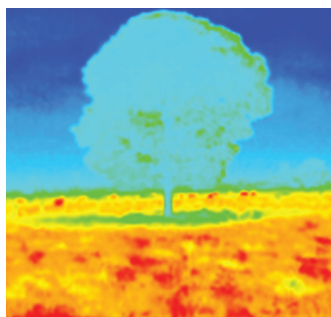
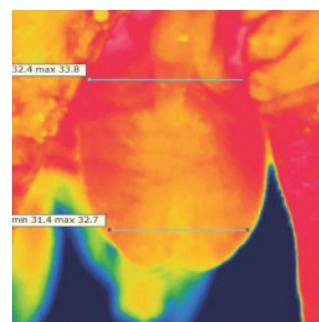
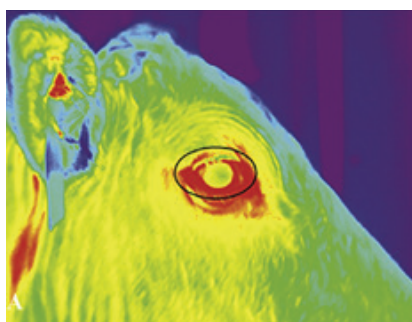
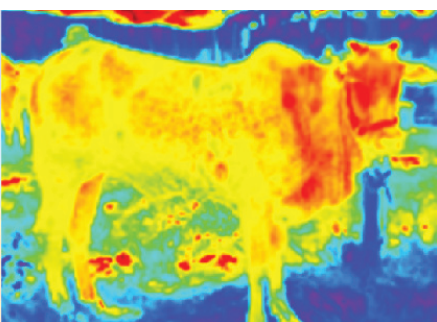
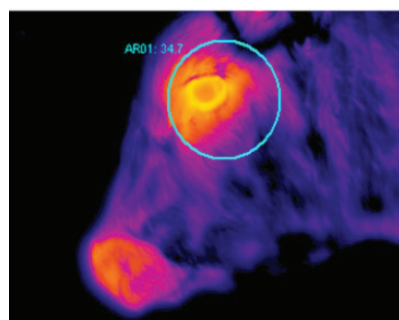
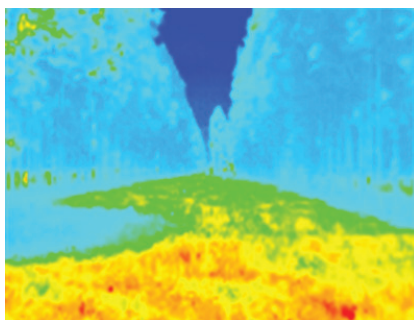
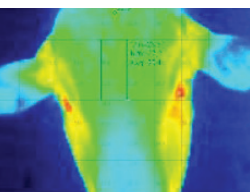


Aplicações da Termografia por Infravermelho (TIV) na bovinocultura de corte



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Gado de Corte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 276

Aplicações da Termografia por Infravermelho (TIV) na bovinocultura de corte

*Fabiana Villa Alves
Nivaldo Karvatte Junior
Caroline Carvalho de Oliveira*

***Embrapa Gado de Corte
Campo Grande, MS
2020***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gado de Corte

Av. Rádio Maia, 830, Zona Rural, Campo Grande, MS,
79106-550, Campo Grande, MS
Fone: (67) 3368 2000
Fax: (67) 3368 2150
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Gado de Corte

Presidente
Lucimara Chiari

Secretário-Executivo
Rodrigo Carvalho Alva

Membros
Alexandre Romeiro de Araújo, Davi José
Bungenstab, Fabiane Siqueira, Gilberto
Romeiro de Oliveira Menezes, Marcelo Castro
Pereira, Mariane de Mendonça Vilela, Marta
Pereira da Silva, Mateus Figueiredo Santos,
Vanessa Felipe de Souza

Supervisão editorial
Rodrigo Carvalho Alva

Revisão de texto
Rodrigo Carvalho Alva

Tratamento das ilustrações
Rodrigo Carvalho Alva

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Rodrigo Carvalho Alva

Foto da capa
Fabiana Villa Alves

1ª edição
Publicação digitalizada (2020)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Gado de Corte

Alves, Fabiana Villa.

Aplicações da termografia por infravermelho (TIV) na bovinocultura de corte / Fabiana Villa
Alves, Nivaldo Karvatte Júnior, Caroline Carvalho de Oliveira. – Campo Grande, MS : Embrapa
Gado de Corte, 2020.

PDF (36 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Gado de Corte, ISSN 1983-974X ; 276).

1. Diagnóstico. 2. Gado de corte. 3. Radiação térmica. 4. Raio infravermelho. 5. Termorregulação. I. Karvatte Júnior, Nivaldo. II. Oliveira, Caroline Carvalho de. III. Título. IV. Série.

CDD 636.213

Autores

Fabiana Villa Alves

Doutora em Ciência Animal e Pastagens. Pesquisadora da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Nivaldo Karvatte Junior

Doutor em Zootecnia, Campo Grande, MS.

Caroline Carvalho de Oliveira

Doutora em Zootecnia, Campo Grande, MS.

Agradecimentos

Aos revisores pelas contribuições aportadas para a elaboração deste documento.

Sumário

Apresentação	7
Introdução.....	9
Descrição da técnica e formação da imagem	9
Aplicações da TIV na bovinocultura de corte	13
Na sanidade	14
Na reprodução.....	16
Na nutrição	18
Na termorregulação corporal.....	21
Na ambiência e conforto térmico.....	24
Na qualidade de carcaça.....	26
Limitações da TIV	27
Considerações finais	30
Referências bibliográficas	30

Apresentação

Este documento fornece um conjunto de informações sobre o uso da termografia por infravermelho, como ferramenta de diagnóstico rápido e seguro, utilizada na avaliação da sanidade, reprodução, nutrição, termorregulação, ambiência e qualidade de carcaça de bovinos de corte. Foi produzido a partir do levantamento, análise e discussão de um compilado de artigos científicos disponíveis na literatura, com relevância nacional e internacional.

O controle dos elos relacionados a este setor agropecuário se correlaciona aos “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS”, propostos pela nova agenda mundial em torno da sustentabilidade, em grande parte fomentada pela Organização das Nações Unidas. A obtenção de produtos com maior segurança alimentar, provenientes deste setor, contribuem para a sustentabilidade ambiental, social e econômica e, consequentemente, estão interrelacionados aos seguintes ODS:

- ODS 2 - Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- ODS 13 - Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos; e,
- ODS 15 - Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

Neste sentido, quando atingidas as metas estabelecidas, as principais respostas obtidas pelo controle sustentável da cadeia produtiva de bovinos de corte, e que representam aos ODS, são:

- 1) preservação da qualidade do solo;
- 2) conservação da água;
- 3) melhorias na qualidade das pastagens;
- 4) aumento da produtividade agrícola por unidade de área;

- 5) aumento da produtividade e rendimento animal por unidade de área;
- 6) melhores condições ambientais e de conforto térmico, possibilitando a obtenção de produtos de melhor qualidade em função de melhores condições de bem estar animal;
- 7) menor emissão de gases de efeito estufa;
- 8) recuperação de áreas degradadas por meio da intensificação do uso da terra;
- 9) maior estabilidade econômica, principalmente em situações de grande variação de preços;
- 10) agregação de valor aos produtos obtidos (agrícola, pecuário, madeireiro, etc);
- 11) redução do desmatamento e degradação ambiental;
- 12) manutenção da biodiversidade;
- 13) maior bem estar aos trabalhadores e a sociedade que atua direta ou indiretamente, dentre outros.

Desse modo, espera-se que as informações conditas neste documento contribuam para entendimento da importância do controle organizado de todos os elos da cadeia produtiva de bovinos de corte, para que, desse modo, seja possível aumentar cada vez mais a produtividade agrícola e a segurança alimentar, por meio de sistemas sustentáveis, que visam o respeito e o bem estar dos animais, associadas à práticas agrícolas robustas e ao uso de técnicas e equipamentos de diagnósticos rápidos e seguros, valorizando o respeito social e ambiental.

Introdução

Tecnologias inovadoras são capazes de contribuir consideravelmente para o avanço da ciência na agropecuária. Na bovinocultura de corte, um dos maiores desafios é conseguir determinar indicadores do estado geral dos animais, com rapidez e precisão. Métodos comumente utilizados (coleta de sangue, avaliação da temperatura retal, sensores corporais cirurgicamente implantados, entre outros), envolvem a manipulação dos animais e, apesar de eficazes em seus objetivos, geram desconforto e estresse em diferentes graus.

A termografia por infravermelho (TIV) é uma técnica de diagnóstico, não invasiva, que pode ser utilizada como um indicador de variações biométricas térmicas na temperatura superficial dos animais (EDDY et al., 2001). Estas variações ocorrem mediante alterações no fluxo sanguíneo, com suprimento aumentado ou diminuído para as extremidades, permitindo que uma quantidade de calor seja irradiada para fora do organismo (BERRY et al., 2003).

Neste sentido, a TIV é uma ferramenta eficaz para detectar o calor irradiado durante alterações na atividade metabólica dos tecidos adjacentes, e pode se relacionar com processos inflamatórios e diagnósticos de doenças (HEAD e DYSON, 2001). Além disso, é utilizada para inferir sobre o bem-estar e conforto térmico de animais de produção, podendo realizar um diagnóstico da eficiência reprodutiva e nutricional (MONTANHOLI et al., 2013; MENEGASSI et al., 2018).

O objetivo deste documento é abordar os princípios básicos de funcionamento e utilização da termografia por infravermelho (TIV), bem como a aplicação desta ferramenta para a avaliação da termorregulação, sanidade, nutrição, reprodução e qualidade de carcaça na bovinocultura de corte.

Descrição da técnica e formação da imagem

A termografia por infravermelho (TIV) é uma ferramenta de avaliação não-destrutiva, não-invasiva e de identificação visual, que permite a mensuração da temperatura de qualquer superfície ou material, desde que sua temperatu-

ra se encontre acima do zero absoluto, ou seja, superior à 0°K ou $-273,16^\circ\text{C}$ (CORTIZO et al., 2008; ALTOÉ E OLIVEIRA FILHO, 2012). A técnica é embasada no princípio de que todos os corpos formados por matéria emitem quantidades variáveis de radiação térmica devido a agitação térmica de átomos e moléculas dos quais são constituídos. Quanto maior a agitação, mais quente se encontra o objeto e mais radiação ele emite.

A radiação térmica emitida pode estar situada nas faixas de ultravioleta, visível, infravermelho e até na faixa de micro-ondas do espectro eletromagnético, em comprimentos que variam de 760 nm a 1 mm (Figura 1). Entretanto, a maior parte da energia emitida por superfícies e materiais, incluindo o corpo humano e animal, está dentro da faixa do infravermelho. Desse modo, atualmente, devido à sua grande importância, as câmeras termográficas são fabricadas com detectores de radiação infravermelha, as quais trabalham na faixa de 8 a 14 μm (Ondas Longas) e entre 3 a 5 μm (Ondas Curtas), de menor uso (SANTOS, 2006).

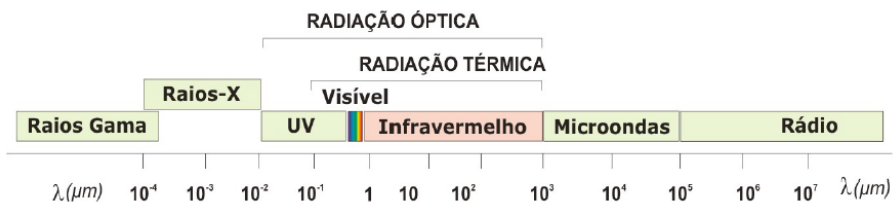


Figura 1. Espectro eletromagnético de radiação térmica.

Fonte: Santos (2006).

Teoricamente, a energia emitida é composta por partículas de fótons sem massa atômica definida, que se movimentam em um padrão de ondas e se deslocam na velocidade da luz (CHACUR et al., 2016). Pequenas alterações de temperatura, umidade e velocidade do vento podem resultar em variações substanciais de energia irradiada. Desse modo, a faixa infravermelha do espectro eletromagnético em que trabalham a maioria das câmeras termográficas corresponde ao comprimento de ondas longas (8-14 μm) (CERDEIRA et al., 2011).

Considerando que diferentes objetos apresentam emissividades distintas e interagem de maneira própria com o ambiente, a fim de estabele-

cer um balanço entre a radiação que é absorvida e a que é emitida para o ambiente, a capacidade que o objeto apresenta para radiar energia é comparada com a de um “corpo negro perfeito”, obedecendo a Lei de Stefan-Boltzmann (equação 1). Este, por sua vez, é capaz de absorver e emitir 100% de toda a radiação incidente sobre ele, independente de seu comprimento de onda e direção de incidência, dependendo apenas de sua temperatura. Em uma escala de zero a um, a emissividade desse objeto é considerada um, emissor perfeito (ROBERTO et al., 2014; LAUBER et al., 2017).

$$W = \varepsilon.B.T^4 \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

W : taxa de emissão de energia radiante (W/m^2);

ε : emissividade do corpo (adimensional);

B : constante de Stefan-Boltzmann ($5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$), e;

T : temperatura absoluta do corpo (K).

Diante deste contexto, materiais como madeira, plástico, borracha, pedra ou concreto, que apresentam superfícies de baixa reflexão apresentam alta emissividade ($\varepsilon = 0,80$ a $0,95$), enquanto materiais orgânicos apresentam emissividade entre $0,95$ e $0,99$ (FERREIRA et al., 2009), próxima de um corpo negro, semelhante a pele humana e de animais (McMANUS et al., 2009; DAS et al., 2016). Assim, ao identificar uma variação térmica, os sensores sensíveis ao infravermelho captam a radiação térmica emitida e a convertem em sinais elétricos amplificados (Figura 2), que posteriormente são transformados e convertidos em pixels em diferentes escalas de cores, gerando uma imagem térmica, denominada “termograma” (Figura 3.a). Na imagem, cada pixel que a compõe, representa um fóton de energia captada e corresponde a uma temperatura exata do objeto, resultando em um mapa

da distribuição térmica (ROBERTO et al., 2014). Nos equipamentos mais sofisticados, a detecção também pode ser expressa como percentual de umidade relativa presente na superfície do objeto (Figura 3.b).

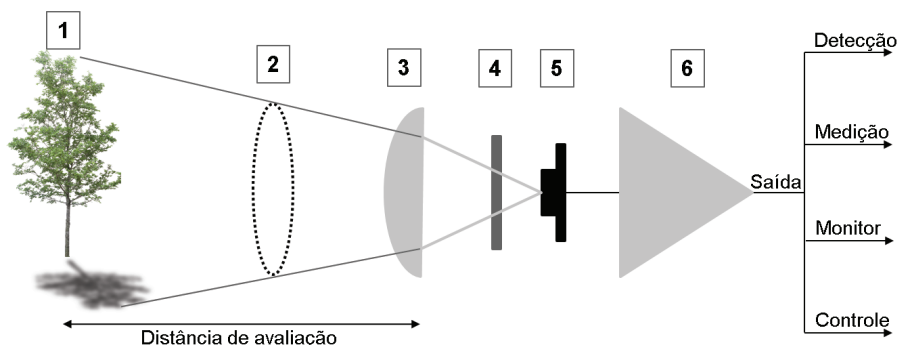


Figura 2. Diagrama esquemático do sistema óptico de um termovisor e conversão da energia térmica, onde: 1) superfície alvo (que emite energia infravermelha); 2) campo de visão; 3) lente coletora de energia; 4) filtro para a passagem da banda espectral selecionada; 5) detector conversor de energia infravermelha em sinal elétrico, e; 6) amplificador e condicionador do sinal.

Fonte: Adaptado de Maldague (2001).

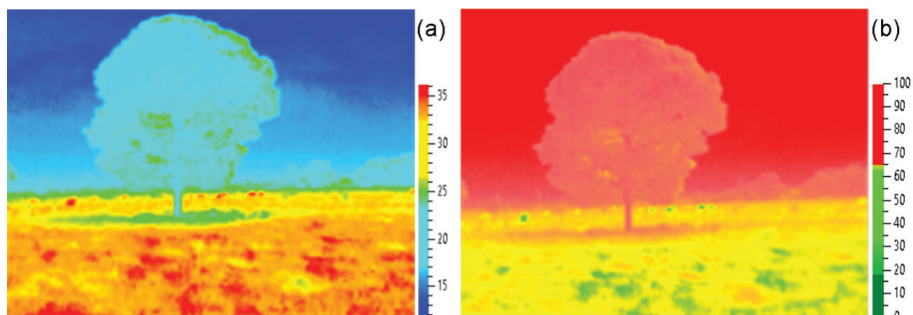


Figura 3. Imagem térmica (a) e de umidade (b) de um objeto (árvore), avaliada por termografia por infravermelho.

Fonte: Nivaldo Karvatte Junior.

Aplicações da TIV na bovinocultura de corte

A TIV é amplamente aplicada em bovinos de corte, em estudos de termorregulação, sanidade, nutrição, reprodução e qualidade de carcaça (Tabela 1).

Em caráter experimental, o primeiro marco de inovação tecnológica na bovinocultura de corte, utilizando a TIV, foi realizado por Schwartzkopf-Genswein et al., em 1997. Inspirados em estudos e diagnósticos de processos inflamatórios decorrentes de diferentes enfermidades, realizados na medicina humana, os autores utilizaram esta ferramenta para associar danos teciduais ao desconforto animal após utilização de ferro quente e congelamento para marcação animal, estimulando outros estudos na área e na reprodução animal. Alguns outros estudos o seguiram, mas somente a partir de 2007, buscando testar uma nova alternativa às avaliações comumente utilizadas, Montanholi e colaboradores utilizaram a ferramenta na nutrição animal, para avaliar a eficiência alimentar de diferentes raças de bovinas. Os resultados obtidos tiveram grande repercussão e caracterizaram um novo marco na ciência da bovinocultura de corte. No entanto, somente a partir de 2015 houve significativo desenvolvimento e aplicação da mesma, possibilitando obter registros cada vez mais apurados e refinados em diferentes áreas do conhecimento (Tabela 1).

Tabela 1. Aplicações da termografia em áreas específicas de conhecimento em bovinos de corte.

Ano	Autor	Área
1997	Schwartzkopf-Genswein et al.	Sanidade
2001	Kastelic et al.	Reprodução
2002	Brito et al.	Reprodução
2003	O'Toole et al.	Sanidade
2005	Schuenemann et al.	Reprodução
2007	Schaefer et al.	Sanidade
2007	Montanholi et al.	Nutrição
2009 ¹	Montanholi et al.	Nutrição
2009 ²	Montanholi et al.	Nutrição

2013	Chizzotti et al.	Nutrição
2013	Montanholi et al.	Nutrição
2014	Andrade Neto et al.	Sanidade
2015	Cardoso et al.	Termorregulação
2015	Menegassi et al.	Reprodução
2016	Cardoso et al.	Termorregulação
2016	Cook et al.	Nutrição
2016	Martello et al.	Nutrição
2016	Menegassi et al.	Reprodução
2016	Ruediger et al.	Reprodução
2016	Sousa et al.	Termorregulação
2017	Menegassi et al.	Reprodução
2017	Radigonda et al.	Reprodução
2017	Unruh et al.	Ambiência
2017	Wallage et al.	Termorregulação
2018	Lees et al.	Ambiência
2018	Romanello et al.	Reprodução
2018	Schaefer et al.	Qualidade de carcaça
2018	Sousa et al.	Termorregulação
2018	Thompson et al.	Nutrição
2019	Cuthbertson et al.	Ambiência
2019	Corrêa	Qualidade de carcaça
2019 1	Giro et al.	Ambiência
2019 2	Giro et al.	Termorregulação
2019	Lowe	Termorregulação
2020	Barreto et al.	Ambiência
2020	Karvatte et al.	Ambiência

Fonte: elaborada por Nivaldo Karvatte Junior.

Na sanidade

A taxa de fluxo sanguíneo e metabolismo tecidual afeta principalmente as extremidades e resulta em variações na temperatura da pele (BERRY et al., 2003). Desse modo, a termometria cutânea reflete, em tempo real, a circulação sangüí-

nea e a migração de leucócitos para a superfície cutânea dos animais. Portanto, locais que apresentam aumentos significativos de calor irradiado estão relacionados a aumento na circulação sanguínea e no metabolismo dos tecidos subjacentes, podendo ser clinicamente correlacionados como indicativo de processos inflamatórios ou na ocorrência de algumas patologias quando a diminuição deste fluxo acarreta queda de temperatura (GROSSBARD et al., 2014).

Neste sentido, em seu estudo pioneiro, Schwartzkopf-Genswein et al. (1997), utilizando a TIV, identificaram que processos inflamatórios prolongados (até 96 horas de avaliação) estavam associados a aumentos de temperatura epitelial de bovinos de corte mestiços Angus, Hereford e Charolês, marcados com ferro quente e por congelamento, caracterizando, além de desconforto ao animais, danos teciduais e na qualidade do couro (Figura 4). Do mesmo modo, Schaefer et al. (2007) concluíram que a TIV foi eficaz na detecção precoce da ocorrência espontânea de diarreia viral bovina ao identificar aumento progressivo da temperatura ocular de bezerros de corte (Figura 5).

De fato, o sistema nervoso central é o principal regulador de temperatura corporal, sendo a temperatura do cérebro reconhecida como a temperatura núcleo do sistema (McCAFFERTY, 2007). Neste sentido, a temperatura ocular (margem da pálpebra e da carúncula lacrimal) tem sido amplamente utili-

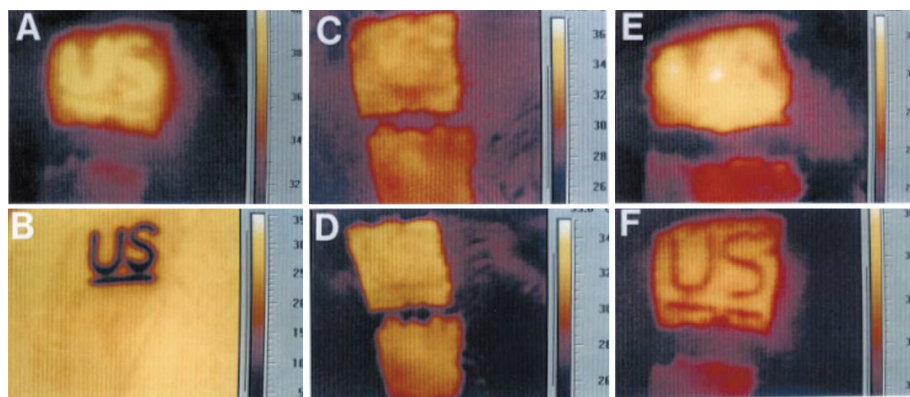


Figura 4. Imagens termográficas da pele de bovinos de corte imediatamente após marcação com ferro quente (A) e congelamento (B); 48 h após a marca de ferro quente (C) e congelamento (D); 96 h após ferro quente (E) e congelamento (F). Note o aumento de temperatura epitelial, pelo método ferro quente (A, C e E), ao longo das 96h após marcação, caracterizando o desenvolvimento do processo inflamatório. Fonte: Schwartzkopf-Genswein et al. (1997)

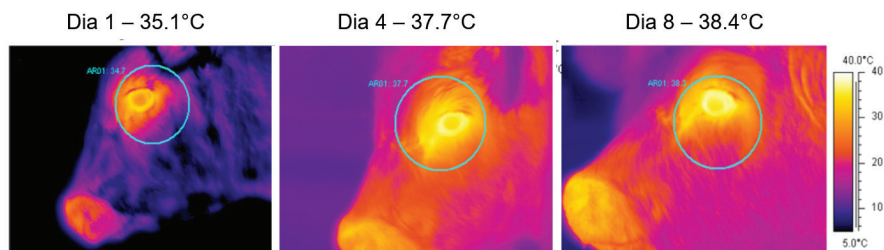


Figura 5. Imagens termográficas do globo ocular de um animal durante o desenvolvimento da diarreia viral bovina. Note o aumento progressivo de temperatura ocular. Fonte: Schaefer et al. (2007).

zada como indicador de mudanças no fluxo sanguíneo do núcleo do sistema, frente a diferentes condições de estresse (saúde, nutrição, termorregulação, manejo, entre outros), por possuir alta relação com a atividade simpática dos leitos capilares (PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2017).

Segundo Schwartzkopf-Genswein et al. (1997) e Schaefer et al. (2007), a avaliação termográfica de animais infectados permite o tratamento anterior ao desenvolvimento de uma doença, reduzindo o seu sofrimento, melhorando a economia da indústria animal e reduzindo a probabilidade de promover resistência a antibióticos. Ainda neste sentido, com o propósito de verificar a ocorrência de processos inflamatórios decorrentes da injeção intratesticular de solução de cloreto de sódio hipertônico (NaCl; 20%) na castração de bezerros machos durante as primeiras semanas de vida, Andrade Neto et al. (2014) observaram que termogramas do escroto mostraram flutuações nas temperaturas escrotais de acordo com as mudanças na temperatura ambiental, e não decorrentes da solução.

As informações obtidas até o momento trazem perspectivas favoráveis para a aplicação da TIV na avaliação da saúde de bovinos de corte, no entanto, mais estudos nesta área são necessários para o estabelecimento da ferramenta.

Na reprodução

A temperatura ambiente é um dos importantes fatores que interferem na reprodução animal. Eventos climáticos, tais como ondas de calor extremas, causam estresse térmico e podem levar a graves falhas reprodutivas em bo-

vinos de corte (HANSEN, 2009). Nestas condições, a severidade e a duração da lesão térmica testicular, causa diminuição da qualidade do sêmen. No entanto, a morfologia espermática geralmente retorna aos valores iniciais antes da injúria térmica dentro de aproximadamente seis semanas após o estresse térmico enfrentado (VOGLER et al., 1991). Diante deste contexto, a TIV pode fornecer um método mais confiável e menos invasivo de avaliação reprodutiva de bovinos de corte (MENEGASSI et al., 2018).

De fato, Ruediger et al., (2016) observaram que a temperatura da superfície do escroto influencia positivamente a motilidade e concentração espermática de touros Nelore. Kastelic et al., (2001) avaliando touros mestiços da raça Angus, observaram que qualquer alteração nos mecanismos de termorregulação leva à diminuição da eficiência da regulação e ao aumento da temperatura escroto-testicular. Neste sentido, estudos conduzidos por Menegassi et al., (2015, 2016 e 2018) avaliando touros mestiços Brangus (5/8 Angus×3/8 Nelore) e Braford (5/8 Hereford × 3/8 Nelore), em diferentes estações do ano, revelaram diminuição da qualidade dos aspectos físicos e quantitativos de espermatozoides de acordo com o estresse térmico enfrentado, mas não em intensidade suficiente para promover danos morfológicos. A diferença térmica entre as porções proximal e distal do escroto encontrada, variou em até 4°C. Os autores sugerem que a TIV é apropriada para diagnosticar danos e patologias espermáticas decorrentes de estresse térmico em touros, no entanto, esta não deve ser utilizada como medida única de avaliação (Figura 6).

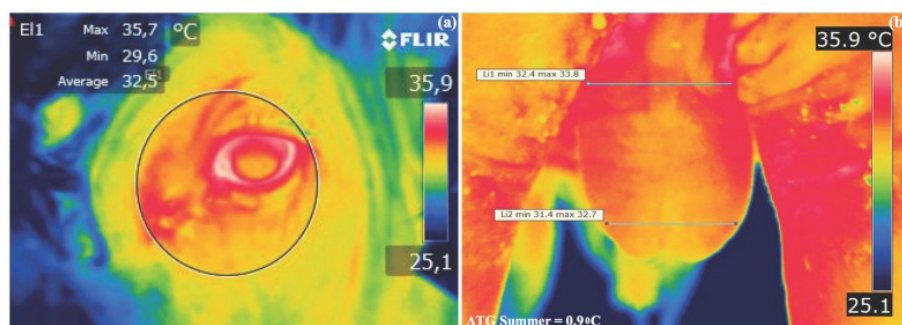


Figura 6. Imagem térmica testicular de bovino Braford durante o verão.
Fonte: Menegassi et al. (2015).

Para Romanello et al. (2018), Touros Canchim (5/8 *Bos taurus* × 3/8 *Bos indicus*) apresentaram resposta corporal e termorregulatória escrotal eficaz, mantendo a temperatura corporal dentro dos padrões de normalidade, demonstrando adaptabilidade e resiliência ao ambiente térmico, mesmo em condições climáticas desafiadoras. Nos períodos mais quentes do ano, os touros apresentaram um aumento quantitativo na produção seminal e características qualitativas relacionadas à fertilidade.

Comparativamente, em fêmeas bovinas, a temperatura corporal muda durante o ciclo estral, diminuindo aproximadamente dois dias antes do estro e aumentando no momento do pico do hormônio luteinizante (LH). No entanto, alterações fisiológicas provocadas pelo estresse térmico diminuem a liberação das gonadotrofinas (LH e FSH) e estrógenos. Como consequência desta coação fisiológica, transtornos reprodutivos como: falhas na detecção do estro ocasionadas pela presença de estro silencioso, falhas no desenvolvimento e na qualidade do oócito, na fertilização e na implantação do embrião devido à não preparação do útero e à formação de um corpo lúteo de má qualidade, condição de anestro ou ninfomania, podem ser detectadas (ROCHA et al., 2012).

O uso da TIV na avaliação reprodutiva de fêmeas bovinas de corte ainda se encontra subutilizado, com resultados contraditórios na literatura científica. Exemplo disso é apresentado por Taludker et al. (2015) que sugerem que a TIV mostrou baixo desempenho na detecção no cio de vacas em sistema de produção a pasto, ao utilizar a ferramenta para prever o tempo de ovulação de acordo com a temperatura vulvar. No entanto, Radigonda et al. (2017) detectaram alterações no gradiente térmico da pele vulvar durante um protocolo da IATF em vacas Braford. De acordo com estes autores, apesar de necessitar de mais estudos comprovando, a TIV pode ser uma ferramenta promissora para diagnóstico indireto da atividade ovariana e taxa de prenhez, passível de ser estendida para a aplicação em estudos de outras áreas da reprodução de fêmeas bovinas (Figura 7).

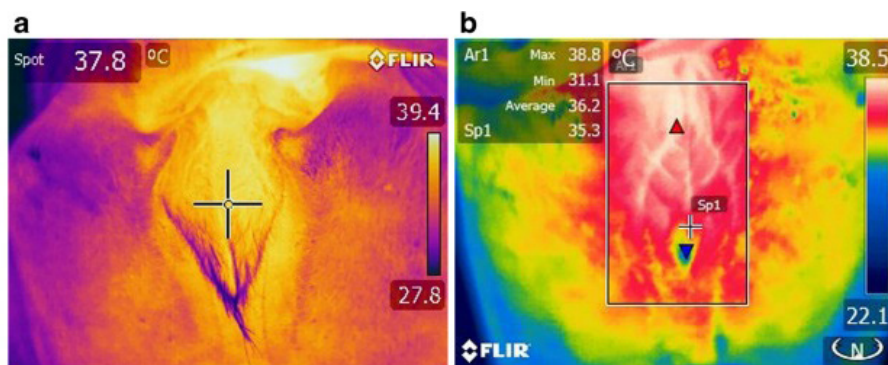


Figura 7. Termografia por infravermelho da área do períneo. a) imagem térmica da superfície da pele vulvar (temperatura média); e b) imagem termográfica infravermelha do gradiente de temperatura vulvar (atenção as variações de temperatura observadas).

Fonte: Radigonda et al. (2017).

Na nutrição

A produção de bovinos de corte no Brasil é realizada predominantemente em pastagens. Nestas condições, as adversidades climáticas e eventos ambientais influenciam não apenas o bem-estar animal e conforto térmico, como também o desenvolvimento das plantas forrageiras. Neste sentido, a produção, bem como constituição morfológica e composição química das plantas (relação parede celular: conteúdo celular), em ambiente tropical, são afetadas pela estacionalidade de produção (BERCHIELLI et al., 2012).

Em períodos de restrição hídrica e baixa produção, maiores proporções de fibras na alimentação favorecem a fermentação acética aumentando a produção de metano entérico, e dessa forma a produção de calor corporal (PEREIRA et al., 2009). Neste sentido, a alimentação é um dos fatores mais importantes na produção animal, estando a termorregulação intimamente relacionada à eficiência alimentar, por estar associada ao metabolismo e gasto energético (HERD et al. 2004). Assim, a TIV pode ser usada para medir os padrões de temperatura da superfície corporal decorrentes de processos metabólicos e auxiliar na gestão do manejo nutricional.

Neste sentido, estudos conduzidos por Montanholi et al. (2007; 2009¹; 2009² e 2013) avaliando o consumo de matéria seca e a eficiência alimentar de

bovinos de corte puros e cruzados das raças Angus, Simental, Hereford, Gelbvieh e Piemontês, identificaram que animais metabolicamente mais eficientes apresentam menores requisitos de energia de manutenção, sendo assim, menores temperaturas de superfície corporal são detectados pela TIV, inferindo em menor produção de metano em comparação a animais menos eficientes. Segundo os autores, essa tecnologia pode ser aplicada para a seleção de bovinos de corte mais adaptados e nutricionalmente mais eficientes. As regiões avaliadas neste estudo foram olhos, bochecha, costelas, patas traseiras e escroto, sendo que a TIV dos olhos, bochechas e patas apresentaram as correlações mais significativas com a eficiência alimentar (Figura 8).

Apoiados nestes estudos, Chizzotti et al. (2013) relataram que a maior eficiência alimentar e baixa excreção proteica em bovinos Nelore estaria associada ao menor consumo alimentar residual, sendo a avaliação termográfica do globo ocular a mais relacionada com as respostas citadas.

Neste sentido, Cook et al. (2016) sugerem que medições termográficas de novilhos mestiços Hereford-Angus podem ser usadas para classificar os ani-

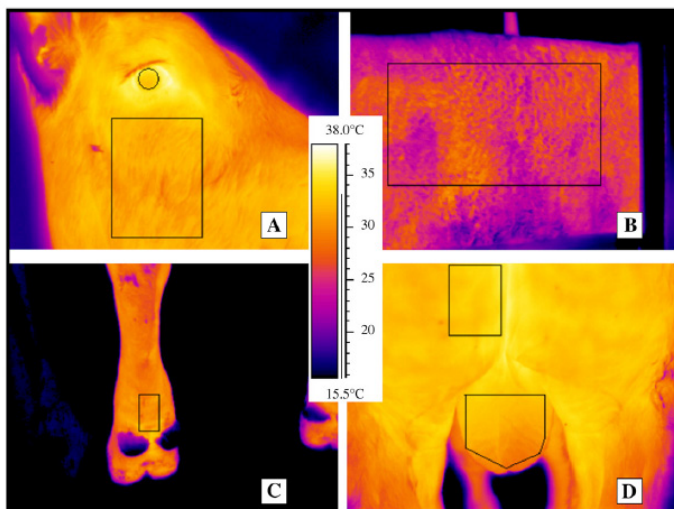


Figura 8. Imagens infravermelhas ilustrativas do olho e bochecha (A), costelas (B), área posterior da pata (C) e escroto (D).

Fonte: Montanholi et al. (2009).

mais com base em suas características térmicas irradiadas durante períodos de alimentação e desafio metabólico pela retirada do alimento. Martello et al. (2016) corroboraram destas informações e sugerem que bovinos Nelore com baixo consumo alimentar residual apresentam maior temperatura superficial da fronte, sendo também observado aumento no fluxo sanguíneo nas patas, região ocular e flanco (Figura 9.a-d).

No entanto, Thompson et al. (2018) sugerem que as condições climáticas devem ser consideradas em estudos que associam a TIV a nutrição animal, ao observar que a temperatura superficial ocular e das bochechas não apresentaram correlação significativa correlações significativas com consumo alimentar residual ajustado para gordura de cobertura em touros Angus. Os autores relatam que durante o experimento os animais passaram por situações de estresse por frio e por calor, podendo ter afetado os resultados obtidos. Diante deste contexto, as informações obtidas até o momento trazem perspectivas favoráveis para o uso da TIV na gestão nutricional de bovinos de corte, na seleção de alimentos que favoreçam a melhor eficiência alimentar e de animais nutricionalmente mais eficientes.

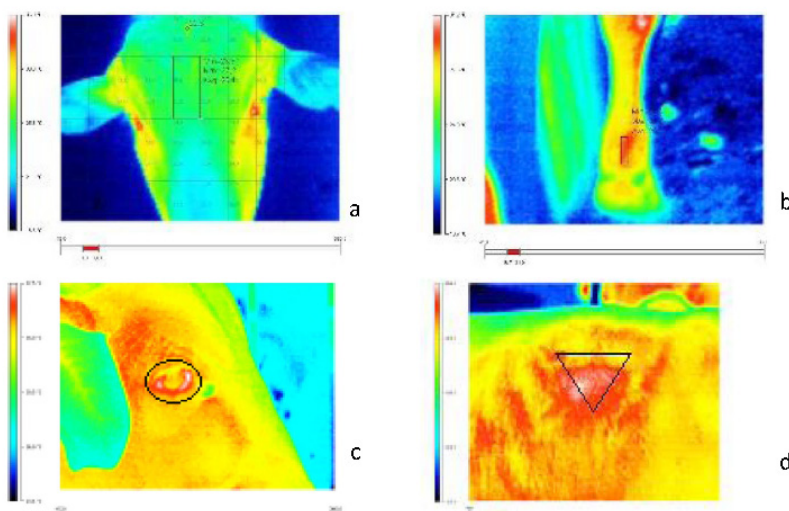


Figura 9. Obtenção de imagens termográficas em diferentes regiões do corpo animal. Fonte: Martello et al. (2016).

Na termorregulação corporal

Em condições térmicas estressantes, a ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, por meio de termorreceptores presentes na pele, controla a termorregulação corporal. Nestas condições, no organismo animal são ativados processos fisiológicos que favorecem as perdas do excedente térmico e, conseqüentemente, promovem alterações na taxa de fluxo de calor em diferentes regiões do corpo (EUSTÁQUIO FILHO et al., 2011). Neste sentido, o sistema nervoso simpático controla a microcirculação cutânea através de vasoconstrição ou vasodilatação dos capilares, promovendo alterações no fluxo sanguíneo e, do mesmo modo, a emissão do excedente térmico corporal para o ambiente externo (GROSSBARD et al., 2014).

Como a pele é considerada um órgão dinâmico que está em constante ajuste térmico, a fim de corresponder a toda a demanda fisiológica do organismo, a termometria cutânea apresenta efeito linear significativo com a temperatura ambiente e, assim, com a termorregulação. Diante deste contexto, imagens térmicas com base em uma região de referência em particular ou como mapeamento completo de todo o corpo animal podem auxiliar na avaliação da termorregulação corporal de bovinos de corte, uma vez que os equipamentos são capazes de detectar o calor emitido a partir 0,05°C (ROBERTO et al., 2014a).

Diante deste contexto, a TIV tem demonstrado capacidade para relacionar o nível de cortisol no organismo de bovinos com dados de temperatura na região ocular, devido à alteração no fluxo sanguíneo provocado nesta região como resposta às condições de estresse (TAN et al., 2009). De fato, Cardoso et al. (2015 e 2016), demonstraram alta correlação entre TIV da pele e índices fisiológicos, especialmente com a temperatura retal, ao avaliar a tolerância ao calor de raças zebuínas (Nelore, Gir, Sindhi, Girolando, Indubrasil, Pantaneiro, Curraleiro Pé-duro) no Cerrado brasileiro, durante a época da seca. As regiões da axila, pescoço e olhos foram os principais pontos para o registro das temperaturas (Figura 10).

Neste sentido, Sousa et al. (2016 e 2018) utilizando métodos estatísticos para desenvolver um método não invasivo para predição de variáveis fisiológicas relacionadas ao estado de estresse térmico de bovinos Nelore em confinamento, concluíram que medidas fisiológicas obtidas pela TIV permitiram uma avaliação e classificação precisas do estresse térmico individual dos animais. Por outro lado,

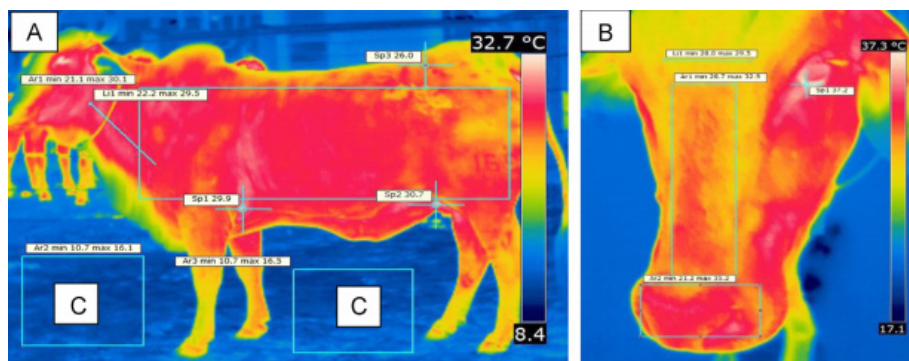


Figura 10. Análise termográfica da superfície corporal de um bovino.

Fonte: Cardoso et al. (2015).

Wallage et al. (2017), comparando radiotransmissores, registradores de dados do tipo dataloggers e TIV, para examinar touros Wagyu, concluíram que o uso de imagens térmicas para avaliação da temperatura corporal ainda necessita de mais estudos e refinamento de dados, sugerindo que registradores de dados do tipo dataloggers seriam uma alternativa mais confiável, precisa e econômica. Do mesmo modo, Lees et al. (2018) ao propor a TIV como ferramenta para determinação rápida da temperatura corporal de novilhos Angus, observaram relações limitadas entre temperatura ruminal e temperatura superficial, sugerindo que a ferramenta não seria indicada para estudos com esta finalidade.

Vale ressaltar que a TIV é uma ferramenta de avaliação pontual e não invasiva, a qual não exerce influências diretas sobre o bem-estar dos animais. Recentemente, Giro et al. (2019) ao comparar um dispositivo eletrônico do tipo transponder (ET) e a TIV como técnicas para monitorar a temperatura corporal de bovinos Canchim ($\frac{1}{2}$ Charolês x $\frac{1}{2}$ Zebu), mantidos em pastagem e sua capacidade de prever a temperatura interna, demonstraram que a TIV mostrou-se segura e não invasiva, apresentando maior precisão para inferência da temperatura corporal interna, enquanto que o ET foi mais influenciado pelas condições meteorológicas. As regiões corporais utilizadas para avaliação termográfica foram globo ocular e base da orelha (Figura 11).

Ainda como método de diagnóstico não invasivo, a TIV foi recentemente utilizada para coletar registros de frequência respiratória, a fim de detectar flutuações térmicas associadas ao movimento do ar pelas narinas durante os ciclos de inalação/expiração. De acordo com Lowe et al., (2019), durante a

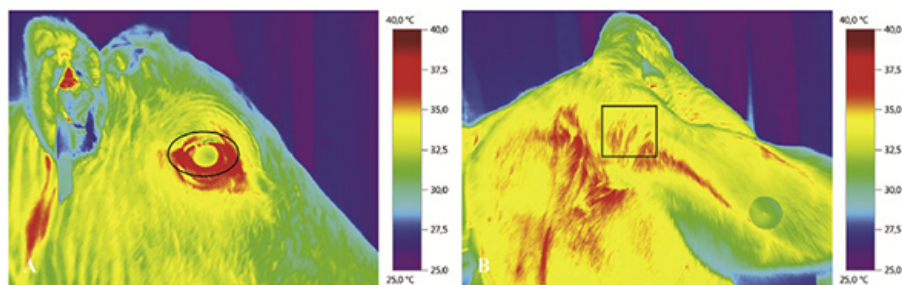


Figura 11. Imagens termográficas demonstrando análise da temperatura da superfície do globo ocular e da base da orelha de fêmeas bovinas. Parametrizado para paleta de cores do arco-íris e escala térmica de 25,0 a 40,0°C.

Fonte: Giro et al. (2019).

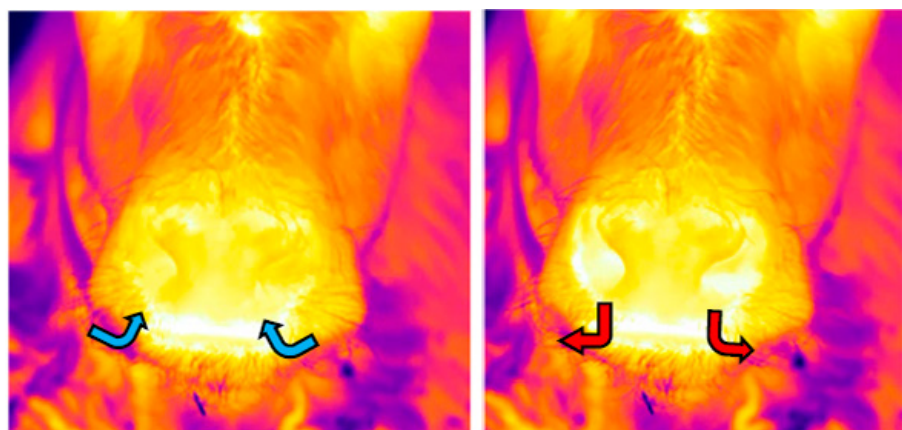


Figura 12. Exemplo de imagem térmica demonstrando as diferenças de temperatura durante inalação (seta azul) e exalação (seta vermelha) de ar durante a respiração de bovino.

Fonte: Lowe et al. (2019).

inalação, o ar fresco é aspirado do ambiente, resultando em um resfriamento das narinas e uma leitura “mais fria”. Por outro lado, durante a expiração, o ar quente é expelido para o meio ambiente, resultando em um aquecimento das narinas e uma subsequente leitura mais quente (Figura 12).

Na ambiência e conforto térmico

O ambiente térmico de produção animal é definido pelas diferentes combinações locais de fatores atmosféricos (radiação solar, temperatura do ar, umidade

relativa, ventos e precipitação). Em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto, a vegetação não apenas responde às condições térmicas locais como também influencia com uma variedade de processos e feedbacks (GERSONY et. al., 2016). Em sistemas que contém árvores, períodos de elevada incidência de radiação solar caracterizam estresse hídrico foliar, que alteram a condutância estomática e influenciam no balanço térmico da superfície das copas das árvores e da pastagem, em benefício da fotorrespiração, podendo mudar drasticamente em pequenas distâncias e superar a temperatura do ar quando esta se encontra acima de 35°C (KIM et al., 2016; NGAO et al., 2017).

Diante deste contexto, a mensuração das temperaturas da vegetação (forrageiras e árvores) em um sistema de produção a pasto representa uma abordagem promissora para a interpretação dos efeitos climáticos sob o ambiente térmico. Os resultados obtidos por Kim et al. (2016), nos EUA, sugerem que a temperatura da copa das árvores de uma floresta conífera, avaliada pela TIV, apresenta correlação significativa com os parâmetros climáticos, mostrando que as condições térmicas do dossel florestal podem ser monitoradas continuamente por longos períodos para melhor caracterizar o microclima abaixo dos dosséis e inferir o conforto térmico deste ambiente.

No Brasil, estudos neste sentido ainda são escassos, no entanto, recentemente Barreto et al. (2020) encontraram relações significativas entre termografia por infravermelho e parâmetros microclimáticos em sistemas em integração lavoura-pecuária-floresta, sendo a ferramenta passível de ser utilizada para avaliação do conforto térmico animal. Ainda neste sentido, Karvatte et al. (2020) propuseram a TIV como ferramenta para avaliação microclimática de sistemas agroflorestais e identificaram uma faixa de temperatura onde as emissões de radiação por infravermelho das folhas das copas das árvores e da pastagem são superiores a temperatura do ar e de globo negro, identificando um incremento de energia térmica no ambiente de produção, abaixo do dossel florestal (Figura 13).

Em condições de confinamento, a estrutura física das instalações e a presença e tipo de sombreamento também influenciam na sensação de bem-estar e conforto térmico dos animais. A intensidade com que de raios solares incide sob as instalações em determinados períodos do dia pode prejudicar a qualidade do ambiente devido à inércia térmica dos materiais utilizados nas construções e no acúmulo de carga térmica providas pelo ambiente e

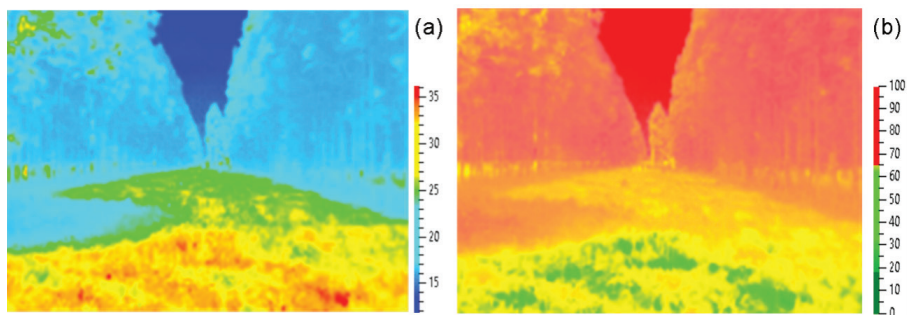


Figura 13. Imagem termográfica (a) e de umidade (b) do ambiente rural formado por um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta.

Fonte: Nivaldo Karvatte Junior.

animais. Assim, a energia solar absorvida pelas estruturas aumenta a sua temperatura para níveis acima dos do ambiente e influenciam no bem-estar animal (ABREU et al., 2011). Estudos avaliando as emissões de radiação por infravermelho pelas instalações ou sem seu interior não foram encontrados. No entanto, assim como na produção a pasto, vários estudos demonstram a melhor regulação térmica dos animais com acesso a estas estruturas (UNRUH et al., 2016; BARBOSA, 2017; CUTHBERTSON et al., 2019).

Na qualidade de carcaça

Apesar de recente e pouco comprovada para este fim, a TIV é capaz de fornecer um diagnóstico rápido e seguro, auxiliando, inclusive, na remuneração baseada na qualidade do produto fornecido pelo pecuarista e reduzir a subjetividade dos métodos de tipificação e classificação de carcaças comumente utilizados. Neste sentido, Schaefer et al. (2018) demonstraram que, em uma planta comercial, a TIV é capaz de operar na linha de abate com rapidez para avaliar a probabilidade de incidência de carne bovina DFD, sendo possível reduzir o risco de anormalidades na qualidade final da carne e na identificação de animais com febre.

Recentemente, em um estudo realizado por Corrêa (2019), a TIV foi capaz de colaborar na predição do acabamento e musculabilidade da carcaça, bem como identificar precocemente carcaças que produzirão carne de maciez indesejada (Figura 14). Dentre outros resultados, neste estudo ainda foi possí-

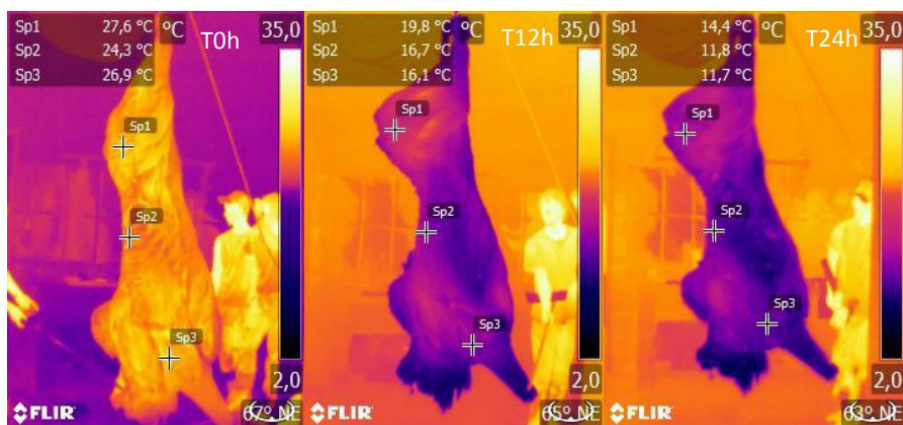


Figura 14. Exemplo de imagens nos tempos de refrigeração 0, 12 e 24h de refrigeração, com três pontos superficiais e suas respectivas temperaturas.
Fonte: Corrêa (2019).

vel observar que a temperatura superficial média da carcaça avaliada antes da refrigeração pode ser utilizada no auxílio a predição da área de olho de lombo e da força de cisalhamento da carne maturada por sete dias, e que com a temperatura superficial média da carcaça após 24 horas de refrigeração é possível prever o acabamento da carcaça.

Limitações da TIV

Conforme observado anteriormente, a termografia por infravermelho é uma ferramenta de detecção aparentemente simples de ser manuseada, na qual o inspetor (pessoa que está trabalhando) direciona o equipamento para o objeto a ser avaliado e obtém o resultado através da análise da imagem obtida. No entanto, durante o processo de avaliação, existem influências e limitações que podem induzir um resultado incompleto, sub ou superestimado. Como a ferramenta analisa a radiação térmica que atinge o seu detector, ambientes abertos ou até mesmo no interior de instalações, influências como radiação solar, vento, mudanças na temperatura ambiente, chuva, umidade excessiva, presença de partículas suspensas no ar, rochas, árvores e construções vizinhas podem estar constantemente emitindo radiação e comprometendo os resultados obtidos.

Diante deste cenário, o principal fator de limitação da avaliação térmica pode ser o próprio operador do equipamento. Sua motivação pode interferir diretamente nos resultados obtidos, tanto em quantidade de informações, quanto em qualidade. O operador deve conhecer o equipamento utilizado e o modo de funcionamento do mesmo, ter conhecimento de como se procede a dissipação térmica do objeto em estudo e prévio treinamento, assim como ter um objetivo claro do que, porque e como irá avaliar o seu objeto de estudo.

Neste sentido, segundo Santos (2006), algumas características técnicas do equipamento e de calibração para uso são de fundamental importância para uma correta avaliação termográfica, que podem ser observadas a seguir::

- **Faixa de temperatura:** É a faixa de medição de temperatura em que opera o termovisor. A faixa comumente encontrada nos equipamentos situa-se entre -20°C e 500°C . De maneira geral, a temperatura encontrada pelo equipamento vai estar próxima à temperatura do ambiente (ou de acordo com a variação da temperatura ambiente).
- **Faixa espectral:** refere-se às faixas de comprimento de ondas utilizadas para a fabricação dos equipamentos – Ondas Curtas de 3 a 5 μm e Ondas Longas de 8 a 14 μm . Dentre elas, a mais recomendada é a faixa de Ondas Longas por representar uma transmitância ainda maior e ser menos sensível a falsos pontos de alta temperatura resultante de reflexo solar.
- **Resolução espacial:** Define o menor detalhe de uma imagem que pode ser detectado pelo equipamento e está diretamente relacionado ao campo de visão do equipamento (área total que a lente abrange) e a distância de avaliação. O campo de visão comumente é definido pelas características técnicas de cada equipamento e modelo.

De maneira geral, na avaliação animal, a distância utilizada em trabalhos científicos tem variado entre 0,5 e dois metros, de acordo com a região anatômica ou local a ser avaliado (PULIDO-RODRÍGUEZ et al., 2017). No entanto, na avaliação do ambiente, como sistemas de produção animal a pasto e/ou com árvores, vale ressaltar que a distância ideal deverá ser definida de acordo com a qualidade do equipamento utilizado e com as dimensões apresentadas pelo objeto/superfície focal, para que esta

possa detectar todas as informações necessárias e desejadas para a avaliação.

- **Sensibilidade térmica e temperatura de operação:** Refere-se a menor diferença de temperatura que pode ser detectada. A sensibilidade térmica é inversamente proporcional à temperatura em que o objeto focal está envolvido. Para uma correta identificação, é necessário definir, no equipamento, a escala térmica de variação no dia da avaliação. Por exemplo, se em uma dada região a temperatura do ar média diária situa-se em torno de 26°C, a escala térmica deve ser definida entre 12°C e 36°C (dependendo do objeto focal avaliado).

O operador também deve definir no equipamento a temperatura referência no horário da avaliação. Por exemplo: Em um estudo a campo com o objetivo avaliar a variação diária de temperatura foliar de pastagem, se a temperatura do ar, às 8:00, é de 18°C, a temperatura referência no equipamento deve ser ajustada para 18°C, no entanto, se às 9:00 a temperatura do ar passou a ser de 20°C, a temperatura referência do equipamento também deve ser ajustada, e assim por diante. Estes detalhes garantem “contraste térmico” ou “resolução geométrica” entre a superfície avaliada e o entorno próximo a ela, que possibilitam melhor identificação e leitura pelos sensores do equipamento.

- **Emissividade:** Determina a capacidade da superfície ou objeto em emitir radiação. Os valores de emissividade vão de zero (refletor perfeito) a um (emissor perfeito – Corpo Negro), e podem variar com a qualidade da superfície (presença de sujidades na pele, no caso de animais), comprimento de onda, tamanho do animal (ou vegetal), temperatura e ângulo de visão. Em superfícies de folhas vegetais, por exemplo, a emissividade situa-se próximo a 0,97, enquanto materiais orgânicos, como a pele animal, apresentam emissividade entre 0,95 e 0,99 (FERREIRA et al., 2009; McMANUS et al., 2009; DAS et al., 2016).

- **Ângulo de visão:** A emissividade de uma superfície diminui quando o ângulo de visão aumenta. Na literatura é recomendado que as avaliações sejam feitas com ângulos abaixo de 30°C (HOLST, 2000). No entanto, este parâmetro será definido de acordo com a distância e dimensão do objeto focal. No caso de animais, é bem provável que o avaliador esteja

localizado a sua frente, não apresentando interferências. No entanto, em avaliações do ambiente, como por exemplo sistemas de produção a pasto que contém árvores é recomendado respeitar o limite de 30° a 60° de angulação (BARRETO et al., 2020; KARVATTE Jr. et al., 2020).

Considerações finais

A Termografia por infravermelho pode ser utilizada como uma ferramenta capaz de estimar, com precisão e de modo não invasivo, a termorregulação corporal de bovinos de corte e inferir sobre seu status sanitário, reprodutivo, nutricional, de bem-estar e de conforto térmico e qualidade de carcaça.

Entretanto, seu uso ainda necessita de consolidação quanto aos resultados obtidos, pois, embora apresente alta sensibilidade na detecção de alterações dos padrões térmicos dos animais, variações quanto à fisiologia da espécie e categoria animal (cria, recria, vacas prenhes, bovinos castrados, touros etc), bem como a interação com os elementos microclimáticos (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade dos ventos), podem influenciar no resultado final e devem ser cautelosamente levados em consideração.

Neste sentido, todos os estudos termográficos na área da bovinocultura de corte são relevantes, podendo servir como base para o aprimoramento da técnica, bem como para o avanço da ciência na bovinocultura de corte e de soluções para o aumento da produtividade e qualidade da carne bovina.

Referências bibliográficas

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. **Beef Report Perfil da Pecuária no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/texto.asp?id=8>. Acessado em 26/09/2019.
- ABREU, H. C.; DE LA CÔRTE, F. D.; BRASS, K. E.; POMPERMAYER, E.; LUZ, T. R. R. da.; GASPERI, D. de. Claudicação em cavalos Crioulos atletas. **Ciência Rural**, v.41, n.12, p.2114-2119, 2011.
- ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D. Termografia de infravermelho aplicada à inspeção de edifícios. **Acta Tecnologia**, v.7, n.1, p.55-59, 2012.
- ANDRADE NETO, O.; GASPERIN, B. G.; ROVANI, M. T.; ILHA, G. F.; NÚBREGA JR, J. F.; MONDADORI, R. G.; GONÇALVES, P. B. D.; ANTONIAZZI, A. Q. Intratesticular hypertonic sodium chloride solutions treatment as a method of chemical castration in cattle. **Therionenology**, v.82, p.1007-1011, 2014.

- BASILE, R. C.; BASILE, M. T.; ALBERNAZ, R. M.; PEREIRA, M. C.; ARAÚJO, R.; FERRAZ, G. C.; QUEIROZ-NETO, A. Guia prático para o exame termográfico em equinos. **Revista Brasileira de Medicina Equina**, v.31, n.1, p.1-4, 2010.
- BARRETO, C. D.; ALVES, F. V.; DE OLIVEIRA RAMOS, C. E. C.; LEITE, M. de P.; LEITE, L. C.; KARVATTE Jr, N. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, p.881-888, 2020.
- BERRY, R. J.; KENNEDY, A. D.; SCOTT, S. L.; KYLE, B. L.; SHAEFER, A. L. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: potential for mastitis detection. **Canadian Journal Animal Science**, v.83, p.687-693, 2003.
- BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, n.4, p.954-968, 2012.
- BRITO, L. F. C.; SILVA, A. E. D. F.; RODRIGUES, L. H.; VIEIRA, F. V.; DERAGON, L. A. G.; KASTELIC, J. P. Effect of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality, in AI bulls in Brazil. **Theriogenology**, v.58, p.1175-1186, 2002.
- CARDOSO, C. C.; LIMA, F. G.; FIORAVANTI, M. C. S.; EGITO, A. A. do; PAULA e SILVA, F. C. de.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; McMANUS, C. Heat tolerance in Curraleiro Pé-Duro, Pantaneiro and Nelore cattle using thermographic images. **Animals**, v.6, n.9, 2016.
- CARDOSO, C. C.; PERIPOLLI, V.; AMADOR, S. A.; BRANDÃO, E. G.; ESTEVES, G. I. F.; SOUZA, 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. Physiological and thermographic response to heat stress in zebu cattle. **Livestock Science**, v.182, p.83-92, 2015.
- CERDEIRA, F.; VÁZQUEZ, M. E.; COLLAZO, J.; GRANADA, E. Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes. **Energy and Buildings**, v.43, p.1845-1851, 2011. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.029.
- CHACUR, M. G. M.; SOUZA, C. D.; ANDRADE, I. B.; BASTOS, G. P.; DEAK, F. L. G.; SOUZA, M. G. R.; CORNACINI, G. F.; 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**, v.40, n.3, p.88-94, 2016.
- CHIZZOTTI, M. L.; HEIDERICH, D. AZIANI, W. L. B. LADEIRA, M. M.; VALENTE, E. E. L.; YANAGI JR, T.; CHIZZOTTI, F. H. M.; SCHIASSI, L.; LOURENÇONI, D. Protein turnover and infrared thermography in Nelore bulls classified for residual feed intake. In.: J.W. Oltjen et al. (eds.), **Energy and Protein metabolism and nutrition is sustainable animal protection**, EAAP publication, n.134, 2013. doi: 10.3920/978-90-8686-781-3_35.
- COOK, N.; TIMSIT, E.; COLYN, J.; CHABOT, B.; LIU, T.; WOLFGER, B.; SCHAEFER, A. Assessing consistency in radiated thermal output of beef steers by infrared thermography. **Journal of Imaging**, n.2, p.2-17, 2016.
- CORRÊA, A. M. **Termografia infravermelha para a avaliação de carcaça e qualidade de carne bovina**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.
- CORTIZO, E. C.; BARBOSA, M. P.; SOUZA, L. A. C. Estudo da arte da termografia. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído Patrimônio Sustentável**, v.2, n.2, p.159-193, 2008.
- CUTHBERTSON, H.; TARR, G.; GONZÁLEZ, L. A. Methodology for data processing and analysis techniques of infrared video thermography used to measure cattle temperature in real time. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.167, p.105-119. 2019.

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**, v.9, n.3, p.260-268, 2016.

EDDY, A. L.; VAN HOOOGMOED, L. M.; SNYDER, J. R. The role of thermography in the management of equine lameness. **Veterinary Journal**, v.162, p.172-181, 2001.

EUSTÁQUIO FILHO, A.; TEODORO, S. M.; CHAVES, M. A.; SANTOS, P. E. F.; SILVA, M. W. R.; MURTA, R. M.; CARVALHO, G. G. P.; SOUZA, L. E. B. Zona de conforto térmico de ovinos da raça Santa Inês com base nas respostas fisiológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.8, p.1807-1814, 2011.

FERREIRA, F.; CAMPOS, W. E.; CARVALHO, A. U.; PIRES, M. F. A.; MARTINEZ, M. L.; SILVA, M. V. G. B.; VERNEQUE, R. S.; SILVA, P. F. Parâmetros clínicos, hematológicos, bioquímicos e hormonais de bovinos submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.4, p.769-776, 2009.

GERSONY, J. T.; PRAGER, C. M.; BOELMAN, N. T.; EITEL, J. U. H.; GOUGH, L.; GREAVES, H. E.; GRIFFIN, K. L.; MAGNEY, T. S.; SWEET, S. K.; VIERLING, L. A.; NAEEM, S. Scaling thermal properties from the leaf to the canopy in Alaskan arctic tundra. **Arctic, Antarctic, and Alpine Research**, v.48, n.4, p.739-754, 2016.

GIRO, A.; BERNARDI, A. C. de C.; BARIONI JR, W.; LEMES, A. P.; BOTTA, D.; ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R. Application of microchip and infrared thermography for monitoring body temperature of beef cattle kept on pasture. **Journal of Thermal Biology**, v.84, p.121-128, 2019.

GIRO, A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BARIONI JR, W.; PEDROSO, A. de F.; LEMES, A. P.; BATTA, D.; ROMANELLO, N.; BARRETO, A. do N.; GARCIA, A. R. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, n.684, p.587-596, 2019. ⁽²⁾

GROSSBARD, B. P. et al. Medical Infrared Imaging (Thermography) of Type I Thoracolumbar Disk Disease in Chondrodystrophic Dogs. **Veterinary Surgery**, v.43, p.1–8, 2014.

HANSEN, P. J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philos Trans R Soc Lond B**, v.364, p.3341-3350, 2009.

HEAD, M. J.; DYSON, S. Talking the temperature of equine thermography (editorial). **The Veterinary Journal**, v.162, p.166–167, 2001.

HERD, R. M.; DICKER, R. W.; LEE, G. J.; et al. Steer growth and feed efficiency on pasture are favourably associated with genetic variation in sire net feed intake. **Animal Production in Australia**, v.25, p.93-96, 2004.

HOLST, G. C. Common Sense approach to thermal imaging. Winter Park (FL): **JCD Publishing**, 2000, 377p.

KARVATTE Jr, N.; MIYAGI, E. S.; DE OLIVEIRA, C. C.; BARRETO, C. D.; MASTELARO, A. P.; BUNGENSTAB, D. J.; ALVES, F. V. Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. **Science of The Total Environment**, v.731, 2020.

KASTELIC, J. P.; COOK, R. B.; PIERSON, R. A.; COULTER, G. H. Relationships among scrotal and testicular characteristics, sperm production, and seminal quality in 129 beef bulls. **Canadian Journal of Veterinary Research**, v.65, p.111-115, 2001.

KIM, Y.; STILL, C. J.; HANSON, C. V.; KNOW, H.; GEER, B. T.; LAW, B. E.; Canopy skin temperature variations in relation to climate, soil temperature, and carbon flux at a ponderosa

pine forest in central Oregon. **Agricultural Forestry Meteorology**, v.226–227, p.161-173, 2016.

KULESZA, O.; RZECZKOWSKI, M.; KACZOROWSKI, M. Thermography and its practical use in equine diagnostics and treatment. **Medycyna Weterinaryjna**, v.60, n.1143-1146, 2004.

LABEUR, L.; VILLIERS, G.; SMALL, A. H. H.; HINCH, G. N. N.; SCHMOELZL, S. Infrared thermal imaging as a method to evaluate heat loss in newborn lambs. **Research Veterinarian Science**, v.115, p.517–22, 2017.

LEES, A. M.; LEES, J. C.; SEJIAN, V.; WALLAGE, A. L.; GAUGHAN, J. B. Short communication: using infrared thermography as an in situ measure of core body temperature in lot-fed Angus steers. **International Journal of Biometeorology**, n.62, p.3-8, 2018.

LOWE, G.; SUTHERLAND, M.; WAAS, J.; SCHAEFER, A.; COX, N.; STEWART, M. Infrared Thermography – A non-invasive method of measuring respiration rate in calves. **Animals**, n.9, v.535, p.2-8, 2019.

MALDAGUE, X. **Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook**. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001, p.273.

MARTELLO, L. S.; DA LUZ E SILVA, S.; DA COSTA GOMES, R.; DA SILVA CORTE, R. R. P.; LEME, P. R. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International Journal of Biometeorology**, v.60, n.1, p.173–181, 2016.

McMANUS, C.; PRESCOTT, E.; PALUDO, G. R.; BIANCHINI, E.; LOUVANDINI H.; MARIANTE, A. S. Heat tolerance in naturalized Brazilian cattle breeds. **Livestock Science**, v.120, n.3, p.256–64, 2009.

MENEGASSI, S. R. O.; PEREIRA, G. R.; DIAS, E. A.; ROCHA, M. K. da.; CARVALHO, H.R.; KOETZ JR, OBERST, E. R.; BARCELLOS, J. O. J. Infrared thermography as a noninvasive method to assess scrotal insulation on sperm production in beef bulls. **First International Journal of Andrology**, p.3-8, 2017.

MENEGASSI, S. R. O.; PEREIRA, G. R.; DIAS, E. A.; KOETZ JR, C.; LOPES, F. G.; BREMM, C.; PIMENTEL, C.; LOPES, R. B.; ROCHA, M. K. da.; CARVALHO, H. R.; BARCELLOS, J. O. J. The uses of infrared thermography to evaluate the effects of climatic variables in bull's reproduction. **International Journal of Biometeorology**, v.60, p.151-157, 2016.

MENEGASSI, S. R. O.; BARCELLOS, J. O. J.; DIAS, E. A.; KOETZ JR, C.; PEREIRA, G. R.; PERIPOLLI, V.; McMANUS, C.; CANOZZI, M. E. A.; LOPES, F. G. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. **International Journal of Biometeorology**, v.59, p.357-364, 2015.

McCAFFERTY, D. J. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. **Mamm. Rev.** v.37, p.207-223, 2007.

MONTANHOLI, Y. R.; PALME, R.; HAAS, L. S.; SWANSON, K. C.; VANDER VOORT, G. On the relationships between glucocorticoids and feed efficiency in beef cattle. **Livestock Science**, v.155, p.130-136, 2013.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; CALDWELL, T. R.; MILLER, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v.125, n.1, p.22–30, 2009.

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; PALME, R.; SCHENKEL, F. S.; MCBRIDE, B. W.; LU, D.; MILLER, S. P. Assessing feed efficiency in beef steers through feeding behavior, infrared

thermography and glucocorticoids. **Animal**, v.4, n.5, p.692-701.)

MONTANHOLI, Y. R.; SWANSON, K. C.; MILLER, S. P.; PALME, R.; SCHENKEL, F. S. Relationships between residual feed intake and infrared thermography and glucocorticoid levels in feedlot steers in three different sire breed. In: Proceedings of the Canadian Nutrition Congress, Winnipeg, M. B, Canada, p. 36, 2007.

NGAO, J.; ADAM, B.; SAUDREAU, M. Intra-crown spatial variability of leaf temperature and stomatal conductance enhanced by drought in apple tree as assessed by the RATP model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 237, p.340-354, 2017.

O'TOOLE, D.; FOX, J. D. Chronic hyperplastic and neoplastic cutaneous lesions (Marjolin's ulcer) in hot-brand sites in adult beef cattle. **J Vet Diagn Invest**, v.15, p.64-67, 2003.

PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T.; OLIVEIRA, S. G.; BERCHIELLI, T. T. Ruminant methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, p.742-750, 2009.

PULIDO-RODRÍGUEZ, L. F.; TITTO, E. A. L.; HENRIQUE, F. L.; LONGO, A. L. S.; HOOPER, H. B.; PEREIRA, T. L.; PEREIRA, A. M. F.; TITTO, C. G. Termografia infravermelha da superfície ocular como indicador de estresse em suínos na fase de creche. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.37, n.5, p.453-458, 2017.

RADIGONDA, V. L.; PEREIRA, G. R.; FAVARO, P. da C.; BARCA JUNIOR, F. A.; BORGES, M. H. F.; GALDIOLI, V. H. G.; KOETZ JUNIOR, C. Infrared thermography relationship between temperature of the vulvar skin, ovarian activity, and pregnancy rates in Braford cows. **Tropical Animal Health Production**, v.49, p.1787-1791, 2017.

ROBERTO, J. V. B.; DE SOUZA, B. B. Use of infrared thermography in veterinary medicine and animal production. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology-Online Submission System**, v.2, p. 73-84, 2014.

ROCHA, D. R.; SALLES, M. G. F.; MOURA, A. A. N.; ARAÚJO, A. A. Impacto do estresse térmico na reprodução da fêmea bovina. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v.36, n.1, p.18-24, 2012.

ROMANELLO, N.; LOURENÇO JR, J. B.; BARIONI JR, W.; BRANDÃO, F. Z.; MARCONDES, C. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; PANTOJA, M. H. A.; BOTTA, D.; GIRO, A.; MOURA, A. B. B.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R. Thermoregulatory responses and reproductive traits in composite beef bulls raised in a tropical climate. **International Journal of Biometeorology**, v.62, p.1575-1586, 2018.

RUEDIGER, F. R.; CHACUR, M. G. M.; ALVES, F. C. P. E.; OBA, E.; RAMOS, A. A. Termografia digital por infravermelho do escroto, qualidade do sêmen, níveis séricos de testosterona em touros Nelore (*Bos taurus indicus*) e suas correlações com os fatores climáticos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.1, p.221-232, 2016.

SANTOS, L. **Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas**, 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, p.129, 2006.

SCHAEFER, A.; GENHO, D.; CLISDELL, R.; VON GAZA, H.; DESROCHES, G. et al. The automated and real time use of infrared thermography in the detection and correction of DFD and fevers in cattle. **Journal of Animal Science**, v.96, 2018.

SCHAEFER, A. L.; COOK, N. J.; CHURCH, J. S.; BASARAB, J.; PERRY, B.; MILLER, C.; TONG, A. K. W. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. **Research in Veterinary Science**, 2007.

SCHUENEMANN, G. M.; EDWARDS, J. L.; DAVIS, M. D.; BLACKMON, H. E.; SCENNA, F. N.; ROHRBACH, N. R.; SAXTON, A. M.; ADAIR, H. S.; HOPKINS, F. M.; WALLER, J. C.; SCHRICK, F. N. Effect of administration of ergotamine tartrate on fertility of yearling beef bulls. **Theriogenology**, v.63, p.1407-1418, 2005.

SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S. e STOOKEY, J. M. The use of infrared thermography to assess inflammation associated with hot-iron and freeze branding in cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, p.677-683, 1997.

SOUSA, R. V.; RODRIGUES, A. V. S.; ABREU, M. G.; TABILE, R. A.; MARTELLO, L. S. Predictive model based on artificial neural network for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.144, p.37-43, 2018.

SOUSA, R. V.; CANATA, T. F.; LEME, P. R.; MARTELLO, L. S. Development and evaluation of a fuzzy logic classifier for assessing beef cattle thermal stress using weather and physiological variables. **Computers and Electronics in Agriculture**, n.127, p.176-183, 2016.

TALUKDER, S.; THOMSON, P. C.; KERRISK, K. L.; CLARK, C. E. F.; CELI, P. Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. **Theriogenology**, v.83, n.4, p.739-748, 2015.

TAN, J.; NG, E. Y. K.; ACHARYA, U. R.; CHEE, C. Infrared thermography on ocular surface temperature: a review. **Infrared Physical Technology**, v.52, p.97- 108, 2009.

THOMPSON, S.; SCHAEFER, A. L.; CROW, G. H.; BASARAB, J.; COLYN, J.; OMINSKI, K. Relationship between residual feed intake and radiated heat loss using infrared thermography in young beef bulls. **Journal of Thermal Biology**, n.78, p.304-311, 2018.

UNRUH, E. M.; THEURER, M. E.; WHITE, B. J.; LARSON, R. L.; DROUILLARD, J. S.; SCHRAG, N. Evaluation of infrared thermography as a diagnostic tool to predict heat stress events in feedlot cattle. **American Journal of Veterinary Research**, v.78, n.7, 2017.

VOGLER, C. J.; SAACKE, R. G.; BAME, J. H.; DeJARNETTE, J. M.; MCGILLIARD, M. L. Effects of scrotal insulation on viability characteristics of cryopreserved bovine semen. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3827-3835, 1991.

WALLAGE, A. L.; GAUGHAN, J. B.; LISLE, A. T.; BEARD, L.; COLLINS, C. W.; JOHNSTON, S. D. Measurement of bovine body and scrotal temperature using implanted temperature sensitive radio transmitters, data loggers and infrared thermography. **International Journal of Biometeorology**, v.61, p.1309-1321, 2017.



Gado de Corte



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 16013