

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA AVALIAÇÃO
DO CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL**

Camilla Diniz Barreto

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2016**

TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL

Camilla Diniz Barreto
Engenheira Agrônoma
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2013

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciência Animal (Produção e Manejo de Ruminantes).

Orientadora: Dra. Meiby Carneiro de Paula Leite
Coorientadores: Dr. Carlos Eduardo Crispim de Oliveira Ramos
Dra. Fabiana Villa Alves

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

B273t	<p>Barreto, Camilla Diniz. Termografia por infravermelho para avaliação do conforto térmico ambiental / Camilla Diniz Barreto. _ Cruz das Almas, BA, 2016. 36f.; il.</p> <p>Orientador: Meiby Carneiro de Paula Leite.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Arborização – Efeito da radiação solar. 2.Arborização – Termografia. 3.Sombreamento – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 634.9</p>
-------	--

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO AVALIAÇÃO DO
CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Camilla Diniz Barreto

Aprovada em: 19 de agosto de 2016

Prof. Dr. Laudí Cunha Leite
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Interno

Profa. Dra. Daniele Rebouças Santana Loures
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Interno

Profa. Dra. Soraia Vanessa Matarazzo
Universidade Estadual de Santa Cruz
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

À minha amada Família pelo incentivo e apoio irrestrito.
Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Eterno Criador do universo.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

À Fapesb pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores Dra. Meiby Carneiro de Paula Leite, Dr. Carlos Eduardo Crispim de Oliveira Ramos e Dr. Laudí Cunha Leite. Foi um privilégio poder contar com o apoio e as contribuições de cada um.

À Embrapa Gado de Corte por disponibilizar toda a estrutura necessária para a realização do trabalho, em especial à Dra. Fabiana Villa Alves pela coorientação, pela oportunidade e pelo acolhimento e cuidado carinhosos.

Aos prezados funcionários da Embrapa Gado de Corte Paulino Gauna Gomes e Odivaldo Nantes Goulart, que foram de fundamental importância na execução do trabalho.

Aos companheiros e amigos que estiveram presentes na minha caminhada durante o mestrado, compartilhando as angústias e conquistas Nivaldo Karvatte Junior, Caroline Carvalho de Oliveira, Bruna Ferrari e Jossimara Neiva de Jesus.

À minha mãe Wilcmar Bahia Diniz, aos meus irmãos Tauan Diniz Barreto e Ludmille Diniz Barreto pelo incentivo, carinho, amor e apoio que me conduziram até aqui. Ao Jules Quintana por toda compreensão e zelo.

Agradeço a toda minha família, por sempre acreditarem na minha capacidade, em especial ao meu tio Walteilton Inácio Diniz pelo carinho, pela confiança e incentivo de sempre.

EPÍGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL

RESUMO: A oferta de sombra de árvores constitui uma das práticas mais eficientes na modificação do microclima a fim de proporcionar um ambiente confortável. A termografia por infravermelho surge como uma potencial metodologia para mensurar o microclima e seu efeito sobre o conforto térmico, por ser um método não-invasivo e de uso prático. O objetivo foi avaliar o uso da termografia por infravermelho como ferramenta para o diagnóstico do conforto térmico proporcionado por espécies arbóreas. O experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte em Campo Grande-MS, de junho a agosto de 2015. Foram avaliados o microclima proporcionado por 4 espécies arbóreas nativas do Cerrado brasileiro. As avaliações foram conduzidas entre 08h00 e 16h00, hora local (GMT - 4:00), em intervalos de uma hora, foram registrados dados dos seguintes parâmetros microclimáticos: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, temperatura de globo negro, umidade relativa do ar e velocidade do vento, ao sol e à sombra. Posteriormente, os índices de conforto térmico, temperatura e umidade, índice de temperatura de globo negro e umidade e a carga térmica de radiação, foram calculados. As configurações geométricas das sombras ofertadas pelas espécies foram avaliadas nos mesmos meses. A radiação foi mensurada através de sensores quantum (radiação fotossinteticamente ativa), piranômetro (radiação solar) e fotômetro (luminosidade). As imagens termográficas foram obtidas e posteriormente analisadas no software. Os dados coletados foram submetidos à análise fatorial múltipla. Foi observada correlação linear positiva entre a termografia e as variáveis de temperatura, os índices de conforto térmico e a radiação. Foi observada correlação linear positiva e forte entre a termografia e as seguintes variáveis: medidas de temperatura (0,854), índices de conforto térmico (0,778) e radiação (0,768). A termografia por infravermelho mostrou-se um potencial preditor das variáveis do microclima e do conforto térmico ambiental.

Palavras chave: Árvore; Estresse térmico; Radiação

INFRARED THERMOGRAPHY TO EVALUATION OF THERMAL COMFORT

ABSTRACT: The supply of natural shadow is one of the most efficient practices in the microclimate modification to provide a comfortable ambient. Thermography Infrared appears as a potential methodology to measure the microclimate and its effect on the thermal comfort, for being a non-invasive method and practical use. The objective of to evaluate the use of infrared thermography as method for the diagnosis the thermal comfort afforded by arboreal species. The experiment was conducted at Embrapa Beef Cattle in Campo Grande, state of Mato Grosso do Sul, from June to August 2015. Were evaluated the microclimate provided by four native species of Brazilian Cerrado. The evaluations were conducted from 8:00 a.m. to 4:00 p.m., local time (GMT -4:00), with one-hour intervals, recording the microclimate parameters: air temperature, dew-point temperature, black globe temperature, relative humidity and wind speed, the sun and shade. Subsequently, the thermal comfort indices, temperature and humidity index, the black globe temperature and humidity index and radiant thermal load were calculated. The configuration of the shadow was evaluated in the same months. Radiation was measured by quantum sensors (photosynthetically active radiation), pyranometer (solar radiation) and photometro (luminosity). Thermographic images were obtained and later analyzed using the appropriate software. The data collected were submitted to multiple factor analysis. Positive linear correlation between the thermal imaging and the following variables: temperature measurements (0.854), thermal comfort indices (0.778) and radiation (0.768) was observed. Thus, one can conclude that the infrared thermography is a potential predictor of microclimate variables and thermal comfort.

Keywords: Radiation; Thermal stress; Tree

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1.	Importância da oferta de sombra nos sistemas produtivos	3
2.1.1	Arborização de pastagens	5
2.2.	Conforto térmico animal	6
2.2.1	Índices de conforto térmico.....	7
2.3.	Termografia por infravermelho.....	9
CAPÍTULO 1 – TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DETERMINAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO		14
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		29
APÊNDICES.....		34

1. INTRODUÇÃO

As altas temperaturas registradas em regiões tropicais podem constituir fatores restritivos à produção animal, principalmente em sistemas à pasto. De fato, o estresse térmico pode ocasionar problemas no desenvolvimento do animal e na reprodução, além de perdas na produção de carne e leite e diminuição de seu bem-estar.

O território brasileiro, em sua maioria, situa-se na faixa intertropical, onde predominam altas temperaturas do ar, consequência da elevada radiação solar incidente. Considerando esse fato, as árvores, por interceptarem grande quantidade de radiação e realizarem evapotranspiração, proporcionam maior conforto térmico, de acordo com sua capacidade modificadora do microclima. Esta capacidade está relacionada a algumas características inerentes a cada espécie, como porte, forma da copa, cor e tipo de folha, dentre outras.

A oferta de sombra, principalmente em regiões quentes, constitui uma das práticas mais eficientes para se reduzir os efeitos adversos do clima, sendo que as árvores (sombra natural) representam os melhores e mais econômicos meios de proteção dos animais em campo aberto. Manter ou aumentar a presença de árvores em pastagens, principalmente com a implantação de sistemas que prevejam a inserção planejada de árvores, como os sistemas em integração, representa uma opção importante para melhorar a produtividade e a sustentabilidade da exploração pecuária nos trópicos.

Nesse contexto, acrescentam-se as preocupações do mercado consumidor sobre conforto e bem-estar animal, o que influencia para que os sistemas de produção atendam a tais exigências. A necessidade de adequar o sistema produtivo aos padrões de bem-estar e conforto animal tem levado produtores a buscarem técnicas que possibilitem essa adequação. Dessa forma, o estudo de métodos que permitam estimar o quão estressante para o animal o ambiente, tem se tornado cada vez mais importante.

Existem diferentes técnicas e ferramentas com distintos custos, precisões e usabilidades que buscam caracterizar o ambiente térmico. A termografia por infravermelho, que já tem sido amplamente utilizada em estudos com edificações para o conforto térmico humano. Tem se destacado como uma ferramenta capaz

de realizar uma avaliação térmica do ambiente rural e, por conseguinte, inferir sobre o conforto térmico animal. Esta tecnologia tem um extenso campo de aplicação, por ser acessível, não-invasivo, fácil de manejar e facilitar o diagnóstico térmico.

A hipótese levantada é que a termografia constitui uma técnica apropriada para avaliação do ambiente, mais precisamente do microclima proporcionado por diferentes espécies arbóreas. O objetivo foi geral avaliar o uso da termografia por infravermelho como ferramenta para o diagnóstico do conforto térmico proporcionado por espécies arbóreas, mais especificamente mensurar o microclima e sombreamento proporcionado por espécies nativas do Cerrado brasileiro no inverno (seca), para posterior comparação com imagens termográficas por infravermelho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O desempenho produtivo de bovinos em pastagens de regiões tropicais está relacionado, muitas vezes, as condições climáticas as quais os animais são submetidos, principalmente à alta umidade relativa, temperatura do ar elevada e radiação solar intensa (COLLIER *et al.*, 1982; ALVES, 2012). Temperaturas ambientais fora da faixa adequada para cada espécie podem acarretar prejuízos na produção em bovinos (DA COSTA PINHEIRO *et al.*, 2015; CATTELAM e VALE, 2013) bem como na reprodução (COSTA e SILVA *et al.*, 2010).

Em situação de desconforto térmico, como consequência, há alterações de comportamento nos animais (BROOKS e KYKER-SNOWMAN, 2007), como por exemplo, em seus ciclos pré-determinados diários de pastejar, beber, ruminar e descansar sempre nos mesmos horários (CURTIS, 1983), sobretudo em climas quentes (HIRATA *et al.*, 2008).

Diante disso, estratégias que sejam capazes de mitigar os efeitos do estresse térmico sobre a produtividade animal são empregadas com a finalidade de proporcionar aos animais um ambiente confortável. O uso destas é fundamental em regiões tropicais, dentre as quais se tem: 1) uso de animal adaptado; 2) fornecimento de sombra natural ou artificial; 3) aumento da densidade energética da dieta. Dessas três estratégias, as duas primeiras têm destaque nos sistemas de produção à pasto de ruminantes, a terceira tem sua utilização voltada para monogástricos e vacas leiteiras confinadas (RICCI *et al.*, 2013).

2.1. Importância da oferta de sombra nos sistemas produtivos

A presença da sombra natural tem se mostrado eficiente na melhoria das condições térmicas em escala microclimática (ABREU e LABAKI, 2010). A sombra tem a capacidade de bloquear a radiação solar direta e parte da radiação difusa e refletida (BUFFINGTON *et al.*, 1983). Em pastagens, os bovinos buscam a sombra quando as condições ambientais estão em desconforto a eles

(KAZAMA *et al.*, 2008). Uma sombra adequada auxilia na manutenção da produtividade animal, diminuindo a carga de calor radiante.

Levando em consideração esta melhoria, Abreu e Labaki (2010) avaliaram o efeito de três espécies arbóreas no conforto térmico urbano e corroboraram que todas as espécies estudadas proporcionaram melhor sensação de conforto térmico à sombra da copa das árvores. Martini *et al.* (2014), também em ambiente urbano, avaliando a percepção que a população de Curitiba (Paraná) tem com relação ao conforto térmico proporcionado pelas árvores presentes nas vias, constataram que a população da cidade percebe a diferença entre as ruas arborizadas e não arborizadas por sensações de conforto térmico. Fiori (2001), estudando cinco espécies de árvores em áreas urbanas de Campinas (São Paulo), evidenciou que todas reduzem significativamente os efeitos da radiação solar e oferecem conforto térmico, sendo que a espécie sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) chegou a bloquear até 88,5% da radiação solar.

No entanto, seu benefício pode ser limitado particularmente se o espaço for restrito e/ou se o bovino for adaptado às condições ambientais (KAZAMA *et al.*, 2008). Já o estresse pelo calor, afeta a fertilidade do rebanho reduzindo a taxa de parição e peso ao nascer dos bezerros (CARVALHO, 1998).

A simples presença de sombra pode, eventualmente, modificar o comportamento dos animais, como por exemplo, o padrão de dispersão de fezes e as interações agonísticas (ameaças, cabeçadas, empurrões) apresentadas frente a recursos limitados (sombra, água, alimento, espaço) (MICZEK *et al.*, 2007), tornando-os mais agressivos devido a competição por estes recursos. Isto porque os bovinos são animais sociais, por conseguinte, apresentam tanto comportamentos agonísticos como afiliativos (ARAVE e ALBRIGHT, 1981; VAL-LAILLET *et al.*, 2008), que são manifestos em dependência do contexto e de estados motivacionais particulares. Nessas condições, grupos grandes tendem a se dividir, em dependência de fatores como a quantidade e qualidade de recursos (PHILLIPS e RIND, 2002). Assim, os animais dominantes ficam em situações favoráveis, acessando recursos disponíveis, como por exemplo, a sombra.

Os bovinos podem identificar pequenas alterações climáticas e contornarem determinadas situações modificando seu comportamento, como permanecer a sombra em temperaturas mais elevadas, visando maior proteção

contra a radiação solar, quando o microclima local está em desconforto (SHÜTZ *et al.*, 2009). Procurando avaliar os efeitos da presença ou ausência de sombra sobre o comportamento de animais confinados, Marques *et al.* (2006), verificaram que o ambiente teve influência sobre o comportamento ingestivo e que a presença de sombra proporcionou conforto térmico para os animais.

Contudo, quando em desconforto térmico, os animais ativam mecanismos termorregulatórios e o acionamento destes mecanismos acarretam reflexos negativos às funções produtivas, à saúde, e ao bem-estar animal. Quando submetidos a variações climáticas, acima da capacidade de manutenção da sua homeotermia, os animais podem apresentar crescimento retardado, alterações hormonais e respiratórias, falta de apetite, perda de peso, entre outros (MORAIS *et al.*, 2014). Segundo Silva (2000), o provimento de sombra para os animais está ligado diretamente ao aumento de produtividade animal, ou seja, ao provimento das condições de conforto necessárias para a expressão de seu potencial genético.

2.1.1 Arborização de pastagens

As árvores, no meio rural, contribuem para proporcionar o conforto térmico em instalações de animais, abrigo para o gado, aves ou outros animais, com produtos madeireiros e não madeireiros, barreira contra ventos, produção de matéria orgânica, sequestro de carbono, fixação biológica de nitrogênio, beleza cênica, controle da erosão, entre outros. A relevância de estudos relacionados à arborização de pastagens está ligada diretamente ao aumento de produtividade, ou seja, fornecer ao animal as condições de conforto necessárias para a expressão de seu potencial genético (GUISELINI *et al.*, 1999). Várias são as espécies de árvores potenciais para sistemas agroflorestais, Pott e Pott (2003) sugerem 116 espécies nativas para este uso no estado do Mato Grosso do Sul. Já Porfírio-da-Silva *et al.* (2009) citam eucaliptos (*Eucalyptus* spp), grevilea (*Grevillea robusta*), pínus (*Pinus* spp), paricá, pinho cuiabano (*Schyzolobium amazonicum*), mogno africano (*Khaya ivorensis*), cedro australiano (*Toona*

ciliata) e canafístula (*Pelthophorum dubium*) como exemplos de espécies lenhosas utilizadas em arborização de pastagens no Brasil.

A presença de árvores em sistemas pecuários é capaz de proporcionar um microclima favorável aos animais em pastagens, principalmente devido à evapotranspiração (VELASCO *et al.*, 2011) e influencia na distribuição dos animais nos piquetes (SOUZA *et al.*, 2010). As árvores atuam também como redutoras da temperatura do ar, ao absorver a energia radiante utilizada no processo de fotossíntese, o que não ocorre com grande parte das estruturas artificiais (FERREIRA *et al.*, 2014). Avaliando o microclima de uma pastagem arborizada, Baliscai *et al.* (2013) observaram que a presença de árvores reduziu a temperatura e a velocidade do vento, tornando o sistema mais confortável termicamente e atenuou as diferenças climáticas entre as estações (verão e inverno). Segundo Shams *et al.* (2009), as árvores são eficientes na redução da temperatura no seu entorno, proporcionam conforto térmico por diminuir as amplitudes térmicas, reduzem a incidência de radiação direta e atuam na redução da velocidade dos ventos, assim, exercem um importante papel na melhoria da condição ambiental.

De acordo com Karvatte Júnior *et al.* (2016), a presença de árvores proporciona melhores condições microclimáticas e conforto térmico aos animais em pastagens, por reduzir os índices de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR).

2.2. Conforto térmico animal

O conforto térmico tem-se quando o animal se encontra em um ambiente de equilíbrio térmico. Nessa situação, o calor que o organismo do animal produz, mais o que ele ganha do ambiente é igual ao calor perdido por intermédio da condução, da radiação, da convecção, da evaporação e do calor contido nas substâncias corporais eliminadas, sem que haja dispêndio energético (TAKAHASHI *et al.*, 2009). Segundo Baccari Junior (2001), há limites de temperatura nos quais os animais encontram-se na “zona de conforto térmico” (ZCT), onde mantém a homeotermia com o mínimo de esforço do sistema

termorregulador, não havendo sensação de frio ou calor sendo que quando a temperatura ambiente ultrapassa estes limites, os animais passam a sofrer estresse térmico. O limite de temperatura ideal para os animais depende da espécie, peso, raça, idade, dentre outros fatores. Segundo Silva (2000) os zebuínos, por exemplo, tem sua ZCT compreendida entre 7 e 35 °C.

Quando submetido à situação de estresse por calor os animais podem apresentar vasodilatação, sudação, aceleração do ritmo respiratório, diminuição do apetite, acamamento dos pelos e redução do metabolismo (TAKAHASHI *et al.*, 2009). Para caracterizar o ambiente térmico são mensurados aspectos do microclima tais como: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (SILVA, 2012). De acordo com Pires e Campos (2008), os efeitos destas variáveis afetam os animais de forma direta e/ou indireta, influenciando na produtividade.

A incidência de radiação solar direta constitui um fator estressante, sobretudo no verão, o que acarreta maior carga de calor radiante sobre os animais (BACCARI JUNIOR, 2001). Temperatura do ar entre 13 e 18 °C e umidade relativa entre 60 e 70% correspondem às condições nas quais a maioria dos animais não tem dispêndio de energia para manter a homeotermia. (SILVA, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2014). A presença do vento influencia diretamente no bem-estar do animal, uma vez que, retira a umidade do ar, sendo capazes de intervir na transferência de calor por convecção. (TAKAHASHI *et al.*, 2009).

2.2.1 Índices de conforto térmico

Os índices de conforto térmico podem descrever os efeitos do ambiente sobre a habilidade dos animais em dissipar calor (SILVA *et al.*, 2009), apresentando em uma única variável, tanto os fenômenos meteorológicos (temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar) como o desconforto que tal ambiente possa estar causando no momento (MARTELLO *et al.*, 2004).

Os mais conhecidos e utilizados são os índices de temperatura e umidade (ITU), proposto por Thom (1959); índice de temperatura de globo negro e

umidade (ITGU), de Buffington *et al.* (1981) e a carga térmica de radiação (CTR), de Esmay (1979).

Os valores de ITU são calculados a partir dos efeitos combinados da temperatura do ar e da umidade relativa, este índice é expresso em termos adimensionais. Segundo Lima *et al.* (2007), para animais de produção os valores de ITU ≤ 75 caracterizam situação sem estresse por calor; em alerta, de 75 a 78; de perigo, de 79 a 83; e de emergência ≥ 84 .

O ITU pode ser obtido pela seguinte equação de acordo com Thom (1959):

$$\text{ITU} = t_a + 0,36t_{po} + 41,5$$

em que:

t_a = temperatura do ar (°C);

t_{po} = temperatura de ponto de orvalho (°C).

Para animais criados a pasto, Buffington *et al.* (1981) desenvolveram o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), que considera a temperatura do globo negro e a temperatura do ponto de orvalho. Segundo os autores, é um indicador de conforto ambiental mais acurado que o ITU, uma vez que, a temperatura de globo negro é uma maneira de indicar os efeitos combinados da radiação, do vento e sua influência no organismo vivo. Para bovinos, valores de ITGU de 79 a 84 caracterizam uma situação perigosa, e acima de 84, emergência (BAÊTA e SOUZA, 2010).

O ITGU (BUFFINGTON *et al.*, 1981) é estimado conforme a seguinte equação:

$$\text{ITGU} = t_{gn} + 0,36t_{po} + 41,5$$

em que:

t_{gn} - temperatura de globo negro, °C;

t_{po} - temperatura do ponto de orvalho, °C.

A CTR representa a quantidade total de energia térmica trocada por um indivíduo através de radiação com o meio ambiente. Este índice fornece uma estimativa dos efeitos combinados da energia térmica radiante presente no ambiente em todas as direções possíveis, da temperatura do ar e da velocidade

do vento, o que origina uma medida do conforto térmico, sem englobar as trocas térmicas por evaporação entre o corpo e o meio circundante (BAËTA e SOUZA, 2010). A CTR é determinada pela seguinte equação, proposta por Esmay (1979):

$$CTR = \epsilon (TRM)^4$$

em que:

CTR – Carga Térmica de Radiação, Wm^{-2} ;

ϵ - constante de Stefan-Boltzmann $5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$;

TRM – temperatura radiante média, K.

$$TRM = 100 \sqrt[4]{(2,51 \sqrt{Vv}(Tgn - Ta) + \left(\frac{Tgn}{100}\right)^4)}$$

em que:

Vv -velocidade do vento, $m s^{-1}$;

tgn - temperatura de globo negro, K;

ta - temperatura do ar, K.

2.3. Termografia por infravermelho

Existem diferentes metodologias e ferramentas com distintos custos, precisões e usabilidades disponíveis para qualificar e quantificar a influência das árvores sobre o conforto térmico humano e animal. Dentre estas, as mais utilizadas são as que fazem uso de indicadores fisiológicos de estresse térmico, apesar de gerarem estresse adicional devido à manipulação do indivíduo, o que pode comprometer os resultados (STEWART *et al.*, 2005). Diversos estudos realizados na avaliação de fluxo de calor em ambientes construídos, através do uso da termografia por infravermelho (TIV), mostraram que esta ferramenta foi capaz de gerar dados precisos e seguros sobre a condição térmica das construções e dos materiais estudados (BALARAS e ARGIRIOU, 2002; CLARK *et al.*, 2003; OCAÑA, *et al.*, 2004; BARREIRA e DE FREITAS, 2007; ALBATICI e TONELLI, 2010; FOKAIDES *et al.*, 2016). Desse modo, o uso da TIV para

avaliações de conforto térmico em ambientes construídos apontou uma direção também para seu uso na avaliação de ambientes rurais.

A TIV constitui um método não-invasivo que permite ao usuário o acesso a informações das temperaturas através de cores visíveis, que possibilita identificar e mensurar a energia térmica emitida por corpos e superfícies. Esta energia é invisível ao olho humano por estar dentro da faixa de comprimento de onda infravermelho. Desse modo, a câmera termográfica tem como função identificar a energia térmica emitida pela superfície analisada, transformando-a em uma imagem visível ao olho humano (ALTOÉ e OLIVEIRA FILHO, 2012).

O princípio do funcionamento da câmera termográfica consiste no fato de que o corpo, cuja temperatura é superior a zero absoluto, emite radiação térmica dentro do comprimento de onda de 760 nm a 1 mm. Os termovisores da câmera de infravermelho permitem que a energia de radiação seja convertida em sinal elétrico. Esse sinal é transformado e convertido para a forma digital, os valores obtidos representam as temperaturas de pontos particulares na matriz da imagem. As cores da paleta são então atribuídas a esses pontos (pixels). Desta forma, um termograma de cor (fig.1, vide apêndice) é constituído e representa um mapa de distribuição de temperatura do objeto estudado. Uma vez que a quantidade de energia liberada pelos organismos é uma função da sua temperatura, os termogramas são representações quantitativas da temperatura da superfície dos objetos (KULESZA *et al.*, 2004).

As câmeras por infravermelho têm como desvantagem o custo elevado, sendo necessário um elevado investimento para sua aquisição. Sua tecnologia permite tomar medidas em tempo real, além disso, o equipamento é portátil, leve, de fácil manuseio, apresenta grande precisão e sensibilidade em seus sensores e tem capacidade para armazenar grandes quantidades de dados. O software da câmera permite a análise de dados de temperatura em qualquer área do termograma (GODYN *et al.*, 2013).

Esta ferramenta vem assumindo, em nível experimental, papel cada vez mais relevante como método apropriado em análises nos mais diversos segmentos (ROBERTO e DE SOUZA, 2014). No quadro 1 estão relacionados exemplos de estudos e segmentos em que a TIV tem sido utilizada.

Quadro 1 Diferentes aplicações da termografia por infravermelho em diversos segmentos de pesquisa.

Autores	Ano	Estudo	Segmento
BALARAS e ARGIRIOU	2002	Inspeção de edifícios identificando problemas com as instalações elétricas e mecânicas.	Engenharia preventiva
CATENA e CATENA	2008	Identificação de alteração nas funções fisiológicas de espécies arbóreas e suas correlações com prováveis doenças.	Silvicultura
MONTANHOLI <i>et al.</i>	2008	Estudo da produção de calor, produção de metano e detecção de eventos fisiológicos em gado leiteiro.	Produção animal
KORUKÇU e KILIC	2009	Determinação da distribuição da temperatura das superfícies dentro de um automóvel e o desconforto térmico causado por essas superfícies.	Conforto térmico humano
HILDEBRANDT <i>et al.</i>	2010	Auxílio no diagnóstico de lesões traumáticas nos joelhos.	Medicina desportiva
ALTOÉ e OLIVEIRA FILHO	2012	Monitoramento através de inspeções preventivas e corretivas de edifícios.	Engenharia civil
ZHANG <i>et al.</i>	2012	Monitoramento da variação de temperatura de transmissores de energia utilizados em dispositivos explosivos elétricos.	Indústria militar
COSTA <i>et al.</i>	2013	Aplicações no estudo de interações planta-ambiente, tais como: funcionamento dos estômatos, tolerância ao estresse térmico e dinâmica da água na planta.	Fisiologia vegetal
COLTURATO <i>et al.</i>	2013	Reconhecimento de padrões para monitoramento da sanidade na cultura do pinus.	Produção vegetal
NOGUEIRA <i>et al.</i>	2013	Diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelhas deslanadas.	Medicina veterinária
ANDRADE <i>et al.</i>	2015	Melhoria nos processos de manutenção preditiva em sistemas elétricos e auxílio na tomada de decisão.	Engenharia elétrica
RUEDIGER <i>et al.</i>	2015	Avaliação da temperatura da superfície do escroto de touros nelore e sua influência na qualidade do sêmen.	Produção animal
NOGUEIRA <i>et al.</i>	2015	Auxílio na tomada de decisão em cirurgias plásticas, com avaliação de pedículos, viabilidade tecidual, infecção de feridas, dentre outros.	Medicina humana
LAHIRI <i>et al.</i>	2015	Avaliação do aumento da temperatura da pele devido à absorção de energia de rádio frequência (RF) a partir de telefones celulares portáteis.	Bem-estar humano
CROITORU <i>et al.</i>	2015	Avaliação de conforto térmico em edifícios e espaços veiculares.	Conforto térmico humano
BIDINOTTO <i>et al.</i>	2016	Estudo dos fluxos aerodinâmicos para determinar a transição da camada limite de laminar a turbulento.	Indústria aeronáutica

Cardoso *et al.* (2015), avaliando a tolerância ao calor de cinco raças zebuínas no Cerrado brasileiro, na época da seca, demonstraram que houve alta correlação da TIV com os índices fisiológicos, especialmente com a temperatura retal. Axila, pescoço e olhos foram os principais pontos para o registro das temperaturas.

As câmeras de infravermelho podem dar uma indicação do conforto térmico de um animal com base numa região de referência do corpo em particular. Por exemplo, Andersen *et al.* (2008) determinaram que a temperatura da orelha de suínos é um indicador de conforto térmico. Shao e Xin (2008) demonstraram o uso da TIV em um sistema de monitoramento automatizado que, em tempo real, classifica o estado de conforto térmico de suínos alojados em grupo. Sevegnani *et al.* (2016), avaliando a resposta termorregulatória de búfalas leiteiras utilizando a TIV, concluíram que altas temperaturas influenciam diretamente no aumento da temperatura da superfície da pele dos animais e que essa medida é o melhor indicador de conforto térmico em detrimento a frequência respiratória. Também avaliando resposta termorregulatória, só que em cavalos em treinamento, De Moura *et al.* (2011) corroboraram que a TIV determinou com precisão a temperatura de superfície corporal, sendo possível inferir sobre a termorregulação. Já Roberto *et al.* (2014) estudando respostas fisiológicas e os gradientes térmicos de cabras no semiárido brasileiro, usando a TIV, puderam mensurar o quão estressante o ambiente se encontrava e observaram que o período da tarde é o mais crítico para os animais, mesmo em condições de confinamento. A TIV, segundo Ruediger *et al.* (2015) é uma ferramenta indicada como exame complementar na avaliação reprodutiva de touros nelore. Avaliando a resposta de diferentes grupos genéticos de cordeiros com relação às condições climáticas, Do Prado Paim *et al.* (2013) afirmaram que a TIV foi capaz de detectar diferentes respostas dos animais ao ambiente térmico, permitindo diferenciá-los entre grupos genéticos. Estudando a utilizando a TIV na avaliação de árvores, Catena e Catena (2008) afirmam que é um meio de detectar as anomalias na integridade física das árvores e nas suas funções fisiológicas, em fases iniciais, permitindo inferir sobre a sanidade e auxiliando na tomada de decisão.

Nesse contexto, o uso da TIV surge como alternativa para precisar o impacto dos fatores ambientais na produção animal, auxiliando na tomada de decisão, na saúde e no bem-estar animal (ROBERTO *et al.*, 2014)

CAPÍTULO 1 – TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DETERMINAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Artigo a ser submetido ao Periódico International Journal of Biometeorology, Qualis B1 na Área Zootecnia/Recursos Pesqueiros.

TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO PARA MONITORAMENTO DO AMBIENTE E DETERMINAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Camilla Diniz Barreto • Fabiana Villa Alves • Carlos Eduardo Crispim de Oliveira Ramos • Meiby Carneiro de Paula Leite • Laudí Cunha Leite • Nivaldo Karvatte Junior

Resumo Esse trabalho teve como objetivo avaliar o uso da termografia por infravermelho como ferramenta para o diagnóstico do conforto térmico proporcionado por espécies arbóreas. O experimento foi conduzido na Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande-MS, de junho a agosto de 2015. Foram avaliados o microclima proporcionado por 4 espécies arbóreas nativas do Cerrado brasileiro. As avaliações foram realizadas entre 08h00 e 16h00, hora local (GMT -4:00), em dias consecutivos, em intervalos de uma hora. Foram registrados os dados dos seguintes parâmetros microclimáticos: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, temperatura de globo negro, umidade relativa do ar e velocidade do vento, ao sol e à sombra. Posteriormente, os índices de conforto térmico, temperatura e umidade, índice de temperatura de globo negro e umidade e a carga térmica de radiação, foram calculados. As configurações geométricas das sombras ofertadas pelas espécies foram avaliadas para os mesmos meses. A radiação foi mensurada através de sensores quantum (radiação fotossinteticamente ativa), piranômetro (radiação solar) e fotômetro (luminosidade). As imagens termográficas foram obtidas e posteriormente analisadas no software apropriado. Os dados coletados foram submetidos à análise fatorial múltipla. Foi observada correlação linear positiva e forte entre a termografia e as seguintes variáveis: medidas de temperatura (0,854), índices de conforto térmico (0,778) e radiação (0,768). A termografia por infravermelho mostrou-se um potencial preditor das variáveis do microclima e do conforto térmico ambiental.

Palavras-chave análise fatorial múltipla ambiência, árvores, imagem térmica, microclima,

C. D Barreto (Autor correspondente)
Mestre em Ciência Animal, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB, Cruz das Almas, Bahia,
Brasil
e-mail: camilladinizagro@gmail.com, telefone: +55 (67) 3368-2154, fax: +55 (67)3368-2090.

F. V. Alves,
Pesquisadora, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

C. E. C. O. Ramos
Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB,
Cruz das Almas, Bahia, Brasil

M. C. P. Leite
Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB,
Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

L. C. Leite
Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, UFRB,
Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

N. Karvatte Junior
Mestre em Zootecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon,
Paraná, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho produtivo de bovinos em pastagens de regiões tropicais está relacionado, muitas vezes, as condições climáticas as quais os animais são submetidos, principalmente à alta umidade relativa, temperatura do ar elevada e radiação solar intensa (Collier et al. 1982; Alves 2012). Temperaturas ambientais fora da faixa adequada para cada espécie podem acarretar prejuízos na produção de bovinos (Da Costa Pinheiro et al. 2015; Cattelan e Vale 2013) bem como na reprodução (Costa e Silva et al. 2010). A arborização é uma das alternativas utilizadas para proporcionar um ambiente termicamente mais confortável, tanto a humanos quanto aos animais, uma vez que modifica o microclima circunstante, devido à evapotranspiração (Labaki et al. 2013). As árvores também atuam como redutoras da temperatura do ar, ao bloquear fisicamente a radiação solar e absorver a energia radiante durante o processo de fotossíntese (Abreu-Harbich et al. 2015).

Existem diferentes metodologias e ferramentas com distintos custos, precisões e usabilidades disponíveis para qualificar e quantificar a influência das árvores sobre o conforto térmico humano e animal. Dentre estas, as mais

utilizadas são as que fazem uso de indicadores fisiológicos de estresse térmico, apesar de gerarem estresse adicional devido à manipulação do indivíduo, o que pode comprometer os resultados (Stewart et al. 2005).

Nesse contexto, métodos não-invasivos, de rápida e fácil obtenção dos dados, como a termografia por infravermelho (TIV), trazem novas oportunidades para pesquisas em diversas áreas científicas, além das já comumente estudadas. Assim, pretende-se avaliar o potencial de caracterização do ambiente e conforto térmico utilizando imagens termográficas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Local de avaliação, espécies e período

O projeto foi conduzido em Campo Grande – MS, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, no Centro Nacional de Pesquisa em Gado de Corte – CNPGC, que está situada a 20°27' de latitude sul, 54°37' de longitude oeste e 530 m de altitude. As avaliações foram realizadas mensalmente, nos meses de junho, julho e agosto (época da seca), das 8h00 às 16h00 (horário local, GMT -04h00), em intervalos de uma hora. No período avaliado a temperatura média foi de 22,2°C, a umidade relativa média 69% e precipitação de 43,7 milímetros.

As espécies e exemplares de *Gochnatia polymorpha* (Cambará), *Dipteryx alata* Vogel (Cumbaru), *Qualea grandiflora* Mart. (Pau-terra) e *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (Jatobá-do-cerrado) foram escolhidas por serem árvores nativas do Cerrado brasileiro, apresentarem características representativas das espécies, por estarem isoladas e localizadas em áreas acessíveis e adequadas para correta coleta de dados. Foram avaliados quatro exemplares de Cambará, quatro exemplares de Cumbaru, um exemplar de Jatobá-do-cerrado e um exemplar de Pau-terra.

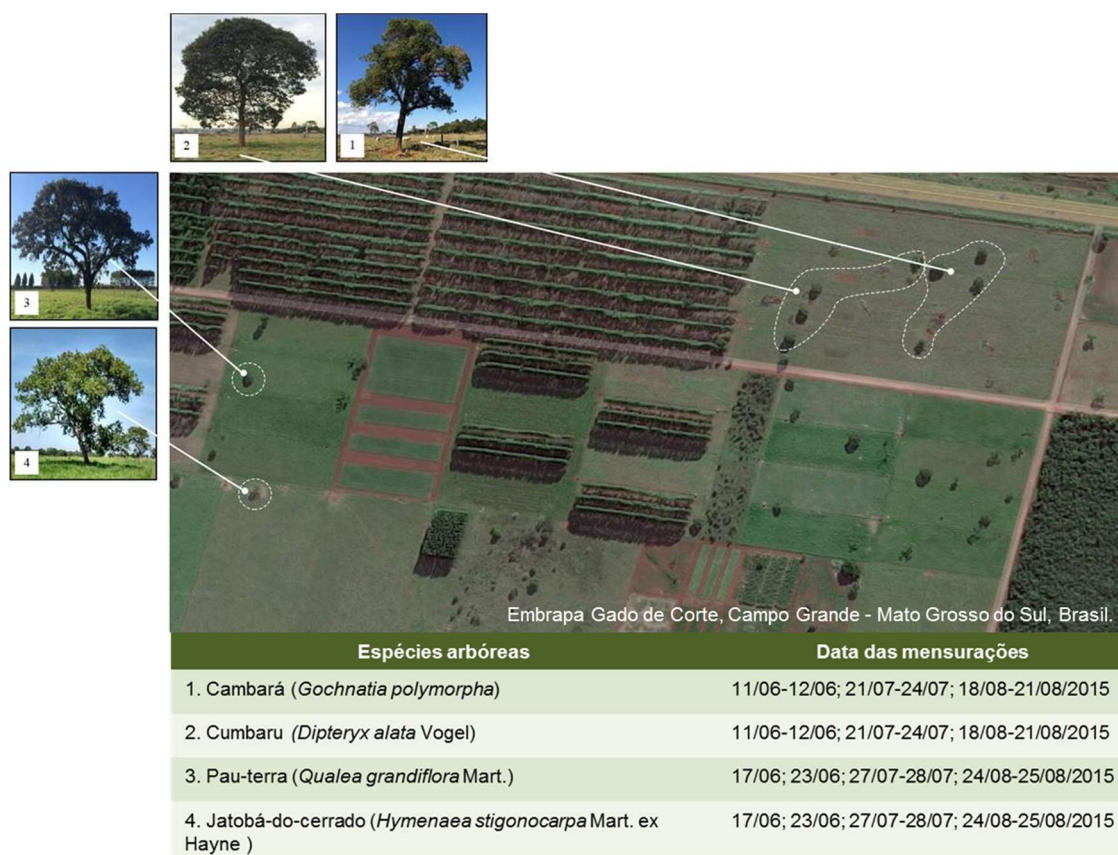


Fig. 1 Local das avaliações, espécies e datas das mensurações

Configuração de sombra

Foi determinada utilizando a metodologia proposta por Silva (2006), baseada no formato geométrico da copa de cada espécie. Todas as espécies estudadas apresentaram formato geométrico de copa do tipo esférico ou globoso. Foram mensuradas a altura total (H), altura de tronco (Y) e o comprimento da copa (CC), com clinômetro digital, e diâmetro da copa (DC) com fita métrica. Com estas informações, foram calculadas: área de sombra (A_s), comprimento de sombra (C) e distância da sombra em relação ao caule (S).

Termografia por infravermelho

Para cada exemplar avaliado, de hora em hora, foram determinadas a temperatura da copa (TIV_{copa} ; °C), temperatura da superfície do solo sombreada (TIV_{sombra} ; °C) e temperatura da superfície do solo a pleno sol (TIV_{sup} ; °C). Para tal, utilizou-se termovisor Testo, modelo 875i 2i (Testo thermal imager), com emissividade regulada a 0,95, posicionado à altura dos olhos do avaliador, perpendicular ao foco avaliado em ângulo de 90 graus. As imagens devem ser feitas a uma distância das árvores que permita que a mesma esteja inteira enquadrada na imagem. O fator de emissividade escolhido foi 0,95 determinado segundo Incropera e Dewitt (2003), para uso em vegetação.

As imagens foram processadas por meio do software IRSoft Texto. No software, após selecionar e abrir a imagem a ser avaliada, foram utilizados os comandos “cold spot” e “hot spot”, para obter a menor e a maior temperatura, respectivamente, em uma área delimitada da imagem. Com essas ferramentas, pode-se escolher de que forma selecionar a área da imagem a ser analisada. Para delimitar a área da imagem para obtenção de dados na copa e na sombra foi usada a opção “forma livre”; para o solo exposto ao sol, utilizou-se a forma “retângulo”. Tanto para obtenção da temperatura máxima quanto da mínima, foram selecionadas as mesmas áreas.

Avaliações microclimáticas

Para a determinação da temperatura do ar (T_a ; °C), umidade relativa do ar (UR; %) e temperatura do ponto de orvalho (T_{po} ; °C), foram utilizados termohigrômetros digitais com datalogger (marca Instrutherm, modelo HT-500), inseridos em canos de PVC perfurados (Trumbo et al. 2012). Para a mensuração da temperatura de globo negro (T_{gn} ; °C), utilizando-se termohigrômetros digitais com datalogger (marca Instrutherm, modelo HT-500) inseridos em globos negros adaptados (Souza et al. 2002). A velocidade do vento (V_v ; m/s-1) foi obtida por

anemômetro digital portátil (marca Homis, modelo HMM 489), com os sensores dos aparelhos voltados para a direção de ocorrência do vento.

Os equipamentos foram alocados sob as copas das árvores, a 1,3 m do solo, e deslocados horizontalmente conforme a projeção da sombra e variação do ângulo zenital.

Radiação solar

Foram determinadas a radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), radiação solar total (W m^{-2}) e luminosidade (lux), em 4 pontos, sendo dois pontos sob a sombra e dois pontos a pleno sol, conforme a inclinação solar. Utilizou-se espectralradiômetro com datalogger, dotado de sensores do tipo quantum, piranômetro e photômetro (marca Li-Cor, modelo Li-1400). Os sensores foram mantidos paralelos ao solo, nivelados igualmente, a 1,3 m, e direcionados no sentido do sol.

Índices de conforto térmico

Para a caracterização do ambiente térmico, foram calculados os índices de conforto térmico para cada horário, local (sombra e sol), dia e mês de avaliação. O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) foi determinado de acordo com Thom (1959). O Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) conforme Buffington et al. (1981). Para determinar a Carga Térmica de Radiação (CTR), foi utilizada a metodologia proposta por Esmay (1979).

Análise estatística

Foi utilizada a técnica da análise fatorial múltipla (AFM), que sintetiza grandes conjuntos de dados e analisa a estrutura de um conjunto de variáveis inter-relacionadas (Tabachnick e Fidell, 2007). Na AFM é possível identificar associações entre as variáveis observacionais, a fim de definir um fator comum entre elas, o que contribui, decisivamente, para facilitar a interpretação dos dados (Rodrigues, 2002). Na AFM, as variáveis são agrupadas de acordo com as correlações existentes entre elas, ou seja, as variáveis que compõem um determinado fator devem ser altamente correlacionadas entre si e fracamente correlacionadas com as variáveis que fazem parte do outro fator (Johnson e Wichern, 1992). Estes fatores representam as dimensões latentes que explicam o conjunto de variáveis originais (Hair et al. 2006). A AFM permite enriquecer o trabalho por tornar possível mensurar fenômenos que não podem ser diretamente observados (Figueiredo Filho e Silva Júnior, 2010).

Foi utilizado o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS 18.0) para análise dos dados. Os dados foram categorizados e divididos em cinco grupos temáticos: 1) Índices (ITU, ITGU e CTR); 2) Medidas de temperatura (Ta, Tgn e Tpo); 3) Radiação (qt, pnm e ftm); 4) Termografia (TIVsup, TIVcopa e TIVsombra); 5) Configuração de sombra (As, C e S).

3. RESULTADOS

Os resultados foram explicados, principalmente, por três dimensões analíticas que em conjunto explicam 72,37% da variância. As variáveis correspondentes aos índices de conforto térmico, bem como Ta e a Tgn, termografia e radiação tiveram maior importância para discriminar a dimensão 1, que respondeu por 42,44% da variância explicada. Já a dimensão 2 é discriminada, principalmente, pelas variáveis de configuração da sombra, respondendo por 16,67% da variância. Por fim, a dimensão 3 foi discriminada, majoritariamente pela Tpo, respondendo por 13,26% da variância.

Na figura 1, pode-se observar que as dimensões 1 e 2 são ortogonais, mostrando a separação entre as variáveis térmicas (eixo das abcissas) e a configuração da sombra das espécies avaliadas (eixo das ordenadas). Na dimensão 1, todas as discriminantes guardam uma correlação positiva e linear com a dimensão e entre si, evidenciada pelos ângulos agudos formados entre elas.

Na dimensão 2 as discriminantes de configuração da sombra formam ângulos agudos entre si, evidenciando a relação positiva entre elas. A discriminante comprimento de sombra (C) é a que apresenta maior peso dentro da dimensão 2 por estar mais distante do ponto de origem na figura. As variáveis plotadas no eixo das ordenadas se comportam de maneira independente às variáveis presentes no eixo das abcissas.

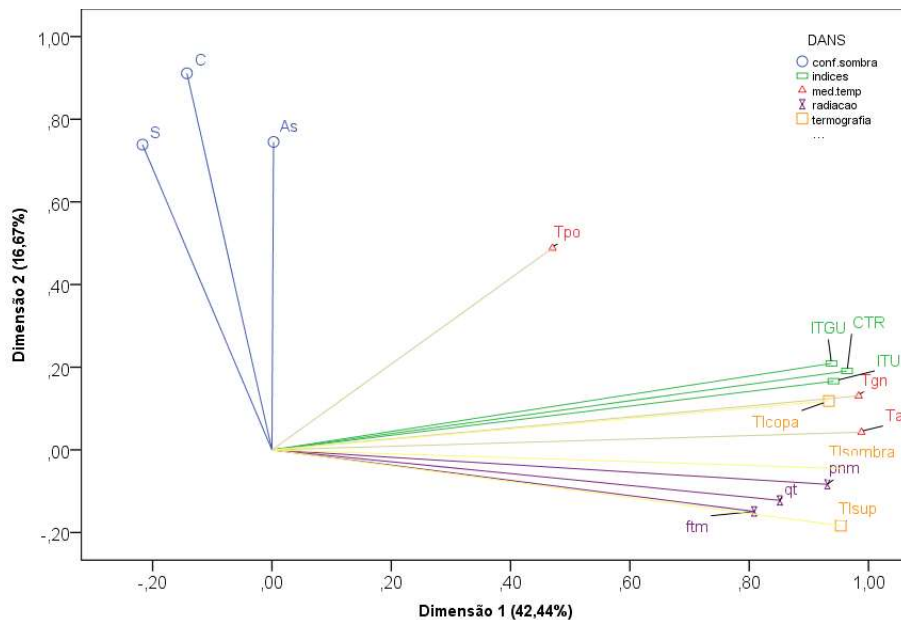


Fig.1 Representação fatorial das dimensões 1 e 2

Pela figura 2, observa-se que na dimensão 3, a temperatura de ponto de orvalho se mostrou inversamente proporcional à configuração de sombra, apresentando uma correlação negativa de $r \cong -1,0$. As variáveis S, C e As possuem correlação positiva entre si e se comportam de maneira independente à dimensão 1.

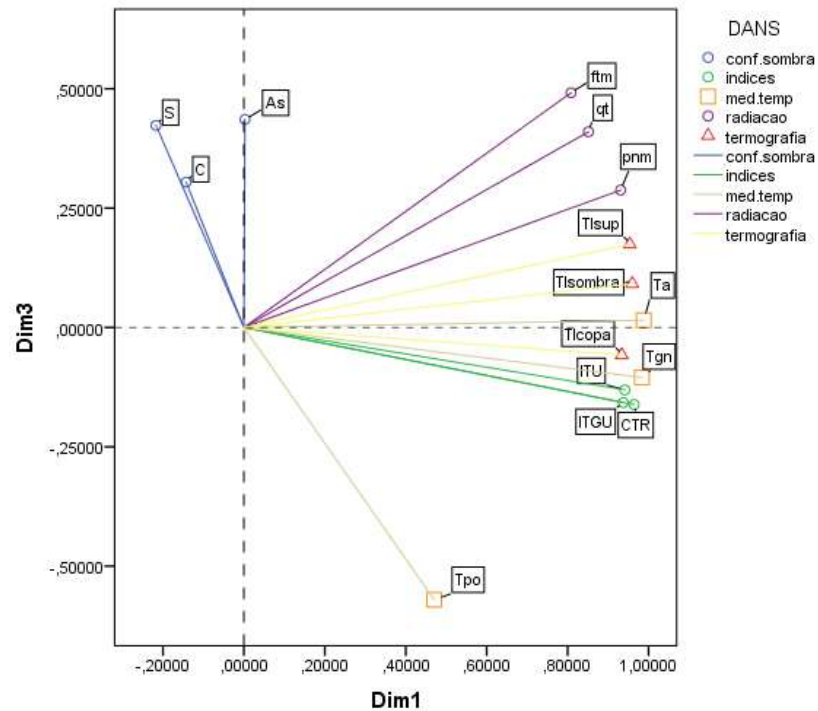


Fig.2 Espaço fatorial entre as dimensões 1 e 3

Na figura 3, as variáveis se agrupam principalmente à direita do gráfico, ratificando a relação direta existente entre elas. Já as variáveis de configuração da sombra, que quantificam a sombra fornecida pelas árvores, influenciaram na distribuição das espécies arbóreas no gráfico. Pode-se observar que a espécie Cambará (*Gochnatia polymorpha*) fornece maior quantidade de sombra enquanto a Jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne), a menor quantidade (tab.2). Com relação ao período estudado, agosto foi o mês mais quente e seco e julho o mês mais ameno (tab.1).

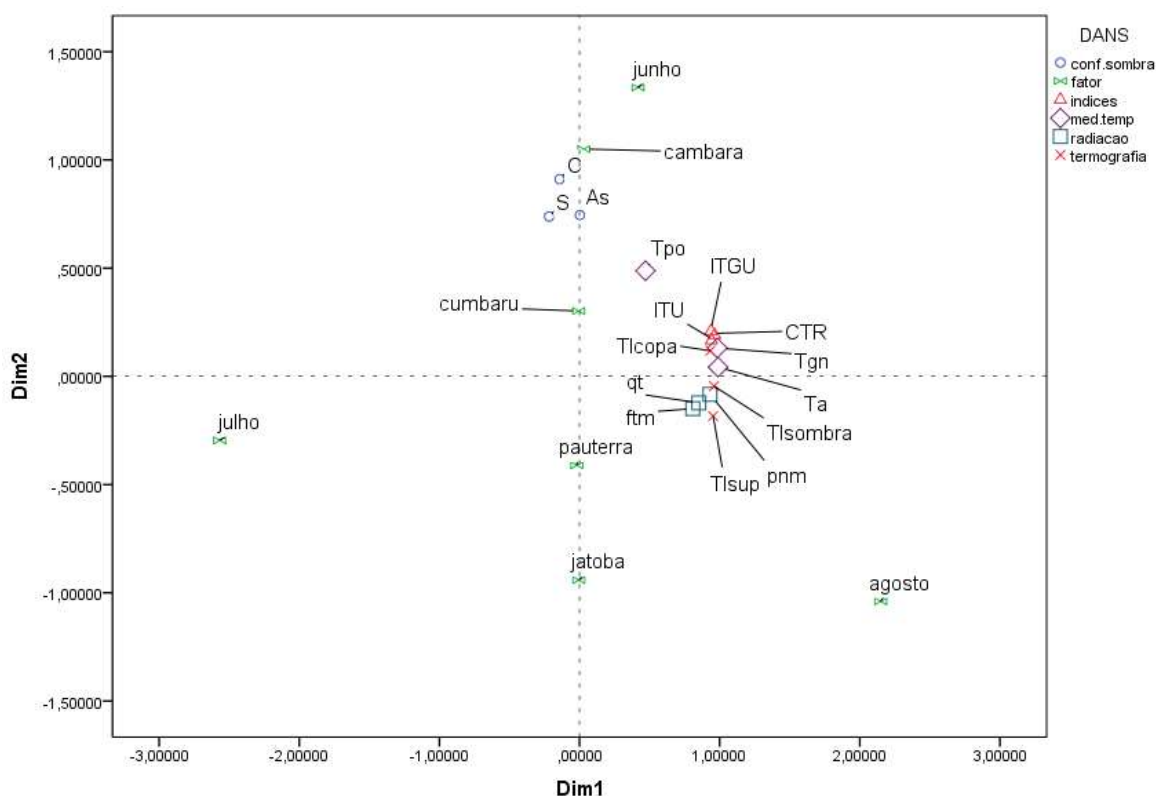


Fig.3 Dispersão das variáveis na plotagem do espaço fatorial entre as dimensões 1 e 2

Tab.1 Valores das variáveis climáticas no período de junho a agosto de 2015.

Mês	Temperatura média (°C)	Umidade Relativa (%)	Precipitação (mm)
Junho	21,4	76,3	39,62
Julho	20,8	80,6	83,18
Agosto	24,4	51,1	8,43

Tab.2 Valores médios da configuração da sombra das espécies avaliadas.

Espécies	Ás (m ²)	Cs (m)	S (m)
Cambará	68,37	13,40	13,61
Cumbaru	64,38	12,73	12,93
Pau-terra	61,69	12,06	12,26
Jatobá-do-cerrado	58,88	11,57	11,79

As (área sombreada); Cs (comprimento da sombra); S (distância maior da sombra).

De acordo com a tabela 3, existe correlação linear e positiva entre os grupos temáticos ($p < 0,05$). Pode-se observar o grau de associação alto entre as variáveis de termografia por infravermelho e as variáveis dos grupos temáticos índices (0,778), medidas de temperatura (0,854) e radiação (0,768).

Tab. 3 Matriz de correlação entre os grupos temáticos das variáveis estudadas

	Índices	Med.temperatura	Radiação	Termografia	Conf.sombra
Índices	1,000000				
Med.temperatura	0,870540	1,000000			
Radiação	0,587700	0,587050	1,000000		
Termografia	0,778304	0,854880	0,768654	1,000000	
Conf.sombra	0,006980	0,012743	0,014875	0,023466	1,000000

4. DISCUSSÃO

As três dimensões nas quais a variância foi explicada sintetizam o sentido do conjunto de variáveis a elas associado, bem como estabelecem combinações lineares entre essas e as variáveis originais (Lebart et al. 2000). A correlação linear positiva observada entre as variáveis dos grupos temáticos medidas de temperatura, índices e radiação, com a termografia, na dimensão 1 (fig. 1), demonstra que a TIV é um potencial preditor dessas variáveis. Realmente, a TIV, por ser uma técnica de detecção da radiação infravermelha emitida pelos objetos, é capaz de detectar alterações sutis de temperatura, como evidenciado por Catena e Catena (2008), ao avaliar funções fisiológicas de espécies arbóreas e suas correlações com prováveis doenças. Os mesmos autores destacam a característica de ser um método totalmente não destrutivo e de fácil mensuração. Balaras e Argiriou (2002) demonstraram a utilização da TIV em ambientes construídos para inspeção de edifícios, os autores destacam que com o auxílio da TIV foi possível identificar potenciais problemas nas instalações do edifício, além de quantificar potenciais economias de energia e ressaltaram a vantagem que as câmeras por infravermelho têm de possibilitar uma verificação rápida da distribuição do calor. A partir de imagens termográficas do ambiente aberto, Thompson e Marvin (2006) demonstraram que é possível obter dados precisos na identificação de variações térmicas na paisagem. Cardoso et al. (2015) avaliaram a tolerância ao calor de cinco raças zebuínas e correlacionaram os dados obtidos por meio da TIV com parâmetros fisiológicos e encontraram elevada correlação entre eles. Outro exemplo da determinação de temperatura de um corpo por meio de TIV é relatado por Stewart (2005), que obteve sucesso na determinação de estresse térmico em vacas de leite a partir da mensuração

da temperatura do olho. Neste sentido, Do Prado Paim et al. (2013) relatam que a TIV é uma promissora técnica para avaliar a resposta dos animais ao ambiente térmico.

As variáveis de configuração da sombra mostraram-se independentes das variáveis dos grupos temáticos medidas de temperatura, índices, radiação e termografia. Este resultado decorre do fato que o efeito da sombra sobre o microclima da região sombreada não depende apenas da área sombreada, mas da qualidade da sombra gerada, que por sua vez irá depender do adensamento de folhas, da coloração das folhas, do número de ramos, entre outras características das árvores.

Houve diminuição da Tpo ao passo que a distância entre o tronco da árvore e o início da sombra, e o comprimento da sombra aumentaram. Levando-se em conta que a Tpo é a temperatura até a qual o ar deve ser resfriado para que o mesmo fique saturado de vapor, e é dependente da temperatura do ar e do teor de umidade, quanto mais seco e quente o ar estiver, menor será a Tpo (Pereira et al. 2002). Já maiores valores de S e C implicam distanciamento da sombra em relação à árvore. Deve-se levar em consideração que o período a que se refere o presente estudo foi a época da seca (inverno) no Mato Grosso do Sul, onde naturalmente são registradas altas temperaturas e menores teores de umidade. Na medida em que a sombra se distancia da árvore, a influência do microclima proporcionado pela árvore é diminuída e a incidência maior dos ventos associada à alta temperatura do ar, faz com que a Tpo diminua nas condições encontradas no presente estudo.

As espécies Pau-terra (*Qualea grandiflora* Mart.) e Jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne) forneceram menor quantidade de sombra no período estudado, uma vez que, a primeira é, em geral, uma árvore de pequeno porte (Lorenzi 2000), e a segunda é uma espécie decídua (Silva et al. 2001).

As variáveis climáticas estudadas apresentaram valores mais críticos para o mês de agosto, que correspondeu ao mês que apresentou um longo período de estiagem, com temperaturas altas e baixo teor de umidade relativa do ar. A distribuição dos meses de maneira não linear no eixo das abcissas (fig. 3), com relação às variáveis climáticas, deve-se ao fato do mês de julho ter sido atípico

para o período de seca, com presença de precipitações e temperaturas mais baixas do que o normal para o período (tab.1).

Os valores altos e positivos na correlação entre a TIV e os índices para as medidas de temperatura e radiação, mostram uma relação robusta entre as mesmas.

5. CONCLUSÕES

A TIV mostrou-se potencialmente utilizável como preditor das variáveis de radiação, temperatura e índices de conforto. Os resultados que surgem a partir desta pesquisa apontam para estudos futuros de aplicações da TIV na avaliação térmica de ambientes rurais.

6. REFERÊNCIAS

- 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
- 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*, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Brasil, pp 53-59
- Balaras CA, Argiriou AA (2002) Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and buildings* 34(2): 171-183
- Buffington DE, Collazo Arocho A, Canton GH, Pitt D (1981) Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. *Transactions for the American Society of Agricultural Engineers* 24(3):711-714
- Cardoso CC, Peripolli V, Amador AS, Brandão EG, Esteves GIF, Sousa CMZ, França MFMS, Gonçalves FG, Barbosa FA, Montalvão TC, Martins CF, Fonseca Neto AM, Mcmanus C (2015). Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. *Livestock Science* 182:83-92
- Catena A, Catena G (2008) Overview of thermal imaging for tree assessment. *Arboricultural Journal* 30: 259-270
- Cattellam J, Vale MM (2013) Estresse térmico em bovinos. *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias* 108: 96-102
- Collier RJ, Beede DK, Thatcher WW, Israel L A, Wilcox C J (1982) Influence of environment and its modification on dairy animal health and production. *Journal of Dairy Science* 65: 2213-2227

- Costa e Silva E, Katayama K, Macedo G, Rueda P, Abreu U, Zúccari C (2010) Efeito do manejo e de variáveis bioclimáticas sobre a taxa de gestação em vacas receptoras de embriões. *Ciência Animal Brasileira* 11(2): 280-291
- Da Costa Pinheiro A, Saraiva EP, Saraiva CAS, Fonseca VDFC, Almeida MEV, Dos Santos SGGG, Neto PJR (2015) Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. *Agropecuária Técnica* 36(1):280-293
- Do Prado Paim T, Borges BO, De Mello Tavares Lima P, Gomes EF, Dallago BSL, Fadel R, Menezes AM, Louvandini H, Canozzi MEA, Barcellos JOJ, Mcmanus C (2013) Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. *International Journal of Biometeorology* 57:59-66
- Esmay ML (1979) Principles of animal environment. AviPublishing, Porto Oeste
- Figueiredo Filho DB, Silva Junior JA (2010) Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. *Opinião Pública* 16(1):160-185
- Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL (2006) Multivariate Data Analysis. Prentice Hall, New Jersey
- Incropera FP, Dewitt DP (2003) Fundamentos de troca de calor e de massa. Editora, Rio de Janeiro, Brasil
- Johnson R, Wichern D (1992) Applied Multivariate Statistical Analysis. Prentice Hall, New Jersey
- Labaki LC, dos Santos Santos RF, Lotufo BBC, de Abreu Abreu LV (2013). Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. *Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável* 4(1)
- Lebart L, Piron M, Morineau A (2000) Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod, Paris
- Lorenzi H (2000) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum
- Pereira AR, Angelocci LR, Sentelhas PC (2002) Agrometeorologia "Fundamentos e Aplicações Práticas". Livraria Editora Agropecuária, Guaíba-RS
- Rodrigues MCP (2002) Potencial de desenvolvimento dos municípios fluminenses: uma metodologia alternativa ao IQM, com base na análise fatorial exploratória e na análise de clusters. *Caderno de Pesquisas em Administração* 9(1): 75-89
- SILVA RG (2006) Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. *Engenharia Agrícola* 26: 268-281
- Silva DB, Silva JÁ, Junqueira NTV, Andrade LRM (2001) Frutas do Cerrado. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF
- 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
- Stewart M, Webster JR, Schaefer AL, Cook NJ, Scott SL (2005) Infra-red thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare* 14: 319-325
- Tabachnick BG, Fidell LS (2007) Using multivariate analysis. Allyn & Bacon, Inc. Needham Heights, MA, USA
- Thom EC (1959) The discomfort index. *Weatherwise* 12 (1):57-60
- Thompson J, Marvin M (2005) "Experimental Research using Thermography To Locate Heat Signatures from Caves." *National Cave and Karst Management Symposium*: 102 - 114
- 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 change modeling. *National Environment Science* 3(1):42-50

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada contribui para a comunidade científica no avanço de estudos sobre o uso da termografia por infravermelho (TIV) aplicado ao conforto térmico do ambiente. Por meio de uma avaliação rápida, podem ser mensuradas as variáveis microclimáticas que condicionam o ambiente térmico no qual estão inseridos os animais de produção. Desse modo, torna-se possível impedir que os animais sofram por estresse térmico crônico e direcionar a tomada de decisão no sistema produtivo.

Embora o presente estudo seja o início de um direcionamento para esse uso da TIV, os resultados se mostram consistentes e vislumbram a possibilidade para realização de novas investigações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, L.V.; LABAKI, L.C. 2010. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído** 10: 103-117
- ALBATICI, R.; TONELLI, A.M. 2010. Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site. **Energy and Buildings** 42: 2177-2183.
- ALTOÉ, L. e OLIVEIRA FILHO, D. 2012. Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. **Acta Tecnológica** 7: 55-59.
- ALVES, F.V. 2012. **O componente animal em sistemas de produção em integração**. p. 53-59. In: BUNGENSTAB, D. J., editor. *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Brasil.
- ANDERSEN, H.M.L.; JØRGENSEN, E.; DYBKJÆR, L.; JØRGENSEN, B. 2008. The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. **Applied Animal Behaviour Science** 113: 43-56.
- ANDRADE, D.R.R.D.; SILVA, J.E.D.S.; SOUZA, E.D.D.; ELER, E.D.O. 2015. Termografia aplicada na manutenção preditiva de sistemas elétricos. **RIT-Revista Inovação Tecnológica** 5: 85-106.
- ARAVE, C.W.; ALBRIGHT, J.L. 1981. Cattle behavior. **Journal of Dairy Science** 64: 1318-1329.
- BACCARI JUNIOR, F. 2001 **Manejo Ambiental da vaca leiteira em climas quentes**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, Paraná, Brasil.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. 2010. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Ed. UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- BALARAS, C.A.; ARGIRIOU, A.A. 2002. Infrared thermography for building diagnostics. **Energy and buildings** 34: 171-183.
- BALISCEI, M.A.; BARBOSA, O.R.; SOUZA, W.; COSTA, M.A.T.; FKUTZMANN, QUEIROZ, E.O. 2013. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum Animal Sciences** 35: 49-56.
- BARREIRA, E.; DE FREITAS, V.P. 2007. Evaluation of building materials using infrared thermography. **Construction and Building Materials** 21: 218-224.
- BIDINOTTO, J.H.; KLEINUBING, M.; CATALANO, F.M.; BELO, E.M. 2016. Termografia Aplicada à Visualização de Transição de Camada Limite em Aerofólios. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas** 37: 143-158.
- BROOKS, R.T.; KYKER-SNOWMAN, T.D. 2007. Forest floor temperature and relative humidity following timber harvesting in southern New England, USA. **Forest Ecology and Management** 254: 65-73.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLAZO AROCHO, A.; CANTON, G.H. PITT, D. 1981. Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. **Transactions for the American Society of Agricultural Engineers** 24: 711-714.
- BUFFINGTON, D.E.; COLLIDER, R.J.; CANTON, G.H. 1983. Shade management systems to reduce heat stress for dairy cows in hot, humid climates. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 26: 1798-1802.
- CARDOSO, C.C.; PERIPOLLI, V.; AMADOR, S.A.; BRANDÃO, E.G.; ESTEVES, G.I.F.; SOUSA, C.M.Z.; FRANÇA, M.F.M.S.; GONÇALVES, F.G.; BARBOSA, F.A.; MONTALVÃO, T.C.; MARTINS, C.F.; FONSECA NETO, A.M.; MCMANUS, C. 2015. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. **Livestock Science** 182: 83-92.

- CARVALHO, M.M. 1998. **Arborização de pastagens cultivadas**. Embrapa-CNPGL. Documentos, 64 . Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.
- CATENA, A.; CATENA, G. 2008. Overview of thermal imaging for tree assessment. **Arboricultural Journal** 30: 259-270.
- CATTELAM, J.; VALE, M.M. 2013. Estresse térmico em bovinos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias** 108: 96-102.
- CLARK, M.R.; MCCANN, D.M.; FORDE, M.C. 2003. Application of infrared thermography to the non-destructive testing of concrete and masonry bridges. **Ndt & E International** 36: 265-275.
- COLLIER, R.J.; BEEDE, D.K.; THATCHER, W.W.; ISRAEL, L. A.; WILCOX, C. J. 1982. Influence of environment and its modification on dairy animal health and production. **Journal of Dairy Science** 65: 2213-2227.
- COLTURATO, A.B.; GOMES, A.B.; PIGATTO, D.F.; COLTURATO, D.B.; PINTO, A.S.R.; BRANCO, L.H.C.; FURTADO, E.L.; BRANCO, K.R.L.J.C. 2013. Pattern Recognition in Thermal Images of Plants Pine Using Artificial Neural Networks. **Springer Berlin Heidelberg**.406-413.
- COSTA E SILVA, E.;KATAYAMA, K.; MACEDO, G.; RUEDA, P.; ABREU, U.; ZÚCCARI, C. 2010. Efeito do manejo e de variáveis bioclimáticas sobre a taxa de gestação em vacas receptoras de embriões. **Ciência Animal Brasileira** 11: 280-291.
- COSTA, J.M.; GRANT, O.M.; CHAVES, M.M. 2013. Thermography to explore plant environment interactions. **Journal of experimental botany** 64: 3937-3949.
- CROITORU, C.; NASTASE, I.; BODE, F.; MESLEM, A; DOGEANU, A. 2015. Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles—Current capabilities and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 44: 304-318.
- CURTIS, S.E. 1983. **Environment management in animal agriculture**. Iowa State University Press.
- DA COSTA PINHEIRO, A.; SARAIVA, E.P.; SARAIVA, C.A.S.; FONSECA, V.D.F.C.; ALMEIDA, M.E.V.; DOS SANTOS, S.G.G.C.; NETO, P.J.R. 2015. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. **Agropecuária Técnica** 36: 280-293.
- DE MOURA, D.J.; MAIA, A.P.D.A.; VERCELLINO, R.D.A.; MEDEIROS, B.B.; SARUBBI, J.; GRISKA, P.R. 2011. Uso da termografia infravermelha na análise da termorregulação de cavalo em treinamento. **Engenharia Agrícola** 31: 23-32.
- DO PRADO PAIM, T.; BORGES, B.O. ; DE MELLO TAVARES LIMA, P.; GOMES, E. F.; DALLAGO, B.S.L.; FADEL, R.; MENEZES, A.M.; LOUVANDINI, H.; CANOZZI, M.E.A.; BARCELLOS, J.O.J.; MCMANUS, C. 2013. Thermographic evaluation of climatic conditions on lambs from different genetic groups. **International Journal of Biometeorology** 57: 59-66.
- ESMAY, M.L. 1979. **Principles of animal environment**. Avi Publishing, Porto Oeste.
- FERREIRA, L.C.B.; MACHADO FILHO, L.C.; HOTZEL, M.J.; ALVES, A.A.; BARCELLOS, A.O. 2014. Respostas Fisiológicas e comportamentais de bovinos a diferentes ofertas de sombra. **Cadernos de Agroecologia** 9: 1-14.
- FIORI, A.M. 2001. Um método para medir a sombra. **Pesquisa Fapesp** 61: 26-29.
- FOKAIDES, P.A.; JURELIONIS, A.; GAGYTE, L.; KALOGIROU, S.A. 2016. Mock target IR thermography for indoor air temperature measurement. **Applied Energy** 164: 676-685.
- GODYN, D.; HERBUR, E.; WALCZAK, J. 2013. Infraredthermography as a method for evaluating welfare of animals subjected to invasive procedures - a Review. **Annals of Animal Science** 13: 423-434.
- GUISELINI, C.; SILVA, I.J.O.; PIEDADE, S.M. 1999. Avaliação da qualidade do sombreamento arbóreo no meio rural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 3: 380-384.
- HILDEBRANDT, C.; RASCHNER, C.; AMMER, K. 2010. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. **Sensors** 10: 4700-4715.
- HIRATA, M.; HASEGAWA, N.; NOMURA, M. 2008. Deposition and decomposition of cattle dung in forest grazing in southern Kyushu, Japan. **Ecological Research** 24:119–125.

- KARVATTE JÚNIOR, N.; KLOSOWSKI, E.S.; DE ALMEIDA, R.G.; MESQUITA, E.E.; DE OLIVEIRA, C.C.; ALVES, F.V. 2016. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology** 60: 1-9.
- KAZAMA, R.; ROMA, C.F.C.; BARBOSA, O.R.; ZEOULA, L.M.; DUCATTI, T.; TESOLIN, L.C. 2008. Orientação e sombreamento do confinamento na temperatura da superfície do pelame de bovinos. **Acta Scientiarum Animal Sciences** 30: 211-216.
- KORUKÇU, M.Ö.; KILIC, M. 2009. The usage of IR thermography for the temperature measurements inside an automobile cabin. **International communications in heat and mass transfer** 36: 872-877.
- KULESZA, O.; RZECZKOWSKI, M.; KACZOROWSKI, M. 2004. Thermography and its practical use in equine diagnostics and treatment. **Medycyna Weterynaryjna** 60: 1143-1146.
- LAHIRI, B.B.; BAGAVATHIAPPAN, S.; SOUMYA, C.; JAYAKUMAR, T.; PHILIP, J. 2015. Infrared thermography based studies on mobile phone induced heating. **Infrared Physics & Technology** 71: 242-251.
- LIMA, K.A.O.; MOURA, D.J.; NAAS, I.A.; PERISSINOTTO. 2007. Estudo da influência das ondas de calor sobre a produção de leite no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas** 1: 70-81.
- MARQUES, J.A.; NETO, S.F.C.; GROFF, A.M.; SIMONELLI, S.M.; CORASA, J.; ROMERO, L.; ZAWADSKI, F.; ARAÚJO, P.F. 2006. Comportamento de bovinos mestiços em confinamento com e sem acesso a sombra durante o período de verão. **Campo Digital** 1: 54-59.
- MARTELLO, L.S.; SAVASTANO JR, H.; PINHEIRO, M.G.; SILVA, S.L.; ROMA JR., L.C. 2004. Avaliação do microclima de instalações para gado de leite com diferentes recursos de climatização. **Revista Engenharia Agrícola. Botucatu** 24: 263-273.
- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A.C.; ZAMPRONI, K.; VIEZZER, J.; GRISE, M.M.; NETO, E.M. L. 2014. Percepção da população sobre o conforto térmico proporcionado pela arborização de ruas de Curitiba-PR. **Floresta** 44: 515-524.
- MICZEK, K.A.; FACCIDOMO, S.P.; FISH, E.W. 2007. **Neurochemistry and molecular neurobiology of aggressive behavior**. p. 285–336. In: LAJTHA, A.; BLAUSTEIN, J. D., eds. Handbook of neurochemistry and molecular neurobiology. Springer, .New York, NY, USA.
- MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N. E.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; MILLER, S. P. 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). **Journal of Thermal Biology** 33: 468-475.
- MORAIS, J.H.G.; MORAIS, D.A.E.F.; THOLON, P.; DE SOUSA JÚNIOR, S.C.; DE VASCONSELOS, Á.M.; NERY, K.M. 2014. Reações Termorreguladoras em Diferentes Espécies de Ruminantes em Uma Região Semi-Árida. **Revista Científica de Produção Animal**, 12: 1-5.
- NOGUEIRA, C.V.; NOGUEIRA, C.F.; ELY, J.B. 2015. Termografia por Infravermelho em Cirurgia Plástica-Novos Horizontes. **Pan American Journal of Medical Thermology** 1 (2): 81-87.
- NOGUEIRA, F.R.B.; DE SOUZA, B.B.; DE CARVALHO, M.G. X.; GARINO JUNIOR, F.; MARQUES, A.V.M.S.; LEITE, R.F. 2013. Termografia infravermelha: uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelha. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária** 35: 289-297.
- OCAÑA, S.M.; GUERRERO, I.C.; REQUENA, I.G. 2004. Thermographic survey of two rural buildings in Spain. **Energy and Buildings** 36: 515-523.
- OLIVEIRA, S.E.O; DE MELO COSTA, C.C.; DE SOUZA JUNIOR, J.B.F.; DE QUEIROZ, J.P.A. F; MAIA, A.S.C; DE MACEDO COSTA, L.L. 2014. Short-wave solar radiation level willingly tolerated by lactating Holstein cows in an equatorial semi-arid environment. **Tropical animal health and production** 46: 1413-1417.

- PHILLIPS, C.J.; RIND, M.I. 2002. The effects of social dominance on the production and behavior of grazing dairy cows offered forage supplements. **Journal of Dairy Science** 85: 51–59.
- PIRES, M.F.A.; CAMPOS, A.T. 2008. **Conforto Animal para maior produção de leite**. Viçosa, Minas Gerais.
- PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M.J.S.; NICODEMO, M.L.F.; DERETI, R.M. 2009. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo**. Embrapa Florestas, Colombo.
- POTT, A.; POTT, V.J. 2003. **Plantas Nativas potenciais para sistemas agroflorestais em Mato Grosso do Sul. Sistemas agroflorestais e desenvolvimento sustentável**. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.
- RICCI, G.D.; ORSI, A.M.; DOMINGUES, P.F. 2013. Heat stress and interference in production cycle of dairy cows—review. **Veterinaria e Zootecnia** 20: 381-390.
- ROBERTO, J.V.B.; DE SOUZA, B.B. 2014. Use of infrared thermography in veterinary medicine and animal production. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology -Online Submission System** 2: 73-84.
- ROBERTO, J.V.B.; SOUZA, B.B. FURTADO, D.A.; DELFINO, L.J.B; MARQUES, B.A.A. 2014. Gradientes térmicos e respostas fisiológicas de caprinos no semiárido brasileiro utilizando a termografia infravermelha. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology** 2: 11-19.
- RUEDIGER, F.R.D.; CHACUR, M.G.M.; OBA, E.; AMORIM, A.R.; SOUZA, C.D.D. 2015. Termografia digital por infravermelho do escroto e qualidade do sêmen em touros nelore (bos taurus indicus). **Colloquium Agrariae** 10: 67-74.
- SEVEGNANI, K.B.; FERNANDES, D.P.B; SILVA, S.H. 2016 .Evaluation of thermoregulatory capacity of dairy buffaloes using infrared thermography. **Engenharia Agrícola** 36: 1-12.
- SHAMS, J.C.A.; GIACOMELI, D.C.; SUCOMINE, N.M. 2009. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana** 4: 1-16.
- SHAO, B.; XIN, H. 2008. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs. **Computers and electronics in agriculture** 62: 15-21.
- SHÜTZ, K.E.; ROGERS, A.R.; COX, N.R.; TURCKER, C.B. 2009. Dairy cows prefer shade that offers greater protection against solar radiation in summer: shade use, behavior and body temperature. **Applied Animal Behaviour Science** 116: 28-34.
- SILVA, E.C.L.; MODESTO, E.C.; AZEVEDO, M.; FERREIRA, M.A.; DEBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SCHULER, A.R.P. 2009. Efeitos da disponibilidade de sombra sobre o desempenho, atividades comportamentais e parâmetros fisiológicos de vacas da raça Pitangueiras. **Acta Scientiarum Animal Sciences** 31: 295-302.
- SILVA, J.C.P.M. 2012. **Bem-estar do Gado Leiteiro: A importância do conforto térmico para o alto desempenho do gado**. Editora Aprenda Fácil.
- SILVA, R.G. 2000. **Introdução à bioclimatologia animal** Ed. Nobel, São Paulo.
- SOUZA, W.; BARBOSA, O.R.; MARQUES, J.A. 2010. Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. **Revista Brasileira de Zootecnia** 39: 685–694.
- STEWART, M., WEBSTER, J.R., SCHAEFER, A.L., COOK, N.J., SCOTT, S.L. 2005. Infra-red thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. **Animal Welfare** 14: 319-325.
- TAKAHASHI, L.S.; BILLER, J.D.; TAKAHASHI, K.M. 2009. **Bioclimatologia zootécnica**. Unesp, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
- THOM, E.C. 1959. **The discomfort index**. *Weatherwise* 12: 57-60.
- VAL-LAILLET, D.; PASSILLE, A; RUSHEN, J. 2008. The concept of social dominance and the social distribution of feeding-related displacements between cows. **Applied Animal Behaviour Science** 111: 158–172.

VELASCO, G.D.N.; LIMA, A.M.L.P.; COUTO, H.T.Z.D.; SILVA FILHO, D.F.D.; POLIZEL, J.L. 2011. Assessment of questionnaires method to study of the relationship between the presence and use of refrigeration appliances, street trees and electric power consumption. **Revista Árvore** 35: 641-648.

ZHANG, W.C.; PENG, H.Z.; SU, C.L. 2012. Research on Temperature Variation of Bridgewire with Infrared Thermal Imaging. **Advanced Materials Research**. 403: 675-679

APÊNDICES

Figura 1 Termograma de cor do exemplar da espécie Pau-terra (*Qualea grandiflora* Mart.). Fonte: arquivo de pesquisa.

