

# Tecnologias de pecuária de precisão para o manejo de pastagens e animais<sup>1</sup>

69

## Precision livestock technologies for pasture and animal management

Alberto Carlos de Campos Bernardi<sup>1</sup>, Patrícia Menezes Santos<sup>2</sup>, José Ricardo Macedo Pezzopane<sup>3</sup>, Alexandre Rossetto Garcia<sup>4</sup>, Waldomiro Barioni Júnior<sup>5</sup>, Sérgio Raposo Medeiros<sup>6</sup>, Sandra Aparecida Santos<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Doutor, Engenheiro Agrônomo, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, alberto.bernardi@embrapa.br

<sup>2</sup> Doutor, Engenheira Agrônoma, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, patricia.santos@embrapa.br

<sup>3</sup> Doutor, Engenheiro Agrônomo, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, jose.pezzopane@embrapa.br

<sup>4</sup> Doutor, Médico Veterinário, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, alexandre.garcia@embrapa.br

<sup>5</sup> Doutor, Engenheiro Agrônomo, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, waldomiro.barioni@embrapa.br

<sup>6</sup> Mestre, Estatístico, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, sergio.medeiros@embrapa.br

<sup>7</sup> Doutor, Zootecnista, Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos (SP), Brasil, sandra.santos@embrapa.br

### RESUMO

As tecnologias de automação, agricultura digital (AD) e pecuária de precisão (PP) podem contribuir para o manejo eficiente e sustentável de propriedades rurais. Os sensores, equipamentos, imagens, atuadores, sistemas para monitoramento da variabilidade edafoclimática, das pastagens e dos animais e do uso dos insumos podem ser utilizados para a coleta, armazenamento e disponibilização de dados de sistemas (intensivos ou integrados) de produção de carne e leite. A conversão e integração de dados brutos sobre clima, solo, pastagens, animais e suas interações em informações úteis cria oportunidades para o uso mais eficiente dos recursos naturais e dos fatores de produção, reduzindo o risco associado à atividade e aumentando a sustentabilidade dos sistemas de produção animal em pastagens. Devido à grande quantidade de dados e informações geradas de diferentes fontes, há a necessidade de tecnologias e métodos para padronização e processamento por meio de TIC (tecnologias de informação e comunicação). O desenvolvimento de soluções tecnológicas baseadas na aplicação de AD e PP às pastagens e animais podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas robustos de apoio à tomada de decisão nos sistemas de produção baseado em pastagens.

**Palavras-chave:** índices de vegetação; identificação animal; comportamento e bem-estar animal; base de dados; sistemas de suporte à decisão.


### ABSTRACT

Automation, digital agriculture (DA), and precision livestock (PL) technologies can contribute to farms' efficient and sustainable management. Sensors, equipment, images, actuators, systems for monitoring edaphoclimatic variability, pastures and animals, and inputs can be used to collect, store, and provide data from systems (intensive or integrated) of meat and milk production. The conversion and integration of climate, soil, pastures, and animals' raw data and their interactions into useful information create opportunities for more efficient use of natural resources and production factors, reducing the risk associated with the activity and increasing the sustainability of animal production in pasture systems. Due to a large amount of data and information generated from different sources, there is a need for technologies and methods for standardization and processing through ICT (information and communication technologies). The development of technological solutions based on the application of DA and PL to pastures and animals can contribute robust systems to support decision-making in production systems based on pastures.

**Keywords:** vegetation indices; animal identification; animal behavior and welfare; database; decision support systems.

<sup>1</sup> Parte do trabalho apresentado no X Simfor (Simpósio Sobre Manejo Estratégico da Pastagem), em Viçosa (MG) (outubro de 2022).

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000056>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, onde a produção de ruminantes é baseada principalmente no uso de pastagens, o monitoramento das interações clima-solo-planta-animal ganha destaque. Como representam a principal forma de uso da terra dos estabelecimentos rurais brasileiros, há forte potencial de impacto econômico, social e ambiental em aprimorar seu manejo. Nesses sistemas de produção pecuária, há duas fases distintas, mas interligadas, sendo que a primeira está relacionada à produção primária de biomassa pelas plantas forrageiras, utilizando energia solar, água e nutrientes do solo; a outra está relacionada à colheita e ingestão da forragem, e sua conversão em produto animal. Cada etapa tem sua eficiência, cuja soma determina a produção animal alcançada, e segundo Hodgson (1990) não podem ser separadas, pois há interações entre elas que influenciam muito na produção final do sistema.

Por isso, a pecuária de precisão (PP), voltada para produção de ruminantes, deve considerar as pastagens, além do componente animal. As variações espaço-temporais na disponibilidade de forragem dificultam o monitoramento e a tomada de decisão por parte dos produtores, portanto havendo grande potencial para a PP objetivamente melhorar a eficiência de uso das pastagens.

Na pecuária tradicional, há diversas ferramentas disponíveis para o monitoramento do sistema clima-solo-planta. Os produtores que monitoram o clima utilizam dados meteorológicos regionais e/ou instalam pluviômetros na propriedade. As variáveis de solo são monitoradas por meio da análise de solo, cuja amostragem é realizada com frequências e níveis de detalhe diferentes. Por fim, a produção de forragem é avaliada principalmente de forma visual. E há um grupo de produtores ainda que não monitoram o sistema, e nestes casos as decisões muitas vezes são baseadas apenas na experiência e em observações, e as decisões de manejo consideram valores médios, ou grupos ou lotes de animais. Já os produtores que adotam técnicas de AG e PP utilizam estações meteorológicas automáticas e fazem análise de solo geoespacializada. Alguns utilizam imagens de sensores distais ou proximais para monitorar biomassa de forragem, mas as ferramentas ainda são incipientes.

A pecuária de precisão (PP) permite que as decisões sejam baseadas em dados quantitativos (por exemplo biomassa por área, litros de leite por ordenha, ganho de peso diário etc.) mensurados individualmente, potencializando o desempenho do sistema (Bernardi; Perez, 2014; Berckmans, 2017).

Isso só é possível com um eficiente sistema de identificação individual e automação dos processos, que passam a ser a base do processo da PP. Na PP a produção pecuária ocorre como um conjunto de processos interligados, em uma rede complexa que incluem desde o crescimento vegetal e animal, a produção, doenças endêmicas, aspectos do comportamento animal e o ambiente físico das instalações (microclima e emissões de poluentes por exemplo) até a comercialização (Berckmans, 2017; Neethirajan; Kemp, 2021). Até o momento, a atenção se concentrou no gerenciamento de processos individuais, mas são as interações que realmente são importantes e que deverão ser doravante estudadas. Para obter esses dados, interpretar e gerar informações que darão suporte às tomadas de decisão, muitas vezes em tempo real, os sistemas PP têm utilizado a análise de dados, aprendizado de máquina (*machine learning*), sistemas de controle e as tecnologias de informação e comunicação – TIC (Banhazi et al., 2012).

### 1.1 Tecnologias de automação e digitalização na pecuária

A automação na produção animal inclui sistemas de controles ambiental, fisiológico e comportamental, de identificação, de monitoramento e controle da alimentação e reprodutivo (Aquilani et al., 2022; Edan et al., 2009; Paiva et al., 2016; Berckmans, 2017). Além desses, outros sistemas automatizados de pesagem, controle de saúde e bem-estar, higienização, abate e processamento estão sendo desenvolvidos. A PP está principalmente associada a sistemas indoor (Berckmans, 2017), mas também vem sendo aplicada em sistemas de pastejo intensivo e extensivo. No caso da produção a pasto, além de informações sobre os animais, o monitoramento deve incorporar sistemas e sensores de monitoramento do clima (ex.: estações meteorológicas automatizadas), do solo (ex.: ferramentas para coleta de amostras georreferenciadas) e das plantas (sensores remotos e proximais).

Mas para que os dados de monitoramento e controle, individual ou de grupo, dos vários sensores disponíveis sejam efetivos e possam orientar as decisões de manejo mais adequadas, são necessários sistemas TIC avançados (Edan et al., 2009; Paiva et al., 2016; Berckmans, 2017).

Neethirajan e Kemp (2021) revisaram criticamente o estado da arte atual da digitalização na PP, especificamente sensores biométricos, big data e tecnologia blockchain. Na pecuária digital, os dados coletados em tempo real por sensores biométricos (invasivos ou não invasivos) são processados e integrados, utilizando para isso sistemas de análise de big data que

dependem de algoritmos estatísticos para classificar grandes e complexos conjuntos de dados para fornecer aos agricultores padrões de tendências relevantes e ferramentas de tomada de decisão (Neethirajan; Kemp, 2021), como a detecção precoce de problemas individuais de saúde, especialmente de animais com alto valor econômico (Norton; Berckmans, 2017).

Os dados obtidos pelo monitoramento constante, ou consultas específicas aos big data, são usados para interpretar os eventos passados e fazer previsões futuras, e dessa forma auxiliar na tomada de decisões mais oportunas ou precisas (Wolfert et al., 2017). Os dados podem ainda ser utilizados para fins de agrupamento e classificação, por exemplo, podemos desenvolver algoritmos para classificação de nível de degradação de pastagens, contribuindo também para a gestão de riscos da atividade.

Bolfe et al. (2021) destacaram a adoção das tecnologias digitais entre os pecuaristas. Os resultados indicaram que 64% utilizam aplicativos móveis, softwares ou plataformas digitais para obter informações e apoiar a gestão da propriedade; 45% informaram o uso de ferramenta digital para gestão da propriedade; 34% utilizam sensores remotos (satélites e/ou drones) e sistemas de posicionamento global por satélite (GPS) para monitorar e planejar, mapear e fazer uso da terra na propriedade; 40% utilizam aplicativos móveis e/ou plataformas para compra de insumos ou comercialização da produção; 30% aplicam alguma tecnologia digital em bem-estar animal; 25% para previsão climática; 20% também utilizam sensores remotos.

## 2 TECNOLOGIAS PARA MONITORAMENTO E MANEJO DE PASTAGENS

### 2.1 Aplicação de insumos em taxa variável

A baixa fertilidade do solo é apontada por técnicos e produtores como um dos principais problemas das pastagens no Brasil, e a aplicação de corretivos e fertilizantes, além do ajuste da taxa de lotação, é a principal solução utilizada pelos produtores para contornar esse problema atualmente (Santos; Euclides, 2022). A aplicação de fertilizantes também permite aumentar a capacidade de suporte das pastagens, principalmente quando aliada ao uso de estratégias para suplementar a alimentação dos animais no período de menor crescimento do capim (Santos, 2021).

O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é essencial para o uso racional de calcário e fertilizantes, como na aplicação localizada dos insumos em pastagens manejadas intensivamente. Com os resultados de análises químicas de amos-

tras de solo georreferenciadas, análise da variabilidade espacial, elaboração de mapas das propriedades do solo e das necessidades de insumos, é implementada a tecnologia de aplicação em taxa variável (*Variable Rate Technology* – VRT) (Bernardi et al., 2015) a partir do fornecimento de corretivos e fertilizantes em quantidades distintas para diferentes partes do talhão. O uso das tecnologias de amostragem de solo georreferenciada, estabelecimento de zonas de manejo e aplicação de insumos a taxa variável (Figura 1) foram úteis para o manejo de pastagens como mostrados nos trabalhos de Bernardi et al. (2016, 2017, 2018, 2019) e Santos et al. (2017). A aplicação da VRT resultou em maior homogeneidade dos atributos químicos do solo, correção das propriedades químicas do solo e redução das necessidades de insumo.

### 2.2 Sensoriamento remoto e proximal em pastagens

As estimativas da biomassa de pastagens podem ser obtidas por meio do corte, secagem e pesagem de amostras colhidas no campo e processadas em laboratório. O processo é laborioso e demorado, muitas vezes não atendendo à demanda dos produtores. Devido a variabilidade espacial de produção que as pastagens tropicais apresentam, o método de quantificação por meio do corte, também chamado de método direto, pode apresentar erros nas estimativas se o número de amostras não for suficiente para indicar as diferenças em um piquete. Por isso as estimativas com o uso de sensoriamento remoto (por imagens de satélite) ou proximal (pelo uso de sensores) tem despertado cada vez maior atenção (Ali et al., 2016).

Há outras tecnologias que têm sido usadas para medição indireta da biomassa de pastagens, que incluem medições ópticas espectrais, capacitância e altura da parte aérea (López-Díaz et al., 2011).

O sensoriamento remoto e sensoriamento proximal são as duas técnicas mais comuns de aquisição de informações sobre um objeto ou qualquer fenômeno sem contato físico com o objeto por meio da interação entre a radiação eletromagnética com a superfície. O sensoriamento remoto, utilizando imagens multi ou hiperespectrais, está associado ao uso de plataformas de satélite, aerotransportadas ou UAV. Já no sensoriamento proximal, os sensores estão próximos ao objeto e podem utilizar desde imagens RGB simples, ou de nível de cinza, até sistemas de imagem de alta resolução, multiespectrais e hiperespectrais, ou ainda câmeras termográficas. Estes sistemas podem ser instalados em plataformas, que variam de instalações portáteis, fixas ou robóticas a sensores embarcados em máquinas agrícolas.

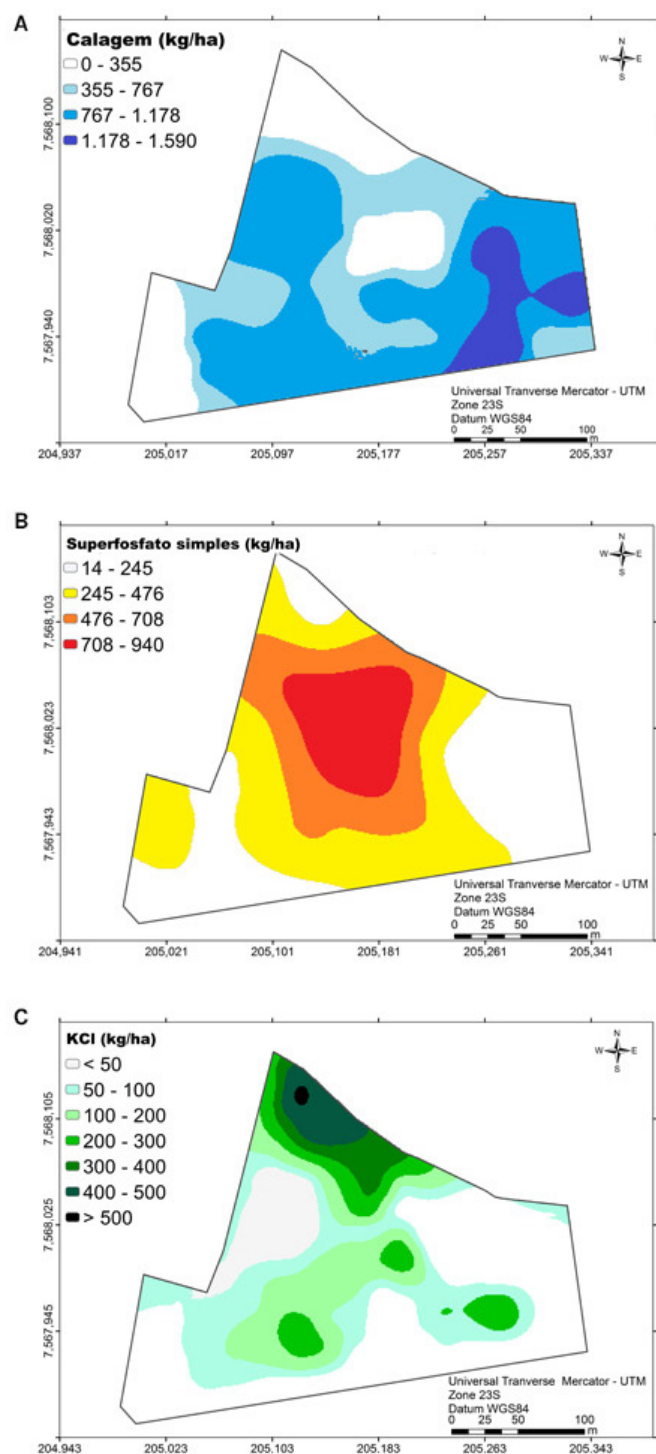


Figura 1. Mapas de aplicação de calcário (A), superfosfato simples (B) e KCl (C) a taxa variável em pastagem de alfafa (*Medicago sativa* cv. Crioula) em São Carlos/SP.

Fonte: Adaptado de Bernardi et al. (2016).

As combinações matemáticas são utilizadas para o cálculo dos índices de reflectância, com base nas medições das intensidades da luz refletida em comprimentos de onda específicos, e são a forma convencional de análise de dados espectrais (Pezzopane et al., 2019, 2022).

O índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) tem sido amplamente utilizado como indicador de produtividade, qualidade e vigor da vegetação em pastagens (Svoray et al., 2013; Ali et al., 2016; Pezzopane et al., 2019, 2022). Para pastagens tropicais altamente produtivas, o NDVI tem apresentado

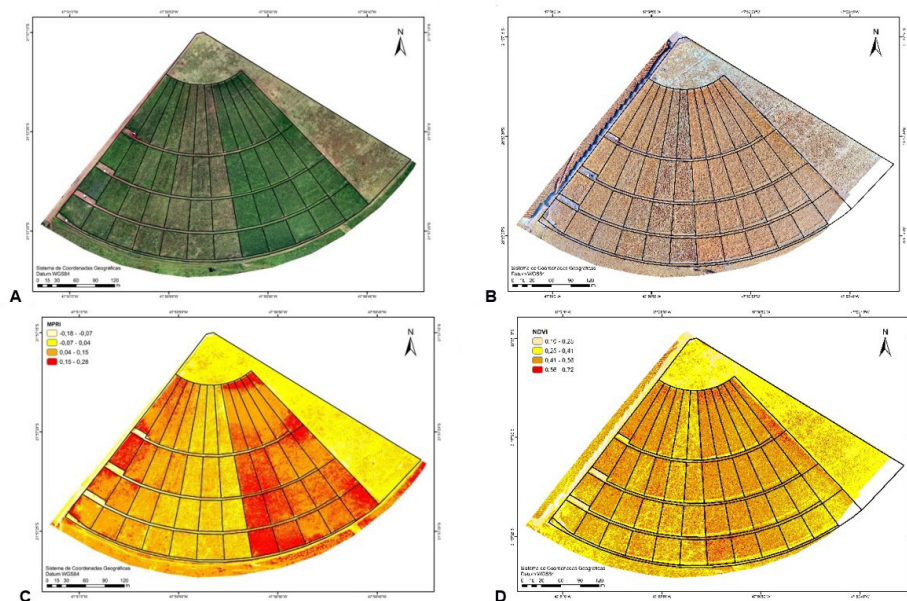
saturação quando a biomassa de forragem é muito alta, enquanto o SRI, por não saturar sob essas condições, apresenta resultados melhores (Pezzopane et al., 2019). Em parcelas experimentais, sob corte mecânico, a utilização do SRI se mostrou uma boa alternativa para a estimativa de biomassa total, massa de folhas e massa de folhas + colmo de *Urochloa brizantha* “Marandu”. Esse índice também se mostrou eficiente para estimar a extração de nitrogênio pelo pasto, demonstrando potencial para uso no auxílio da adubação nitrogenada (Pezzopane et al., 2022). A Figura 2 mostra as imagens com comprimento de ondas no visível e no infravermelho (A e B), obtidas com câmera RGB, e os índices de vegetação MPRI e NDVI (C e D) calculados a partir dessas imagens para uma área de pasto irrigada por pivô em São Carlos/SP.

### 2.3 Uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) em pastagens

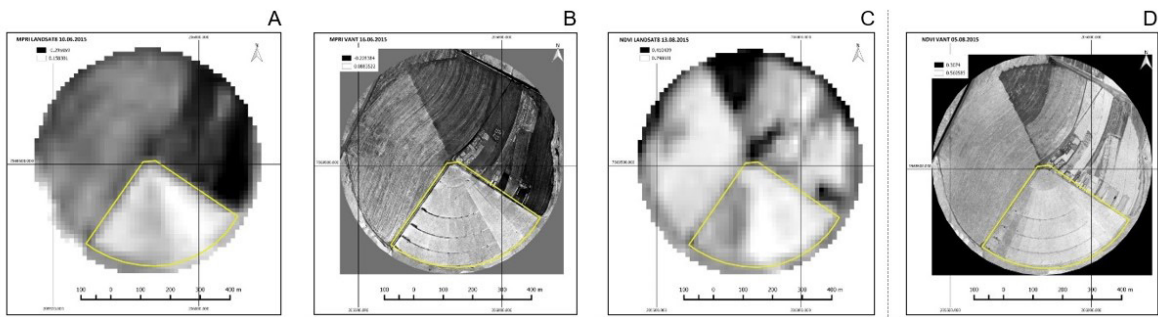
O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para coletar imagens da área de interesse está rapidamente se tornando uma alternativa viável (Barbedo et al., 2020). Essas imagens têm despertado um interesse crescente para o monitoramento de sistemas agropecuários (Jorge et al., 2014) e são uma alternativa às imagens de satélite (Aasen et al., 2015). Jorge et al. (2014) detalharam os tipos de VANTs e sensores disponíveis e os avanços tecnológicos nesses equipamentos, bem como sua aplicação em missões de monitoramento e manejo, destacando os benefícios quanto como na

redução de custos, tamanho dos equipamentos e necessidade de otimização da produção. Com o uso do VANT, o usuário tem autonomia para definir a frequência de obtenção das imagens, o que é importante para basear as decisões em sistemas de pastejo, como no caso da Figura 2, que ilustra um sistema de pastejo rotacionado irrigado com pivô central em São Carlos/SP. Na imagem obtida por VANT é possível levantar informações sobre a dinâmica de pastejo na área, e associado ao índice de vegetação (MPRI) para fazer estimativas da produção de biomassa, por exemplo.

As imagens de satélite de resolução média podem ser utilizadas na agricultura em programas de monitoramento agrícola por meio da cobertura sistemática, já as imagens de satélite comerciais com alta resolução espacial, cobrindo áreas acima de 2.500 hectares, podem ter alto custo de aquisição. O uso de VANT permite a obtenção de imagens de grande resolução (Aasen et al., 2015), sendo apropriadas para o manejo localizado em propriedades. Com os VANTs operando em voos a uma altura constante a dezenas de metros do solo, de maneira geral, apresentam resoluções de alguns centímetros por pixel menores que as imagens de satélites. Sampaio et al. (2020) compararam os índices de vegetação obtidos a partir de imagens de satélite (Landsat-8) e de veículo aéreo não tripulado (VANT) em uma área de pastagem irrigada em São Carlos/SP (Figura 3). As imagens ilustram a as diferenças da resolução das imagens obtidas por satélite e com o VANT.



**Figura 2.** Imagens RGB (A), infravermelho (B) e os índices de vegetação MPRI (C) e NDVI (D) para uma área de pastagem (*Megathyrus maximus* cv. Tanzânia) irrigada por pivô em São Carlos/SP. Obs.: as datas de coleta das imagens foram as mesmas em A e C, e B e D.



**Figura 3.** Índices MPRI (A e B) e NDVI (C e D) obtidos a partir das imagens de satélite Landsat-8 e VANT de pastagem (*Megathyrus maximus* cv. Tanzânia) irrigada por pivô em São Carlos/SP.

Fonte: Adaptado de Sampaio et al. (2020).

### 3 TECNOLOGIAS PARA MONITORAMENTO E MANEJO DE ANIMAIS EM PASTAGENS

#### 3.1 Identificação dos animais

A identificação dos animais de produção a pasto permite o gerenciamento individual e é um pré-requisito para a PP, que permite a associação e rastreamento de características relevantes de um indivíduo ao longo do tempo (Qiao et al., 2021). Ferramentas e métodos manuais ou automatizados podem ser utilizados para identificar bovinos. O Quadro 1 resume essas tecnologias. Há sistemas de identificação baseados em recursos físicos, utilizando tatuagens, brincos, tarjetas e marcas não digitais. O avanço da tecnologia proporcionou o desenvolvimento de métodos mais eficientes de identificação e rastreamento, que podem estar baseados no uso de antenas de muito alta frequência (VHF), do sistema de posicionamento global (GPS) e de identificação por radiofrequência (RFID).

Como cada identificador tem sua particularidade na forma de aplicação, devem-se considerar, no momento da aplicação, as vantagens e desvantagens em relação ao bem-estar e comportamento animal. Outros fatores importantes envolvidos na identificação, além do risco de perda, e no seu uso são os custos com o tipo de identificador adotado, com os aparatos de aplicação, recursos tecnológicos e mão de obra treinada (Barioni Júnior et al., 2016).

A identificação eletrônica dos animais facilita o manejo do rebanho, permite acompanhar seu histórico e garante a rastreabilidade das informações referentes àquele indivíduo, fornecendo informações sobre saúde ou bem-estar, por exemplo, para a tomada de decisão mais rápida e adequada sobre o manejo. Existem várias alternativas de identificadores animais que estão sendo utilizados tanto na pesquisa como comercialmente (Berckmans, 2017; Qiao et al., 2021).

Mais recentemente surgiram trabalhos que integram múltiplas visões de faces de bovinos para identificação (Barbedo et al., 2019). Uma opção aos métodos tradicionais de identificação foi utilizada no Brasil por Weber et al. (2020a), que criaram um sistema com o uso de inteligência artificial que reconheceu individualmente bovinos por imagens com até 99,8% de acurácia.

#### 3.2 Comportamento e bem-estar animal

A automação pecuária de ruminantes depende, dentre outros fatores, do conhecimento do comportamento animal. Esse conhecimento é fundamental para o desenvolvimento de métodos integrados com tecnologia eletrônica sem fio e sistemas de decisão para o manejo de animais em pastejo. As informações sobre a posição dos animais e a oferta diferencial de água e alimentos podem fornecer opções de intervenção na distribuição espacial dos animais (Anderson et al., 2013). O monitoramento conjunto das diferentes atividades (tempo de pastejo, ruminação, descanso) e da posição dos animais pode ser muito útil na identificação e delimitação de áreas de preferência, fornecendo informações para o manejo sanitário e sobre seu bem-estar. Com esse conhecimento é possível, por exemplo, ajustar mais adequadamente a pressão de pastejo (Laca, 2009).

Os sistemas de produção animal baseados no uso de pastagens (Bernardi; Perez, 2014) incorporam outros tipos de interação, desafiando os animais a superar restrições ambientais de difícil controle. Restrição à sombra e à água para dessedentação e variações de relevo são fatores que se somam nos efeitos da produção de forragem. Nessas circunstâncias, as heterogeneidades espaciais e temporais se ampliam, dificultando a aferição dos resultados econômicos de práticas de manejo sítio-específicas e, por conseguinte, sua adoção. Diante disso, o conhecimento, o mo-

**Quadro 1.** Tipos de identificação para bovino.

Identificadores de bovinos	Imagem real	Identificadores de bovinos	Imagem real
1. Marca de fogo - ferro quente*		7. Brinco tipo botão eletrônico - RFID (conjunto macho e fêmea)*	
2. Marca a ferro com nitrogênio líquido (a frio)*		8. Brinco eletrônico implantável - RFID (subcutâneo -microchip/Glasstag) *	
3. Tatuagem: parte interna da orelha, entre as duas nervuras superiores*		9. Bollus intra-ruminal - RFID	
4. Brinco visual com numeração*		10. Colar	
5. Botão (não eletrônico, numerado)*		11. Imagem digital - reconhecimento facial por câmera digital ou por celular (aplicativo)	
6. Brinco visual, com código de barras*		12. Biometria do espelho nasal (mufla) é como a impressão digital. Escaneia a mufla do bovino. Marcação única e permanente.	

\*Formas válidas de identificação pelo Sisbov (Brasil, 2006);

Fotos: Autores (Barioni Jr; Garcia).

nitoramento e o gerenciamento dessas relações constituem um campo importante para a aplicação das ferramentas de PP em sistemas de produção de ruminantes em pastagens, sobretudo quando se consideram a amplitude de ambientes e os sistemas de produção à base de pasto presentes no Brasil.

Um dos princípios para monitoramento de animais criados em pastagens é sua identificação individualizada e precisa. Em sistemas analógicos de observação e monitoramento, os animais podem ser identificados com recursos físicos. Nesses casos, o rastreamento dos animais é realizado por observação ao vivo ou por imagens pré-gravadas. Para isso é necessário utilizar indivíduos treinados para monitorar e registrar

os animais e suas atitudes. Essas equipes devem ser bem treinadas, observadores/registradores disponíveis no momento das campanhas de observação, necessidade de estabelecimento de bases físicas para as equipes, além das restrições e dificuldades de observação inerentes aos turnos da noite e da madrugada. Ainda, o desempenho desses métodos também é limitado devido à sua vulnerabilidade, perdas, duplicações, custos de mão de obra e erros de registro humano.

Por sua vez, o monitoramento baseado em dispositivos digitais permite contornar diversas dificuldades intrínsecas aos modelos analógicos. O motivador do monitoramento remoto de animais em pastagens é a necessidade dos produtores de realizar inventário de

rebanho e manejar mais fácil e precocemente aqueles animais que requerem cuidados especiais (por ex., vacas no pré-parto e animais jovens), bem como para o diagnóstico precoce e tratamento de enfermidades.

Para que o monitoramento baseado em tecnologias de PP ocorra, Garcia et al. (2020) reportam que a identificação eletrônica dos indivíduos é a primeira camada tecnológica de adoção, a qual permite acesso às demais funcionalidades e aos sistemas digitais. Para isso, os animais podem ser identificados com brincos ou *bottoms* eletrônicos, bem como *transponders* implantáveis ou dispositivos vestíveis, que operam com o sistema de RFID. Essas tecnologias têm sido aplicadas com sucesso em espécies como bovinos e bubalinos (Garcia et al., 2020; Cappai et al., 2019). Outro quesito relevante para a adoção de estratégias de monitoramento animal a campo reside na conectividade, muitas vezes deficitária na zona rural do Brasil. Para superar essa dificuldade, a construção de redes locais que permitam a cobertura da área de interesse da propriedade e, em certo ponto, sua conexão à internet para transmissão de dados pode favorecer a adoção de tecnologias digitais (Garcia et al., 2019) enquanto a cobertura de última geração não alcança a totalidade da zona rural.

Do ponto de vista prático, pesquisas pioneiras têm sido realizadas com bovinos a pasto, identificando padrões comportamentais dos animais que envolvem atitudes como o seu deslocamento nas áreas de pastagem, bem como o tempo dedicado ao ócio e à ruminação. A Figura 4 mostra animais monitorados em sistema ILPF da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos/SP, com colar e sistema de conectividade alimentado por energia fotovoltaica. O comportamento de fêmeas em sistema de produção em pastejo rotacionado com elementos mínimos de sombreamento natural foi descrito e constituiu o primeiro passo para maior

entendimento dos resultados obtidos eletronicamente de bovinos criados em clima tropical (Garcia et al., 2018). O deslocamento dos animais foi mais intenso durante a tarde ( $31,9 \pm 0,8$  min/h), enquanto maior tempo de ruminação foi observado à noite ( $19,1 \pm 0,6$  min/h) e de madrugada ( $17,6 \pm 0,5$  min/h). Apesar de a tarde ser o período mais desafiador quanto ao conforto térmico, os animais apresentaram menor tempo em ócio neste turno quando comparado às manhãs ( $17,5 \pm 0,6$  vs.  $28,5 \pm 0,6$  min/h;  $P < 0,05$ ) (Garcia et al., 2018). Com o plantio do componente arbóreo nos sistemas de produção, espera-se aumento do conforto térmico e reflexos no comportamento dos animais. E os resultados mostraram que as novilhas Canchim criadas em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) apresentam maior tempo de descanso durante as noites e as madrugadas, comparativamente àquelas criadas sem acesso a sombreamento natural. Por sua vez, novilhas criadas em pastagem a pleno sol apresentam maior tempo de ruminação, em qualquer um dos turnos analisados, indicando mais tempo em uma atividade altamente geradora de calor endógeno (Barreto et al., 2019), o que impacta negativamente no conforto térmico de animais criados nos trópicos. Termografia infravermelho tem sido utilizada para avaliar o conforto térmico de bovinos em sistemas agroflorestais (Barreto et al., 2020).

### 3.3 Cercas virtuais

Uma das tecnologias promissoras para o manejo otimizado do pastejo é o uso de cerca virtual, onde o produtor define a área de pastejo monitorando o uso espacial dos animais em tempo real por meio de colares automatizados e ajustados para cada animal (Umstatter, 2011; Aquilani et al., 2022). O uso dessa tecnologia requer que os animais sejam previamente adaptados no local, levando em consideração a ava-



Figura 4. Animal monitorado com colar (A) e o sistema de conectividade alimentado por energia fotovoltaica (B).  
Fotos: Maio e Sussai.



liação de medidas que assegurem o bem-estar deles (Lee; Campbell, 2021). Pois o funcionamento da cerca virtual requer que os animais portem sensores de localização (GPS), associado a dispositivos com sinal sonoro e com estímulo elétrico. Desse modo, ao animal se aproximar do limite predeterminado, o colar emite um sinal sonoro e, caso o animal continue a caminhar além do limite, há liberação de um estímulo elétrico de cerca de 800 V, por períodos de um segundo.

### 3.4 Pesagem de bovinos a pasto

As informações sobre o peso corporal de bovinos são importantes para orientar as decisões de manejo relacionadas a nutrição, genética, saúde e desempenho. Essa variável está diretamente associada à dieta, reprodução, saúde e bem-estar. Especificamente quanto ao manejo de pastagens, a pressão de pastoreio exercida é estabelecida em função do consumo do animal que, por sua vez, é diretamente proporcional ao peso do animal. No caso de gado de corte, o peso corporal é definidor do desempenho e informação fundamental para a decisão de abate dos animais. Para obter a máxima acurácia do peso do rebanho, as medidas devem ser realizadas periódica e repetidamente.

As medidas de peso podem ser realizadas de forma direta ou indireta. No caso de pesagem direta, a pesagem dos animais nos centros de manejo, por método convencional com balança, é demorada e trabalhosa e pode ser estressante para os animais. Já as balanças de passagem podem ser uma alternativa prática, pois a pesagem dos animais ocorre em plataformas automáticas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017).

Essas balanças, de passagem ou estáticas, instaladas estrategicamente no campo permitem as pesagens de modo direto, automático, rápido, sem demandar intervenção humana direta, com um procedimento menos estressante para todo rebanho que a pesagem nos centros de manejo (Brown et al., 2014). Cveticanin e Wendl (2004) desenvolveram um sistema de pesagem dinâmica com uso de lógica fuzzy para vacas leiteiras cujo modelo matemático simulava o caminhar da vaca. É interessante que o sistema simplifica o movimento da vaca para duas patas, usando as medidas de velocidade do caminhar e peso dos animais para criar uma curva que é comparada com um banco de dados. O erro médio absoluto inferior a 2% na pesagem corporal. Os animais também podem ser pesados estaticamente no campo, por meio de balança acoplada a bebedouro (Novelli et al., 2022).

As pesagens por métodos indiretos ou métodos alternativos, com abordagens automatizadas utilizando técnicas de visão computacional e os algoritmos de

processamento digital de imagens, podem ser obtidas com sensores 2D ou 3D (por exemplo RGB, térmica, LiDAR etc.). As estimativas têm como base as medidas área corporal (vista superior), altura da cernelha e do quadril, comprimento do corpo, largura do quadril, volume corporal e perímetro torácico e são amplamente utilizadas nas abordagens (Dohmen et al., 2022; Qiao et al., 2021). As estimativas podem ser melhoradas pelo uso de algoritmos de aprendizado de máquina (Dohmen et al., 2022), porém algoritmos adequados para extração de informações relevantes das imagens ainda são raros (Barbedo et al., 2020). Weber et al. (2020b) no Brasil mostraram que pode ser estimado o peso corporal de bovinos Girolando e Nelore, com coeficientes de correlação de 0,71 a 0,75, por medidas corporais extraídas de imagens desses bovinos.

### 3.5 Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) no monitoramento animal

O manejo da pecuária em sistemas de produção extensivo pode ser desafiador, principalmente em grandes áreas de pastagens, e o monitoramento dos rebanhos é essencial na gestão das propriedades. Nas grandes propriedades que adotam a pecuária extensiva, muito comum no Brasil, o inventário do rebanho por meio de levantamentos aéreos pode ser uma solução potencial, como foi demonstrado por Barbedo e Koenigkan (2018) e Barbedo et al. (2019, 2020). Essas pesquisas para detecção e contagem de rebanhos usando VANTs têm utilizado técnicas de processamento de imagens e aprendizado de máquina, aliadas ao desenvolvimento de softwares para a criação de algoritmos de processamento para reconhecer e contar automaticamente os animais nas imagens capturadas.

## 4 DADOS E SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO

O desafio para o sucesso da agricultura de precisão para o manejo de pastagens está no desenvolvimento de sistemas robustos de suporte à decisão que possam converter em informação útil à gestão a grande diversidade de dados coletados pelas diferentes tecnologias presentes em sensores e equipamentos (Schellberg et al., 2008).

A integração de tecnologias de precisão, big data, modelagem e análise de dados orientada para a solução dos problemas tornará possível o manejo das pastagens e animais com mais eficiência e sustentabilidade, tornando os sistemas de pastagens mais competitivos, independentemente do tipo de sistema de produção. As tecnologias de precisão em pastagens vi-

sam sincronizar a demanda de alimentos dos animais com o pasto disponível. Para obter o manejo sustentável e eficiente das pastagens, sistemas de tomadas de decisão devem considerar, além da produtividade, qualidade, utilização e lucratividade das pastagens (Shalloo et al., 2018), a conservação dos serviços ecossistêmicos que contribuem com a produção de serviços de provisão com valor de uso direto e outros serviços com valor de uso indireto, em especial o estoque de carbono (Whitehead, 2020; Santos et al., 2020). O manejo eficiente das pastagens também depende das estratégias de suplementação alimentar, que por sua vez depende do conhecimento preciso do valor nutritivo da forragem consumida pelos animais (Tedeschi et al., 2019). O ideal seria integrar as informações das pastagens no contexto da gestão da propriedade, de forma holística (sistema de produção). Tagarakis et al. (2021) desenvolveram um sistema de fazenda inteligente adotando práticas da agricultura circular (Biocircular) em sistemas de produção de leite para redução de impacto nas mudanças climáticas.

Os sistemas de pastagens são ecossistemas dinâmicos e complexos, influenciados principalmente pelas interações entre plantas, animais, solos, clima e manejo. Nas últimas décadas têm expandido no Brasil os sistemas integrados e multifuncionais como alternativa para recuperação de pastagens e como opção sustentável de manejo, pois otimiza o uso da terra e contribui para o aumento dos serviços ambientais e ecossistêmicos (Balbino et al., 2011). Para melhor entender as interações entre os componentes desses diferentes tipos de sistemas de produção de pastagens, o desenvolvimento de sistemas inteligentes de apoio à decisão tem um grande papel na busca de sistemas mais eficientes e na sustentabilidade da pecuária (Jones et al., 2017; Tedeschi et al., 2021).

Há vários tipos de sistemas de apoio à decisão (SAD) descritos na literatura: SAD orientado à comunicação; SAD orientado a dados, SAD orientado a documentos, SAD orientado a conhecimento; SAD orientado a modelos; SAD orientado à WEB. Existem várias ferramentas disponíveis e a escolha depende do problema a ser solucionado e saber como interpretar esses dados de forma inteligente na tomada de decisão. Sistemas inteligentes não usam somente informações e sim procuram extrair conhecimentos. A tomada de decisão depende das informações disponíveis, e no SAD orientado à WEB, por exemplo, pode auxiliar os usuários a partir dos serviços disponíveis na internet (Dastres; Soori, 2022). Um exemplo de SAD orientado à Web nas pastagens é a ferramenta FORAGE, que foi desenvolvida para facilitar a utilização de boas práticas de manejo das pastagens

(Zhang; Carter, 2018) e o sistema de decisão de pastagens da Irlanda (Hanrahan et al., 2015). Para o desenvolvimento dos SADs, diversas ferramentas são utilizadas como apoio que inclui as ferramentas da inteligência artificial, tendo como exemplo o aprendizado de máquina que pode ser utilizado para a criação de modelos preditivos como a predição da biomassa acima do solo (Morais et al., 2021), entre outros. De maneira geral, os sistemas de informação necessitam da integração de várias tecnologias associadas com a participação dos atores-chave, pois, de maneira geral, os SADs ainda são pouco implementados nas propriedades (Lindblom et al., 2017), embora a tendência da adoção seja crescente (Tedeschi et al., 2021).

## 5 CONCLUSÕES

A integração de informações sobre clima, solo, pastagens e animais obtidas por tecnologias de precisão cria oportunidades para o uso mais eficiente dos recursos naturais e dos fatores de produção, reduzindo o risco associado à atividade e aumentando a sustentabilidade dos sistemas de produção animal em pastagens.

O desenvolvimento de soluções tecnológicas baseadas na aplicação de sistemas inteligentes e automatizados às pastagens pode contribuir para o processo de tomada de decisão nos sistemas de produção. Para isso, é de extrema importância análise e interpretação de dados e informações para o desenvolvimento de sistemas robustos de apoio à tomada de decisão, de preferência no contexto holístico de gestão da propriedade, para aumentar a aplicabilidade da AD e PP nos sistemas de produção pecuários.

O investimento em tecnologias de precisão deve ser justificado pelos benefícios gerados, a partir do desenvolvimento de formas de avaliar o custo-benefício, de modo que os produtores façam o planejamento de adoção de acordo com suas reais necessidades.

## REFERÊNCIAS

- AASEN, H.; BURKART, A.; BOLTEN, A.; BARETH, G. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: from camera calibration to quality assurance. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 108, p. 245-259, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.08.002>.
- ALI, I.; CAWKWELL, F.; DWYER, E.; BARRETT, B.; GREEN, S. Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management-a review. **Journal of Plant Ecology**,

- v. 9, n. 6, p. 649-667, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1093/jpe/rtw005>.
- ANDERSON, D. M.; ESTELL, R. E.; CIBILS, A. F. Spatiotemporal cattle data: a plea for protocol standardization. **Positioning**, v. 4, n. 1, p. 115-136, 2013. DOI: <http://doi.org/10.4236/pos.2013.41012>.
- AQUILANI, C.; CONFESSORE, A.; BOZZI, R.; SIRTORI, F.; PUGLIESE, C. Review: precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. **Animal**, v. 16, n. 1, p. 100429, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIODA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>.
- BANHAZI, T. M.; LEHR, H.; BLACK, J. L.; CRABTREE, H.; SCHOFIELD, P.; TSCHARKE, M.; BERCKMANS, D. Precision Livestock Farming: an international review of scientific and commercial aspects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2012.
- BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V. Perspectives on the use of unmanned aerial systems to monitor cattle. **Outlook on Agriculture**, v. 47, n. 3, p. 214-222, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1177/0030727018781876>.
- BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, P. M.; RIBEIRO, A. R. B. Counting cattle in UAV images-dealing with clustered animals and animal/background contrast changes. **Sensors (Basel)**, v. 20, n. 7, p. 2126, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/s20072126>.
- BARBEDO, J. G. A.; KOENIGKAN, L. V.; SANTOS, T. T.; SANTOS, P. M. A study on the detection of cattle in UAV images using deep learning. **Sensors (Basel)**, v. 19, n. 24, p. 5436, 2019. DOI: <http://doi.org/10.3390/s19245436>.
- BARIONI JÚNIOR, W.; MACHADO, C. G. C. F.; GARCIA, A. R.; ESTEVES, S. N.; PARANHOS, N. E. Avaliação da performance de identificador eletrônico por radiofrequência para bovinos de corte, produzido no Brasil. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA DE PRECISÃO, 1., 2016, Florianópolis, SC. **Anais [...]**. São Paulo: Instituto Oswaldo Gessulli, 2016. v. 1. p. 1-5.
- BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R.; BERNARDI, A. D. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; ROMANELLO, N.; SOUSA, M. A. P. Monitoramento eletrônico do comportamento de novilhas de corte mantidas em sistema de ILPF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 29., 2019, Uberaba, MG. **Anais [...]**. Brasília: Associação Brasileira de Zootecistas, 2019. v. 1. p. 110351.
- BARRETO, C. D.; ALVES, F. V.; OLIVEIRA RAMOS, C. E. C.; PAULA LEITE, M. C.; LEITE, L. C.; JUNIOR, N. K. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v. 64, n. 5, p. 881-888, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00484-020-01878-0>.
- BERCKMANS, D. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v. 7, n. 1, p. 6-11, 2017. DOI: <http://doi.org/10.2527/af.2017.0102>.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; FERREIRA, R. P.; SANTOS, K. E. L.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. **Precision Agriculture**, v. 17, n. 6, p. 737-752, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-016-9446-9>.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 205-221, 2015.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; MAZZUCO, G. G.; ESTEVES, S. N.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Spatial variability of soil fertility in an integrated crop livestock forest system. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 590-593, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1017/S2040470017001145>.
- BERNARDI, A. C. C.; LAURENTI, N.; BETTIOL, G. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; ALVES, T. C.; PEDROSO, A. F.; ESTEVES, S. N.; PEZZOPANE, R. M. Otimização do uso de insumos em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com ferramentas de agricultura de precisão. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 4, p. 290-300, 2019. DOI: <http://doi.org/10.18011/bioeng2019v13n4p290-300>.
- BERNARDI, A. C. C.; PEREZ, N. B. Agricultura de precisão em pastagens. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (eds.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 492-499.
- BERNARDI, A. C. de C.; BERNDT, A.; GARCIA, A. R.; NOVO, A. L. M.; GUIMARÃES, E. da S.; PORTUGAL, J. A. B.; PEZZOPANE, J. R. M.; PALHARES, J. C. P.; BARIONI JÚNIOR, W. **Aplicação da agricultura e pecuária de precisão na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos – SP**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2018. 4 p. Nota Técnica/Nota Científica.
- BOLFE, E. L.; VICTORIA, D.; LUCHIARI JUNIOR, A.; COSTA, C. C.; JORGE, L. **Tecnologias digitais na pecuária: aplicações, desafios e expectativas**. Análise da equipe de especialistas. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2021. Boletim CiCarne, ano 1, n. 37, p. 1-3.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cartilha do novo serviço de rastreabilidade da cadeia produtiva de bovinos e bubalinos - SISBOV**. Brasília: SD/ABIEC/CNA/ACERTA, 2006. 20 p.
- BROWN, D. J.; SAVAGE, D. B.; HINCH, G. N. Repeatability and frequency of in-paddock sheep walk-over weights: implications for individual animal management. **Animal Production Science**, v. 54, n. 2, p. 207-213, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1071/AN12311>.
- CAPPAL, M. G.; GAMBELLA, F.; PICCIRILLI, D.; RUBIU, N. G.; DIMAURO, C.; PAZZONA, A. L.; PINNA, W. Integrating

- the RFID identification system for Charolaise breeding bulls with 3D imaging for virtual archive creation. **PeerJ. Computer Science**, v. 5, n. e179, p. e179, 2019. DOI: <http://doi.org/10.7717/peerj-cs.179>.
- CVETICANIN, D.; WENDL, G. Dynamic weighing of dairy cows: using a lumped parameter model of cow walk. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 44, n. 1, p. 63-69, 2004. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.001>.
- DASTRES, R.; SOORI, M. Advances in web-based decision support systems. **International Journal of Engineering and Future Technology**, v. 19, n. 1, 2022.
- DOHMEN, R.; CATAL, C.; LIU, Q. Computer vision-based weight estimation of livestock: a systematic literature review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 65, n. 2-3, p. 227-247, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1080/00288233.2021.1876107>.
- EDAN, Y.; HAN, S.; KONDO, N. Automation in agriculture. In: NOF, S. Y. (ed.). **Handbook of automation**. Berlin: Springer-Verlag, 2009. p. 1095-1128. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7\\_63](http://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_63).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Balança de passagem**: BalPass. Brasília, 2017. 1 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pt/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4214/balanca-de-passage---balpass>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- GARCIA, A. R.; BARROS, D. V.; OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M.; BARIONI JUNIOR, W.; SILVA, J. A. R.; LOURENÇO JUNIOR, J. B.; SANTOS PESSOA, J. Innovative use and efficiency test of subcutaneous transponders for electronic identification of water buffaloes. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 6, p. 3725-3733, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11250-020-02410-7>.
- GARCIA, A. R.; BERNARDI, A. D. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GUIMARAES, E. D. S.; PEDROSO, A. D. F.; Romanello, N.; Barreto, A. N. Configuração de rede informatizada para monitoramento do bem-estar e comportamento de bovinos de corte a pasto. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2019, São Carlos, SP. **Anais [...]**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019. v. 1. p. 231-235.
- GARCIA, A. R.; GIRO, A.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDROSO, A. F.; GUIMARÃES, E. S.; MENDES, E. D. M.; LEMES, A. P.; ROMANELLO, N.; BOTTA, D. **Comportamento de fêmeas bovinas de corte em pastagens sem arborização, avaliado por sistema wireless de monitoramento**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2018. Circular Técnica.
- HANRAHAN, L.; GEOGHEGAN, A.; O'DONOVAN, M.; GRIFFITH, V.; RUELLE, E.; WALLACE, M.; SHALLOO, L. Pasture Base Ireland: a grassland decision support system and national database. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 136, p. 193-201, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.029>.
- HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. New York: John Wiley & Sons, 1990. 203 p.
- JONES, J. W.; ANTLE, J. M.; BASSO, B.; BOOTE, K. J.; CONANT, R. T.; FOSTER, I.; GODFRAY, H. C. J.; HERRERO, M.; HOWITT, R. E.; JANSSEN, S.; KEATING, B. A.; MUNOZ-CARPENA, R.; PORTER, C. H.; ROSENZWEIG, C.; WHEELER, T. R. Brief history of agriculture systems modeling. **Agricultural Systems**, v. 155, p. 240-254, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014>.
- JORGE, L. A.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 16., 2014, Amsterdam, Netherlands. **Proceedings [...]**. Porto: Universidade do Porto, 2014. v. 9239, p. 313-330.
- LACA, E. A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. spe, p. 123-132, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300014>.
- LEE, C.; CAMPBELL, D. L. M. A multi-disciplinary approach to assess the welfare impacts of a new virtual fencing technology. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, p. 637709, 2021. DOI: <http://doi.org/10.3389/fvets.2021.637709>.
- LINDBLOM, J.; LUNDSTRÖM, C.; LJUNG, M.; JONSSON, A. Promoting sustainable intensification in precision agriculture: review of decision support systems development and strategies. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 3, p. 309-331, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-016-9491-4>.
- LÓPEZ-DÍAZ, J.; ROCA-FERNÁNDEZ, A.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. Measuring herbage mass by non-destructive methods: a review. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 1, p. 303-314, 2011.
- MORAIS, T. G.; TEIXEIRA, R. F. M.; FIGUEIREDO, M.; DOMINGOS, T. The use of machine learning methods to estimate aboveground biomass of grasslands: a review. **Ecological Indicators**, v. 130, p. 68-81, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108081>.
- NEETHIRAJAN, S.; KEMP, B. Digital livestock farming. **Sensing and Bio-Sensing Research**, v. 32, p. 100408, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.sbsr.2021.100408>.
- NORTON, T.; BERCKMANS, D. Developing precision livestock farming tools for precision dairy farming. **Animal Frontiers**, vol. 7, no. 1, pp. 18-23, 2017. DOI: <http://doi.org/10.2527/af.2017.0104>.
- NOVELLI, T. I.; BIUM, B. F.; BIFFI, C. H. C.; PICHARILLO, M. E.; SOUZA, N. S.; MEDEIROS, S. R.; PALHARES, J. C. P.; MARTELLO, L. S. Consumption, productivity and cost: three dimensions of water and their relationship with the supply of artificial shading for beef cattle in feedlots. **Journal of Cleaner Production**, v. 376, p. 134088, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134088>.
- PAIVA, C. A. V.; JUNTOLLI, F. V.; CARVALHO, L. F. R.; BERNARDI, A. D. C.; TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G. R. Pecuária leiteira de precisão. In: VILELA, D. (ed.). **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 307-323.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; BOSI, C.; CRIPPA, P. H.; SANTOS, P. M.; NARDACHIONE, E. C. Assessment

- of Piatã palisadegrass forage mass in integrated livestock production systems using a proximal canopy reflectance sensor. **European Journal of Agronomy**, v. 103, p. 130-139, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.eja.2018.12.005>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; CAMPOS BERNARDI, A. C.; BOSI, C.; SENGLING, O.; BONANI, W. L.; BRUNETTI, H. B.; SANTOS, P. M. Estimating productivity and nutritive value of Marandu palisadegrass using a proximal canopy reflectance sensor. **Experimental Agriculture**, v. 58, n. e28, p. e28, 2022. DOI: <http://doi.org/10.1017/S0014479722000242>.
- QIAO, Y.; KONG, H.; CLARK, C.; LOMAX, S.; SU, D.; EIFFERT, S.; SUKKARIEH, S. Intelligent perception for cattle monitoring: a review for cattle identification, body condition score evaluation, and weight estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 185, p. 106143, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106143>.
- SAMPAIO, H. S.; BOURSCHIEDT, V.; SARRACINI, L. H.; JORGE, L. A. C.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI, A. C. C. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 111-124, 2020. DOI: <http://doi.org/10.18011/bioeng2020v14n2p111-124>.
- SANTOS, K. E. L.; BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; CRESTANA, S. Geoestatística e geoprocessamento na tomada de decisão do uso de insumos em uma pastagem. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n. 3, p. 294-307, 2017. DOI: <http://doi.org/10.18011/bioeng2017v11n3p294-307>.
- SANTOS, M. L. **Yield-gap in pasture-based animal production systems in Central-west and Southeast of Brazil (Central Brazil)**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.
- SANTOS, P. M.; EUCLIDES, V.P.B. **Demandas para pesquisa e desenvolvimento para pastagens no Brasil**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2022. Série Documento.
- SANTOS, S. A.; TAKAHASHI, F.; CARDOSO, E. L.; FLORES, C.; OLIVEIRA, L. O. F.; SOUZA, G. S.; GOMES, E. G.; ORTEGA, E. An emergy-based approach to assess and value ecosystem services of tropical wetland pastures in Brazil. **Open Journal of Ecology**, v. 10, n. 5, p. 303-319, 2020. DOI: <http://doi.org/10.4236/oje.2020.105019>.
- SHELLBERG, J.; HILL, M. J.; GERHARDS, R.; ROTHMUND, M.; BRAUN, M. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives, and constraints. **European Journal of Agronomy**, v. 29, n. 2-3, p. 59-71, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>.
- SHALLOO, M.; O’ DONOVAN, M.; LESO, L.; WERNER, J.; RUELLE, E.; GEOGHEGAN, A.; DELABY, L.; O’LEARY, N. Grass-based dairy systems, data and precision technologies. **Animal**, v. 12, p. s262-s271, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1017/S175173111800246X>.
- SVORAY, T.; PEREVOLOTSKY, A.; ATKINSON, P. M. Ecological sustainability in rangelands: the contribution of remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 17, p. 6216-6242, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1080/01431161.2013.793867>.
- TAGARAKIS, A. C.; DORDAS, C.; LAMPRIIDI, M.; KATERIS, D.; BOCHTIS, D. A smart farming system for circular agriculture. **Engineering Proceedings**, vol. 9, no. 1, pp. 10, 2021.
- TEDESCHI, L. O.; GREENWOOD, P. L.; HALACHMI, I. Advancements in sensor technology and decision support intelligent tools to assist smart livestock farming. **Journal of Animal Science**, vol. 99, no. 2, pp. skab038, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1093/jas/skab038>.
- TEDESCHI, L. O.; MOLLE, G.; MENENDEZ, H. M.; CANNAS, A.; FONSECA, M. A. The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models. **Translational Animal Science**, v. 3, n. 2, p. 812-828, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1093/tas/txy140>.
- UMSTATTER, C. The evolution of virtual fences: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 1, p. 10-22, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2010.10.005>.
- WEBER, F. L.; WEBER, V. A. M.; MENEZES, G. V.; OLIVEIRA JUNIOR, A. S.; ALVES, D. A.; OLIVEIRA, M. V. M.; MATSUBARA, E. T.; PISTORI, H.; ABREU, U. G. P. Recognition of Pantaneira cattle breed using computer vision and convolutional neural networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 175, p. 105548, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105548>.
- WEBER, V. A. M.; WEBER, F. L.; OLIVEIRA, A. S.; ASTOLFI, G.; MENEZES, G. V.; ANDRADE PORTO, J. V.; REZENDE, F. P. C.; MORAES, P. H.; MATSUBARA, E. T.; MATEUS, R. G.; ARAÚJO, T. L. A. C.; SILVA, L. O. C.; QUEIROZ, E. Q. A.; ABREU, U. G. P.; COSTA GOMES, R.; PISTORI, H. Cattle weight estimation using active contour models and regression trees Bagging. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 179, p. 105804, 2020b. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105804>.
- WHITEHEAD, D. Management of grazed landscapes to increase soil carbon stocks in temperate, dryland grasslands. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 28, p. 4, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3389/fsufs.2020.585913>.
- WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. Big data in smart farming: a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>.
- ZHANG, B.; CARTER, J. FORAGE: an online system for generating and delivering property-scale decision support information for grazing land and environmental management. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 150, p. 302-311, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.010>.