-1235.
 97. D'Anna Hernandez K, Ross RG, Natvig CL, Laudenslager ML. Hair cortisol levels as a retrospective marker of hypothalamic–pituitary axis activity throughout pregnancy: comparison to salivary cortisol. *Phys. Behav.* 2011, 104, 348–353.
 98. Davenport MD, Lutz CK, Tiefenbacher S, Novak AM, Meyer JS. A rhesus monkey model of self-injury: effects of relocation stress on behaviour and neuroendocrine function. *Biol. Psych.* 2008, 63:990–996.
 99. Accorsi PA, Carloni E, Valsecchi P, Viggiani R, Gamberoni M, Tamanini C, Seren E. Cortisol determination in hair and faeces from domestic cats and dogs. *Gen. Comp. Endocrinol.* 2008, 155:398–402.
 100. Bennett A, Hayssen V. Measuring cortisol in hair and saliva from dogs: coat color and pigment differences. *Domest. Anim. Endocrinol.* 2010, 39, 171—180.
 101. Comin A, Prandi A, Peric T, Corazzin M, Dovier S, Bovolenta S. Hair cortisol levels in dairy cows from winter housing to summer highland grazing. *Livest. Sci.* 2011, 138:69–73.
 102. Bacci ML, Nannoni E, Govoni N, Scorrano F, Zannoni A, Forni M, Marelli G, Sardi L. Hair cortisol determination in sows in two consecutive reproductive cycles. *Reprod. Biol.* 2014, (14):218-223.
 103. Duran MC, Janz DM, Waldner CL, Campbell JR, Marques FJ. Hair cortisol concentration as a stress biomarker in horses: Associations with body location and surgical castration. *J. Equine Vet. Sci.*, 2017. doi: 10.1016/j.jevs.2017.03.220
 104. Bennett A, Hayssen V. Measuring cortisol in hair and saliva from dogs: coat color and pigment differences. *Domest. Anim. Endocrinol.* 2010, 39, 171—180.
 105. Uetake K, Morita S, Sakagami N, Yamamoto K, Hashimura S, Tanaka T. Hair cortisol levels of lactating dairy cows in cold and warm temperature regions in Japan. *Anim. Sci. J.* 2017, doi:10.1111/asj.12934
 106. González de la Vara MR, Valdez RA, Lemus Ramirez V, Vázquez Chagoyán JC, Villa

- Godoy A, Romano MC. Effects of adrenocorticotrophic hormone challenge and age on hair cortisol concentrations concentrations in dairy cattle. *Can. J. Vet. Res.*, 2011, 75:216–221.
107. Lu X, Zhang Y, Qin L, Ma W, Zhu L, Luo X. Association of ultimate pH and stress-related blood variables in cattle. *Meat Sci.* 2018, (17):31271-8.
 108. Burnett TA, Madureira AML, Silper BF, Nadalin A, Tahmasbi A, Veira DM, et al. (2014) Short communication: Factors affecting hair cortisol concentrations in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* [Internet]. 97(12):7685–90. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030214006729>
 109. Tallo-Para O, Lopez-Bejar M, Carbajal A, Monclús L, Manteca X, Devant M. Acute ACTH-induced elevations of circulating cortisol do not affect hair cortisol concentrations in calves. *Gener Comp Endocr*, 2017, 240:138-142.
 110. Duverger O and Morasso MI. To grow or not to grow: Hair morphogenesis and human genetic hair disorders. *Sem. Cell & Develop. Biol.* 2014, (25-26):22-33.
 111. Lee J, Tumbar T. Hairy tale of signaling in hair follicle development and cycling. *Semin Cell Dev Biol* 2012;23:906–16.
 112. Ladewig J. Chronic intermittent stress: a model for the study of long-term stressors. In: G.P. Moberg and J.A. Mench (eds.) *The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare*. CABI Publishing, 2000, New York, NY, USA, pp 159-169.
 113. Raul JS, Cirimele V, Ludes B, Kintz P. Detection of physiological concentrations of cortisol and cortisone in human hair. *Clin. Biochem.*, 2004, 37, 1105—1111.
 114. Alves FV. O componente animal em sistemas de produção em integração. In: Bungenstab DJ (ed) *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*, 2012, 2nd edn. Embrapa, Brasília
 115. Hahn GL, Gaughan JB, Mader TL, Eigenberg RA. Chapter 5: Thermal Indices and their applications for livestock environments. In J. A. DeShazar, ed. *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*, 113-130. St. Joseph, Mich.: ASABE.
 116. Silva RG, Maia ASC. The environment. In: Silva RG, Maia ASC (ed) *Principles of animal biometeorology*. Springer, London, 2013, 1–37p. doi:10.1007/978-94-007-5733-2.
 117. Thom EC. Cooling degrees: day air-conditioning, heating and ventilating. *Trans Am Soc Heat, Refrig Air Cond Eng*, 1958, 55:65–72.

118. Polsky L and von Keyserlingk MAG. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.* (2017), 100:8645-8657. doi: 10.3168/jds.2017-12651
119. Silva LC, Lucas FT, Borges BMMN, Silva WJ. Influência da radiação fotossinteticamente ativa no crescimento e desenvolvimento de forrageiras tropicais. *FAZU Rev* 2010, 7:63–67.
120. Conceição ZE, Lúcio MMJR. Evaluation of thermal comfort conditions in a classroom equipped with radiant cooling systems and subjected to uniform convective environment. *App Mathemat Model*, 2011, 35:1292-1305.
121. Silva MG, Martin S, Oliveira CEG, Moscon ES, Damasceno FA. Desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas. *Rev Energ Agric*, 2015, 30(3):269-275.
122. Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A. A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci*, 2008, 86:226-234. doi: 10.2527/jas.2007-0305.
123. Mader TL, Johnson LJ, Gaughan. A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J. Anim. Sci*, 2010, 88:2153-2165. doi: 10.2527/jas.2009-2586.
124. Avdelidis NP, Moropoulou A. Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, 2003,35:663-667.
125. Cerdeira F, Vázquez ME, Collazo J, Granada E. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. *Energy and Buildings*, 2011, 43:1845-1851.doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.029
126. Chacur MGM, Souza CD, Andrade IB, Bastos GP, Deak FLG, Souza MGR, Cornacini GF, Marques Junior A, De P. Aplicações da termografia por infravermelho na reprodução animal e bem-estar em animais domésticos e silvestres. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, 2016, 40(3):88-94.
127. Holst GC. Common Sense approach to thermal imaging. Winter Park (FL): JCD Publishing, 2000, 377p.
128. Roberto JVB, De Souza BB. Use of infrared thermography in veterinary medicine and animal production. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology-Online Submission System*, 2014, 2:73-84.
129. Kulesza O, Rzeczkowski M, Kaczorowski M. Thermography and its practical use in equine diagnostics and treatment. *Med. Wet.*, 2004,60:1143-1146.
130. Sales RBC, et al. Concrete study using infrared thermography and forced resonant frequency. *Adv Mat Res*, 2011, 168–170:778–786.

131. Fokaides PA, Kalogirou AS. Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. *Applied Energy*, 2011,88:4358-4365.
132. Stabentheiner A & Schmaranzer S. Thermographic determination of body temperatures in honeybees and hornets: Calibration and applications. *Thermology*, 1987, 2:563-572.
133. Roberto JVB, De Souza BB. Use of infrared thermography in veterinary medicine and animal production. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology-Online Submission System*, 2014, 2:73-84.
134. Watmough DJ, Oliver R. Emissivity of human skin in vivo between 2.0m and 5.4m measured at normal incidence. *Nature*, 1968, 218:885-886.
135. Costa JM, Grant OM, Chaves MM. Thermography to explore plant environment interactions. *Journal of experimental botany*, 2013,64:3937-3949.
136. Jones HG, Serraj R, Loveys BR, Xiong L, Wheaton A, Price AH. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biol.*, 2009, 36:978-989.
137. Zhang M, Chen L, Xin M, Xu Z, Li J. Studies of forecast model of photosynthetic active radiation in sunlight greenhouse in Winter in Panjin. *Agricultural Basic Science and Technology*, 2015, 16(2):214-218.
138. Monteith J, Unsworth M. *Principles of Environmental Physics*. Edward Arnold, 291 pp. 1990.
139. Cortizo EC, Barbosa MP, Souza LAC. Estudo da arte da termografia. *Fórum Patrimônio: Amb Constr Patr Sust*, 2008, 2(2):159-193.
140. Pacciulo DSC, Fernandes PB, Gomide CAM, Castro CRT, Sobrinho FS, Carvalho CAB. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. *R Bras Zootec*, 2011, 40(2):270-276.
141. Tonucci RG, Nair PKR, Nair VD, Garcia R, Bernardino FS. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *J Environ Qual*, 2011, 40:833-41.
142. Nahed-Toral J, Valdivieso-Pérez A, Aguilar-Jiménez R, câmara-Cordova J, Grande-Cano D. Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *J. Cleaner Product*. 2013, (57):266-279.
143. Kovács B, Tinya F, Ódor P. Stand structural drivers of microclimate in mature

- temperate mixed forests. *Agric For Meteorol* [Internet]; 2017, 234–235:11–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.268>
144. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Liv. Sci.* 2010, 130, 57-69.
145. Ferreira UM, Fortes MZ, Member IEEE, Dias BH, Member IEEE, Maciel RS. Thermography as a tool in electric panels maintenance. *IEEE Latin Am Trans*, 2015, 13(9):3005-3009.

CAPÍTULO 2

Termografia por infravermelho para avaliação do microclima e conforto térmico em sistemas silvipastoris*

Nivaldo Karvatte Junior¹, Fabiana Villa Alves², Roberto Giolo de Almeida², Eliane Sayuri Miyagi Okada³, Ariadne Pegoraro Mastelaro⁴, Camilla Diniz Barreto⁵, Caroline Carvalho de Oliveira⁶, Giuseppe Conte⁷

*Artigo elaborado de acordo com as normas de publicação da revista científica Agricultural and Forest Meteorology, qualis CAPES A1 (Zootecnia e Recursos Pesqueiros).

¹ Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, Goiás, Brasil. E-mail: nivaldok@gmail.com

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

³ Departamento de produção animal, Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, Goiás, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, Paraná, Brasil.

⁵ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

⁶ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

⁷ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali, Università di Pisa, Unipi, Pisa, Itália.

Resumo Objetivou-se utilizar a termografia por infravermelho como potencial ferramenta para a avaliação do microclima e conforto térmico em sistemas silvipastoris, durante as estações de verão e inverno. O experimento foi realizado em dois sistemas silvipastoris com diferentes espécies e densidades de árvores, localizados na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil, no período de junho de 2015 a fevereiro de 2016. Foram avaliadas as emissões de radiação térmica e de umidade por infravermelho da copa das árvores e da pastagem, parâmetros microclimáticos e índices de conforto térmico, na projeção da sombra e em pleno sol. Os resultados indicaram variações de temperatura e umidade da copa das árvores e da pastagem, acompanhadas de flutuações microclimáticas com efeitos diretos no conforto térmico e melhorias substanciais no ambiente sob a projeção da sombra. A Análise de Componentes Principais extraiu duas componentes na ordem de sua importância e explicou 70.6 % da variância total observada entre as variáveis. Correlações moderadas e fortes ($r \geq 0.63$; ou, $r \leq 0.80$) demonstraram efeitos lineares positivos ($R^2_{adj} \geq 0.40$ ou ≤ 0.63) entre termografia, microclima e índices de conforto térmico. A termografia por infravermelho é uma potencial ferramenta ($r \geq 0.53$; ou, $r \leq 0.78$) de utilização para a estimativa das variáveis Ta; Tg; UR; ITU e ITGU em sistemas silvipastoris.

Palavras-Chave Bem-estar animal, Imagens térmicas, Produção animal, Sombra, Sistemas sustentáveis, Variações climáticas

1. Introdução

As discussões sobre o bem-estar e conforto térmico animal aumentaram concomitante aos impactos causados pelas mudanças climáticas e aquecimento global. Especialmente no Brasil central, onde os sistemas de

*Autor correspondente

Endereço de e-mails: nivaldok@gmail.com (N. Karvatte Jr.), fabiana.alves@embrapa.br (F. V. Alves), roberto.giolo@embrapa.br (R. G. de Almeida), eliane.miyagi@gmail.com (E. S. Miyagi), aripmvvet@gmail.com (A. P. Mastelaro), camilladinizagro@gmail.com (C. D. Barreto), oliveirac.caroline@gmail.com (C. C. de Oliveira) giuseppe.conte@unipi.it (G. Conte).

produção são quase que exclusivamente a pasto (Alves, 2012), a elevada incidência de radiação solar direta provoca alterações microclimáticas que se traduzem no aquecimento do ambiente e consequente estresse térmico para os animais (Karvatte Junior et al., 2016; de Oliveira et al., 2017).

Nestas regiões, elevadas temperaturas acompanhadas de baixa umidade relativa do ar, vêm sendo associadas a disfunções fisiológicas, metabólicas e comportamentais (Schütz et al., 2014; Jara et al., 2016; Lopes et al., 2016), com impactos negativos na ingestão e consumo de matéria seca (Wheelock et al. 2010; Van Laer et al., 2015). Sob tais condições, as reservas dos tecidos adiposo e muscular, que seriam utilizadas para a produção de carne e/ou leite, são mobilizadas para a manutenção e equilíbrio térmico corporal (Bernabucci et al., 2010; Mader et al., 2010).

Uma das alternativas para minimizar as flutuações climáticas em sistemas de produção a pasto é o uso da sombra (Navarini et al., 2009; Baliscai et al., 2012; Karvatte Junior et al., 2016; de Oliveira et al., 2017). Neste sentido, os sistemas silvipastoris são particularmente indicados para a melhoria do bem-estar e conforto térmico animal a pasto (de Oliveira et al., 2017). A complexa combinação e interação, de culturas agrícolas com gramíneas, arbustos e/ou árvores de uso múltiplo, respondem ao ambiente térmico com uma variedade de processos e *feedbacks* (Gersony et al., 2016). Os ecossistemas florestais modificam os parâmetros climáticos dentro de uma determinada área e criam um microclima favorável através de uma complexa interação entre topografia, composição vegetal e estrutura organizacional das árvores (Kim et al., 2016; Kovács et al., 2017).

Ao interceptar a radiação solar direta, as árvores reduzem a carga de radiação térmica que penetra no solo e abaixo do dossel florestal, reduzindo a temperatura e promovendo o incremento de umidade relativa do ar sob a copa (Jones et al., 2009; Navarini et al., 2009; Renaud et al., 2011; Karvatte Junior et al., 2016). No entanto, com a fragmentação da floresta e a formação de bosques, partes do ambiente interno tornam-se expostos às condições climáticas externas tornando o microclima florestal instável e vulnerável (Ewers et al., 2013).

Em períodos de elevada incidência de radiação solar, o estresse hídrico foliar altera a condutância estomática e influencia no balanço térmico da superfície das copas, podendo mudar drasticamente em pequenas distâncias e superar a temperatura do ar quando esta se encontra acima de 35°C (Bailey et al., 2016; Kim et al., 2016; Ngao et al., 2017). Como consequência, a transpiração foliar é inibida e aumentos na temperatura do ar e da superfície do solo são observadas devido ao maior fluxo térmico irradiado pelo dossel e pastagem (Weng et al., 2004; Kim et al., 2016; Hammerle et al., 2017; Leuzinger et al., 2010).

Diversos estudos vêm sendo realizados para avaliar os efeitos da radiação solar na produção de animais a pasto (Navarini et al., 2009; Baliscai et al., 2012; Gurgel et al., 2012; Karvatte Junior et al., 2016; Lopes et al., 2016; Martello et al., 2016; de Oliveira et al., 2017). Tais experimentos utilizam equipamentos que, apesar de eficientes, excluem a identificação das variações de radiação por infravermelho emitidas pelas superfícies das vegetações e limitam a identificação das relações existentes com o microclima e conforto térmico animal. Assim, a termografia por infravermelho, que vem sendo amplamente utilizada para a mensuração da temperatura foliar e condutância estomática em formações florestais (Gersony et al., 2016; Ngao et al. 2017), tem evidenciado claras diferenças temporais e espaciais de temperatura foliar em florestas, capazes de influenciar no microclima interno (Kotchi et al., 2016; Maes et al., 2016).

Neste sentido, hipotetiza-se que (1) as variações horárias e locais de radiação térmica por infravermelho emitidas pelas superfícies da copa e da pastagem interferem no microclima e conforto térmico animal em sistemas silvipastoris; e, (2) existem correlações significativas entre temperatura e umidade das superfícies da copa e da

pastagem com as variáveis microclimáticas e índices de conforto térmico animal. O objetivo deste estudo foi utilizar a termografia por infravermelho como potencial ferramenta para a avaliação do microclima e conforto térmico animal em sistemas silvipastoris, durante as estações de verão e inverno.

2. Material e métodos

2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na fazenda experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Gado de Corte, localizada em Campo Grande, estado do Mato Grosso do Sul, Brasil (20°27'S, 54°37'W, elevação média: 530 m). O padrão climático da região encontra-se na faixa de transição entre temperado quente (Cfa) e tropical úmido (Aw), com precipitação anual de 1.560 mm e temperatura média de 23.0 °C (Köppen, 1948).

A área experimental utilizada, com 12 ha, é formada por dois sistemas silvipastoris estabelecidos em 2008 com capim-piatã (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã), ambos subdivididos em quatro piquetes (P01-04) de 1.5 ha (Fig. 1), sendo: (i) sistema silvipastoril com eucaliptos (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, clone H 13, a) adensados (SA); implantados em renques de linhas simples (-20°41'S e -54°71'W em relação ao eixo de coordenadas Leste-Oeste), com espaçamentos de 2 m entre árvores, 22 m entre fileiras de árvores e densidade de 227 árvores.ha⁻¹, com altura média das árvores de 26.0 m, e; (ii) sistema silvipastoril com espécies nativas do Cerrado brasileiro (SN), baru (*Dipteryx alata* (Vogel); b) e cambará (*Gochnatia polymorpha* (Less); c), com densidade aproximada de 3 árvores.ha⁻¹ com altura média de 12.0 m (Fig. 1).

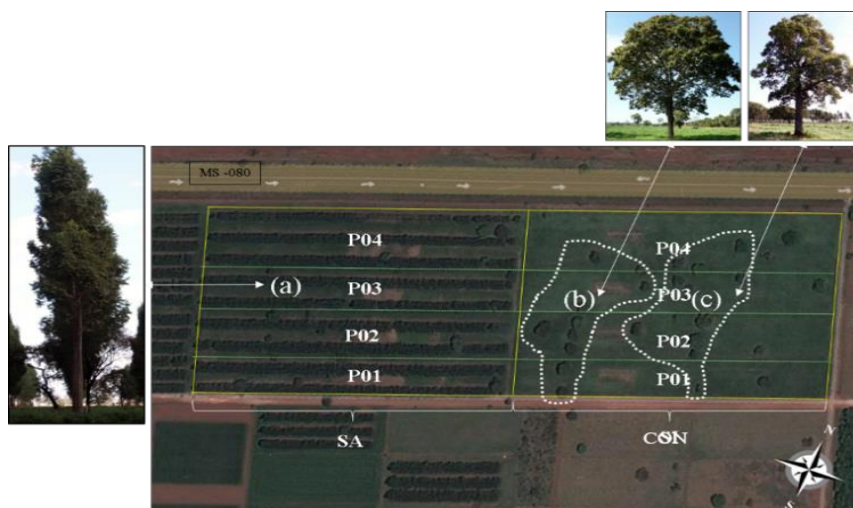


Figura 1. Imagem aérea da área experimental e representação esquemática da disposição das árvores em sistema silvipastoril com eucaliptos (SA) e sistema silvipastoril com espécies nativas (SN).

2.2. Período experimental e mensurações

O período experimental ocorreu durante os meses de junho, julho e agosto de 2015 (inverno), e durante os meses de dezembro de 2015, janeiro e fevereiro de 2016 (verão). Os registros foram realizados durante quatro dias

consecutivos em cada mês, avaliando, simultaneamente, um piquete de cada sistema por dia, das 08h00 às 16h00 (horário local, GMT -04h00). Posteriormente, os dados foram agrupados em três períodos diários: manhã (das 08h00 às 10h00), meio-dia (das 11h00 às 13h00) e tarde (das 14h00 às 16h00).

2.2.1. Registros termográficos e imagens térmicas

Foi utilizada uma câmera termográfica profissional (Testo®, modelo 875 2i) com resolução de 360×240 (número de pixels: 76.800). O equipamento foi configurado conforme sugerido por Stabentheiner e Schmaranzer (1987), para leitura de superfícies com emissividade de 0,97, paleta de registros de dados para quente e frio e lente com comprimento focal de 7.5 mm (campo de visão de $32^\circ \times 23^\circ$; $f/0.84$), posicionada na altura dos olhos do avaliador; localizada entre os renques de árvores no SA e em frente às árvores no SN (Fig. 2). A distância focal utilizada e o número de fotos por sistema foram definidos respeitando a disposição e densidade de árvores.

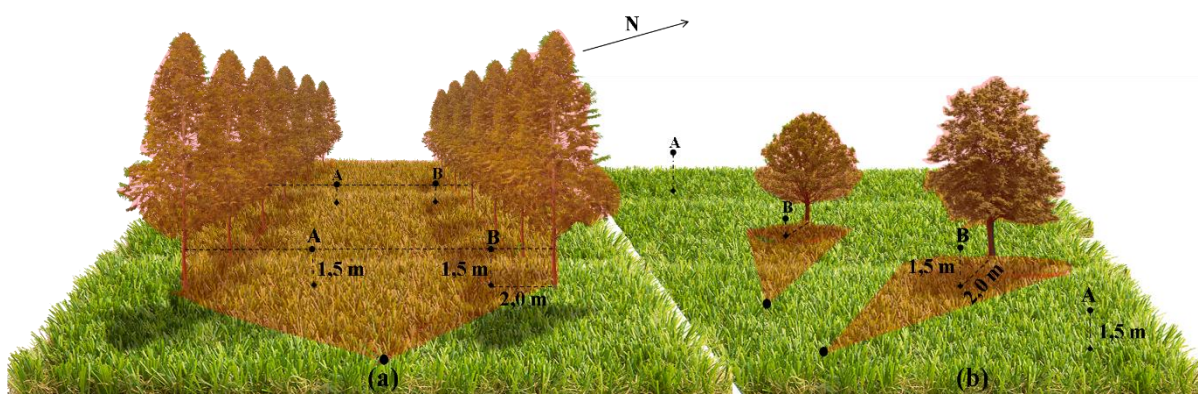


Figura 2. Representação esquemática da captura das imagens termográficas (coloração vermelha) e registros microclimáticos (linhas pontilhadas), no pleno sol (A) e na sombra (B), nos SA (a) e SN (b).

As imagens térmicas foram analisadas com o auxílio do programa IIRSoft® (software Testo), configurada na opção de registros de dados quente e frio. Foram registrados os valores máximos e mínimos de temperatura ($^\circ\text{C}$) e umidade (%) das superfícies das copas e da pastagem, na projeção da sombra e no pleno sol (Fig. 3), posteriormente calculadas as respectivas médias.

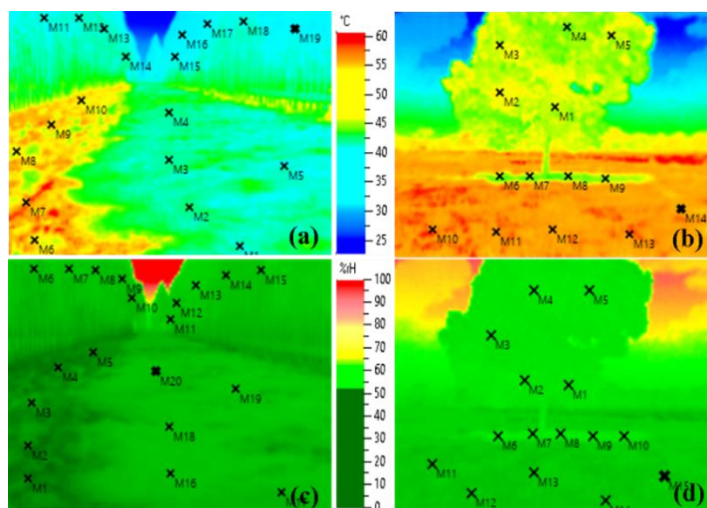


Figura 3. Termogramas de temperatura (a e b) e umidade (c e d), dos sistemas silvipastoris avaliados.

2.2.2. Registros microclimáticos

Os registros de temperatura do ar (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C) e umidade relativa do ar (%) foram avaliados utilizando termohigrômetros digitais com *datalogger* (marca Instrutherm, modelo HT-500), inseridos em abrigos micrometeorológicos de PVC, conforme metodologia de Trumbo *et al.* (2012). As temperaturas de globo negro (°C) foram avaliadas utilizando-se termohigrômetros digitais com *datalogger* (marca Instrutherm, modelo HT-500), inseridos em bóias plásticas (PVC) com 0.15 m de diâmetro e pintadas de preto fosco, segundo Souza *et al.* (2002). A velocidade do vento (m.s^{-1}) foi medida com auxílio de anemômetros digitais portáteis (marca Homis, modelo HMM 489), com os sensores voltados para a direção de maior ocorrência dos ventos, durante três minutos. A radiação solar foi avaliada por meio de espectroradiômetro LI-COR® (LI-1400), conectado aos sensores quantômetro (Licor, modelo LI-190, medição de 400 a 1.100 nm), para avaliação da radiação solar global (W.m^{-2}); e, piranômetro (Licor, modelo LI-200, medição de 400 a 700 nm), para avaliação da Radiação Fotossinteticamente Ativa ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Em cada piquete os equipamentos foram alocados em pleno sol (A) e na projeção da sombra (B), fixados em dois transectos perpendiculares aos renques de árvores (Fig. 2), a 2.0 m de distância do tronco das árvores e a 1.5 m acima do nível do solo, sendo deslocados no transecto de acordo com a movimentação horária da projeção da sombra.

2.2.3. Indicativos de conforto térmico animal

Com base nos dados microclimáticos coletados, foram calculados os índices de conforto térmico animal para cada sistema silvipastoril (SA e SN), estação (inverno e verão), local (sombra e pleno sol) e horário (manhã, meio-dia e tarde), incluindo o Índice de Temperatura e Umidade (ITU, adimensional), proposto por Thom (1958):

$$\text{ITU} = T_a + 0.36 T_{po} + 41,5. \quad (1)$$

O Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU, adimensional), conforme Buffington *et al.* (1981):

$$ITGU = Tg + 0.36 Tpo + 41.5. \quad (2)$$

A Carga Térmica Radiante (CTR, Wm^{-2}), considerando a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} K^{-4}$), e a temperatura radiante média; $TMR = 100 \sqrt[4]{(2.51 \sqrt{Vv}(Tg - Tpo) + \left(\frac{Tg}{100}\right)^4)}$; em °K, sugerida por Esmay (1978):

$$CTR = \sigma (TRM)^4. \quad (3)$$

O Índice de Carga Térmica (HLI, adimensional), conforme os valores da temperatura de globo negro (°C) obtidos, conforme Gaughan et al., (2008):

$$HLI \text{ Tg} > 25 = 8.62 + (0.38 \times UR) + (1.55 \times Tg) - (0.5 \times Vv) + [e^{2.4-Vv}]. \quad (4)$$

$$HLI \text{ Tg} < 25 = 10.66 + (0.28 \times UR) + (1.3 \times Tg) - Vv. \quad (5)$$

O Índice Climático Abrangente (CCI, adimensional), de Mader et al., (2010):

$$CCI = Ta + \text{Equação 6a} + \text{Equação 6b} + \text{Equação 6c}. \quad (6)$$

Onde, fator de correção UR.

$$= e^{(0.00182 \times UR + 1.8 \times 10^{-5} \times Ta \times UR)} \times (0.000054 \times Ta^2 + 0.00192 \times Ta - 0.0246) \times (UR - 30). \quad (6a)$$

Fator de correção Vv.

$$= \left(\frac{-6.56}{e^{\left\{ \frac{1}{(2.26 \times Vv + 0.23)^{0.45} \times (2.9 + 1.14 \times 10^{-6} \times Vv^{2.5} - \log_{0.3}(2.26 \times Vv + 0.33)^{-2}) \right\}}} \right) - 0.00566 \times Vv^2 + 3.33. \quad (6b)$$

E, fator de correção RAD.

$$= 0.0076 \times RAD - 0.00002 \times RG \times Ta + 0.00005 \times Ta^2 \times \sqrt{RG} + 0.1 \times Ta - 2. \quad (6c)$$

Considerando que: Ta - temperatura do ar (°C); e, Tpo - temperatura do ponto de orvalho (°C); Tg - temperatura de globo negro (°C); Vv - velocidade do vento ($m.s^{-1}$); UR - Umidade relativa (%); e - logaritmo natural, valor aproximado de 2.71828; RG - radiação solar ($W.m^{-2}$).

2.3. Design experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados (sistemas SA e SN), com quatro repetições (piquetes) em esquema de parcelas sub-sub-sub-divididas. Os tratamentos da sub-parcela corresponderam às estações (inverno e verão), a sub-sub-parcela aos locais (pleno sol e sombra) e a sub-sub-sub-parcela aos horários (manhã, meio dia e tarde), conforme o modelo matemático:

$$Y_{ijkzv} = \mu + \text{System}_i + \text{Season}_j + \text{Place}_k + \text{Period}_z + \text{Paddock}_v + (\text{System}_i * \text{Season}_j) + (\text{System}_i * \text{Place}_k) + (\text{System}_i * \text{Period}_z) + (\text{Season}_j * \text{Place}_k) + (\text{Season}_j * \text{Period}_z) + (\text{Place}_k * \text{Period}_z) + (\text{System}_i * \text{Paddock}_v) + (\text{Season}_j * \text{Paddock}_v) + (\text{Place}_k * \text{Paddock}_v) + (\text{Period}_z * \text{Paddock}_v) + \epsilon_{ijkzv}.$$

Onde, Y_{ijkzv} : variável resposta; μ : média geral; System_i : efeito aleatório de sistemas (SA e SN); Season_j : efeito aleatório de estações (inverno e verão); Place_k : efeito aleatório de locais (pleno sol e sombra); Period_z : efeito

aleatório de períodos diários (manhã, meio dia, tarde); Paddock_v: efeito fixo de repetição; System_i*Season_j: efeito de interação entre sistemas e estações; System_i*Place_k: efeito de interação entre sistemas e locais; System_i*Period_z: efeito de interação entre sistemas e períodos; Season_j*Place_k: efeito de interação entre estações e locais; Season_j*Period_z: efeito de interação entre estações e períodos; Place_k*Period_z: efeito de interação entre locais e períodos; System_i*Paddock_v: efeito fixo de interação entre sistemas; Season_j*Paddock_v: efeito fixo de interação entre estações; Place_k*Paddock_v: efeito fixo de interação entre locais; Period_z*Paddock_v: efeito fixo de interação entre períodos, e; ϵ_{ijkzv} : erro experimental.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias avaliadas pelo teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de significância. O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para testar as correlações existentes entre a termografia por infravermelho, os parâmetros microclimáticos e os índices de conforto térmico. A Análise de Componentes Principais foi utilizada para explicar a variância observada entre as variáveis originais e reduzir a dimensionalidade de dados, permitindo agrupar as variáveis mais correlacionadas em grupos específicos. A análise de regressão simples foi utilizada para elaborar as equações de predição do microclima e conforto térmico animal com base nos registros termográficos coletados nos piquetes 1 e 3, e, posteriormente, testadas pelo teste não-paramétrico Qui-Quadrado (χ^2) para avaliar a hipótese de distribuições semelhantes e verificar o nível de aderência entre a distribuição empírica dos registros coletados nos piquetes 2 e 4, e a distribuição teórica utilizando os dados calculados pelas equações de predição, ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas por meio do aplicativo estatístico R versão 3.4.3 (2017).

3. Resultados

3.1. Termografia por infravermelho, temperatura do ar e umidade relativa.

As médias de temperatura foram de 24.9±9.8°C (variação de 13.2-34.7°C) para termografia por infravermelho da copa (TIRc); 27.6±16.5°C (variação de 13.4-44,1°C) para termografia por infravermelho da pastagem (TIRp); e, 27.7±12.5°C (variação de 12.8-40.0°C) para temperatura do ar (Ta; Tabela 1). Em ambos os sistemas, as maiores médias de TIRc, TIRp e Ta foram registradas durante o verão (variação média 26.4-28.6°C; P<0.05); ao meio-dia (25,8°C TIRc; 29.3-29.8°C TIRp; e 29.2°C Ta), e no pleno sol (29.1-29.3°C TIRp e 28.4-28.9°C Ta (P<0.05)), sem variações significativas para TIRc (média de 24.9°C; P>0.05).

As médias de umidade foram de 59.8±40.2 % (variação de 21.4-100.0 %) para umidade por infravermelho da copa (HIRc); 52.2±47.8 % (variação de 16.1-100.0 %) para umidade por infravermelho da pastagem (HIRp); e, 64.4±32.7 % (variação de 21.9-97.1 %) para umidade relativa (UR; Tabela 1). Em ambos os sistemas, as maiores médias de umidade foram observadas durante o verão (P<0.05; com 68.1 % HIRc e 62.3 % HIRp no SA, e variação de UR de 74.9-75.1 % entre os sistemas); nos horários da manhã (P<0.05), seguido da tarde (médias de 65.5-65.9 % de HIRc; 57.1-58.7 de HIRp; e, 67.7-68.0 % de UR); e, na projeção da sombra (P<0.05; médias de 54.9-57.3 % para HIRp e 65.0-66.2 % para UR), porém, sem diferença significativa para HIRc.

Tabela 1. Médias de termografia por infravermelho, temperatura do ar e umidade relativa, em sistemas silvipastoris (SN e SA), para estações (inverno e verão), horário (manhã, meio-dia, tarde) e local (pleno sol e sombra)

Sistema	Estação	TIRc	TIRp	Ta	HIRc	HIRp	RH
SN	Inverno	23.0 b	26.9 b	26.9 b	54.6 c	43.5 c	53.7 b
	Verão	26.7 a	28.1 a	28.6 a	63.5 b	57.7 b	74.9 a
SA	Inverno	23.4 b	26.7 b	26.7 b	52.9 c	45.4 c	53.9 b
	Verão	26.4 a	28.5 a	28.6 a	68.1 a	62.3 a	75.1 a
Sistema	Horário	TIRc	TIRp	Ta	HIRc	HIRp	RH
SN	Manhã	22.4 c	24.9 b	26.7 b	65.5 a	57.1 a	67.7 a
	Meio-dia	25.8 ab	29.3 a	29.2 a	55.6 c	45.2 d	60.9 c
	Tarde	26.6 a	28.4 a	27.4 b	55.9 bc	49.5 c	64.3 b
SA	Manhã	22.9 c	25.5 b	26.6 b	65.9 a	58.7 a	68.0 a
	Meio-dia	25.8 ab	29.8 a	29.2 a	57.3 bc	48.8 cd	60.6 c
	Tarde	25.9 b	27.5 ab	27.1 b	58.3 b	54.0 b	64.8 b
Sistema	Local	TIRc	TIRp	Ta	HIRc	HIRp	RH
SN	Pleno sol	24.9 a	29.1 a	28.9 a	59.0 a	46.3 c	62.4 b
	Sombra	24.9 a	25.9 b	26.6 b	59.0 a	54.9 a	66.2 a
SA	Pleno sol	25.1 a	29.3 a	28.4 a	60.2 a	50.4 b	63.0 b
	Sombra	24.8 a	25.8 b	26.9 b	60.8 a	57.3 a	65.9 a

Sistema silvipastoril com espécies nativas – SN; Sistema silvipastoril com eucaliptos adensados – SA; Temperatura por infravermelho da copa - TIRc (°C); Termografia por infravermelho da pastagem – TIRp (°C); Umidade por infravermelho da copa – HIRc (%); Umidade por infravermelho da pastagem – HIRp (%); Temperatura do ar - Ta (°C); e Umidade relativa do ar - UR (%). Letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.2. Variações microclimáticas.

Flutuações microclimáticas foram encontradas durante o período experimental (Tabela 2). As maiores médias de radiação global (RG, $W.m^{-2}$), radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$) e temperatura de globo negro (Tg, °C) foram obtidas no SN durante o verão, ao meio-dia e no pleno sol ($P<0.05$). As variações médias observadas foram de 688.2-1088.8 $W.m^{-2}$ para RG; 347.6-419.0 $\mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ para RFA; e, de 31.0-32.7°C para Tg ($P<0.05$; Tabela 2). Em ambos os sistemas elevadas Tpo foram obtidas durante o verão (23.2°C), sem diferença significativa entre os períodos do dia (variação de 19.1-20.0°C; $P>0.05$); e maior intensidade no pleno sol (20.2°C no SN e 19.7°C no SA). As maiores médias de velocidade do vento (Vv; variação de 1.1-1.8 $m.s^{-1}$; $P<0.05$) foram obtidas no sistema SN, durante todo o período experimental (Tabela 2).

Tabela 2. Médias das variáveis microclimáticas em sistemas silvipastoris (SN e SA), para estações (inverno e verão), horário (manhã, meio-dia, tarde) e local (pleno sol e sombra)

Sistema	Estação	RG	RFA	Tpo	Tg	Vv
SN	Inverno	603.8 b	294.8 c	16.1 b	29.7 b	1.8 a
	Verão	688.2 a	347.6 a	23.2 a	31.0 a	1.1 ab
SA	Inverno	605.8 b	291.7 c	15.8 b	28.9 c	0.9 bc
	Verão	576.8 c	311.6 b	23.2 a	30.9 ab	0.8 c
Sistema	Horário	RG	RFA	Tpo	Tg	Vv
SN	Manhã	572.7 ab	281.4 b	19.6 a	29.3 b	1.7 a
	Meio-dia	840.8 a	419.0 a	20.0 a	32.3 a	1.6 a
	Tarde	524.6 ab	263.3 b	19.2 a	29.7 b	0.9 b
SA	Manhã	625.3 ab	257.3 b	19.6 a	28.9 b	1.1 b
	Meio-dia	713.1 ab	401.4 a	19.8 a	31.8 a	1.1 b
	Tarde	435.6 b	240.3 b	19.1 a	28.9 b	0.5 c
Sistema	Local	RG	RFA	Tpo	Tg	Vv
SN	Pleno sol	1088.8 a	540.2 a	20.2 a	32.7 a	1.4 a
	Sombra	203.3 c	102.2 c	19.2 b	28.1 c	1.5 a
SA	Pleno sol	996.0 b	478.0 b	19.7 a	31.5 b	0.9 b
	Sombra	186.6 c	125.3 c	19.3 b	28.3 c	0.8 b

Sistema silvipastoril com espécies nativas – SN; Sistema silvipastoril com eucaliptos adensados – SA; Radiação global - RAD (W.m^{-2}); Radiação fotossinteticamente ativa - RFA ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$); Temperatura do ponto de orvalho - Tpo ($^{\circ}\text{C}$); Temperatura de globo negro - Tg ($^{\circ}\text{C}$); e, velocidade do vento - Vv (m.s^{-1}). Letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3. Indicativos de conforto térmico animal.

As variações médias nos índices de conforto térmico animal foram de 76.3 ± 15.3 para Índice de Temperatura e Umidade (ITU); 78.7 ± 19.3 para Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU); 513.0 ± 298.0 Wm^{-2} para Carga Térmica Radiante (CTR); 74.3 ± 22.7 para Índice de Conforto Térmico (ICT); e, 35.2 ± 22.9 para Índice Climático Abrangente (ICA; $P < 0.05$; Tabela 3). Em ambos os sistemas, as maiores médias de ITU (≥ 77), ITGU (≥ 80), ICT (≥ 75) e ICA (≥ 37) foram obtidas durante o verão, no pleno sol e ao meio dia ($P < 0.05$). Valores elevados de CTR, em ambas as estações (verão, com 509 W.m^{-2} e inverno, com 515 W.m^{-2}), foram encontrados no SN.

Tabela 3. Medias dos índices de conforto térmico em sistemas silvipastoris (SN e SA), para estações (inverno e verão), horário (manhã, meio-dia, tarde) e local (pleno sol e sombra)

Sistema	Estação	ITU	ITGU	CTR	ICT	ICA
SN	Inverno	74 b	77 b	509 a	70 b	33 b
	Verão	78 a	80 a	515 b	78 a	37 a
SA	Inverno	74 b	76 c	501 c	69 b	33 b
	Verão	78 a	81 a	505 c	78 a	37 a
Sistema	Período	ITU	ITGU	CTR	ICT	ICA
SN	Manhã	75 b	77 b	518 b	73 b	34 b
	Meio-dia	77 a	80 a	544 a	76 a	38 a
	Tarde	75 b	78 b	504 c	73 b	34 b
SA	Manhã	75 b	77 b	497 c	73 b	34 b
	Meio-dia	77 a	80 a	524 a	75 a	37 a
	Tarde	75 b	77 b	488 c	73 b	33 b
Sistema	Local	ITU	ITGU	CTR	ICT	ICA
SN	Pleno sol	77 a	81 a	556 a	77 a	39 a
	Sombra	75 b	76 c	488 c	71 c	31 b
SA	Pleno sol	77 a	80 b	524 b	76 b	38 a
	Sombra	75 b	76 c	482 c	72 c	31 b

Sistema silvipastoril com espécies nativas – SN; Sistema silvipastoril com eucaliptos adensados – SA; Índice de Temperatura e Umidade – ITU; Índice de Temperatura de Globo e Umidade – ITGU; Carga Térmica Radiante – CTR (Wm^{-2}); Índice de Carga Térmica – ICT; e, Índice Climático Abrangente – ICA. Letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4. Análise de componentes principais.

A Análise de Componentes Principais (ACP) extraiu duas componentes na ordem de sua importância para explicar 70.6 % da variância total observada (Tabela 4). A primeira parcela representa a componente principal 1 (PC 1), com 49.9 % da variância total observada, composta pelas variáveis de Ta; Tg; RG; RFA; ITU; ITGU; CTR; ICA; TIRc e TIRp. A segunda parcela representa a componente principal 2 (PC 2), com 20.7 % da variância total observada e formada pelas variáveis de Vv; UR; Tpo; ICT; HIRc e HIRp (Tabela 4). Considerando as variáveis de maior importância dentro de cada componente principal, a Ta (0.329); Tg (0.339); ITU (0.320); ITGU (0.337) e TIRp (0.304) representam a PC 1, enquanto que as variáveis UR (0.427); Tpo (0.471); HIRc (0.436) e HIRp (0.446) representam a PC 2 (Tabela 4).

Com estes resultados foi possível gerar o gráfico bidirecional do plano fatorial, definido pelas coordenadas de duas componentes principais (Figura 4). Neste, as variáveis relacionadas a temperatura pela termografia por infravermelho (TIRc e TIRp), microclimáticas (Ta, Tg, RG e RFA) e índices conforto térmico (ITU, ITGU, CTR, ICA e ICT), encontram-se associados a direita do eixo horizontal (X) da PC 1, enquanto que as variáveis relacionadas à umidade pela termografia por infravermelho (HIRc e HIRp) e microclimáticas (UR, Tpo e Vv) estão associadas ao eixo vertical (Y) da PC 2 (Fig. 4).

Tabela 4. Contribuição das variáveis originais para a formação das Componentes Principais (PC 1 e PC 2)

Variáveis	PC 1	PC 2
Vv	0.043	-0.229
Ta	0.329	-0.007
UR	-0.168	0.427
Tpo	0.123	0.471
Tg	0.339	-0.020
RG	0.169	-0.007
RFA	0.238	-0.046
ITU	0.320	0.136
ITGU	0.337	0.100
CTR	0.283	-0.100
ICT	0.270	0.304
ICA	0.285	0.066
TIRc	0.254	0.105
TIRp	0.304	-0.041
HIRc	-0.121	0.436
HIRp	-0.148	0.446
Variância (%)	49.9	20.7

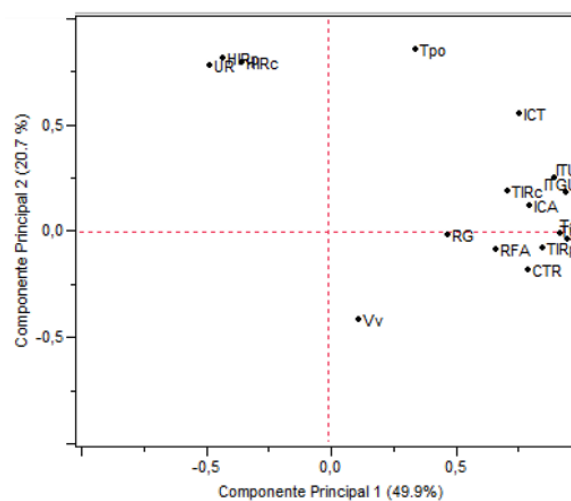


Figura 4. Contribuição bidirecional das variáveis originais para a formação das componentes principais 1 (49.9 %) e 2 (20.7 %) e interações ortogonais.

3.5. Coeficientes de correlação e regressões lineares.

Correlações moderadas e fortes ($r \geq 0.63$; ou, $r \leq -0.63$; $P < 0.001$) com efeitos lineares positivos ($R^2_{adj} \geq 0.40$, ou, $R^2_{adj} \leq 0.40$, respectivamente; $P < 0.001$) foram encontrados entre termografia por infravermelho (X), parâmetros microclimáticos e índices de conforto térmico (Y; Tabela 5). De acordo com os coeficientes de determinação (R^2_{adj}), as equações que melhor se ajustaram ao modelo proposto são as utilizadas para predição da

Ta ($P < 0.001$; $R^2_{adj} = 0.57$ e 0.63); Tg ($P < 0.001$; $R^2_{adj} = 0.44$ e 0.60); ITU ($P < 0.001$; $R^2_{adj} = 0.58$ e 0.62); ITGU ($P < 0.001$; $R^2_{adj} = 0.51$ e 0.60); CTR ($P < 0.001$; $R^2_{adj} = 0.43$); e UR ($P < 0.001$; $R^2_{adj} = 0.50$).

Tabela 5. Coeficientes de correlação (r variando de -1 a 1) e equações de regressões lineares (P-Value; R^2 e R^2_{adj}) para as interações entre termografia(X), microclima (Y) e conforto térmico animal (Y) e em sistemas silvipastoris

X	Y	r	Equação	P-Value	R^2	R^2_{adj}
TIRc	Ta	0.75	$Y = 0.917 \cdot TIRc + 4.175$	< 0.001	0.57	0.57
	Tg	0.66	$Y = 0.991 \cdot TIRc + 4.515$	< 0.001	0.44	0.44
	RG	0.20	$Y = 206.958 \cdot TIRc - 125.932$	< 0.001	0.04	0.04
	RFA	0.20	$Y = 14.694 \cdot TIRc - 82.571$	< 0.001	0.05	0.04
	ITU	0.78	$Y = 1.086 \cdot TIRc + 48.318$	< 0.001	0.62	0.62
	ITGU	0.71	$Y = 1.160 \cdot TIRc + 48.658$	< 0.001	0.51	0.51
	CTR	0.44	$Y = 7.384 \cdot TIRc + 320.305$	< 0.001	0.20	0.20
	ICA	0.63	$Y = 1.158 \cdot TIRc + 5.070$	< 0.001	0.40	0.40
TIRp	Ta	0.80	$Y = 0.824 \cdot TIRp + 4.548$	< 0.001	0.63	0.63
	Tg	0.77	$Y = 0.987 \cdot TIRp + 2.207$	< 0.001	0.60	0.60
	RG	0.52	$Y = 60.537 \cdot TIRp - 1130.038$	< 0.001	0.27	0.27
	RFA	0.54	$Y = 31.629 \cdot TIRp - 591.641$	< 0.001	0.29	0.29
	ITU	0.76	$Y = 0.900 \cdot TIRp + 50.876$	< 0.001	0.58	0.58
	ITGU	0.77	$Y = 1.063 \cdot TIRp + 48.536$	< 0.001	0.60	0.60
	CTR	0.65	$Y = 9.252 \cdot TIRp + 250.089$	< 0.001	0.43	0.43
	ICA	0.79	$Y = 1.227 \cdot TIRp + 0.299$	< 0.001	0.62	0.62
HIRc	Vv	-0.24	-	N/S	-	-
	UR	0.67	$Y = 0.714 \cdot HIRc + 22.491$	< 0.001	0.44	0.44
	Tpo	0.42	$Y = -0.103 \cdot HIRc - 40.660$	< 0.001	0.06	0.06
	ICT	0.05	-	N/S	-	-
HIRp	Vv	-0.25	-	N/S	-	-
	UR	0.70	$Y = 0.716 \cdot HIRp + 27.271$	< 0.001	0.50	0.50
	Tpo	0.44	$Y = -0.103 \cdot HIRp - 40.660$	< 0.001	0.06	0.06
	ICT	0.01	-	N/S	-	-

Temperatura por infravermelho da copa – TIRc; Umidade por infravermelho da copa – HIRc; Temperatura por infravermelho da pastagem – TIRp; Umidade por infravermelho da pastagem – HIRp; Temperatura do ar – Ta; Temperatura de globo negro – Tg; Radiação global – RG; Radiação fotossinteticamente ativa – RFA; Índice de Temperatura e Umidade (ITU); Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU); Carga Térmica Radiante – CTR e Índice Climático Abrangente (ICA); Velocidade do vento – Vv; Umidade relativa – UR; Temperatura do ponto de orvalho – Tpo; Índice de Conforto Térmico – ICT.

3.6. Teste Qui-Quadrado (χ^2).

Correlações moderadas e fortes ($r \geq 0.53$; ou, $r \leq 0.78$; $P < 0.001$) foram encontradas ao comparar os dados de Ta, Tg, ITU, ITGU e UR coletados com os resultados obtidos pelas equações de predição. Estas equações foram consideradas válidas ($\chi^2 = 1.00$) de acordo com o teste de aderência de Qui-Quadrado (Tabela 6). Assim, a termografia por infravermelho (TIRc, TIRp, HIRc e HIRp) pode ser utilizada para a predição da Ta ($r \geq 0.70$; $\chi^2 = 1.00$); Tg ($r = 0.78$; $\chi^2 = 1.00$); ITU ($r \geq 0.71$; $\chi^2 = 1.00$); ITGU ($r = 0.75$; $\chi^2 = 1.00$); e, UR ($r \geq 0.73$; $\chi^2 = 1.00$).

Tabela 6. Coeficientes de correlação (r variando de -1 a 1) e teste de Qui-quadrado (χ^2 variando de 0 a 1) para a validação das equações de interações entre termografia, microclima e conforto térmico, em sistemas silvipastoris

Variável	TIRc		TIRp		HIRc		HIRp	
	r	χ^2	r	χ^2	r	χ^2	r	χ^2
Ta	0.70	1.00	0.78	1.00	-	-	-	-
Tg	0.58	1.00	0.78	1.00	-	-	-	-
ITU	0.76	1.00	0.71	1.00	-	-	-	-
ITGU	0.67	1.00	0.75	1.00	-	-	-	-
CTR	0.28	0.00	0.59	0.00	-	-	-	-
ICA	0.39	0.00	0.53	0.00	-	-	-	-
UR	-	-	-	-	0.73	1.00	0.76	1.00

Temperatura por infravermelho da copa – TIRc; Umidade por infravermelho da copa – HIRc; Termografia por infravermelho da pastagem – TIRp; Umidade por infravermelho da pastagem – HIRp; Índice de Temperatura e Umidade – ITU; Índice de Temperatura de Globo e Umidade – ITGU; Carga Térmica Radiante – CTR; e Índice Climático Abrangente – ICA.

4. Discussão

Os resultados mostram que as temperaturas e umidades das superfícies das copas das árvores e da pastagem em sistemas silvipastoris podem ser avaliadas com o uso de câmeras termográficas, e representam contínuas variações horárias e locais durante o verão e o inverno, em resposta a primeira hipótese do estudo (Tabela 1). As análises revelam diferença termográfica de 1.0 a 4.2°C de temperatura e de 3.5 a 12.7 pontos percentuais de umidade entre as superfícies das copas das árvores e da pastagem durante o período experimental.

As maiores temperaturas e umidades da superfície da pastagem (TIRp e HIRp), em comparação a superfície das copas (TIRc e HIRc), representam a menor condução estomática e atividade de evapotranspiração da forrageira devido ao maior estresse hídrico ao nível do solo (Costa et al., 2007; Li et al., 2013), sendo que, de acordo com Silva (2006), as maiores flutuações observadas durante o verão representam a maior incidência de radiação solar (valores superiores a 1.000 Wm⁻²) em relação a inverno (800 Wm⁻² ou menos).

Em condições de elevadas temperaturas (>35°C) o acúmulo de energia térmica absorvida pelo dossel florestal provoca a diminuição da transpiração foliar e aumento da sua temperatura. Ao atingir 40°C, a fotossíntese é inibida e o excedente térmico é irradiado para o ambiente com consequente aumento da temperatura do ar e da superfície do solo (Panigada et al., 2014; DeJorge et al., 2015). Neste sentido, as diferenças térmicas entre o dossel e a Ta podem variar em resposta às condições meteorológicas e ambientais das florestas, como resultado das respostas fisiológicas nas árvores (Hammerle et al., 2017). De fato, as flutuações microclimáticas observadas neste estudo indicam diferenças de 1.8 a 3.9°C de Ta (variação média de 24.9 a 29.8°C) e incremento de 0.9 a 17.2 pontos percentuais na umidade relativa (UR; variação média de 53.7 a 75.1 %) em relação às temperaturas e umidades das superfícies da copa e da pastagem (Tabela 1).

Estudos anteriores comprovam as relações existentes entre condições climáticas e o status térmico das superfícies das copas das árvores e das pastagens, indicando menores temperaturas foliares em função do estresse hídrico foliar (Baluja et al. 2012; Meier et al. 2012) e sugerem que os primeiros fatores que controlam a dinâmica da temperatura de superfícies vegetais é a Ta, o vapor d'água e a radiação por ondas longas (Leuzinger et al. 2010; Kim et al. 2016; Hammerle et al. 2017). Neste sentido, a maior incidência de radiação global (RG) observada durante o verão (Tabela 2), refletiu em aumentos significativos das TIRc e TIRp, com efeitos pronunciados ao meio dia e no pleno sol (Tabelas 1 e 2). Entretanto, os resultados evidenciam os benefícios do componente arbóreo ao reduzir a Ta (-2.3°C no SN vs. -1.5°C no SA) e promover o incremento de UR (5.7 % de UR no SN vs. 4.4 %

no SA) na sombra (Tabela 1), e reportam menores TIRp (-3.2°C no SN vs. -3.5°C no SA) e maiores HIRp ($+18.6\%$ no SN vs. $+13.7\%$ no SA, Tabela 1) na sombra, devido à maior interceptação da RG pelas copas das árvores e aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA; Tabela 2).

Ao atingir o dossel florestal, a energia solar direta é transformada em energia química latente, reduzindo a emissão de radiação térmica e promovendo o arrefecimento do ambiente na superfície sombreada (Konarska et al., 2014; Abreu-Harbich et al., 2015; Takács et al., 2016). Apesar da elevada variação diária observada nos valores de RG (688.2 a 1088.8 W.m^{-2}) e RFA (347.6 - $419.0\text{ }\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), a presença do componente arbóreo colaborou para a redução de 81.1% da RFA do SN e 73.8% no SA na sombra com substancial efeito nos demais parâmetros microclimáticos, favorecendo, dessa forma, a redução da carga térmica do ambiente e diminuição da Tg (-4.6°C no SN e -3.2°C no SA) e Tpo (-1.0°C no SN vs. -0.4°C no SA) (Tabela 2). Estes resultados corroboram com Karvatt Junior et al. (2016) e de Oliveira et al. (2017) que também identificaram menores Tg (-5.8 a -7.8°C) e Tpo (-1.9°C a -7.5°C) na projeção da sombra de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Em sistemas de produção a pasto, os índices de conforto representam a condição térmica estabelecida após as diferentes interações existentes entre os parâmetros microclimáticos. Neste estudo, diferenças foram observadas entre as estações com aumentos de aproximadamente 4 unidades nos valores médios de ITU, 5 unidades para o ITGU, 9 unidades para ICT e 4 unidades para o ICA no verão em relação ao inverno. Na avaliação horária, o maior incremento térmico ocorreu ao meio dia, resultando no aumento de 2 unidades para o ITU, 3 para o ITGU e ICT e 4 unidades para o ICA. De modo geral, os valores encontrados caracterizaram os sistemas silvipastoris como situação alerta a crítica de estresse térmico (Baêta e Souza, 2010). Entretanto, melhores condições de conforto térmico foram observadas na projeção da sombra por meio da redução de 3% nos valores de ITU, 6% para ITGU, 8% para ICT e 20% para o ICA em comparação ao pleno sol (Tabela 3).

No que se refere à CTR, esta variável representa a troca de calor por radiação entre os animais e o ambiente de produção. Assim, quanto menores os valores obtidos por este indicativo, melhores serão as condições térmicas obtidas (Silva, 2000). Nesse estudo, a CTR foi consistentemente alta durante todo o período experimental (variação de 501 a 515 W.m^{-2} entre as estações). Na avaliação horária, em ambos os sistemas foram obtidos aumentos de até 40 W.m^{-2} ao meio dia, sendo que o componente arbóreo colaborou para a redução de 8.0% (sistema SA) a 12.2% (sistema SN) da carga térmica do ambiente na projeção da sombra.

As variações, horária e local, nos efeitos e na importância dos elementos climáticos são comuns e foram relatadas em outros estudos (Navarini et al., 2009; Baliscai et al., 2012; Karvatt Junior et al., 2016; de Oliveira et al., 2017) que também indicaram a importância do componente arbóreo em sistemas de produção a pasto em regiões tropicais. De acordo com Porfírio-da-Silva (2003) e de Oliveira et al. (2017), a intensa radiação solar altera os efeitos combinados dos elementos climáticos e determina condições medianas a severas de estresse térmico para os animais produzidos em pastagens no estado do Mato Grosso do Sul (local experimental).

O procedimento de PCA e o gráfico bidirecional estão focados nas curvas diárias de avaliação (Tabela 4; Fig. 4). Desse modo, a PC 1 está associada às variáveis relacionadas a radiação (RG e RFA), temperaturas (TIRc, TIRp, Ta e Tg) e índices de conforto térmico (ITU, ITGU, CTR, ICA e ICT), dispostas sob o eixo horizontal do plano fatorial. O agrupamento dessas variáveis sugere a existência de uma relação de semelhança, podendo refletir os efeitos consideráveis na condição térmica de ambos os sistemas silvipastoris. Para melhor entendimento, quanto maior for a RG que atinge o dossel e o sub-bosque florestal, maiores serão os valores de temperatura (termográficas e microclimáticas), com efeitos diretos e em mesma proporção nos indicativos de conforto térmico. A PC 2, por

sua vez, está associada as variáveis de umidade relativa (HIRc, HIRp e UR), dispostas no eixo vertical do plano fatorial, tendo a variável Vv disposta em quadrante oposto. O agrupamento destas variáveis e a disposição no plano fatorial sugerem a existência de forças contrárias entre estas variáveis. De fato, o vento é uma variável microclimática que, apesar de colaborar para a melhor sensação térmica nos horários de elevadas temperaturas, provoca a redução de umidade relativa dependendo da sua intensidade (Karvatt Junior et al., 2016; Gaudio et al., 2017).

A Tpo representa a temperatura na qual o vapor d'água no ar se condensa em água líquida, se elevando ou diminuindo de acordo com as condições de temperatura e umidade do ar local. Neste estudo a Tpo, localizada no ponto mais alto da PC 2, não apresentou associação significativa com as demais variáveis, corroborando os resultados obtidos por Paim et al. (2014) ao utilizar a termografia por infravermelho para avaliar o conforto térmico de cordeiros. Estes resultados ressaltam a importância da gestão ambiental nos sistemas de produção para que as flutuações microclimáticas não comprometam o ambiente térmico, o bem-estar e o conforto dos animais a pasto.

Como as variáveis TIRc; TIRp; HIRc e HIRp foram responsáveis por moderadas a fortes correlações com a Ta; Tg; ITU; ITGU; CTR; ICA e UR (Tabela 5), este estudo suporta a segunda hipótese de que o microclima apresenta substancial efeito nas emissões de radiação térmica por infravermelho das superfícies das copas das árvores e da pastagem com efeito no conforto térmico no interior de sistemas silvipastoris, corroborando os resultados obtidos por Scherrer et al. 2011; Kim et al. 2016; Hammerle et al. 2017. Os efeitos lineares positivos entre a termografia por infravermelho, microclima e conforto térmico indicam que maiores temperaturas e umidades das superfícies das copas e da pastagem são acompanhadas de maiores Ta; Tg; ITU; ITGU; CTR; ICA e UR. As fortes correlações obtidas e a semelhança ($\chi^2 = 1.00$) encontrada entre as variáveis testadas pelo teste Qui-Quadrado indicam que a termografia por infravermelho (TIRc; TIRp; HIRc; HIRp) é uma potencial ferramenta para a predição das variáveis Ta; Tg; ITU; ITGU e UR (Tabela 6).

5. Conclusão

As variações locais e horárias de temperatura e umidade das superfícies das copas das árvores e da pastagem colaboram para as flutuações nos parâmetros microclimáticos, com efeitos substanciais no conforto térmico animal em sistemas silvipastoris.

Maiores temperaturas e umidades das superfícies das copas e da pastagem são acompanhadas de maiores Ta; Tg; ITU; ITGU; CTR; ICA e UR, sugerindo que a termografia por infravermelho é útil para investigar as características térmicas e de umidade das superfícies das copas das árvores e da pastagem e suas relações com o ambiente térmico, podendo ser utilizada como uma potencial ferramenta para a estimativa das variáveis Ta; Tg; UR; ITU e ITGU em sistemas silvipastoris.

Trabalhos futuros, com base em imagens térmicas, poderão indicar o melhor dimensionamento e gestão de sistemas silvipastoris, favorecendo o desenvolvimento da pastagem e proporcionando melhores condições de conforto térmico aos animais, reforçando estes resultados.

6. Agradecimentos

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg) e Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect) pelos recursos financeiros concedidos. À Embrapa Gado de Corte e a Universidade Federal de Goiás, pela área experimental e apoio técnico-científico.

7. Referências Bibliográficas

- Abreu LV, Labaki LC. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto (2010). *A Nac Tecnol Amb Constr*, 10(4):103-117.
- Abreu-Harbach LV, Labaki LC, Matzarakis A (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 138:99-109. doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.008
- Alves FV (2012). O componente animal em sistemas de produção em integração. In: Bungenstab DJ (ed) *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*, 2nd edn. Embrapa, Brasília.
- Baêta FC, Souza CF (2010). *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2nd edn, UFV, Viçosa.
- Bailey BN, Stoll R, Pardyjak ER, Miller NE (2016). A new three-dimensional energy balance model for complex plant canopy geometries: Model development and improved validation strategies. *Agric For Meteorol* [Internet].218–219:146–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.0217>
- Baliscei MA, Barbosa OR, Souza W, Costa MAT, Fkutzmann, Queiroz EO (2013). Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Acta Scient Anim Sci*. doi:10.4025/actascianimsci.v35i1.15155
- Baluja J, Diago MP, Balda P, Zorer R, Meggio F, Morales F, et al (2012). Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrig Sci.*;30(6):511–22.
- Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4:1167–1183.
- Buffington DE, Collazo Arocho A, Canton GH, Pitt D (1981). Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Trans ASAE*, 24:711–714. doi:10.13031/2013.34325
- Costa GF Da, Marenco RA (2007). Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amaz.*;37(2):229–34.
- DeJorge KC, Taghvaeian S, Trout TJ, Comas LH (2015). Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agricult W Manegm*, 156:51-62. doi: 10.1016/j.agwat.2015.03.023
- de Oliveira CC, Alves FV, de Almeida RG, Gamarra ÉL, Villela SDJ, Martins PGMDA (2017). Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agrof Syst*, 1–14. doi: 10.1007/s10457-017-0114-5
- Esmay ML (1979). *Principles of animal environment*. AviPublishing, Porto Oeste.

- Ewers RM, Banks-Leite C (2013). Fragmentation impairs the microclimate buffering effect of tropical forests. *PLoS One* 8. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0058093>.
- Gaudio N, Gendre X, Saudreau M, Seigner V, Balandier P (2017). Impact of tree canopy on thermal and radiative microclimates in a mixed temperate forest: A new statistical method to analyse hourly temporal dynamics. *Agric For Meteorol* [Internet]. 237–238:71–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.010>
- Gaughan JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A (2008). A new heat load index for feedlot cattle. *J. Anim. Sci*, 86:226–234. doi: 10.2527/jas.2007-0305.
- Gersony JT, Prager CM, Boelman NT, Eitel JUH, Gough L, Greaves HE, et al (2016). Scaling Thermal Properties from the Leaf to the Canopy in the Alaskan Arctic Tundra. *Arctic, Antarct Alp Res* [Internet]. 48(4):739–54. Available from: <http://www.bioone.org/doi/10.1657/AAAR0016-013>
- Greiser C, Meineri E, Luoto M, Ehrlén J, Hylander K (2018). Monthly microclimate models in a managed boreal forest landscape. *Agric For Meteorol*;250–251(December 2017):147–58.
- Gurgel EM, Seraphim OJ, Silva IJO (2012). Métodos de avaliação bioclimática da qualidade da sombra de árvores visando ao conforto térmico animal. *Rev Energ Agric*, 2:20–34
- Hammerle A, Meier F, Heintl M, Egger A, Leitinger G (2017). Implications of atmospheric conditions for analysis of surface temperature variability derived from landscape-scale thermography. *Int J Biometeorol.*;61(4):575–88.
- Jara IE, Keim JP, Arias RA (2016). Behaviour, tympanic temperature and performance of dairy cows during summer season in Southern Chile. *Arch Med Vet*, 48:113–118.
- Jones HG, Serraj R, Loveys BR, Xiong L, Wheaton A, Price AH (2009). Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Funct Plant Biol.*;36(11):978–89.
- Karvatt Junior N, Klosowski ES, Almeida RG de, Mesquita EE, Oliveira CC de, Alves FV (2016). Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *Int J Biometeorol*, 60:1-9. doi 10.1007/s00484-016-1180-5
- Kim Y, Still CJ, Hanson CV, Kwon H, Greer BT, Law BE (2016). Canopy skin temperature variations in relation to climate, soil temperature, and carbon flux at a ponderosa pine forest in central Oregon. *Agric For Meteorol* [Internet].;226–227:161–73. doi:10.1016/j.agrformet.2016.06.001
- Konarska J, Lindberg F, Larsson A, Thorsson S, Homer B (2014). Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees-application for outdoor thermal comfort modelling. *Theor Appl Climatol*. 117:363–376. doi: 10.1007/s00704-013-1000-3.
- Köppen W (1948). *Climatologia: con um estudo de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica. México, p. p 479.
- Kotchi SO, Barrette N, Viau AA, Jang J, Gond V. Estimation and Uncertainty Assessment of Surface Microclimate Indicators at Local Scale Using Airborne Infrared Thermography and Multispectral Imagery. doi: 10.5772/64527
- Kovács B, Tinya F, Ódor P (2017). Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. *Agric For Meteorol* [Internet].;234–235:11–21. doi:10.1016/j.agrformet.2016.11.268

- Leuzinger S, Vogt R, Körner C (2010). Tree surface temperature in an urban environment. *Agricult F Meteorol*, 150(1):56-62.
- Li Y, Zhou J, Kinzelbach W, Cheng GD, Li X, Zhao WZ (2013). Coupling a SVAT heat and water flow model, a stomatal-photosynthesis model and a crop growth model to simulate energy, water and carbon fluxes in an irrigated maize ecosystem. *Agricult Forest Meteorol*, 176:10–24. doi: 10.1016/j.agrformet.2013.03.004
- Lopes LB, Eckstein C, Pina DS, Carnevali RA (2016). The influence of tree on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. *Trop Anim Health Prod*, 48:755-761. doi: 10.1007/s11250-016-1021-x
- Maes WH, Baert A, Huete AR, Minchin PEH, Snelgar WP, Steppe K (2016). A new wet reference target method for continuous infrared thermography of vegetations. *Agric For Meteorol* [Internet]. 226–227:119–31. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.021>
- Mader TL, Johnson LJ, Gaughan (2010). A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J. Anim. Sci*, 88:2153-2165. doi: 10.2527/jas.2009-2586.
- Martello LS, Silva SL, Gomes RC, Corte RRPS, Leme PR (2016). Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int J Biometeorol*, 60:173–181. Doi: 10.1007/s00484-015-1015-9
- Meier F, Scherer D (2012). Spatial and temporal variability of urban tree canopy temperature during summer 2010 in Berlin, Germany. *Theor Appl Climatol*.;110(3):373–84.
- Navarini FC, Klosowski ES, Campos AT, Teixeira RA, Almeida CP (2009). Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Eng Agric*, 29:508–517.
- Ngao J, Adam B, Saudreau M (2017). Intra-crown spatial variability of leaf temperature and stomatal conductance enhanced by drought in apple tree as assessed by the RATP model. *Agric For Meteorol* [Internet].;237–238:340–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.036>
- Paim TP, Martins RFS, Cardoso C, Dallago B, Louvandini H, McManus C (2014). Thermal comfort index and infrared temperatures for lambs subjected to different environmental conditions. *Sci Agric*, 71(5):345-355. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0191>.
- Panigada C, Rossini M, Meroni M, Cilia M, Busetto L, Amaducci S, Boschetti M, Cogliati S, Picchi V, Pinto F, Marchesi A, Colombo R (2014). Fluorescence, PRI and canopy temperature for water stress detection in cereal crops. *Int J App E Obs Geoinform*, 30:167–178. doi: 10.1016/j.jag.2014.02.002
- Porfírio-da-Silva V (2003) Sistemas silvipastoris em Mato Grosso do Sul. Para que adotá-los? In: *Proceedings of the Seminário Sistemas silvipastoris e Desenvolvimento Sustentável*. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, pp 1–13.
- R Development Core Team (2017). The R Foundation for Statistical Computing Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit).
- Renaud V, Innes JL, Dobbertin M, Rebetez M (2011). Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998-2007). *Theor Appl Climatol*.;105(1):119–27.
- Silva RG (2000). *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo: Nobel. 286p.

- Schumacher MV, Poggiani F (1993). Caracterização microclimática no interior dos talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* hill ex maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, localizados em Anhembi, SP. *Rev Cienc Florest*, 3:9–20.
- Schütz KE, Cox NR, Tucker CB (2014). A field study of the behavioral and physiological effects of varying amounts of shade for lactating cows at pasture. *J Dairy Sc.* 97(6):3599-3605. doi: 10.3168/jds.2013-7649
- Souza CF, Tinôco IFF, Baêta FC, Ferreira WPM, Silva RS (2002) Avaliação de materiais alternativos Para confecção do termômetro de globo. *Ciênc Agrotec* 26:157–164
- Stabentheiner A, & Schmaranzer S (1987). Thermographic determination of body temperatures in honeybees and hornets: Calibration and applications. *Thermology*, 2:563-572.
- Takács A, Kovács A, Kiss M, Gulyás Á, Kántor N (2016). Study on the transmissivity characteristics of urban trees in Szeged, Hungary. *Hun Geo Bull*, 65(2):155-167. doi: 10.15201/hungeobull.65.2.6
- Trumbo BA, Wise LM, Hudy M (2012) Influence of protective shielding devices on recorded air temperature accuracy for a rugged outdoor thermal sensor used in climate changemodeling. *J Nat Env Sci* 3:42–50
- Thom EC (1958). Cooling degrees: day air-conditioning, heating and ventilating. *Trans Am Soc Heat, Refrig Air Cond Eng*, 55:65–72.
- Van Lear E, Moons CPH, Ampe B, Sonck B, VAndaele L, Campeneere S, Tuytens FAM (2015). Effect of summer conditions and shade on behavioural indicators of thermal discomfort in Holstein dairy and Belgian Blue beef cattle on pasture. *Animal*, 9(9):1536-1546. doi: 10.1017/S1751731115000804
- Wang L, Gong W, Ma Y, Hu B, Zhang M (2014). Photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in Central China. *Int J Biometeorol*;58(6):1265–77.
- Weng Q, Lu D, Schubring J (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens Environ*;89(4):467–83.
- Wheelock JB, Rhoads RP, VanBaale MJ, Sanders SR, Baumgard LH (2010). Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J Dairy Sci*, 93:644-655

CAPÍTULO 3

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE BOVINOS DE CORTE EM ESTRESSE TÉRMICO PRODUZIDOS EM CONFINAMENTO E A PASTO¹

Nivaldo Karvatte Jr.², Fabiana Villa Alves³, Marcello Mele⁴, Eliane Sayuri Miyagi², Giuseppe Conte³

Resumo O objetivo foi avaliar as respostas fisiológicas de bovinos de corte em estresse térmico produzidos em confinamento e a pasto, por meio de parâmetros hormonal, fisiológicos e hematológicos. O experimento foi conduzido em fazendas localizadas em Civitella Paganico, província de Grosseto, Itália, em parceria com a Università di Pisa, durante o período de maio a setembro de 2017. Foram utilizados 60 animais (20 Aubrac; 20 Maremmano e 20 ½ Maremmano x ½ Piemontês) com aproximadamente 4,5 meses de idade e peso médio de 250 kg produzidos em confinamento e a pasto. O estresse crônico foi avaliado utilizando amostras de pelos de todos os animais, enquanto que o estresse agudo foi avaliado por meio das variáveis fisiológicas (temperaturas retal, de pelo e pele, frequências cardíaca e respiratória e hematológicas (hemograma completo). A análise estatística incluiu análise de variância e teste Tukey para identificar as diferenças e interações existentes entre grupos genéticos, sistemas de produção e períodos de avaliação. Não foram observados efeitos de sistema de produção ($P>0.05$). Entretanto, efeitos significativos ($P<0.05$) de grupos genéticos, período de avaliação e interação grupo genético x sistema de produção foram observados sob todos os parâmetros avaliados. Os animais mestiços apresentaram as maiores concentrações de cortisol no pelo durante todo o período experimental, favorecendo às maiores variações nos parâmetros fisiológicos, indicando maior susceptibilidade ao estresse térmico.

Palavras-Chave: Bem-estar animal, Conforto térmico, Cortisol, Parâmetros fisiológicos, Pelo

1. Introdução

Nos últimos anos, o interesse social e político no bem-estar e manejo dos animais de produção aumentaram substancialmente frente às pressões de mercado (Barkema et al., 2015). Com o reconhecimento de que os animais são seres sencientes, a sociedade consumidora passou a exigir maiores preocupações com a saúde e proteção dos animais de fazenda, no sentido de proporcionar condições mais humanizadas de sobrevivência (Von Keyserlingk et al., 2013).

¹ Artigo elaborado segundo as normas de publicação da revista Animal Science Journal. Qualis CAPES A2 (Zootecnia e Recursos Pesqueiros).

² N. Karvatte Junior (Corresponding author); E. S. Miyagi
Federal University of Goiás, UFG, Goiânia, State of Goiás, Brazil
e-mail: nivaldok@gmail.com, eliane.miyagi@gmail.com, phone number: .

³ F. V. Alves;
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, state of Mato Grosso do Sul, Brazil.

⁴ M. Mele; G. Conte
University of Pisa, Pisa, Italy.

A adoção de sistemas de produção a pasto é cada vez mais discutida mundialmente por favorecer ao bom bem-estar animal (Ellis et al., 2009; Boogaard et al., 2011). Em muitos países da Europa, a produção animal com acesso ao pasto é preferível àqueles em confinamento e vem se demonstrando cada vez mais eficiente por permitir a expressão da maioria dos comportamentos naturais e reduzir a incidência de doenças (Falk et al. 2012). Entretanto, em muitos sistemas tradicionais italianos o confinamento de raças especializadas e cruzamentos ainda é amplamente utilizado como parte do sistema de produção, permitindo o acesso ao pasto somente no verão, quando os efeitos climáticos se tornam mais pronunciados, em um cenário de produção mista com bovinos de raças locais (Cozzi et al., 2009; Bragaglio et al., 2017).

Como o bem-estar animal representa o estado do animal em relação às suas tentativas de adaptar-se com o seu ambiente (Broom, 1986). Dentro deste contexto, o estresse térmico torna-se um fator limitante na produção de bovinos de corte (McManus et al., 2009). Quando um animal entra em estado de estresse térmico, isto é, em um balanço negativo entre a quantidade líquida de energia que flui do animal para o ambiente e a quantidade de energia térmica produzida pelo metabolismo (Hoffmann et al., 2010), a primeira reação desencadeada é a ativação do sistema nervoso central e do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal para a liberação de hormônios (catecolaminas e glicocorticoides) mediadores de respostas a curto e em longo prazo, no sentido de manter ou recuperar a homeostase corporal até mesmo dos animais mais adaptados (Bernabucci et al., 2010; Moore et al., 2012; Stubbsjøn et al., 2015).

Em condições severas de estresse, o estresse agudo se inicia quando o animal não consegue dissipar uma certa quantidade de calor em uma situação negativa de curta duração, os efeitos catabólicos das reações adaptativas desencadeadas resultam na degradação das reservas energéticas dos tecidos musculares e na disponibilização de glicose aos tecidos nobres para uma recuperação rápida e completa do equilíbrio fisiológico (Trevisi e Bertoni, 2009; Bernabucci et al. 2010; Mader et al., 2010). Por outro lado, se a ação do agente estressor for prolongada, a superexposição a hormônios do estresse resultará em uma carga alostática, com custo biológico suficiente para promover disfunções fisiológicas, biológicas e comportamentais, afetando a saúde e podendo resultar em morte dos animais mais debilitados (Trevisi e Bertoni, 2009; Hughes et al., 2014; Stubbsjøn et al., 2015).

Neste sentido, definir quão estressante é um ambiente de produção não é uma tarefa fácil, visto que cada animal responde aos seus estímulos de maneira diferente. Por muitos anos, uma variedade de parâmetros fisiológicos vem sendo utilizada para inferir a adaptação animal frente ao estresse térmico (McManus et al., 2009; Paim et al., 2013; Alfonzo et al., 2016; Dalcin et al., 2016). Os mais utilizados incluem a frequência cardíaca e respiratória, temperaturas retal e epitelial, bem como a evaporação cutânea. Ao contrário de outras espécies, em bovinos de corte as respostas obtidas durante estas avaliações são facilmente confundidas pelos efeitos de manejo, que por sua vez podem induzir ao estresse agudo (McManus et al., 2009).

Diante deste contexto, a avaliação das condições de estresse crônico é mais discutível do que a do estresse agudo. De modo geral, um bom marcador biológico de estresse crônico promove alterações sutis e de longo prazo nas respostas fisiológicas (sistema endócrino, hematológico, metabólico, imunológico), mesmo que os animais apresentem-se aparentemente adaptados ao seu agente estressor. Assim, o parâmetro mais aceito e utilizado é aquele que promove mudanças sutis na atividade do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, e especialmente na concentração de cortisol (Moya et al., 2013).

O cortisol é geralmente extraído de sangue, saliva, urina ou fezes. Nestes materiais a concentração ou picos hormonais recebe influências da variação circadiana e necessitam de uma série de cuidados durante a coleta e

preparo das amostras. Neste sentido, o uso do pelo para avaliar os níveis de concentração de cortisol em longo prazo tem sido amplamente estudado em humanos (D'Anna Hernandez et al., 2011), primatas (Davenport et al., 2008) e em animais de produção, tais como bovinos de leite (Comin et al., 2011) e de corte (Moya et al., 2013). Além de ser uma técnica não invasiva, as amostras podem ser armazenadas por um maior período e apresentam procedimentos de avaliação relativamente simples. Os mecanismos de deposição deste hormônio na haste pilosa ainda não estão completamente claros, mas acredita-se que ocorram durante a difusão passiva de substâncias transportadas pelo sangue para o crescimento das células do folículo piloso, ou por difusão das secreções de suor ou sebo após a sua formação (Cone, 1996; Pragst e Balikova, 2006).

A hipótese deste estudo é que diferentes grupos genéticos de gado de corte produzidos em confinamento e a pasto apresentam capacidades fisiológicas adaptativas quando submetidas ao estresse térmico durante o verão europeu. Objetivou-se avaliar as respostas fisiológicas de bovinos de corte em confinamento e a pasto, por meio dos parâmetros hormonal, fisiológicos e hematológicos.

2. Material e métodos

2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido em fazendas localizadas em Civitella Paganico, província de Grosseto, Itália (42°59'42"N, 11°16'54"E e 329 m de altitude), em parceria com o Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-Ambientali da Università di Pisa (Itália). O padrão climático da região é classificado como clima continental temperado úmido (Csa), com verão seco e quente e temperatura média anual de 22°C (Köppen, 1948).

2.2. Animais e procedimentos experimentais

Foram utilizados sessenta bovinos de corte de três diferentes grupos genéticos (20 Aubrac; 20 Maremmana e 20 ½ Maremmana x ½ Piemontês), com idade inicial aproximada de 4,5 meses e peso de 250 kg. Os animais foram divididos em dois sistemas de produção: (i) confinamento com galpão coberto com telhado de isolamento térmico; e (ii) pasto sombreado com bosques de árvores nativas. Em cada sistema de produção foram incluídos dez animais de cada grupo genético (total de 30 animais). Todos os procedimentos utilizados neste experimento estão de acordo com as Diretrizes Européias (nº 2010/63/EU), e com a legislação Italiana de bem-estar animal (DL n. 26, 04/03/2014).

As coletas de dados foram realizadas mensalmente, em dois dias consecutivos, com intervalo de um mês entre avaliações (total de 6 períodos de avaliações), durante os meses de maio a setembro de 2017. A variação microclimática e de conforto térmico durante os procedimentos experimentais foi caracterizada como alerta, com elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, podendo ser analisada de acordo com a tabela 1.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros microclimáticos e de conforto térmico durante os procedimentos experimentais

	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Vv (m.s ⁻¹)	2.4	2.7	5.1	4.2	3.9

Ta (°C)	31.7	31.1	29.8	34.3	21.4
Tpo (°C)	10.1	7.7	7.4	6.2	15.4
Tg (°C)	39.8	40.0	44.6	39.3	37.7
UR (%)	26.2	23.9	24.6	32.4	37.4
ITU	74	75	73	78	68
ITGU	84	84	88	83	84

Vv – velocidade do vento; Ta – temperatura do ar; Tpo – temperatura do ponto de orvalho; Tg – temperatura de globo negro; UR – umidade relativa; ITU – Índice de Temperatura e Umidade, e; ITGU – Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade.

2.3. Cortisol no pelo

As amostras foram coletadas da região escapular esquerda utilizando um barbeador elétrico. Os pelos foram depositados em envelopes de papel e armazenados em local seco e escuro até o preparo das amostras, realizado de acordo com Moya et al. (2013). Desse modo, utilizando uma campânula de aspiração forçada, 200 mg de pelos de cada amostra foram depositados em cápsulas de porcelana identificadas, lavados três vezes com 10 ml de isopropanol (BDH chemicals, Germany), durante três minutos sob agitação suave, descartando-se o precipitado. Posteriormente, os pelos limpos foram armazenados em local escuro e seco por 3 dias para evaporação total do isopropanol remanescente e em seguida depositados em envelopes de alumínio.

Para a extração e quantificação do cortisol foi utilizada a metodologia de Accorsi et al. (2008), as amostras de pelos foram moídas em um moinho misturador (MM200, Retsch Inc. Newtown, PA, EUA) com cilindro metálico de 10 mL e esfera de moinho de 12 mm, a 22 Hz por 5 min. Posteriormente, 50 mg de cada amostra de pelo foram acondicionadas em tubos de ensaio de 15 ml e adicionando 5 ml de metanol (BDH chemicals, Germany). Devidamente tapados e agitados, os tubos de ensaio foram acondicionados em incubadora a 50°C. Após 18 a 24h, os tubos de ensaio foram retirados da incubadora e transferidos a uma centrífuga ajustada para 3000 rpm durante 15 min. O sobrenadante foi coletado e transferido para micro tubos de vidro de 2 ml e, posteriormente, acondicionados em termo bloco a 37°C sob corrente de nitrogênio para evaporação total do solvente. As amostras de cortisol remanescentes nos micro-tubos foram reconstituídas, utilizando um kit de imunoenzima (Salimetrics LLC, State College, PA, EUA). Para isso, foi adicionando 0.6 ml de solução salina tamponada com fosforo (PBS) com 0.1% de albumina de soro bovino (BSA) e armazenadas em freezer a -20°C até o momento da quantificação.

Controles de alta e baixa concentração foram adicionados a cada ensaio para calcular a variabilidade dentro de cada ensaio (3.6 % e 6.0 %), e a variabilidade entre ensaio (5.4 % e 11.2 %). A partir de uma curva padrão linear foram calculadas as concentrações de cortisol das amostras, primeiro em mg/dL, e então transformadas em pg/mg de pelo. Os padrões (de 0.12 a 30 ng/mL), PBS e o restante dos reagentes utilizados foram fornecidos no kit anteriormente apresentado. As especificações técnicas do kit usado indicam que a reatividade cruzada com outros compostos é de 0.6%.

2.4. Parâmetros fisiológicos

A temperatura retal (TR, °C) foi mensurada utilizando um termômetro clínico veterinário inserido na parede do reto do animal, em profundidade de aproximadamente 30 cm, durante 3 min. As temperaturas de pelo (TP, °C) e epitelial (TE, °C) foram avaliadas utilizando pirômetro com mira por infravermelho (modelo 890 portátil, marca Instrutherm) direcionado para a região da escápula, antes (TP) e após (TE) a coleta das amostras de pelos. A frequência cardíaca (FC, batimentos/minuto) foi medida por auscultação dos batimentos cardíacos, utilizando

estetoscópio clínico veterinário e cronômetro digital, posicionado do lado esquerdo do tórax dos animais, enquanto que a frequência respiratória (FR, movimentos/minuto) por contagem visualização dos movimentos respiratórios, ambas as avaliações foram realizadas durante 15 segundo, e, posteriormente, os valores multiplicados por quatro para a estimativa destas variáveis em minutos, determinados conforme Sousa et al. (2016).

2.5. Parâmetros hematológicos

Concomitante às avaliações dos parâmetros fisiológicos, o sangue foi coletado por punção venosa caudal, utilizando tubos a vácuo vacutainer's com anticoagulante etilenodiaminotetracético, sal dissódico (EDTA) a 10%, e em seguida transportados ao departamento de medicina veterinária para posterior análise. O hemograma completo (número de eritrócitos, leucócitos, concentração de hemoglobina, volume corpuscular médio, número de neutrófilos, eosinófilos, linfócitos e monócitos) foi determinado automaticamente por meio do equipamento IDEXX ProCyte DX™, IDEXX laboratórios Itália S.r.l., Milão, Itália, não sendo utilizados kits de avaliação para estas análises.

2.6. Design experimental e análise estatística

Os dados foram agrupados em três períodos experimentais de acordo com os intervalos entre avaliações: 1º período (1º e 2º mês); 2º período (3º e 4º mês) e 3º período (5º e 6º mês). Para a análise, foi utilizado um arranjo experimental em arranjo fatorial 3 x 2 x 3, considerando os efeitos de grupo genético (Aubrac, Maremmano e ½ Maremmano x ½ Piemontês), produção (pasto e confinamento) e períodos (1, 2 e 3), de acordo com o modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + l_i + s_j + d_k + ls_{ij} + ld_{ik} + sd_{jk} + lsd_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que:

Y_{ijkl} = observação l , pertencente à grupo genético i , do sistema de produção j , no período k ; l_i = efeito da grupo genético i ; s_j = efeito de sistema de produção j ; d_k = efeito do período k ; ls_{ij} = efeito da interação grupo genético x sistema de produção ; ld_{ik} = efeito da interação grupo genético x período; sd_{jk} = efeito da interação sistema de produção x período; lsd_{ijk} = efeito da interação grupo genético x sistema de produção x período; ε_{ijkl} = erro experimental, associado a cada observação.

Foi realizada análise de variância e teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de significância para identificar as diferenças e interações existentes entre os grupos genéticos dentro das condições experimentais. A análise estatística foi realizada por meio do aplicativo estatístico R versão 3.4.3 (2017).

3. Resultados

Efeito de grupo genético foi observado para todos os parâmetros avaliados, com exceção para a temperatura epitelial ($P < 0.05$; Tabelas 2 e 3). Maiores concentrações de cortisol (10.8 pg.mg^{-1}), temperatura retal (39.9°C),

frequência respiratória ($53.2 \text{ mov.min}^{-1}$), hemácias ($9.0 \times 10^6 \text{ mm}^3$), eritrócitos (40.5 %), hemoglobina (13.3 g.dL) e volume corpuscular médio ($44.9 \text{ } \mu\text{m}^3$), foram apresentadas pelo grupo mestiço. Maiores temperaturas de pelo (35.7°C) e frequência cardíaca ($111.0 \text{ bat.min}^{-1}$) foram apresentadas pelo grupo Maremmana. Maiores concentrações de leucócitos, linfócitos e eosinófilos, foram apresentadas pelos grupos Aubrac (10.4, 57.4 e 5.0 %, respectivamente) e mestiços (10.8, 55.1 e 4.3 %, respectivamente), enquanto que os grupos mestiço e Maremmana apresentaram as maiores concentrações de neutrófilos (33.1 e 34.2 %) e monócitos (11.9 e 11.1 %).

Efeito de período de avaliação também foi observado sobre os parâmetros avaliados ($P < 0.05$; Tabelas 2 e 3). As maiores concentrações de cortisol (11.9 pg.mg^{-1}) foram encontradas no primeiro período. Maior temperatura retal (39.6°C) foi encontrada entre o primeiro e o segundo período, sendo que o segundo período também revelou as maiores temperaturas de pelo (36.1°C), epitelial (36.5°C) e concentração de linfócitos (56.8 %). Maior frequência cardíaca ($112.6 \text{ bat.min}^{-1}$) e concentrações de eritrócitos (38.9 %), hemoglobina (12.7 g/dL) e volume corpuscular médio ($46.1 \text{ } \mu\text{m}^3$) foram encontradas no terceiro período de avaliação, enquanto que as maiores concentrações de neutrófilos ocorreram no primeiro (32.0 %) e terceiro (32.9 %) período.

Tabela 2. Médias de cortisol no pelo e parâmetros fisiológicos de bovinos de corte em estresse térmico

	Cortisol	Parâmetros fisiológicos				
		TR	TP	TE	FC	FR
Grupo genético						
Aubrac	4.9 b	38.8 c	33.3 c	34.9	103.4 b	48.8 b
Maremmana	5.0 b	39.5 b	35.7 a	35.7	111.0 a	50.5 b
Mestiço	10.8 a	39.9 a	34.7 b	35.6	105.8 b	53.2 a
SE	0.92	0.07	0.21	0.18	1.92	1.42
Pr>F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0525	0.0216	0.0318
Sistema de produção						
Confinamento	6.5	39.4	34.4	35.5	105.6	51.6
Pasto	7.2	39.4	34.7	35.4	108.4	52.2
SE	0.75	0.06	0.17	0.14	1.56	1.16
Pr>F	0.5409	0.5980	0.2475	0.7295	0.2086	0.7255
Período de avaliação						
1º	11.9 a	39.6 a	34.1 b	34.8 b	105.8 b	51.2
2º	5.4 b	39.6 a	36.1 a	36.5 a	102.8 b	54.5
3º	3.4 b	39.0 b	33.4 c	35.0 b	112.6 a	50.0
SE	0.92	0.07	0.21	0.18	1.92	1.42
Pr>F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0013	0.0699

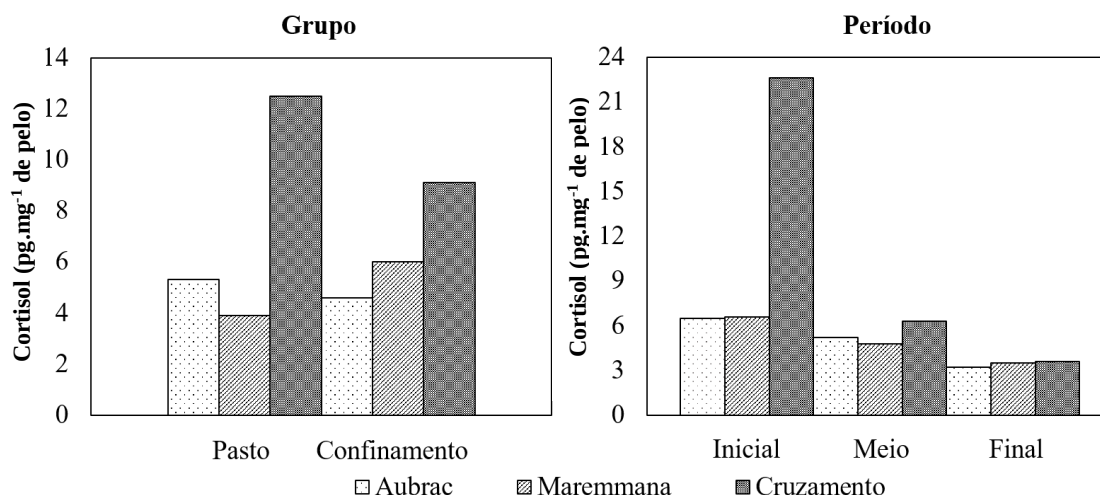
Cortisol (pg.mg^{-1}); Temperatura retal (TR, $^\circ\text{C}$); Temperatura de pelo (TP, $^\circ\text{C}$); Temperatura epitelial (TE, $^\circ\text{C}$); Frequência cardíaca (FC, bat.min^{-1}); Frequência respiratória (FR, mov.min^{-1}); Erro padrão (SE); Médias na mesma coluna seguidas de letras diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0.05$)

Tabela 3. Concentrações médias dos parâmetros hematológicos de bovinos de corte submetidos ao estresse térmico

	Parâmetros hematológicos								
	HEM	HET	HEB	VCM	LEU	NEU	LIN	MON	EOS
Grupo genético									
Aubrac	7.7 b	33.8 b	11.3 b	43.4 b	10.4 a	25.6 b	57.4 a	8.9 b	5.0 a
Maremmmana	8.0 b	35.5 b	11.6 b	44.2 b	9.0 b	34.2 a	51.8 b	11.1 a	2.9 b
Mestiço	9.0 a	40.5 a	13.3 a	44.9 a	10.8 a	33.1 a	55.1 a	11.9 a	4.3 a
SE	0.16	0.72	0.23	0.45	0.39	0.94	0.89	0.32	0.36
Pr>F	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0412	0.0033	0.0002	0.0003	<0.0001	<0.0001
Sistema de produção									
Confinamento	8.0	36.2	12.0	44.7	9.9	32.4	54.2	10.2	3.5
Pasto	8.5	37.0	12.1	43.6	10.3	29.5	55.3	10.8	4.7
SE	0.13	0.59	0.18	0.36	0.31	0.77	0.72	0.26	0.29
Pr>F	0.0771	0.3207	0.7610	0.0630	0.3923	0.0655	0.0743	0.3678	0.0650
Período de avaliação									
1º	8.4	36.1 b	11.5 ab	42.9 b	10.3	32.0 a	54.1 ab	10.8	4.1
2º	7.9	34.8 b	11.5 b	43.4 b	10.5	28.0 b	56.8 a	10.8	4.4
3º	8.4	38.9 a	12.7 a	46.1 a	9.4	32.9 a	53.3 b	9.8	3.8
SE	0.16	0.72	0.23	0.45	0.39	0.94	0.89	0.32	0.36
Pr>F	0.0771	0.0003	0.0022	<0.0001	0.0906	0.0446	0.0455	0.1014	0.1016

Hemácias (HEM, 10^6 mm^3); Eritrócitos (HET, %); Hemoglobina (HEB, g.dL^{-1}); Volume corpuscular médio (VCM, μm^3); Leucócitos (LEU, %); Neutrófilos (NEU, %); Linfócitos (LIN, %), Monócitos (MON, %); Eosinófilos (EOS, %); Erro padrão (SE); Médias na mesma coluna seguidas de letras diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0.05$).

Interações significativas entre grupos genéticos e sistema de produção e entre grupos genéticos e períodos de avaliação foram encontradas para a avaliação de cortisol ($P < 0.05$; Figura 1). Em ambos os sistemas de produção, o grupo mestiço apresentou as maiores concentrações de cortisol durante todo o período experimental. Nos animais a pasto a concentração média foi de 12.5 pg.mg^{-1} , enquanto que no confinamento a concentração média foi de 9.1 pg.mg^{-1} . As maiores concentrações de cortisol foram encontradas no primeiro período de avaliação, com maior efeito observado sobre o grupo mestiço e média de 22.6 pg.mg^{-1} .

**Figura 1.** Concentração média de cortisol (pg.mg^{-1} de pelo) de bovinos de corte durante estresse térmico.

Efeito da interação entre sistema de produção e grupos genéticos foi encontrado sobre os parâmetros fisiológicos ($P < 0.05$; Tabela 4). Os grupos, mestiço e Maremmmana, de produção a pasto e em confinamento,

apresentaram as maiores temperaturas retais (variação média de 39.3 a 40.1°C, respectivamente) e frequências respiratórias (variação média de 51.8 a 55.5 mov.min⁻¹, respectivamente). O grupo Maremmana produzido a pasto apresentou as maiores temperaturas de pelo (36.0°C) e epitelial (36.4°C), enquanto que pouca variação entre os grupos genéticos foi observada para a variável frequência cardíaca (97.7 a 109.1 bat.min⁻¹).

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros fisiológicos de bovinos de corte produzidos a pasto e em confinamento submetidos ao estresse térmico

	Pasto			Confinamento		
	Aubrac	Maremmana	Mestiço	Aubrac	Maremmana	Mestiço
TR	38.9 bc	39.3 ab	40.1 a	38.7 c	39.7 a	39.8 a
TP	33.0 d	36.0 a	34.2 bcd	33.7 cd	34.4 bc	35.2 b
TE	34.4 c	36.4 a	35.4 abc	35.5 abc	35.1 bc	35.9 ab
FC	109.1 a	108.9 a	107.5 ab	97.7 b	113.0 a	106.3 ab
FR	45.8 c	55.5 a	55.3 a	51.1 b	52.0 ab	51.8 ab

Temperatura retal (TR, °C); Temperatura de pelo (TP, °C); Temperatura epitelial (TE, °C); Frequência cardíaca (FC, bat.min⁻¹); Frequência respiratória (FR, mov.min⁻¹); Médias na mesma linha seguidas de letras diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0.05$).

Efeito de interação entre sistema de produção e grupos genéticos também foi observado sobre os parâmetros hematológicos ($P < 0.05$; Tabela 5). Os animais do grupo mestiço em confinamento e a pasto apresentaram as maiores concentrações de hemácias ($9.0 \times 10^6 \text{ mm}^3$), eritrócitos (40.7 %) e hemoglobina (13.3 g.dL^{-1}). A concentração média de VCM ($45.3 \mu\text{m}^3$) foi similar entre os grupos genéticos produzidos em confinamento e o grupo mestiço a pasto. A maior concentração de NEU (39.9 %) e menor de EOS (1.6 %) foram obtidas pelo grupo Maremmana em confinamento, enquanto que o grupo Aubrac, apresentou as maiores concentrações de LIN (61.5 %) em confinamento; e, de MON (12.3 %) a pasto.

Tabela 5. Valores médios dos parâmetros hematológicos de bovinos de corte produzidos a pasto e em confinamento submetidos ao estresse térmico

Variáveis Hematológicas	Pasto			Confinamento		
	Aubrac	Maremmana	Cruzamento	Aubrac	Maremmana	Cruzamento
HEM	8.3 b	8.2 b	9.0 a	7.2 c	7.8 bc	8.9 a
HET	34.2 c	36.3 bc	40.7 a	33.5 c	34.7 c	40.4 a
HEB	11.5 b	11.6 b	13.3 a	11.7 b	11.7 b	13.3 a
VCM	41.5 b	43.2 b	45.3 a	45.3 a	44.0 a	44.7 a
LEU	10.6	9.1	11.3	10.3	9.0	10.5
NEU	28.6 c	28.6 c	31.4 bc	22.6 d	39.9 a	34.7 b
LIN	53.2 bc	55.1 b	57.6 ab	61.5 a	48.4 c	52.6 bc
MON	12.3 a	11.9 ab	8.2 d	11.5 ab	10.3 bc	8.7 cd
EOS	5.6 a	4.2 a	4.2 a	4.5 a	1.6 b	4.4 a

Hemácias (HEM, 10^6 mm^3); Eritrócitos (HET, %); Hemoglobina (HEB, g.dL^{-1}); Volume corpuscular médio (VCM, μm^3); Hemoglobina corpuscular média (HCM, pg); Leucócitos (LEU, %); Neutrófilos (NEU, %); Linfócitos (LIN, %); Monócitos (MON, %); Eosinófilos (EOS, %); Erro padrão (SE); Médias na mesma linha seguidas de letras diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0.05$).

4. Discussão

Este estudo foi baseado no monitoramento dos parâmetros hormonal, fisiológicos e hematológicos de bovinos de corte de diferentes grupos genéticos produzidos em confinamento e a pasto com bosques de árvores nativas, com o foco em avaliar a adaptação fisiológica frente ao estresse crônico. Os resultados mostram que os

efeitos de grupo genético e da interação grupo genético x sistema de produção representam variações contínuas (efeito de período) nas características fisiológicas adaptativas dos animais em resposta a hipótese, e suportam o objetivo da pesquisa. Neste estudo não foram encontrados efeitos significativos ($P>0.05$) de sistema de produção. Entretanto, o efeito entre grupos genéticos mostra que o grupo mestiço apresenta as maiores concentrações de cortisol, variações nos parâmetros fisiológicos (TR e FR) e concentrações hematológicas, sugerindo maior suscetibilidade ao estresse térmico (Tabelas 2 – 5, Figura 1). Quando relacionado às raças puras, o grupo Maremmana a pasto apresentou as maiores médias dos parâmetros fisiológicos, enquanto que similaridades nas concentrações médias dos parâmetros hematológicos foram observadas entre os grupos Aubrac e Maremmana em confinamento.

Neste estudo, o nível de cortisol foi mais elevado durante o primeiro período de avaliação, diminuindo consideravelmente durante o segundo e o terceiro período em todos os grupos genéticos estudados (Tabelas 2, Figura 1). De acordo com estudos anteriores, o pelo de bovinos cresce aproximadamente 0.6 mm por dia, atingindo um comprimento médio de aproximadamente 1.0 cm por mês (Fisher et al. 1985; Russel et al., 2012).

Como os níveis de cortisol das amostras refletiam a concentração hormonal de pelo menos um mês de incorporação, a depressão no nível de cortisol observado a partir do segundo período de avaliação parece refletir uma diminuição progressiva no acúmulo de cortisol nos animais a partir do mês de junho, corroborando com os resultados obtidos por Uetake et al. (2017). Outros estudos (Comin et al. 2013; Moya et al, 2013; Burnett et al., 2014) também confirmaram os efeitos da detecção do cortisol no pelo em resposta às características do animal (tais como idade, estado fisiológico e coloração do pelo) e período de avaliação indicando forte correlação existente com o estresse crônico, sustentando os nossos resultados.

As concentrações de cortisol nos grupos Aubrac ($4.6 - 5.3 \text{ pg.mg}^{-1}$) e Maremmana ($3.9 - 6.0 \text{ pg.mg}^{-1}$) foram similares aos resultados reportados por Moya et al. (2013) para gado de corte da raça Angus ($0.3 - 5.3 \text{ pg.mg}^{-1}$), mas significativamente inferiores às concentrações encontradas para o grupo mestiço ($9.1 - 12.5 \text{ pg.mg}^{-1}$), os quais foram similares aos resultados obtidos por González de la Vara et al. (2011) ao avaliar o estresse crônico de vacas Holandesas com dois anos de idade ($12.1 \pm 1.85 \text{ pg.mg}^{-1}$). Diversos outros estudos consideram o cruzamento entre raças uma estratégia eficiente para garantir a adaptabilidade animal frente às adversidades climáticas e garantir maior produtividade (McManus et al. 2015; Vizzotto et al. 2015; Alfonzo et al. 2016).

Entretanto, a variabilidade observada neste estudo pode ser explicada devido às diferenças genéticas entre os grupos estudados. No caso dos animais mestiços, o efeito da síndrome de dupla musculatura proporcionado pela raça Piemontês possivelmente colaborou para a menor adaptação destes animais. Comparada a outras raças de bovinos de corte, bovinos com dupla musculatura apresentam menor proporção de ossos e gordura e maior proporção de musculatura. Estas características, apesar de favorecerem o incremento de produção de carne, conferem a estes animais desvantagem adaptativa devido a menor dissipação de calor corporal (acúmulo de cortisol devido ao estresse térmico) em decorrência da menor densidade capilar (Fiems, 2012).

Durante os períodos em que um organismo sofre coação fisiológica em função do estresse, o cortisol age no organismo para mobilizar reservas energéticas e evitar o acúmulo excessivo de calor (Bernabucci et al., 2010; Russel et al., 2012). Neste processo, a elevação da temperatura retal é acompanhada por aumentos progressivos na frequência respiratória como mecanismos primordiais para a dissipação do excedente de energia térmica armazenada, sendo consideradas como melhores indicadores de tolerância ao estresse em curto prazo (McManus et al., 2009; Paim et al., 2013). Como o calor é transportado de dentro para a superfície do corpo através dos vasos

sanguíneos, a maior pressão sanguínea decorrente da vasoconstrição arterial (FC) colabora para o suprimento adequado de sangue aos tecidos periféricos que resultam no aumento da temperatura epitelial para favorecer a dissipação térmica com o ambiente (Al-Haidary et al., 2004; Cardoso et al., 2015).

Neste contexto, a temperatura retal ideal de conforto para bovinos varia de 36.7 a 39.1°C, enquanto que a frequência respiratória de 26 a 50 mov.min⁻¹ e a frequência cardíaca 36 – 60 bat.min⁻¹ (Jain, 1993; Silanikove, 2000; Reece et al., 2015). A elevada TR (variação média de 39.8 a 40.1°C) e FR (variação média de 51.8 a 55.3 mov.min⁻¹) encontradas nos animais mestiços (Tabelas 2 e 4) sugerem que estes dois parâmetros fisiológicos foram os principais mecanismos de dissipação térmica utilizados, possivelmente em função da baixa densidade capilar, conforme sugerido anteriormente.

A maior circulação sanguínea (FC, variação média de 108.9 a 113.0 bat.min⁻¹) e TE (36.4°C) inferem que o processo evaporativo, por meio da sudação, foi mais eficiente nos animais do grupo genético Maremmana, especialmente aqueles produzidos a pasto, possivelmente em função da maior exposição à radiação solar direta. No entanto, independente das flutuações climáticas ocorridas durante o período experimental, a TP manteve-se de 0.4 a 1.6°C inferior a TE (Tabelas 2 e 4), sugerindo que os animais não receberam acréscimos de energia térmica do ambiente suficientes para favorecer o incremento de calor corporal, colaborando dessa forma para a dissipação do calor metabólico por meio dos processos anteriormente citados.

A elevada desidratação corporal realizada pelos processos evaporativos durante a dissipação de energia térmica pode causar depressão do volume plasmático com reflexos significativos nas concentrações de células brancas e vermelhas do sangue (Ferreira et al., 2009). Em bovinos termicamente estressados a contagem de células brancas e leucócitos pode aumentar em 21 a 26 % e a células vermelhas em 12 a 20 %, devido à destruição dos eritrócitos durante a desidratação corporal (Das et al., 2016).

Neste estudo, os animais mestiços de ambos os sistemas de produção apresentaram as maiores concentrações de células brancas; enquanto que os bovinos Aubrac e Maremmana apresentaram as maiores concentrações de células vermelhas (Tabelas 3 e 5). Entretanto, os resultados obtidos sugerem que a desidratação destes animais não foi suficiente para alterar o equilíbrio imunológico segundo os valores de referencia de Jain (1993) e Reece et al., (2015), e corroboram com os resultados obtidos por McManus et al. (2009) e Dalcin et al. (2016).

5. Conclusão

O grupo genético mestiço apresentou as maiores médias nas concentrações de cortisol no pelo e nos parâmetros fisiológicos durante todo o período experimental demonstrando-se mais suscetível ao estresse térmico.

Apesar da variação nas concentrações dos parâmetros hematológicos, a dissipação térmica foi incapaz de alterar o equilíbrio imunológico dos animais, demonstrando a capacidade adaptativa dos diferentes grupos genéticos aos sistemas de produção utilizados.

6. Agradecimentos

Agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos recursos financeiros fornecidos. À Embrapa Gado de Corte, Università di Pisa e a Universidade Federal de Goiás, pela área experimental, laboratórios e apoio técnico-científico.

7. Referências Bibliográficas

- Accorsi PA, Carloni E, Valsecchi P, Viggiani R, Gamberoni M, Tamanini C, Seren E (2008). Cortisol determination in hair and faeces from domestic cats and dogs. *Gen. Comp. Endocrinol.* 155:398–402.
- Alfonzo EPM, Barbosa da Silva MVG, dos Santos Daltro D, Stumpf MT, Dalcin VC, Kolling G, et al (2016). Relationship between physical attributes and heat stress in dairy cattle from different genetic groups. *Int J Biometeorol*;60(2):245–53.
- AL-Haidary AA (2004). Physiological responses of Naimey sheep to heat stress challenge under semi-arid environments. *International Journal of Agriculture and Biology*, 6, 307-309
- Barkema HW, von Keyserlingk MAC, Kastelic JP, Lam TJGM, Luby C, Roy JP, LeBlanc SJ, Keefe GP, Kelton DF (2015). *Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare.* *J. Dairy Sci.* 98:1–20. doi:10.3168/jds.2015-9377
- Bragaglio A., et al., (2017). Environmental impacts of Italian beef production: A comparison between different systems, *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.03.078
- Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*;4(7):1167–83.
- Boogaard BK, Bock BB, Oosting SJ, Wiskerke JSC, van der Zijpp AJ (2011). Social acceptance of dairy farming: The ambivalence between the two faces of modernity. *J. Agric. Environ. Ethics* 24:259–282.
- Broom ND (1986). The collagenous architecture of articular cartilage – a synthesis of ultrastructure and mechanical function *J. Rheumatol.*, 13(1):142-152.
- Burnett TA, Madureira AML, Silper BF, Nadalin A, Tahmasbi A, Veira DM, et al. (2014) Short communication: Factors affecting hair cortisol concentrations in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* [Internet]. 97(12):7685–90. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022030214006729>
- Cardoso CC, Peripolli V, Amador SA, Brandão EG, Esteves GIF, Sousa CMZ (2015). Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livest Sci* [Internet].182:83–92. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.022>
- Comin A, Prandi A, Peric T, Corazzin M, Dovier S, Bovolenta S (2011). Hair cortisol levels in dairy cows from winter housing to summer highland grazing. *Livest. Sci.* 138:69–73.
- Comin A, Peric T, Corazzin M, Veronesi MC, Meloni T, Zufferli V, Cornacchia G, Prandi A (2013). Hair cortisol as a marker of hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation in Friesian dairy cows clinically or physiologically compromised. *Livest. Sci.* 152:36–41.
- Cone EJ (1996). Mechanisms of drug incorporation into hair. *Ther. Drug Monit.* 18,438–443.
- Cozzi G, Brscic M & Gottardo F (2009). Main critical factors affecting the welfare of beef cattle and veal calves

- raised under intensive rearing systems in Italy: a review. *It. J. An. Sci.*, 8:sup1,67-80, doi: 10.4081/ijas.2009.s1.67
- Das R, Sailo L, Verma N, Bharti P, Saikia J, Imtiwati, Kumar R (2016) Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: A review, *Veterinary World*, 9(3): 260-268. doi: 10.14202/vetworld.2016.260-268
- Dalcin VC, Fischer V, Dos D, Daltro S, Priscila E, Alfonzo M, et al (2016). Physiological parameters for thermal stress in dairy cattle. *www.sbz.org.br R Bras Zootec* [Internet]. 45(8):458–65. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000800006>.
- D'Anna Hernandez K, Ross RG, Natvig CL, Laudenslager ML (2011). Hair cortisol levels as a retrospective marker of hypothalamic– pituitary axis activity throughout pregnancy: comparison to salivary cortisol. *Phys. Behav.* 104, 348–353.
- Davenport MD, Lutz CK, Tiefenbacher S, Novak AM, Meyer JS (2008). A rhesus monkey model of self-injury: effects of relocation stress on behaviour and neuroendocrine function. *Biol. Psych.* 63:990–996.
- Ellis KA, Billington K, McNeil B, McKeegan DEF (2009). Public opinion on UK milk marketing and dairy cow welfare. *Anim. Welf.*, 18:267-282.
- Falk AC, Weary DM, Wincklet C, von Keyserlingk MAG (2012). Preference for pasture versus freestall housing by dairy cattle when stall availability indoors is reduced. *J. Dairy Sci.* 95:6409–6415. doi:10.3168/jds.2011-5208
- Ferreira F, Campos WE, Carvalho AU, Pires MFA, Martinez ML, Silva MVGB, Verneque RS, Silva PF (2009). Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.61(4):769-776.
- Fiems LO (2012). Double muscling in cattle: Genes, husbandry, carcasses and meat. *Anim.*, 2: 472-506; doi:10.3390/ani2030472
- Fisher DD, Wilson LL, Leach RM, Scholz RW (1985). Switch hair as an indicator of magnesium and copper status of beef cows. *Am. J. Vet. Res.* 46:2235–2240.
- González de la Vara MR, Valdez RA, Lemus Ramirez V, Vázquez Chagoyán JC, Villa Godoy A, Romano MC (2011). Effects of adrenocorticotrophic hormone challenge and age on hair cortisol concentrations concentrations in dairy cattle. *Can. J. Vet. Res.* 75:216–221.
- Hoffmann I (2010). Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Anim Genet.* 41(SUPPL. 1):32–46.
- Hughes HD, Carroll JÁ, Sanchez NCB, Richeson JT (2014). Natural variations in the stress and acute phase responses of cattle. *Innate Immunity*, 20(8) 888–896. doi: 10.1177/1753425913508993
- Jain NC (1993). *Essentials of veterinary hematology*. Lea and Febiger, Philadelphia.
- KöppenW (1948). *Climatologia: conumestúdio de lós climas de la tierra*. Fondo de Cultura Econômica, México, p. p 479
- Mader TL, Johnson LJ, Gaughan JB (2010) A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *J Anim Sci* 88:2153– 2165. doi:10.2527/jas.2009-2586
- McManus C, Prescott E, Paludo GR, Bianchini E, Louvandini H, Mariante AS (2009). Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. *Livest Sci* [Internet]. 120(3):256–64. Available from: doi.org/10.1016/j.livsci.2008.07.014

- McManus C, Bianchini E, Paim TP, de Lima FG, Braccini Neto J, Castanheira M, Esteves GIF, Cardoso CC, Dalcin VC. Infrared Thermography to Evaluate Heat Tolerance in Different Genetic Groups of Lambs. *Sensors*, 15:17258-17273. doi:10.3390/s150717258
- Moya D, Schwartzkopf-Genswein KS, Veira DM. (2013). Standardization of a non-invasive methodology to measure cortisol in hair of beef cattle. *Livest Sci* [Internet].;158(1–3):138–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.10.007>
- Moore DA, Duprau JL, Wenz JR (2012) Short communication: effects of dairy calf hutch elevation on heat reduction, carbon dioxide concentration, air circulation, and respiratory rates. *J Dairy Sci* 95:4050–4054
- Paim TP et al (2013) Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *Int J Biometeorol* 57:59–66
- Pragst F, Balikova MA (2006). State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse. *Clin.Chim.Acta*, 370(1–2), 17–49.
- R Development Core Team (2017). The R Foundation for Statistical Computing Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit).
- Reece WO, Erickson HH, Goff JP, Uemura EE (2015). *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Russell E, Koren G, Rieder M, Van Uum S (2012). Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology* [Internet];37(5):589–601. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psychneuen.2011.09.009>
- Silanikove N (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci domestic ruminants. Livest Prod Sci.* 67(October):1–18.
- Sousa RV, Canata TF, Leme PR, Martello LS (2016). Development and evaluation of a fuzzy logic classifier for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. *Comput. Electron. Agric.*, 127(1):176-183. doi:10.1016/j.compag.2016.06.014
- Stubsj  en SM, Knappe-Poindecker M, Langbein J, Fjeldaas T, Bohlin J (2015). Assessment of chronic stress in sheep (part II): Exploring heart rate variability as a non-invasive measure to evaluate cardiac regulation. *Small Rum. Res.* 133: 30–35. Doi: 10.1016/j.smallrumres.2015.10.026
- Trevisi E & Bertoni G (2009). Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows, *Italian J. Anim. Sci.*, 8:sup1, 265-286, doi: 10.4081/ijas.2009.s1.265
- Uetake K, Morita S, Sakagami N, Yamamoto K, Hashimura S, Tanaka T (2017). Hair cortisol levels of lactating dairy cows in cold and warm temperature regions in Japan. *Anim. Sci. J.* doi:10.1111/asj.12934
- Vizzotto EF, Fischer V, Thaler Neto A, Abreu AS, Stumpf MT, Werncke D, Schmidt FA, McManus CM (2015). Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. *Animal*, 9(9):1559–1566. doi:10.1017/S1751731115000877
- Von Keyserlingk MA, Martin NP, Kebreab E, Knowlton KF, Grant RJ, Stephenson M, Sniffen CJ, Harner JP, Wright AD, Smith IJ (2013). Invited review: Sustainability of the US dairy industry. *J. Dairy Sci.* 96:5405–5425.

CAPÍTULO 4:

Considerações Finais

Métodos não invasivos, de rápida e fácil execução, como a termografia por infravermelho para a avaliação dos sistemas de produção e a amostragem de pelos nos animais colaboram para o avanço da pesquisa científica em diversas áreas do conhecimento. A amostragem de dados com o mínimo contato direto com os animais proporciona menor estresse ao animal e possibilita maior acurácia aos resultados.

A termografia por infravermelho é uma ferramenta capaz de avaliar o microclima e o conforto térmico em ambiente rural, possibilitando captar as variações de emissão de radiação térmica do ambiente e inferir o conforto dos animais.

As variações locais e horárias de temperatura e umidade das superfícies das copas das árvores e da pastagem colaboram para as flutuações nos parâmetros microclimáticos, com efeitos substanciais no conforto térmico animal em sistemas silvipastoris.

Maiores temperaturas e umidades das superfícies das copas e da pastagem são acompanhadas de maiores Ta; Tg; ITU; ITGU; CTR; ICA e UR, sugerindo que a termografia por infravermelho é útil para investigar as características térmicas e de umidade das superfícies das copas das árvores e da pastagem e suas relações com o ambiente térmico, podendo ser utilizada como uma potencial ferramenta para a estimativa das variáveis Ta; Tg; UR; ITU e ITGU em sistemas silvipastoris.

A avaliação de concentrações de cortisol no pelo, técnica já utilizada em diversas espécies de animais de produção, cativeiro ou companhia, também é um eficiente indicador das condições de bem-estar de bovinos de corte e possibilita identificar variações durante o processo de produção.

O grupo genético mestiço apresentou as maiores médias nas concentrações de cortisol no pelo e nos parâmetros fisiológicos durante todo o período experimental demonstrando-se mais suscetível ao estresse térmico.

Apesar da variação nas concentrações dos parâmetros hematológicos, a dissipação térmica foi incapaz de alterar o equilíbrio imunológico dos animais, demonstrando a capacidade adaptativa dos diferentes grupos genéticos aos sistemas de produção utilizados.

Estas pesquisas contribuem para a comunidade científica encontrar soluções rápidas e eficientes para a sustentabilidade da produção animal, no sentido de proporcionar recursos

seguros e passíveis de serem aplicados no momento da tomada de decisão durante o manejo empregado nas fazendas.