



CENTRO UNIVERSITÁRIO VALE DO SALGADO  
BACHARELADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

LUCAS LEANDRO DE SOUZA

**USO DE TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO PARA AVALIAR O BEM-  
ESTAR EM VACAS LEITEIRA: revisão sistemática**

Icó – CE

2025.1

LUCAS LEANDRO DE SOUZA

**USO DE TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO PARA AVALIAR O BEM-  
ESTAR EM VACAS LEITEIRA: revisão sistemática**

Monografia submetida à Coordenação do Curso Bacharelado em Medicina Veterinária do Centro Universitário Vale do Salgado, como pré requisito para obtenção do título de Bacharel em Medicina Veterinária.

Orientador(a): Me. Rhamon Costa e Silva

LUCAS LEANDRO DE SOUZA

**USO DE TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO PARA AVALIAR O BEM-  
ESTAR EM VACAS LEITEIRA: revisão sistemática**

Monografia submetida à Coordenação do curso Bacharelado em Medicina Veterinária do Centro Universitário Vale do Salgado, como pré-requisito obtenção do título de Bacharel em Medicina Veterinária

BANCA EXAMINADORA:

---

Me. Rhamon Costa e Silva

*Professor Orientador*

---

Dr. Raul Andrei de Assis Dantas

*Professor Avaliador(a) 1*

---

Dr. Lucas Santiago Gomes Brasileiro

*Professor Avaliador(a) 2*

## RESUMO

A bovinocultura de leite tem experimentado transformações impulsionadas pela crescente atenção ao bem-estar animal, reconhecido como pilar fundamental para a sustentabilidade e produtividade do setor. Nesse contexto, a Pecuária de Precisão (PLF) emerge como uma abordagem estratégica para monitorar e garantir condições adequadas de manejo. O objetivo geral deste trabalho foi realizar um levantamento das tecnologias aplicadas ao monitoramento do bem-estar animal na bovinocultura leiteira. Para isso, conduziu-se uma revisão sistemática da literatura, baseada nos princípios do protocolo PRISMA. As buscas ocorreram entre março e maio de 2025 nas bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed e Google Scholar, considerando artigos originais publicados entre 2014 e 2024. A partir de 531 registros iniciais, 4 artigos foram selecionados para a análise qualitativa após a remoção de duplicatas e aplicação dos critérios de elegibilidade. Os resultados revelam um espectro de tecnologias aplicadas: a Termometria Infravermelha (IRT) para detecção não invasiva de febre e inflamação; câmeras 3D e células de carga para automação da avaliação de peso e escore de condição corporal (ECC); VANTs (drones) com câmeras térmicas e IA para monitoramento extensivo; e hidrômetros integrados com RFID para aferir o consumo individual de água. Conclui-se que essas tecnologias permitem a transição de um manejo reativo para uma gestão proativa da saúde, possibilitando o diagnóstico precoce de doenças e a redução do estresse animal. Embora existam desafios práticos, como a influência de fatores ambientais na precisão da IRT, e barreiras econômicas, a adoção tecnológica é uma tendência crescente, impulsionada pelas demandas de consumidores e mercados por uma produção mais ética e sustentável.

**Palavras-chave:** Bovinocultura leiteira. Bem-estar animal. Pecuária de Precisão. Tecnologia de monitoramento. Sensores.

## ABSTRACT

Dairy cattle farming has undergone transformations driven by increasing attention to animal welfare, recognized as a fundamental pillar for the sector's sustainability and productivity. In this context, Precision Livestock Farming (PLF) emerges as a strategic approach to monitor and ensure adequate management conditions. The general objective of this study was to conduct a survey of technologies applied to animal welfare monitoring in dairy cattle farming. To achieve this, a systematic review of the literature was conducted, based on the principles of the PRISMA protocol. Searches were carried out between March and May 2025 in the Scopus, Web of Science, ScienceDirect, PubMed, and Google Scholar databases, considering original articles published between 2014 and 2024. From an initial 531 records, 4 articles were selected for qualitative analysis after the removal of duplicates and the application of eligibility criteria. The results reveal a spectrum of applied technologies: Infrared Thermometry (IRT) for non-invasive detection of fever and inflammation; 3D cameras and load cells for automated assessment of body weight and body condition score (BCS); UAVs (drones) with thermal cameras and AI for extensive monitoring; and hydrometers integrated with RFID to measure individual water consumption. It is concluded that these technologies enable the transition from reactive management to proactive health management, allowing for the early diagnosis of diseases and the reduction of animal stress. Although practical challenges exist, such as the influence of environmental factors on IRT accuracy, and economic barriers, technological adoption is a growing trend, driven by consumer and market demands for more ethical and sustainable production.

**Keywords:** Dairy cattle. Animal welfare. Precision Livestock Farming. Monitoring technology. Sensors.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 METODOLOGIA.....</b>	<b>9</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>10</b>
3.1 ANÁLISE DETALHADA DOS ESTUDOS SELECIONADOS .....	12
3.1.1 Monitoramento por imagem: Do Térmico ao Tridimensional.....	12
3.1.2 Monitoramento de precisão para o manejo de recursos.....	17
3.2 DISCUSSÃO APROFUNDADA DOS ACHADOS .....	18
3.2.1 A Pecuária de precisão em ação: o potencial das tecnologias não invasivas.....	18
3.2.2 Redefinindo o Manejo: controle do comportamento e do ambiente para a saúde preventiva.....	19
3.2.3 Desafios e Oportunidades na Adoção Tecnológica.....	20
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de leite tem experimentado transformações significativas nas últimas décadas, impulsionadas pelos avanços tecnológicos e pela crescente atenção ao bem-estar animal. O cuidado com a saúde e o conforto dos bovinos leiteiros tornou-se um tema central, não apenas por considerações éticas, mas também por razões econômicas, uma vez que o estresse e condições inadequadas podem impactar diretamente a produtividade e a qualidade do leite. Assim, o bem-estar animal é reconhecido como um pilar fundamental para a sustentabilidade da produção leiteira moderna. (Lora *et al.*, 2020).

Conforme destacado por González *et al.* (2016), a intensificação da atividade pecuária, aliada às crescentes exigências de consumidores, mercados e legislações, tem impulsionado a busca por alternativas que permitam monitorar, avaliar e garantir condições de manejo adequadas. Nesse contexto, a aplicação de tecnologias para a observação e controle de indicadores de bem-estar tornou-se uma estratégia relevante, viabilizando uma produção mais eficiente e socialmente aceita. Essas tecnologias contribuem diretamente para a detecção precoce de doenças, o que favorece a saúde animal e reduz perdas produtivas.

A Pecuária de Precisão (PLF) emerge como uma abordagem estratégica que integra o uso de tecnologias para tornar a produção mais eficiente, automatizada e responsiva às necessidades individuais dos animais. Apesar de ainda apresentar limitações em sua ampla adoção, a PLF alinha-se aos interesses dos produtores, pois proporciona a redução da necessidade de mão de obra, melhoria das condições de trabalho e aumento da lucratividade. Tedeschi *et al.* (2011), reforçam que, para que essas ferramentas alcancem seu potencial máximo, é crucial que sejam desenvolvidas com foco nas particularidades da atividade leiteira e nas reais demandas do sistema produtivo.

Internacionalmente, a adoção de sensores e sistemas automatizados em propriedades leiteiras tem crescido de forma significativa. Lora *et al.*, (2020), estimam que, em países da União Europeia, entre 40% e 70% das fazendas utilizam pelo menos uma forma de tecnologia para monitoramento. Essa tendência reflete não apenas a modernização, mas também a crescente necessidade de atender a padrões de qualidade e rastreabilidade exigidos por mercados consumidores cada vez mais conscientes. De acordo com Stygar *et al.*, (2023), apontam que o mercado global de tecnologias de bem-estar animal na cadeia leiteira já conta com mais de 130 modelos comerciais disponíveis, evidenciando a diversidade e o avanço dessas soluções.

A introdução dessas ferramentas exige, além de investimento, um processo de adaptação e validação, com base em protocolos confiáveis que considerem os múltiplos aspectos envolvidos na definição do bem-estar. Fatores ambientais podem influenciar os dados coletados, o que exige precisão na calibração e na escolha das metodologias. A integração dessas informações permite uma visão mais completa do estado dos animais, possibilitando intervenções mais rápidas e eficazes.

Dessa forma, a relevância deste trabalho se dá pela crescente demanda por práticas de produção mais sustentáveis e éticas, impulsionada por novos mercados consumidores. Paralelamente, o avanço da Pecuária de Precisão (PLF) oferece um novo conjunto de ferramentas e sistemas automatizados para o manejo, cuja viabilidade para o monitoramento da saúde já é demonstrada em estudos como os de Sellier et al. (2014) e Soerensen; Pedersen, (2015).

Este estudo se justifica pela necessidade de integrar a inovação tecnológica à promoção do bem-estar dos bovinos leiteiros, contribuindo com o desenvolvimento de uma pecuária mais ética, produtiva e sustentável. Ademais, ao identificar as tecnologias utilizadas e seus impactos no manejo, este trabalho pode orientar futuras pesquisas e decisões de produtores e técnicos da área. Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é realizar um levantamento das tecnologias aplicadas ao monitoramento do bem-estar animal na bovinocultura leiteira

## 2 METODOLOGIA

Este estudo tratou-se de uma revisão sistemática da literatura, com base na estratégia PICO (População, Intervenção, Comparação e Resultado) e nos princípios do protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), adaptados à especificidade do tema.

A pergunta norteadora foi: *Quais tecnologias têm sido utilizadas para monitorar o bem-estar de bovinos leiteiros, e quais os indicadores e resultados estão relacionados a essa prática?* A população de interesse foi composta por bovinos leiteiros em sistemas produtivos, sendo a intervenção centrada nas tecnologias de monitoramento do bem-estar. Não houve grupo de comparação, uma vez que se trata de uma revisão descritiva, e os resultados buscados referem-se aos indicadores utilizados, às tecnologias aplicadas e aos efeitos sobre manejo e produtividade.

As buscas foram realizadas entre março e maio de 2025, nas bases *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect*, *PubMed* e *Google Scholar*, utilizando descritores em português, inglês e espanhol, como “tecnologia de monitoramento”, “bovinocultura leiteira”, “pecuária de precisão” e “monitoramento baseado em sensores”, combinados pelos operadores booleanos *AND* e *OR*.

Os critérios de inclusão consideraram artigos científicos originais, publicados entre 2014 e 2024, disponíveis nos três idiomas e relacionados a bovinos leiteiros e ao uso de tecnologias no monitoramento do bem-estar. Foram excluídos estudos que abordavam outras espécies, bem-estar sem vínculo com tecnologia, materiais não revisados por pares, resumos, livros e duplicatas.

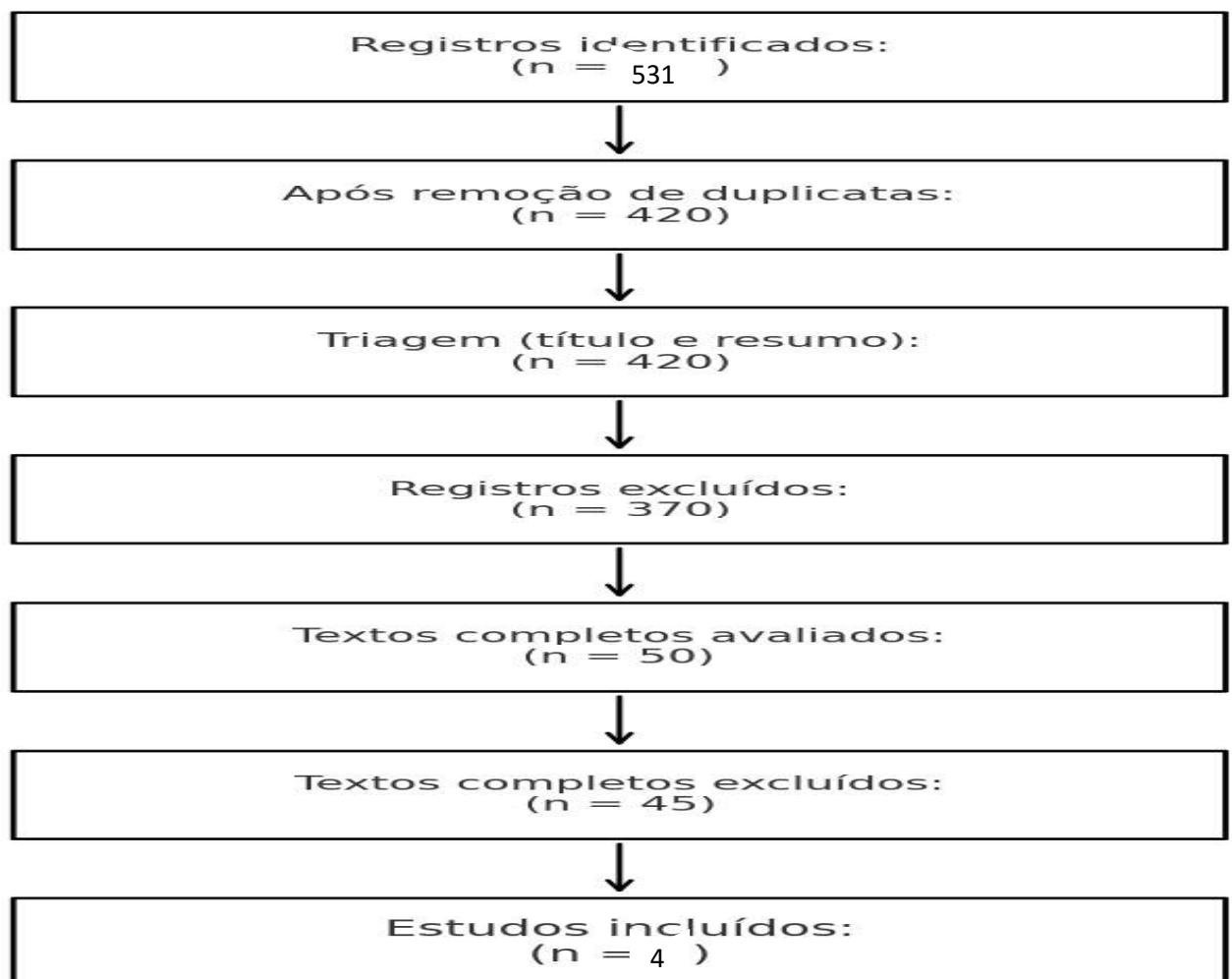
A seleção ocorreu em duas etapas: leitura dos títulos e resumos, seguida da leitura completa dos textos potencialmente relevantes. Dois revisores atuaram de forma independente, e, em caso de discordância, um terceiro avaliador foi consultado. Os dados extraídos incluíram o tipo de tecnologia utilizada, os indicadores de bem-estar analisados (como comportamento, fisiologia e saúde), sua aplicação prática nas propriedades e os impactos observados. A análise dos achados foi qualitativa e descritiva, com apoio de tabelas para organização dos resultados e identificação de lacunas na literatura.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresentou os resultados obtidos por meio da revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com a estratégia PICO e os princípios do protocolo PRISMA. A seleção dos estudos seguiu rigorosamente as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, representadas no fluxograma PRISMA (Figura 1).

A partir do processo de busca, foram inicialmente identificados 531 registros. Após a remoção de duplicatas (resultando em 420 registros) e a triagem por título e resumo (excluindo 370), 50 textos completos foram avaliados. Destes, 45 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão, resultando em 4 artigos que abordam diretamente a aplicação de tecnologias de monitoramento para o bem-estar de bovinos leiteiros. Estes foram selecionados para a análise qualitativa, respondendo à pergunta da pesquisa.

**Figura 1** – Fluxograma PRISMA do processo de seleção dos estudos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025), adaptado de Page et al. (2021).

Os estudos chave selecionados para responder à pergunta de pesquisa foram: (Soerensen e Pedersen, 2015), (González et al., 2016), (Cantor et al., 2018), (Martins et al., 2020) e (Golinski et al., 2023)

A tabela abaixo representa os principais achados dos estudos selecionados, destacando as tecnologias utilizadas, os indicadores de bem-estar monitorados e os resultados obtidos em cada pesquisa. A partir dessa análise, serão apresentados os avanços e as lacunas identificadas, com foco na aplicabilidade das tecnologias para a prática cotidiana na indústria de laticínios.

**Tabela 1:** Tecnologias e Indicadores para Monitoramento do Bem-estar de Bovinos Leiteiros.

<b>ESTUDO</b>	<b>TECNOLOGIA UTILIZADA</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>RESULTADOS</b>
Soerensen e Pedersen, 2015	Medição de temperatura infravermelha (IRT)	Temperatura da pele, febre, inflamação, estresse.	A IRT permite a detecção precoce de febre e inflamações sem contato físico, reduzindo o estresse do animal. No entanto, sua precisão é altamente influenciada por fatores ambientais.
González et al., 2016	Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com câmeras térmicas e IA	Deteção, contagem e rastreamento de animais; monitoramento de saúde a distância.	O sistema permitiu a detecção de animais com 100% de acurácia em testes de campo (20-30m de altitude), superando métodos tradicionais em grandes áreas.
Cantor et al., 2018	Hidrômetros em bebedouros integrados com leitores RFID	Consumo individual de água.	A tecnologia permite medir com precisão a ingestão de água de cada animal. A redução no consumo de água é uma das manifestações mais comuns de problemas de saúde.
Martins et al., 2020	Câmeras 3D e células de carga	Peso e escore de condição corporal (ECC).	A automação do monitoramento de peso e ECC com câmeras 3D fornece dados precisos e contínuos, eliminando o estresse das pesagens manuais e obtendo informações detalhadas da superfície corporal.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

### 3.1 ANÁLISE DETALHADA DOS ESTUDOS SELECIONADOS

A análise dos cinco artigos selecionados revela um panorama de como diferentes tecnologias estão sendo aplicadas para monitorar a saúde, o comportamento e o ambiente de vacas leiteiras, materializando os conceitos da Pecuária de Precisão (PLF).

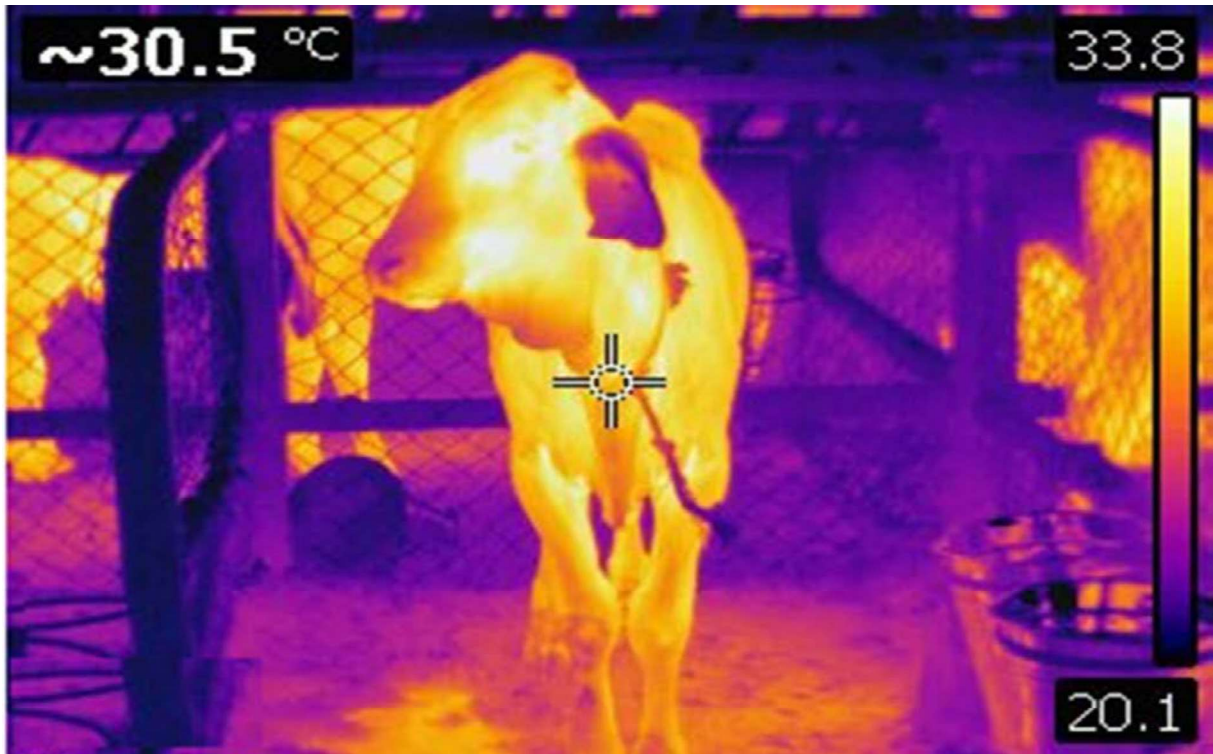
#### 3.1.1 Monitoramento por imagem: Do Térmico ao Tridimensional

Neste eixo, as tecnologias de imagem surgem como ferramentas não invasivas e ricas em dados, fundamentais para a detecção precoce de problemas de saúde, como destacado na introdução.

O estudo de Soerensen e Pedersen (2015) detalha o uso da termometria infravermelha (IRT). Esta é uma metodologia sem contato que reduz o estresse do animal durante a aferição e diminui o risco de propagação de doenças. A tecnologia tem o potencial de detectar febre, inflamações e estresse ao medir a temperatura da pele em janelas térmicas, como a base da orelha e a região dos olhos. Contudo, os autores alertam para um desafio prático significativo: a precisão dos dados é altamente influenciada por fatores ambientais (vento, temperatura ambiente) e pela calibração do equipamento.

Expandindo o escopo das tecnologias não invasivas, a termografia infravermelha (TIV) surge como uma ferramenta de grande potencial na Pecuária de Precisão. Por não necessitar de contato físico com o animal, este método permite a obtenção de dados fisiológicos confiáveis sem gerar reações de estresse, o que é fundamental para uma avaliação precisa do bem-estar. A TIV baseia-se no princípio de que todos os corpos emitem uma radiação infravermelha proporcional à sua temperatura, que pode ser capturada e transformada em uma imagem visual, ou termograma. A Figura 2 ilustra a aplicação prática desta tecnologia no monitoramento individual de um animal.

**Figura 2:** Termograma de uma Bezerra



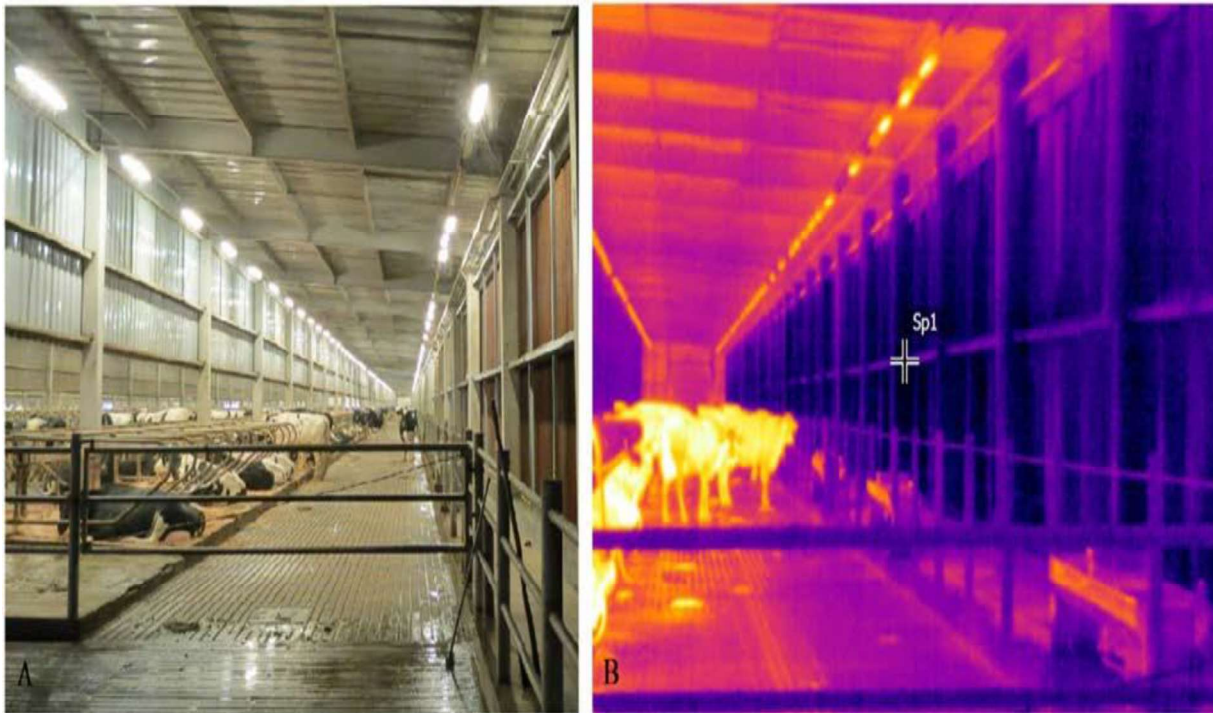
Fonte: Leão et al. (2015).

O termograma apresentado na Figura 2 demonstra como a TIV representa a radiação de calor emitida pela superfície corporal em um mapa de cores, que indica o gradiente térmico. Conforme apontado por Leão et al. (2015), a temperatura da pele do animal está diretamente relacionada ao fluxo sanguíneo e à taxa metabólica dos tecidos. Portanto, alterações anormais, como as causadas por processos inflamatórios, podem ser detectadas precocemente. Essa capacidade de identificar sinais patológicos subclínicos, muitas vezes antes do aparecimento dos sinais clínicos evidentes, posiciona a termografia como uma importante ferramenta de diagnóstico preventivo, contribuindo para a aplicação de uma terapêutica de precisão e para a promoção ativa da saúde e do bem-estar animal.

Além do monitoramento direto da saúde animal, o bem-estar na pecuária leiteira está intrinsecamente ligado às condições do ambiente e das instalações, especialmente em sistemas intensivos de produção. A termografia infravermelha também se mostra uma ferramenta eficaz na avaliação do conforto térmico e na eficiência de sistemas de climatização, ajudando a mitigar o estresse calórico, um dos principais desafios em regiões de clima tropical.

A Figura 3 demonstra essa aplicação, analisando a ambiência de um galpão de confinamento.

**Figura 3:** Análise termográfica de um sistema *free stall* com ventilação cruzada.



Fonte: Leão et al. (2015).

A Figura 3 compara uma fotografia convencional (A) com seu respectivo termograma (B), evidenciando o resfriamento do ambiente promovido pelo sistema de ventilação cruzada em um *free stall*. Na imagem térmica, as áreas de coloração mais escura, como roxo e azul, indicam temperaturas mais baixas, confirmando a eficácia da ventilação em reduzir a carga térmica no local. De acordo com Leão et al. (2015), o uso da TIV para avaliar instalações permite identificar pontos de calor ou falhas na climatização, dando suporte a decisões de manejo que visam garantir o conforto e o bem-estar de todo o rebanho. Isso ilustra a versatilidade da tecnologia, que serve não apenas para o diagnóstico individual, mas também para a gestão proativa do ambiente produtivo.

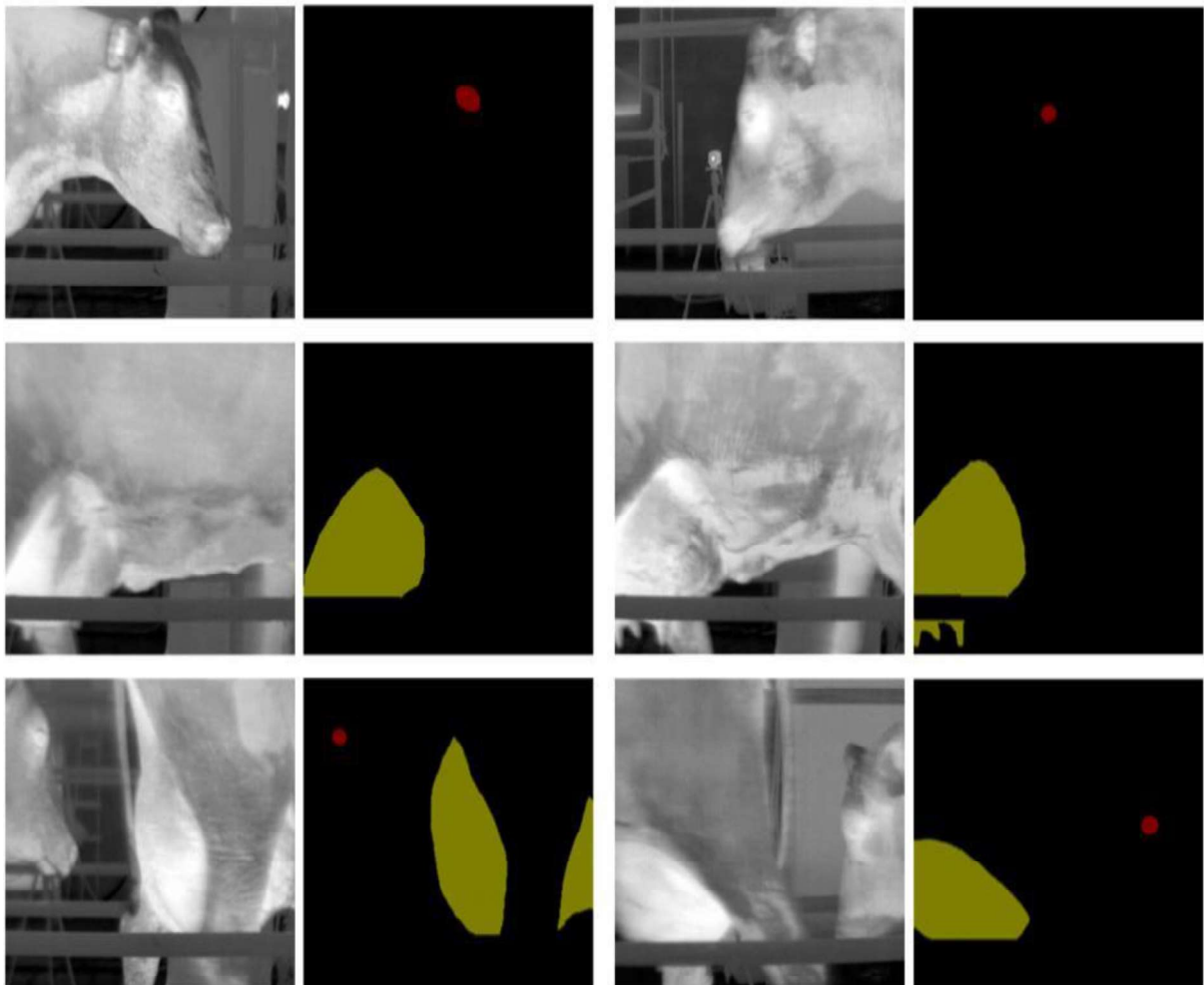
De forma mais aproximada e tridimensional, Martins et al. (2020) aplicam câmeras 3D para automatizar a avaliação do peso e do escore de condição corporal (ECC). A tecnologia, que pode ser acoplada em salas de ordenha ou estações de alimentação, captura dados detalhados da superfície corporal, fornecendo informações precisas e contínuas. Isso representa um avanço sobre as câmeras 2D, que são mais estudadas, mas menos precisas.

A evolução do monitoramento por imagem avança para além da simples captura termográfica, integrando a Inteligência Artificial (IA) para criar sistemas de diagnóstico automatizados. Esta abordagem transforma a imagem térmica, que é um dado bruto, em uma informação de saúde acionável e de alta precisão.

O conceito de usar IA para identificar animais e áreas de interesse, como o olho (um indicador de febre), foi explorado por González et al. (2016), conforme ilustrado na Figura 4, que demonstra a detecção automática de animais por VANTs.

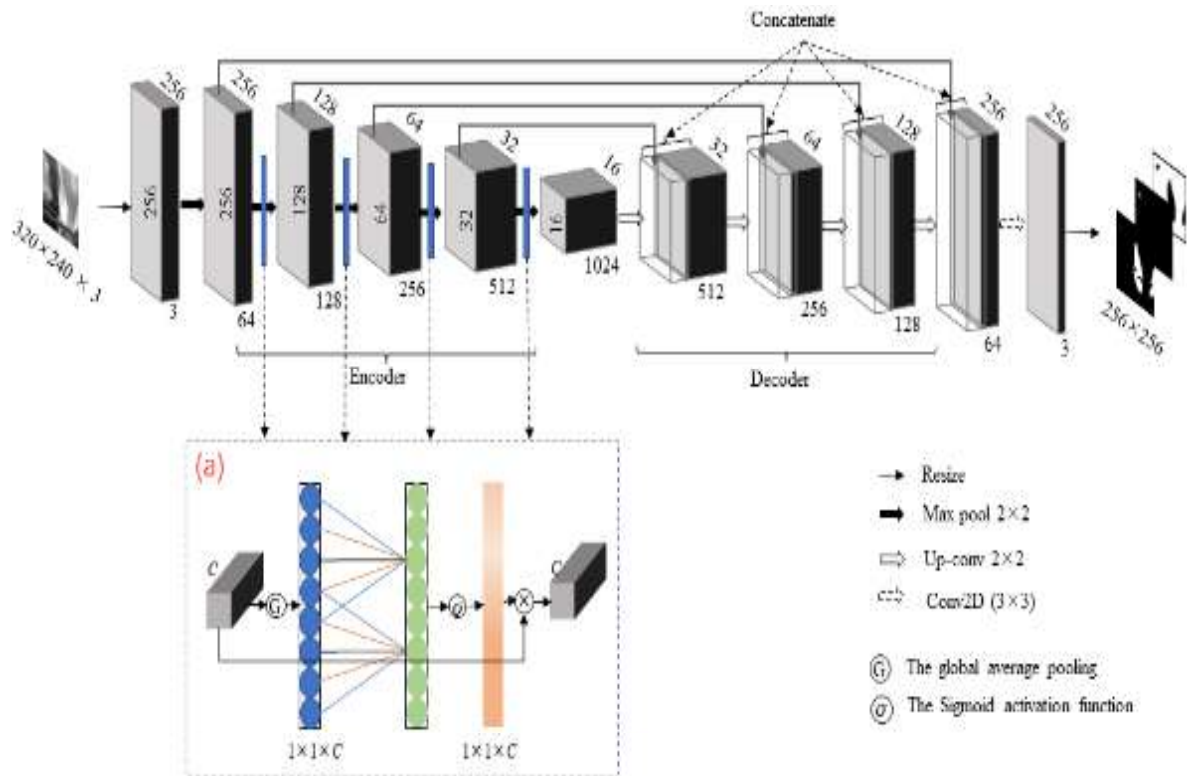
Anos depois, o detalhamento técnico de como construir um sistema de segmentação preciso para áreas específicas, como o úbere e os olhos, foi aprofundado por Zhang et al. (2023). Este processo envolve duas etapas críticas: primeiro, o desenvolvimento de uma arquitetura de rede neural complexa (o "cérebro" do sistema), como a detalhada na Figura 5 ; segundo, a aplicação dessa rede para realizar a segmentação automática das regiões corporais de interesse, como demonstrado no resultado final da Figura 6. Em conjunto, essas figuras ilustram a evolução da ideia (detecção) para a aplicação prática (diagnóstico por segmentação).

**Figura 4** – Detecção automática de vacas leiteiras por câmera térmica embarcada em VANT.



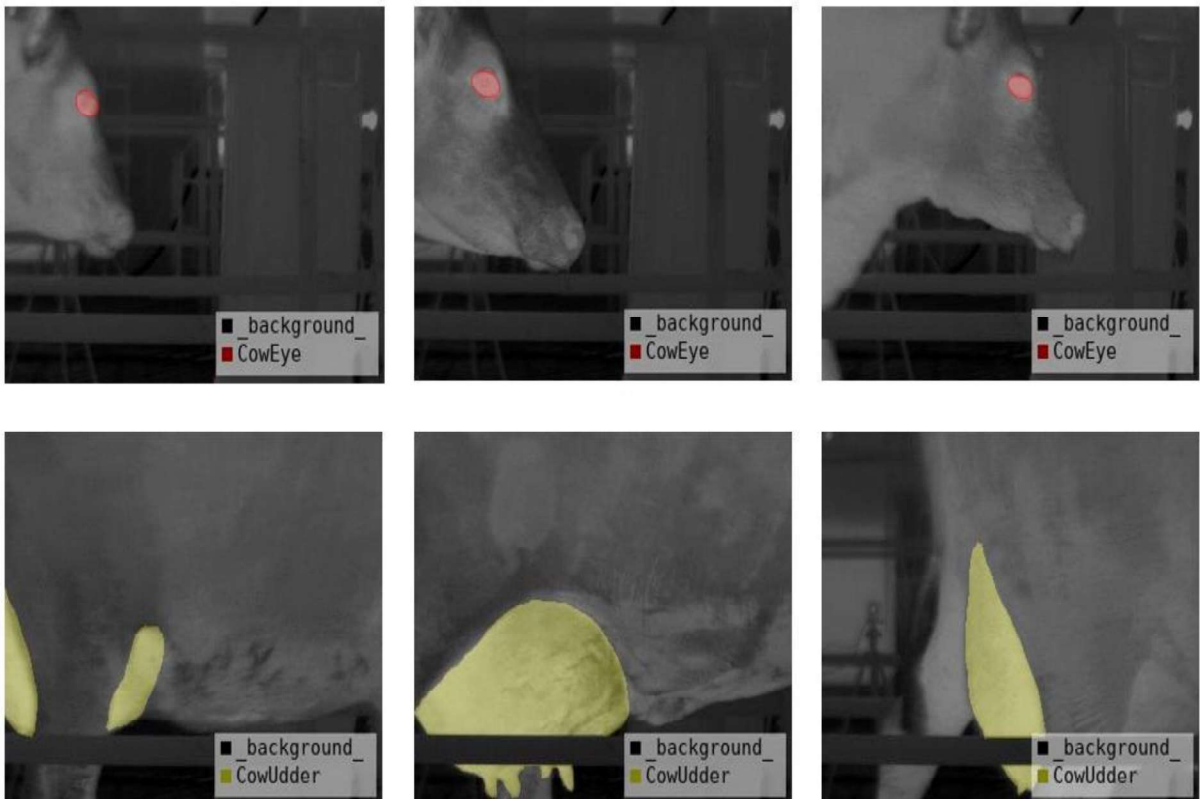
Fonte: González et al. (2016).

**Figura 5**– Arquitetura de rede neural convolucional aplicada na análise das imagens.



Fonte: Zhang et al. (2023).

**Figura 6** – Exemplo de segmentação térmica das regiões do olho e úbere das vacas.



Fonte: Zhang et al. (2023).

Em conjunto, as três figuras demonstram um ciclo completo de aplicação da Pecuária de Precisão. O processo inicia-se com a criação de um banco de dados de treinamento, onde imagens térmicas são pareadas com suas respectivas máscaras de segmentação (Figura 4). Esses dados são utilizados para treinar um modelo de inteligência artificial com uma arquitetura complexa, como a CLE-UNet (Figura 4), projetada para a extração de características e segmentação precisa.

O resultado é um sistema capaz de realizar a segmentação automática das regiões de interesse, como os olhos e o úbere (Figura 6), com alta acurácia. A finalidade deste processo é permitir a extração exata da temperatura para a detecção precoce de doenças como a mastite, contribuindo diretamente para a saúde e o bem-estar do animal. Essa abordagem automatizada transforma o monitoramento por imagem em uma ferramenta de diagnóstico proativo, permitindo intervenções mais rápidas e eficazes no manejo do rebanho.

### **3.1.2 Monitoramento de precisão para o manejo de recursos**

Este grupo de estudos foca em tecnologias que monitoram e gerenciam a interação dos animais com recursos essenciais, como água e pasto. A água, por exemplo, é um nutriente crítico, compondo aproximadamente 87% do leite. A demanda hídrica de uma vaca leiteira é intensa, podendo necessitar de 0,9 kg de água para cada litro de leite produzido, chegando a um total de 2,6 litros de água por quilograma de leite. A redução na ingestão de água é uma das manifestações mais comuns de problemas de saúde ou de problemas na qualidade da água. Diante disso, o monitoramento preciso do consumo é fundamental. O estudo de

Cantor et al. (2018) apresenta um sistema que utiliza hidrômetros instalados nas tubulações dos bebedouros, integrados a leitores de identificação por radiofrequência (RFID). Essa tecnologia permite medir com precisão a ingestão individual de água, realizando medições em intervalos curtos, como a cada dois minutos. Este sistema automatizado permite a detecção precoce de alterações no consumo, possibilitando intervenções veterinárias ou de manejo muito mais rápidas.

Por sua vez, o manejo de pastagens é outro aspecto essencial que impacta o bem-estar e o ambiente. Um controle eficaz do deslocamento do gado ajuda a diminuir o impacto no solo, evitando o pastoreio excessivo e reduzindo a poluição.

## 3.2 DISCUSSÃO APROFUNDADA DOS ACHADOS

A análise conjunta dos estudos selecionados demonstra o avanço e a diversidade das tecnologias aplicadas ao bem-estar de bovinos leiteiros. A discussão a seguir integra esses achados com a literatura, explorando o potencial, os desafios e as implicações dessas ferramentas.

### 3.2.1 A Pecuária de precisão em ação: o potencial das tecnologias não invasivas

As tecnologias de monitoramento por imagem – especificamente a Termometria Infravermelha (IRT), os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) com câmeras térmicas e as câmeras 3D – exemplificam perfeitamente a promessa central da PLF: otimizar a eficiência e o bem-estar através do monitoramento individualizado. O estudo de Soerensen e Pedersen (2015) sobre a IRT, por exemplo, destaca seu potencial como uma ferramenta diagnóstica não invasiva, capaz de detectar febre e inflamações sem o estresse da contenção física. Este benefício é de suma importância, pois, como a introdução deste trabalho aponta, o estresse impacta diretamente a produtividade e a qualidade do leite.

No entanto, os próprios autores são os primeiros a moderar o entusiasmo, apontando para a principal barreira da tecnologia: sua alta sensibilidade a fatores ambientais, como vento e temperatura, que pode comprometer a precisão dos resultados. Essa dicotomia entre o potencial teórico e o desafio prático da IRT ilustra perfeitamente a afirmação mais ampla de Tedeschi et al. (2011), que defendem que as ferramentas de PLF, para atingirem seu máximo potencial, precisam ser rigorosamente validadas e adaptadas às particularidades da atividade leiteira e nas reais demandas do sistema produtivo. A tecnologia, por si só, não é uma solução se não puder ser confiavelmente aplicada no ambiente da fazenda.

Nesse contexto, a tecnologia de câmeras 3D, analisada por Martins et al. (2020), parece oferecer uma solução mais robusta para um problema de manejo diferente: a avaliação do peso e do escore de condição corporal (ECC). Enquanto a IRT de Soerensen e Pedersen (2015) foca em um indicador fisiológico agudo (temperatura), as câmeras 3D proporcionam uma visão longitudinal da saúde nutricional e metabólica do animal. A vantagem de eliminar o estresse da pesagem manual é um benefício de bem-estar compartilhado com a IRT, mas sua capacidade de fornecer dados tridimensionais detalhados da superfície corporal representa um avanço em precisão sobre os métodos 2D.

Finalmente, o trabalho de González et al. (2016) eleva essa discussão de escala. Se as câmeras 3D e a IRT representam o monitoramento de precisão em nível individual e de contato próximo (na sala de ordenha ou estábulo), os VANTs com Inteligência Artificial demonstram o futuro do monitoramento em nível de rebanho e paisagem. Ao aplicar o imageamento térmico (o mesmo princípio da IRT) em larga escala.

González et al. (2016) propõem uma solução para um dos maiores desafios da pecuária: como aplicar os princípios da PLF em sistemas extensivos, onde o monitoramento individual descrito por Martins et al. (2020) é logisticamente impossível. Juntos, esses três estudos desenham um ecossistema tecnológico onde diferentes ferramentas de imagem se complementam para cobrir desde o monitoramento metabólico individual até a vigilância sanitária de rebanhos inteiros.

### **3.2.2 Redefinindo o Manejo: controle do comportamento e do ambiente para a saúde preventiva**

Se as tecnologias de imagem discutidas anteriormente representam o olhar da Pecuária de Precisão, as tecnologias de manejo de recursos representam suas mãos. Os estudos de Cantor et al. (2018) sobre o monitoramento do consumo de água demonstram uma evolução significativa: da observação passiva para o controle ativo e proativo do ambiente e do comportamento animal. Essas ferramentas não apenas coletam dados, mas redefinem ativamente as práticas de manejo para otimizar a saúde e o uso de recursos.

O trabalho de Cantor et al. (2018), que utiliza hidrômetros e RFID para rastreamento individual do consumo de água, aborda um dos indicadores de saúde mais críticos e imediatos. Como o próprio documento aponta, a água compõe 87% do leite e a redução na ingestão de água é uma das manifestações mais comuns de problemas de saúde. O sistema proposto por Cantor et al. (2018) transforma esse indicador, muitas vezes negligenciado ou medido apenas em nível de rebanho, em um dado de alta precisão e acionável em nível individual. Isso se conecta diretamente ao conceito de *sickness behavior* (comportamento de doença) discutido por autores como Fogsgaard et al. (2012), que notaram que vacas com mastite por *E. coli* apresentavam mudanças comportamentais (como redução da ingestão) antes mesmo dos sinais clínicos óbvios.

O sistema de Cantor et al. (2018), portanto, funciona como uma sentinela, permitindo uma intervenção veterinária muito antes do que seria possível apenas com a observação humana. No entanto, o monitoramento do *consumo* de água, por si só, é apenas metade da

equação. A literatura aponta para a importância da *qualidade* da água, como no estudo de Akhter et al. (2021) sobre sensores portáteis para detecção de nitrato. Uma vaca pode reduzir o consumo não apenas por estar doente, mas por rejeição à qualidade da água.

A verdadeira Pecuária de Precisão, nesse contexto, seria a integração do sistema de Cantor et al. (2018) com sistemas de monitoramento da qualidade da água como o de Akhter et al. (2021), criando um ciclo completo de feedback que garante tanto a disponibilidade quanto a potabilidade desse nutriente essencial.

Ela oferece uma flexibilidade de manejo que reduz a necessidade de intervenção manual e permite a otimização do pastejo de uma forma que ajuda a diminuir o impacto no solo, evitando o pastoreio excessivo e reduzindo a poluição. Este é um conceito que vem amadurecendo há algum tempo, como visto nos trabalhos anteriores de Anderson et al. (2014), que já revisavam o potencial dessa tecnologia para um manejo mais flexível.

O estudo de Golinski et al. (2023) confirma que essa tecnologia atingiu um nível de maturidade onde sua aplicação prática é viável. A eficácia dessa tecnologia depende da capacidade de aprendizado dos animais. Golinski et al. (2023) citam estudos de adaptação como o de Campbell et al. (2019), que demonstraram que, embora haja curvas de aprendizado individuais, os rebanhos se adaptam bem. Isso significa que o produtor pode, ativamente, influenciar o comportamento de pastejo para garantir acesso a pastagens de melhor qualidade, o que impacta diretamente o bem-estar nutricional e reduz o estresse associado a mudanças de piquete com cercas físicas.

Em conjunto, Cantor et al. (2018) e Golinski et al. (2023) demonstram como a PLF permite um manejo preventivo da saúde. Um controle de pasto mais eficiente (via cercas virtuais) leva a uma melhor nutrição, o que, por sua vez, previne doenças metabólicas. Um monitoramento rigoroso da água (via sensores de fluxo) detecta doenças subclínicas dias antes da observação humana.

Essas ferramentas respondem diretamente ao desafio central do bem-estar animal: o diagnóstico precoce. Autores como Whay et al. (2017) afirmam que o controle eficaz de problemas endêmicos como a claudicação depende do diagnóstico precoce. Ao automatizar tarefas repetitivas e trabalhosas (como mover cercas ou monitorar bebedouros), essas tecnologias liberam o tempo do produtor para uma observação mais qualificada, transformando o manejo diário em uma ferramenta de promoção ativa da saúde.

### **3.2.3 Desafios e Oportunidades na Adoção Tecnológica**

A transição para um manejo tecnológico, embora promissora, não ocorre sem obstáculos significativos. A literatura analisada aponta para desafios práticos, econômicos e de implementação. Os desafios práticos são bem exemplificados pela sensibilidade da IRT a fatores ambientais, como já discutido por Soerensen e Pedersen (2015).

Economicamente, o custo e a complexidade são barreiras. A literatura sobre câmeras 3D, por exemplo, reconhece que os sensores 3D são mais caros e complexos e que o processamento de dados e os algoritmos associados trazem desafios extras em comparação com sistemas 2D mais simples.

Além do hardware, há a necessidade de adaptação do software humano e animal. A implementação bem-sucedida exige uma curva de aprendizado, tanto dos operadores, que precisam aprender a interpretar grandes volumes de dados, quanto dos próprios animais. A adaptação às cercas virtuais, por exemplo, embora geralmente bem-sucedida em grupo, apresenta variações individuais, como sugerido por Campbell et al. (2019).

. Isso significa que a simples aquisição da tecnologia não garante seu sucesso; ela exige um investimento concomitante em calibração, treinamento e protocolos de manejo. Apesar dessas barreiras, as oportunidades e a tendência de adoção são inegáveis. O mercado está amadurecendo rapidamente. A estimativa de Lora et al. (2020), de que entre 40% e 70% das fazendas na União Europeia já utilizam alguma forma de monitoramento, e a constatação de Stygar et al. (2023) sobre a existência de mais de 130 modelos comerciais disponíveis, indicam que o setor está ativamente superando os desafios iniciais. A força motriz para essa adoção massiva não é apenas a busca por eficiência produtiva, mas, como destacado na introdução, as crescentes exigências de consumidores, mercados e legislações.

Neste novo cenário, o bem-estar animal, monitorado e validado por tecnologia, deixa de ser uma questão puramente ética ou um custo operacional e se torna um pilar estratégico do negócio. O investimento em tecnologias como as descritas por Martins et al. (2020) ou Cantor et al. (2018) é uma resposta direta às demandas de um mercado consumidor que exige transparência, rastreabilidade e produção ética. Portanto, a adoção da Pecuária de Precisão é, em última análise, um investimento fundamental para garantir a sustentabilidade da produção leiteira moderna, alinhando a produção de laticínios às expectativas da sociedade.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho teve como objetivo central realizar um levantamento das tecnologias aplicadas ao monitoramento do bem-estar animal na bovinocultura leiteira, por meio de uma revisão sistemática da literatura. A pesquisa buscou responder quais tecnologias têm sido utilizadas para monitorar o bem-estar de bovinos leiteiros e quais os indicadores e resultados relacionados a essa prática.

Após a aplicação do protocolo PRISMA, que resultou na inclusão de 5 artigos, os resultados demonstram que a Pecuária de Precisão (PLF) oferece um conjunto diversificado de ferramentas para o monitoramento individualizado e proativo. As principais tecnologias identificadas incluem o uso de imagem, como a Termometria Infravermelha (IRT) para detecção de febre e câmeras 3D para avaliação de peso e escore de condição corporal (ECC) e

o monitoramento de recursos, como hidrômetros com RFID para aferir o consumo individual de água.

A análise dos estudos permite concluir que o avanço tecnológico está promovendo uma transição de um manejo reativo para uma gestão de saúde preventiva. Ferramentas que monitoram o consumo de água, por exemplo, possibilitam a detecção precoce de "comportamentos de doença" (sickness behavior) antes mesmo do surgimento de sinais clínicos evidentes. Além disso, a automação de processos, como a pesagem por imagem 3D, reduz o estresse animal associado ao manejo físico, contribuindo diretamente para o bem-estar.

Apesar do potencial promissor, a implementação dessas tecnologias enfrenta desafios práticos e econômicos. A precisão de ferramentas como a IRT pode ser influenciada por fatores ambientais, e o custo de sensores mais complexos, como os 3D, ainda é uma barreira. Há também uma curva de aprendizado necessária para que operadores e animais se adaptem aos novos sistemas, como no caso das cercas virtuais.

A limitação desta revisão sistemática ao focar em 4 estudos principais sugere a necessidade de pesquisas futuras que ampliem a análise, incluindo estudos de viabilidade econômica e custo-benefício da adoção dessas ferramentas em diferentes escalas de produção. Recomenda-se também o desenvolvimento de pesquisas que integrem dados de múltiplos sensores, visando criar sistemas de alerta de saúde mais holísticos e precisos.

Conclui-se, portanto, que as tecnologias de monitoramento são fundamentais para a modernização da pecuária leiteira. Elas não apenas otimizam a produção, mas também respondem às crescentes exigências de consumidores e mercados por práticas de produção éticas, transparentes e sustentáveis, consolidando o bem-estar animal como um pilar estratégico para a sustentabilidade do setor.

## REFERÊNCIAS

- AKHTER, F. et al. A portable IoT enabled sensing system with MWCNTs/PDMS sensor for nitrate detection in water. **Measurement**, v. 178, p. 109424, 2021.
- ANDERSON, D. M. et al. Virtual fencing for flexible cattle management – a review. **Rangeland Journal**, v. 36, p. 205-221, 2014.
- CAMPBELL, D. L. M. et al. Temporary exclusion of cattle from a riparian zone using virtual fence technology. **Animals**, v. 9, p. 1–5, 2019.
- CANTOR, M. C.; COSTA, J. H. C.; BEWLEY, J. M. Impact of observed and controlled water intake on reticulorumen temperature in lactating dairy cattle. **Animals**, v. 8, n. 11, p. 194, 2018.
- FOGSGAARD, K. K.; RØNTVED, C. M.; SØRENSEN, P. Sickness behavior in dairy cows during *Escherichia coli* mastitis. **Journal of Dairy Science**, v. 95, p. 630-638, 2012.

GOLINSKI, P. et al. Virtual fence technology for cattle management in a pasture feeding system: a review. **Agriculture**, v. 13, p. 1–91, 2023.

GONZÁLEZ, L. F. et al. Artificial intelligence is revolutionizing wildlife monitoring and conservation. **Sensors**, v. 16, n. 1, p. 97, 2016.

LEÃO, J. M. et al. Uso da termografia infravermelha na pecuária de precisão. **Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia**, n. 79, p. 97-109, 2015.

LORA, I. et al. A study of sensor systems used on Italian dairy farms and a comparison between the performances of similar herds equipped or not with sensors. **Journal of Dairy Science**, v. 103, p. 10264-10272, 2020.

MARTINS, B. M. et al. Estimation of body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three-dimensional cameras and manual body measurements. **Livestock Science**, v. 236, p. 104054, 2020.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021.

SELLIER, N.; GUETTIER, E.; STAUB, C. A review of methods for measuring animal body temperature in precision farming. **American Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 2, p. 74-99, 2014.

SOERENSEN, D. D.; PEDERSEN, L. J. Infrared skin temperature measurements for health monitoring in pigs: a review. **Acta Veterinaria Scandinavica**, v. 57, p. 1–5, 2015.

STYGAR, A. H. et al. Measuring dairy cow welfare with real-time sensor-based data and farm records: A conceptual study. **agriRxiv**, 2023.

TEDESCHI, L. O.; NICHOLSON, C. F.; RICH, E. Using the system dynamics modeling approach to develop management tools for animal production with an emphasis on small ruminants. **Small Ruminant Research**, v. 98, p. 102-110, 2011.

WHAY, H. R.; SHEARER, J. K. The impact of lameness on welfare of the dairy cow. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v. 33, p. 153–164, 2017.

ZHANG, Q. et al. Dairy Cow Mastitis Detection by Thermal Infrared Images Based on CLE-UNet. **Animals**, v. 13, p. 2211, 2023.