

# Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão

Juliana Mergh Leão<sup>1</sup> - CRMV-MG 15859  
Juliana Aparecida Mello Lima<sup>2</sup>  
Fernando Pimont Pôssas<sup>3</sup> - CRMV-MG 7779  
Luiz Gustavo Ribeiro Pereira<sup>4</sup> - CRMV-MGS930

<sup>1</sup> Médica Veterinária, Doutoranda em Zootecnia, Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>2</sup> Médica Veterinária, Bolsista Pós-doc CAPES/PVE, Universidade Federal de São João del-Rei/Embrapa Gado de Leite.

<sup>3</sup> Médico Veterinário, Bolsista Pós-doc CAPES/Embrapa, Universidade Federal de São João del-Rei.

<sup>4</sup> Embrapa Gado de Leite, Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, Coronel Pacheco, Minas Gerais.

## Introdução

Tecnologias inovadoras e biotecnologias contribuem significativamente para o avanço em pesquisa animal, permitindo a identificação da variabilidade animal e o desenvolvimento de produtos, processos e serviços para aplicação do conceito de pecuária de precisão nas fazendas leiteiras.

Métodos não destrutivos nem invasivos podem ser úteis para obtenção de dados confiáveis sem interferir diretamente com os organismos, evitando reações de estresse. A termografia infravermelha pode ser um méto-

*Na medicina veterinária e produção animal tem sido aplicada principalmente como ferramenta de diagnóstico, de prevenção e de correlação com característica de interesse econômico ou clínico.*

do adequado para alcançar esse objetivo, já que não entra em contato com os animais e, portanto, não existe contraindicação para seu uso em nenhuma espécie, tornando-se opção com potencial de aplicação na produção animal.

Na medicina veterinária e produção animal tem sido aplicada principalmente como ferramenta de diagnóstico, de prevenção e de correlação com característica de interesse econômico ou clínico. Pode, por exemplo, ser utilizada para detectar processos inflamatórios ou si-

nais patológicos subclínicos antes de a doença tornar-se evidente, permitindo a aplicação do conceito de terapêutica de precisão.

Em relação à avaliação do bem-estar, instalações e condições de conforto térmico, as mensurações termográficas podem ser utilizadas em animais para monitorar seu comportamento natural ou em determinada condição de manejo e ainda serem utilizadas para avaliar o conforto térmico de instalações. As medidas podem ser feitas em conjunto com outras mensurações de características fisiológicas e comportamentais. Além disso, os dados podem ser gravados remotamente tanto durante o dia como à noite, permitindo, assim, que os animais possam ser estudados a campo.

Este capítulo visa mostrar fundamentos científicos e técnicos de termografia e suas principais aplicações na medicina veterinária e pecuária leiteira de precisão.

## Conceitos e Princípios

A termografia infravermelha é a ciência de aquisição e análise de informações térmicas a partir de dispositivos de obtenção de imagens térmicas sem contato. O infravermelho é uma frequência eletromagnética naturalmente emitida por qualquer corpo, com intensidade proporcional à sua temperatura.

Historicamente, a mensuração da temperatura tem sido utilizada para o diagnóstico clínico, porque se provou ser um bom indicador da saúde (Tan *et al.*, 2009). Os mamíferos são capazes de manter a temperatura corporal constante, apesar de serem influenciados pela

*A termografia infravermelha (TIV) é baseada no princípio de que todos os corpos formados de matéria emitem certa carga de radiação infravermelha, proporcional à sua temperatura. Essa radiação pode ser capturada em um termograma que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (Eddy et al., 2001).*

transferência de calor do meio ambiente por convecção, radiação infravermelha, transpiração e condução. A temperatura do núcleo (core) é preservada dentro de uma faixa estreita (Bouzida *et al.*, 2009) e sua regulação é essencial para a execução normal do corpo no metabolismo saudável ou exercício. A temperatura do corpo está intimamente controlada dentro de limites precisos. De um ponto de

vista quantitativo, o fenômeno mais importante empregado na termorregulação é evapotranspiração. Um grama de água evaporada da superfície da pele pode reduzir 1°C de 0,5kg do tecido de um mamífero.

A termografia infravermelha (TIV) é baseada no princípio de que todos os corpos formados de matéria emitem certa carga de radiação infravermelha, proporcional à sua temperatura. Essa radiação pode ser capturada em um termograma que expressa o gradiente térmico em um padrão de cores (Eddy *et al.*, 2001).

A temperatura de superfície dos animais depende do fluxo sanguíneo e da taxa metabólica dos tecidos subcutâneos (Nikkhah *et al.*, 2005). Muitas infecções que desencadeiam processos inflamatórios como resposta imunológica alteram o fluxo sanguíneo e, por consequência, a temperatura na região afetada (Berry *et al.*, 2003). Alterações de superfície da pele podem ser detectadas utilizando-se a TIV com sucesso (Bouzida *et al.*, 2009).

A circulação e o sangue são a base para o uso da termografia, que captura, na pele, suas atividades, como um padrão fisiológico dinâmico. Assim, a imagem termográfica aparece como um gráfico de representação da radia-

ção emitida pela superfície da pele, que é transformado em imagem visível (Fig. 1). Quando há alterações na circulação dos tecidos adjacentes à pele, sua temperatura também sofrerá alteração, mudando o padrão de cor no termograma (Redaelli *et al.*, 2013), quantitativamente observado em cada pixel, que representa um ponto de temperatura.

O uso da TIV se deve, principalmente, à vantagem de não ser uma técnica invasiva, podendo ser usada sem a necessidade de captura ou contenção dos animais (Schaefer *et al.*, 2012); tem a possibilidade de ser utilizada como um método de prevenção de doenças,

*O uso da TIV se deve, principalmente, à vantagem de não ser uma técnica invasiva, podendo ser usada sem a necessidade de captura ou contenção dos animais*

identificando a elevação da temperatura antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, atuando como um sinal de alerta para a observação do animal (Gloster *et al.*, 2011; Redaelli *et al.*, 2013); permite a análise da resposta fisiológica, fornecendo resultados das alterações teciduais ao longo do tempo (Redaelli *et al.*, 2013); e apresenta mobilidade para aplicação nas fazendas (Dunbar *et al.*, 2009).

Mesmo com essas vantagens, fatores relacionados ao equipamento, animal ou ambiente podem limitar o uso da TIV. Com relação ao equipamento, uma boa câmera termográfica apresenta custo elevado (Eddy *et al.*, 2001;

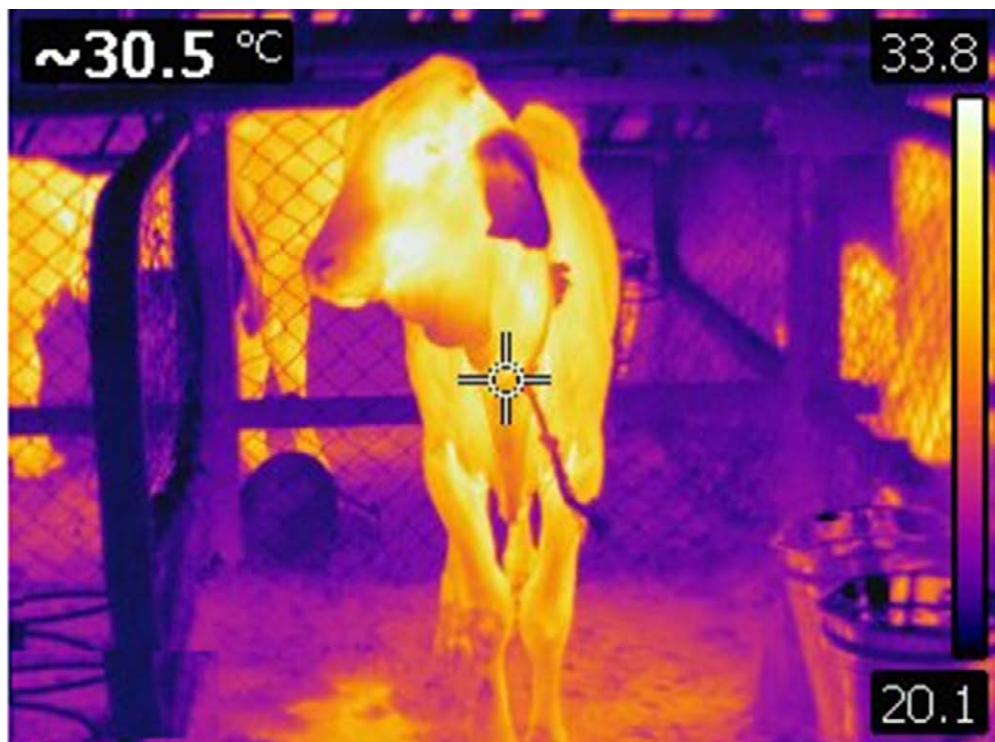


Figura 1. Termograma de uma bezerra. Notar as narinas, orelhas e partes baixas das pregas da pele cervical como extremidades mais frias e entorno dos olhos e região posterior da boca como áreas mais quentes.

Redaelli *et al.*, 2013). Fatores relacionados diretamente ao animal podem influenciar o resultado do termograma: como a realização de atividade física – que eleva a temperatura superficial devido ao aumento da taxa metabólica e circulação periférica dos músculos esqueléticos (Berry *et al.*, 2003), a presença de resíduos orgânicos ou inorgânicos no local a ser termografado (esterco, lama ou tecido necrosado), alterando a temperatura (Rodríguez *et al.*, 2008); e o estágio de lactação, que influencia a temperatura da pele da mama, que, no pico da lactação, está em maior atividade física e metabólica, tornando-se mais quente (Martins *et al.*, 2013).

Sobre o ambiente, destaca-se a influência do ciclo circadiano sobre a temperatura corporal, principalmente da glândula mamária, que é um dos principais fatores observados no uso da TIV para diagnóstico de mastite, bem como o efeito da exposição à radiação solar direta (Berry *et al.*, 2003), o conforto térmico oferecido pelo ambiente no momento, ou antes, da obtenção do termograma, pois a hipertermia ou hipotermia influenciam o resultado do termograma (Nogueira *et al.*, 2013). Além da temperatura, a umidade relativa do ar e emissividade do tecido também devem ser observadas, porém podem ser ajustadas no equipamento ou *software* de interpretação de imagens termográficas (Kunc *et al.*, 2007). Muitas das limitações apresentadas ao uso da TIV podem ser minimizadas com cuidados no momento da avaliação, sendo necessária a padronização de procedimentos.

## Uso da TIV no diagnóstico de patologias de animais

Na medicina veterinária, a TIV tem recebido maior atenção no desenvolvimento de pesquisas nas áreas de: mastite bovina (Berry *et al.*, 2003; Nikkhah *et al.*, 2005; Colak *et al.*, 2008; Hovinen *et al.*, 2008; Polat *et al.*, 2010), doença respiratória em bezerros (Schaefer *et al.*, 2007; Schaefer *et al.*, 2011), diagnóstico de febre aftosa (Rainwater-Lovett *et al.*, 2009), avaliação de comportamento e bem-estar animal (Stewart *et al.*, 2005; Kotrba *et al.*, 2007; McCafferty *et al.*, 2011), produção de gás metano por vacas leiteiras e identificação de animais com melhor eficiência alimentar (Montanholi *et al.*, 2008).

Na perspectiva de produzir conhecimentos sobre o uso da TIV na medicina veterinária, como método auxiliar em diagnóstico de patologias, pesquisas apontaram-na como capaz de identificar alterações locais e sistêmicas de temperatura, expressas na superfície da pele, com a vantagem, em muitos casos, de identificá-las ainda no início da doença, mesmo antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos, tornando-a, assim, uma tecnologia que pode aumentar a eficiência dos diagnósticos e terapêutica (Tab. 1).

## Febre aftosa

Dada a importância econômica da febre aftosa, o diagnóstico, prevenção e controle devem ter elevado nível de eficiência. Com o

*Na medicina veterinária, a TIV tem recebido maior atenção no desenvolvimento de pesquisas nas áreas de: mastite bovina, doença respiratória em bezerros, diagnóstico de febre aftosa, avaliação de comportamento e bem-estar animal, produção de gás metano por vacas leiteiras e identificação de animais com melhor eficiência alimentar.*

**Tabela 1: Diferentes aplicações da termografia infravermelha em bovinos**

Referências	Conclusões
Schaefer <i>et al.</i> (1988)	Alterações da temperatura termográfica associadas ao transporte e ao jejum – método eficaz na avaliação do bem-estar animal.
Eicher <i>et al.</i> (2006)	Alterações da temperatura termográfica da cauda para detecção de dor crônica após o corte de cauda.
Stewart, Stafford, Dowling, Schaefer & Webster (2008); Stewart <i>et al.</i> (2009)	Diminuição da temperatura termográfica ocular permite a detecção de dor aguda no momento da descorna – método eficaz na avaliação do bem-estar animal.
Stewart <i>et al.</i> (2010)	Alterações da temperatura termográfica ocular mediadas pela resposta do sistema nervoso simpático – método eficaz na avaliação do bem-estar animal.
Schaefer <i>et al.</i> (2004)	Modelo de indução de diarreia viral bovina para identificação precoce de doença sistêmica. Observação de alterações da temperatura termográfica ocular até uma semana antes do aparecimento de sinais clínicos; elevada sensibilidade de diagnóstico.
Colak <i>et al.</i> (2008)	Alterações da temperatura termográfica do úbere permitem a detecção de diversos graus de gravidade de infecção da glândula mamária; correlação com o teste <i>California mastitis test</i> ( $r = 0,92$ ) – método eficaz para monitorar e identificar mastites.
Hovinen <i>et al.</i> (2008)	Modelo de indução de mastite por <i>Escherichia coli</i> para determinar a eficácia da termografia na identificação de mastites clínicas. Observação de um aumento de 1 a 1,5 °C da temperatura termográfica do úbere associado à presença de mastite clínica.
Polat <i>et al.</i> (2010)	Alterações da temperatura termográfica do úbere permitem a detecção de mastites subclínicas com uma capacidade predictiva similar à do teste <i>California mastitis test</i> – método alternativo perante impossibilidade de realização de culturas microbiológicas (Se=95,6%; Sp=93,6%).
Rainwater-Lovett <i>et al.</i> , (2009)	Alterações termográficas dos membros permitem a identificação de febre aftosa antes e após o aparecimento de sinais clínicos da doença. Método de triagem eficaz.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2013).

intuito de contribuir com essa eficiência, estudos adotaram a TIV como tecnologia auxiliar nesse processo. Rainwater-Lovett *et al.* (2009) recomendaram o uso da TIV como ferramenta auxiliar no diagnóstico de rebanhos com suspeita de febre aftosa, associando-a a outros exames laboratoriais, tendo em vista que o termograma conseguiu detectar incremento de temperatura do casco e no olho de animais infectados, mesmo antes de aparecerem os sinais clínicos, como as vesículas.

Ainda apontam que o uso do equipamento pode contribuir para reduzir o trânsito de pessoas em fazendas onde há suspeita ou confirmação de surto, pois as imagens podem ser feitas e enviadas via rede sem fio para serem analisadas longe do possível surto e auxiliarem na tomada de decisões. Achados semelhantes foram encontrados por Gloster *et al.* (2011) com a ressalva de que a temperatura do casco não é o melhor indicador, devido à influência que este sofre do solo que, por sua vez, muda de temperatura em função da umidade e da temperatura do ambiente. O olho apresentou-se como melhor parte para monitorar a temperatura superficial e indicar estado febril nos animais.

## Complexo das doenças respiratórias dos bovinos

Embora o complexo das doenças respiratórias dos bovinos seja uma patologia multifatorial, um dos primeiros e principais sinais clínicos é a febre. Baseados nessa resposta, Schaefer *et al.* (2007), ao testar a TIV como método auxiliar no diagnóstico de doenças respiratórias, obtiveram eficiência de 71% em comparação com os 55% quando apenas o método clínico tradicional foi utilizado. O uso da TIV apresentou ainda a vantagem de identificar animais com temperaturas elevadas em decorrência da doença entre quatro a

seis dias antes do aparecimento dos primeiros sinais clínicos.

Já Schaefer *et al.* (2012) encontraram uma eficiência de 93% e as temperaturas médias das órbitas oculares foram 36,7°C para animais positivos e 34,91°C para os negativos. Os resultados foram obtidos a partir de um sistema automatizado e não invasivo para o diagnóstico, utilizando a TIV, com a finalidade de identificar animais no estágio inicial da doença. O sistema foi instalado de maneira que as câmeras ficassem direcionadas para os bebedouros, fotografando as faces laterais da cabeça dos animais, sempre durante o acesso à água.

## Mastite

Um grande desafio para produtores de leite é o controle da mastite, doença infecciosa que traz perdas econômicas significativas para pecuaristas. Muitas vezes, a ausência do diagnóstico precoce é um fator limitante e decisivo para o sucesso do tratamento. Polat *et al.* (2010) estudaram a TIV com o objetivo de utilizá-la para aumentar a eficiência do diagnóstico de mastite subclínica, comparando-a com Contagem de Células Somáticas (CCS) e *California Mastitis Test* (CMT) e observaram uma correlação de  $r = 0,73$  entre a temperatura superficial da glândula mamária (TSG) e CCS e de  $r = 0,86$  da TSG e CMT. Os quartos mamários com mastite subclínica apresentaram temperatura média de 35,80°C para CCS maior que 400.000 células/mL e 33,45°C para as vacas saudáveis com CCS menor que 400.000 células/mL.

Amostras de leite e da TSG foram avaliadas simultaneamente pelo CMT e TIV em cada quarto mamário de 94 vacas de leite ( $n = 49$  para raça Pardo-Suíça e  $n = 45$  para raça Holandês). A média de dias em lactação

(DEL) e produção de leite foram de  $93 \pm 37$  dias e  $16 \pm 2,2$  kg (média  $\pm$  desvio padrão). Houve forte correlação entre TSG e escore de CMT ( $r = 0,92$ ). TSG média foi de  $33,19^\circ\text{C}$ ,  $34,08^\circ\text{C}$ ,  $34,99^\circ\text{C}$  e  $36,15^\circ\text{C}$  para quartos com escore de 0 CMT ( $n = 156$ ), 1 ( $n = 116$ ), 2 ( $n = 80$ ) e 3 ( $n = 24$ ), respectivamente. Essa associação foi descrita por um modelo linear de regressão:  $y = 0,94x + 33,17$ ,  $R^2 = 0,85$ , em que  $y = \text{TSG}$  e  $x = \text{escore de CMT}$ . Já as mudanças na temperatura retal (TR) não apresentaram a mesma associação para o escore de CMT ( $y = 0,09x + 38,39$ ,  $R^2 = 0,07$ , em que  $y = \text{TR}$  e  $x = \text{média do escore de CMT}$ ). Concluiu-se que a TIV é sensível o suficiente para perceber as alterações no TSG em resposta a diferentes graus de severidade da infecção da glândula mamária, como refletido pela contagem de CMT, o que sugere que possa ser utilizada como método não invasivo para o rastreamento de vacas com mastite.

Já Hovinen *et al.* (2008) concluíram que a maior eficiência está em identificar a mastite clínica, pois, em seu trabalho, quando inocularam lipolissacarídeos de *Escherichia coli* na glândula mamária de vacas sadias, identificaram que o incremento na TSG somente ocorreu quatro horas após a inoculação, associado a leves sinais sistêmicos, como o aumento da temperatura retal.

Considerando os estudos com TIV para diagnóstico de mastite em vacas, observe que os incrementos de temperatura entre glândulas saudáveis ou com mastite são divergentes. Hovinen *et al.* (2008) encontraram um incremento de TSG entre  $1^\circ\text{C}$  e  $1,5^\circ\text{C}$  na superfície da glândula mamária de vacas com mastite clínica quando comparadas àquelas saudáveis. No estudo de Polat *et al.* (2010), a diferença foi de  $2,3^\circ\text{C}$  maior para mastite clínica. A sensibilidade e a especificidade identificadas no estudo de Polat *et al.* (2010) foram, respectivamente, de 95,6% e

93,6% para a TIV e de 88,9% e 98,9% para o CMT. Gharagozloo *et al.* (2003) encontraram sensibilidade de 84,1% para o CMT. Os resultados indicam que a TIV pode ser mais sensível, porém um pouco menos específica que o CMT no diagnóstico de mastite em vaca, fato que permite a esses autores concluir que a TIV apresentou sensibilidade para detectar alterações na temperatura da pele causadas pela mastite.

## Identificação de animais mais eficientes

O consumo alimentar residual (CAR) é a diferença entre ingestão de matéria seca (IMS) real e IMS esperada com base no peso corporal metabólico e na taxa de crescimento (Koch *et al.*, 1963). Portanto, o CAR quantifica a variação em IMS que é independente das exigências de manutenção e energia de crescimento. Animais classificados com fenótipo CAR negativo ou baixo são aqueles que consomem menos do que o esperado com base no peso corporal e no desempenho, enquanto animais classificados com CAR positivo ou alto são considerados menos eficientes.

A termorregulação é um fator relacionado à eficiência alimentar, pois está associada ao metabolismo energético e à produção de calor (Herd *et al.*, 2004). A TIV foi utilizada para medir a temperatura da superfície do corpo do animal, em bovinos, na tentativa de identificar os animais mais eficientes (Schaefer *et al.*, 2005).

Schaefer *et al.* (2005) correlacionaram imagens termográficas com produção de calor em vacas, avaliando a temperatura do dorso dos animais em três momentos em um teste com duração de 84 dias. Seguindo a classificação de baixo, médio e alto CAR, a temperatura máxima da superfície dorsal foi significativamente menor nas vacas de baixo CAR

em relação aos animais de alto CAR. Sugerindo que a TIV pode apresentar utilidade na avaliação da eficiência de vacas em lactação.

Huntington *et al.* (2012) avaliaram o consumo de matéria seca, ganho médio diário (GMD) e eficiência alimentar (EA) em touros Angus, durante 4 anos (n = 277, 60-81 touros por ano). Imagens termográficas da área da costela esquerda foram registradas para cada touro. O consumo alimentar residual variou entre -2,17 a 3,07kg/d (desvio padrão = 0,55) e foi positivamente correlacionado ( $P < 0,05$ ) com IMS ( $r = 0,49$ ) e negativamente correlacionado com EA ( $r = -0,50$ ), mas não foi correlacionado com as medidas de TIV.

## TIV em grupos de animais

A TIV pode ser utilizada para avaliação de animais em grupo, particularmente em sistemas de alojamento densamente povoadas, tais como suínos, aves, confinamento de bovinos e criação de bezerras.

Uma câmera térmica portátil foi usada para avaliar grupos de suínos confinados (n = 20 /baia), em um surto de *Actinobacillus pleuropneumoniae*. A varredura térmica foi obtida de todas as baias em que pelo menos um caso de mortalidade foi registado e a temperatura máxima do grupo de animais foi computada e comparada com outras três baias sem mortalidade, escolhidas aleatoriamente. Notou-se que as

*A TIV pode ser utilizada para avaliação de animais em grupo, particularmente em sistemas de alojamento densamente povoadas, tais como suínos, aves, confinamento de bovinos e criação de bezerras.*

baias que exibiram casos de mortalidade obtiveram temperatura máxima significativamente maior quando comparada com as baias controle, indicando o uso da varredura térmica de baias como forma de identi-

cação precoce de potenciais surtos de doenças (Friendship *et al.*, 2009).

## Avaliação e condição de instalações (ambiência e conforto)

Com a importância que o bem-estar animal tem assumido nos mais diversos campos da medicina veterinária, produção animal e também nas pesquisas científicas da área, tornou-se imprescindível a utilização de técnicas e equipamentos não invasivos que levam em consideração o conforto animal, destacando, assim, o uso da TIV.

A manutenção da temperatura corporal é determinada pelo equilíbrio entre o ganho e a perda de calor. Os principais parâmetros para avaliação da tolerância e adaptação dos animais ao ambiente expostos são a frequência respiratória, temperatura retal e temperatura superficial (Santos *et al.*, 2005).

Dessa forma, à medida que a temperatura do ambiente se eleva, a eficiência da perda de calor sensível diminui (radiação, condução e convecção). Com isso, o organismo animal, por meio de mecanismos evaporativos, a exemplo da sudorese e da frequência respiratória, aumenta a dissipação

*Notou-se que as baias que exibiram casos de mortalidade obtiveram temperatura máxima significativamente maior quando comparada com as baias controle, indicando o uso da varredura térmica de baias como forma de identificação precoce de potenciais surtos de doenças.*



de calor insensível. A dissipação de calor insensível é influenciada pela umidade, de forma que, quanto maior a umidade em temperaturas elevadas, maior é a dificuldade que o animal enfrenta para dissipar o calor.

Assim, a temperatura do ar e a umidade são consideradas como os principais elementos climáticos responsáveis pelo estresse por calor. Caso o animal não consiga dissipar o calor excessivo vindo do ambiente a partir de suas estratégias fisiológicas, a temperatura retal se eleva acima dos valores normais específicos para cada espécie ou categoria animal, desenvolvendo-se então o estresse calórico. Por consequência, tem-se redução no consumo de alimentos e perda de produtividade, prejuízos que acometem principalmente sistemas de produção em regiões tropicais.

Os fatores ambientais, nutricionais e de manejo estão intrinsecamente ligados ao processo produtivo e devem ser levados em consideração quando se busca uma maior eficiência na exploração pecuária. Nesse contexto, a TIV surge como alternativa para avaliar o impacto dos fatores ambientais na produção animal, dando suporte a decisões, promovendo a saúde e o bem-estar animal.

Fiorelli *et al.* (2012) estudaram a eficiência térmica de diferentes coberturas (telha de fibrocimento pintada de branco, telha de fibrocimento sem pintura e telha de fibrocimento com tela de sombreamento) de bezerreiros individuais expostos ao sol e à sombra. Utilizaram a TIV e índices de conforto térmico como parâmetros de avaliação e concluíram que o processamento de imagens termográficas mostrou-se uma ferramenta facilitadora da identificação de diferenças significativas de temperatura de superfície de cobertura do bezerreiro exposto à sombra em comparação àqueles

expostos ao sol. Os resultados obtidos a partir da utilização da câmera termográfica permitiram aos autores observarem que a estrutura com telhado de fibrocimento pintado de branco foi a que apresentou menores valores de temperatura de superfície dos abrigos expostos ao sol.

Já Barnabé *et al.* (2015) avaliaram a eficiência térmica de materiais de cobertura em abrigos individuais durante a fase de aleitamento de bezerras Girolando por meio de termografia. Foram utilizados três tipos de materiais de cobertura, sendo telha de fibrocimento, telha reciclada e cobertura de palha. Os autores concluíram que os abrigos cobertos com telha reciclada e palha tiveram redução de 18,7 e 14,6% na carga térmica radiante, respectivamente. A temperatura da superfície inferior da cobertura dos abrigos foi menor para telha reciclada (42,0°C) e palha (38,7°C) em relação a telha de fibrocimento (46,8°C). As bezerras criadas nesses abrigos permaneceram menos tempo expostas ao sol; porém, os animais criados em todos os sistemas elevaram a frequência respiratória para manter a homeotermia. Além disso, os autores observaram que a temperatura média da superfície do pelame (TSP) da bezerra exposta à sombra foi de 5,6°C inferior à TSP da bezerra em exposição ao sol.

Em sistemas intensivos de produção de leite em condições tropicais, a ambiência adequada é um dos principais desafios. Nessas condições, o uso de câmeras termográficas podem ser uma importante ferramenta para diagnóstico de condições em sistemas do tipo *free stall* e *compost barn*. Na Figura 2, é possível observar o resfriamento conferido pelo sistema de resfriamento do tipo ventilação cruzada em sistema do tipo *free stall* e, na Figura 3, pode ser observado o aumento de temperatura causado pelo re-

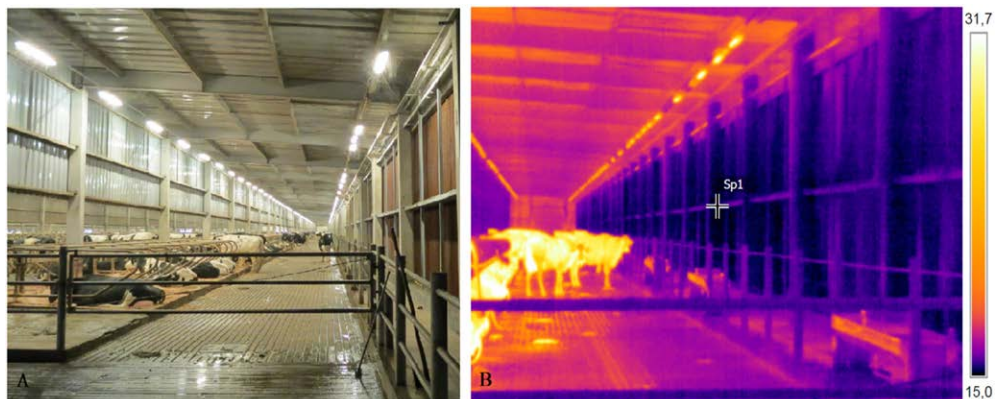


Figura 2. (A) Sistema *free stall* com ventilação cruzada. (B) Termograma mostrando a baixa temperatura conferida pelo sistema de ventilação cruzada (região de coloração mais escura – roxa na direita da foto).



Figura 3. (A) Sistema do tipo *compost barn*. (B) Termograma do processo de revirar da cama, com trator equipado com escarificador de solo, evidenciando o calor gerado durante esse processo (região de coloração mais clara).

virar da cama em sistema tipo *compost barn*.

A TIV é uma alternativa precisa para ajudar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e do impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal, bem como na avaliação

*A TIV é uma alternativa precisa para ajudar na compreensão da termorregulação em razão das mudanças na temperatura superficial e do impacto das condições ambientais sobre o bem-estar animal, bem como na avaliação da adaptabilidade das diferentes espécies e raças aos mais variados sistemas de produção utilizados.*

da adaptabilidade das diferentes espécies e raças aos mais variados sistemas de produção utilizados.

## **Avaliação de alimentos (silagem)**

Recentemente, o emprego da TIV tem se

expandido para avaliação da qualidade de alimento, com destaque para os ensilados. Quando ocorre a abertura dos silos, o material que entra em contato com o ar sofre um processo de degradação por micro-organismos aeróbios, como fungos, leveduras e bactérias. Esse processo

de degradação gera calor. Assim, o aumento da temperatura pode ser um indicativo de perda de energia e nutrientes, bem como de formação de compostos tóxicos, como as micotoxinas.

O monitoramento da temperatura na superfície de alimentos parece ser uma forma rápida e segura na predição da qualidade nutricional e microbiológica de muitos produtos (Novinski *et al.*, 2013). Junges (2010) observou correlação entre a temperatura da superfície e a temperatura interna da massa de forragem no silo de  $r = 0,55$  ( $P < 0,001$ ), demonstrando que a TIV pode ser usada como indicador de pontos de crescimento microbiano. No entanto, ressaltou que há necessidade de se ampliar o controle de outras variáveis.

Abdelhadi *et al.* (2012) avaliaram a localização de pontos de máximo e de mínimo aquecimento em silos de milho do tipo *bunker*. Não houve correlação da temperatura com os parâmetros de qualidade, como matéria seca (MS), proteína bruta e pH; no entanto, silagens coletadas nas áreas de ponto máximo tiveram menor digestibilidade de matéria seca. Dessa forma, os autores concluíram que a imagem em infravermelho pode ser utilizada para detectar regiões que representam menor digestibilidade da MS.

Avaliando os efeitos de inoculante na estabilidade aeróbia de silagem de cevada,

*A TIV apresenta potencial para ser aplicada no diagnóstico de doenças, na identificação de animais mais eficientes, na avaliação de questões relacionadas a ambiência e bem-estar animal, permitindo a compreensão da variabilidade animal e espacial.*

Addah *et al.* (2012) também concluíram que as imagens termográficas oferecem perspectivas como método prático para avaliar a qualidade de silagens; porém, os autores ressaltaram a necessidade de mais estudos para determinar a capacidade de avaliação nos

diversos tipos de silagens.

## Considerações finais

A TIV apresenta potencial para ser aplicada no diagnóstico de doenças, na identificação de animais mais eficientes, na avaliação de questões relacionadas a ambiência e bem-estar animal, permitindo a compreensão da variabilidade animal e espacial. Dessa forma, essa tecnologia pode ser utilizada como ferramenta de auxílio na tomada de decisão que confira melhoria de processos e aumento de eficiência nos sistemas de produção de leite.

No entanto, existe a necessidade do desenvolvimento de mais pesquisas para estabelecer os parâmetros e referências de temperaturas das várias espécies animais em diferentes condições biológicas e ambientais, para que a tecnologia possa ser utilizada com maior precisão e eficiência na prática veterinária ou zootécnica.

## Referências

1. ABDELHADI, P.A.; SARAIVA, W.R.; BAMEIX, C.A. Infrared thermography to assess the relationship between corn silage quality and face temperature. *Journal of Dairy Science*, v.95, p.537, 2012.
2. ADDAH, W.; BAAH, J.; OKINE, E.K. et al. Use of thermal imaging and the in situ technique to assess the impact of an inoculant with feruloyl esterase activity on the aerobic stability and digestibility of barley silage. *Canadian Journal of Animal Science*, v.92, p.381-394, 2012.
3. BARNABÉ, J.M.C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA,

- G.L.P. et al. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.481-488, 2015.
4. BERRY, R.J.; KENNEDY, A.D.; SCOTT S.L. et al. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Canadian Journal of Animal Science*, v.83, p.687-93, 2003.
  5. BOUZIDA, N.; BENDANA, A.; MALDAGUE, X.P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *Journal of Thermal Biology*, v.34, p.120-6, 2009.
  6. COLAK, A.; POLAT, B.; OKUMUS, Z. et al. Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, v.91, p.4.244-4.248, 2008.
  7. DUNBAR, M.R.; JOHNSON, S.R.; RHYAN, J.C. et al. Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (*odocoileus hemionus*) experimentally infected with foot-and-mouth disease. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, v.40, p.296-301, 2009.
  8. EDDY, A.L.; VANHOOGMOED, L.M.; SNYDER, J.R. The Role of Thermography in the Management of Equine Lameness. *Veterinary of Journal*, v.162, p.172-181, 2001.
  9. EICHER, S.D.; CHENG, H.W.; SORRELLS, A.D. et al. Short communication: Behavioral and physiological indicators of sensitivity or chronic pain following tail docking. *Journal of Dairy Science*, v.89, p.3047-3051, 2006.
  10. FIORELLI, J.; SCHMIDT, R.; KAWABATA, C.Y. et al. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerras expostas ao sol e à sombra. *Ciência Rural*, v.42, p.64-67, 2012.
  11. FRIENDSHIP, R.; POLJAK, Z.; MCINTOSH, K. Use of infrared thermography for early detection of disease causing sudden death in a swine finishing barn. In: 28<sup>th</sup> ANNUAL CENTRALIA SWINE RESEARCH UPDATE. Centralia Swine Research. CA, Ontario. 2009. 127p.
  12. GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S. et al., Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Veterinary Research*, v.7, p.1746-6148, 2011.
  13. HERD, R.M.; ODDY, V.H.; RICHARDSON, E.C. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v.44, p.423-430. 2004.
  14. HOVINEN, M.; SIIVONEN, J.; TAPONEN, S. et al. Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *Journal of Dairy Science*, v.91, p.4.592-4.598, 2008.
  15. HUNTINGTON, G.; CASSADY, J.; GRAY, K. et al. Use of digital infrared thermal imaging to assess feed efficiency in Angus bulls. *Professional Animal Scientist*, v.28, p.166-172. 2012.
  16. JUNGES, D. *Aditivo microbiano na silagem de milho em diferentes tempos de armazenamento e avaliação da estabilidade aeróbia por termografia em infravermelho*. 2010. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
  17. KOCH, R.M.; SWIGER, L.A.; CHAMBERS, D. et al. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.22, p.486-494. 1963.
  18. KOTRBA, R.; KNIZKOVA, I.; KUNC, P. et al. Comparison between the coat temperature of the eland and dairy cattle by infra-red thermography. *Journal of Thermal Biology*, v.32, p.355-359, 2007.
  19. KUNC, R.; KNIZKOVA, I.; PRIKRYL, M. et al. Infrared thermography as a tool to study the milking process: a review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, v.40, p.29-32, 2007.
  20. MARTINS, R.F.S.; PAIM, T.; DALLAGO, S.L.B. et al. Mastitis detection in sheep by infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, v.94, p.722-724, 2013.
  21. McCAFFERTY, D.J.; GILBERT, C.; THOMPSON, D. et al. Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. *Comparative Biochemistry and Physiology*, v.158, p.337-345, 2011.
  22. MONTANHOLI, Y.R.; ODONGO, N.E.; SWANSON, K.C. et al. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *Journal of Thermal Biology*, v.33, p.469-475. 2008.
  23. NIKKHAH, A.; PLAIZIER, J.C.; EINARSON, M.S. et al. Short communication: infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. *Journal of Dairy Science*, v.88, p.2749-2753, 2005.
  24. NOGUEIRA, F.R.B.; SOUZA, B.B.; CARVALHO, M.G.X. et al. Termografia infravermelha: uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico e prognóstico de mastite em ovelha. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, v.35, p.289-297, 2013.
  25. NOVINSKI, C.O. *Composição de micotoxinas e bromatologia de silagens de milho em silos de grande porte utilizando imagens em infravermelho*. 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
  26. POLAT, B.; COLAK, A.; CENGIZ, M. et al. Sensitivity and specificity of infrared thermography in detection of subclinical mastitis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.3525-3532, 2010.
  27. RAINWATER-LOVETT, K.; PACHECO, J.M.; PACKER, C. et al. Detection of foot-and mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *The Veterinary Journal*, v.180, p.317-324, 2009.
  28. REDAELLI, V.; BERGERO, D.; ZUCCA, E. et al., Use

- of Thermography Techniques in Equines: Principles and Applications. *Journal of Equine Veterinary Science*, p.1-6, 2013.
29. SANTOS, F.C.B.; SOUZA, B.B.; ALFARO, C.E.P. et al. Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semiárido do Nordeste brasileiro. *Ciência e Agrotecnologia*, v.29, p.142-149, 2005.
30. SCHAEFER, A.L.; JONES, S.D.M.; TONG, A.K.W. et al. The effects of fasting and transportation on beef cattle. 1. Acid-base-electrolyte balance and infrared heat loss of beef cattle [Abstract]. *Livestock Production Science*, v.20, p.15-24, 1998.
31. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; TESSARO, S.V. et al. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Canadian Journal of Animal Science*, v.84, p.73-80, 2004.
32. SCHAEFER, A.L.; PERRY, B.J.; COOK, N.J. et al. Infrared detection and nitric oxide treatment of bovine respiratory disease. *Journal of Veterinary Research*, v.10, p.7-16, 2005.
33. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; CHURCH, J.S. et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Veterinary Science*, v.83, p.376-384, 2007.
34. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; BENCH, C. et al. The non-invasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, v.93, p.928-935, 2011.
35. SCHAEFER, A.L.; COOK, N.J.; BENCH, C. et al. The noninvasive and automated detection of bovine respiratory disease onset in receiver calves using infrared thermography. *Research in Veterinary Science*, v.93, p.928-935, 2012.
36. STEWART, M.; WEBSTER, J.R.; SCHAEFER, A.L. et al. Infrared thermography as a non-invasive tool to study animal welfare. *Animal Welfare*, v.14, p.319-325, 2005.
37. STEWART, M.; STAFFORD, K.J.; DOWLING, S.K. et al. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiology & Behavior*, v.93, p.789-797, 2008.
38. STEWART, M.; STOOKEY, J.M.; STAFFORD, K.J. et al. Effects of local anesthetic and a non-steroidal anti-inflammatory drug on pain responses of dairy calves to hot-iron dehorning [Abstract]. *Journal of Dairy Science*, v.92, p.1512-1519, 2009.
39. Stewart, M.; Webster, J.R.; Stafford, K.J. et al. Technical note: Effects of an epinephrine infusion on eye temperature and heart rate variability in bull calves [Abstract]. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.5252-5257, 2010.
40. TAN, J.H.; NG, E.Y.K.; ACHARYA, U.R. et al. Infrared thermography on ocular surface temperature: a review. *Infrared Physics & Technology*, p.97-108, 2009.