

# TECNOLOGIAS MÓVEIS: COMO PODEM CONTRIBUIR PARA O MANEJO DE PASTAGENS?

**Alberto C. de Campos Bernardi<sup>1</sup>; Patrícia Menezes Santos<sup>1</sup>; José Ricardo Macedo Pezzopane<sup>1</sup>; Alexandre Rossetto Garcia<sup>1</sup>; Waldomiro Barioni Jr. <sup>1</sup>; Sérgio Raposo Medeiros<sup>1</sup>, Sandra Aparecida Santos<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP. E-mail: alberto.bernardi@embrapa.br; <sup>2</sup>Embrapa Pantanal, Corumbá, MS*

## INTRODUÇÃO

As projeções do MAPA para 2030/31 (Brasil, 2021) indicam que a produção de grãos deverá aumentar 27,1%, com média de crescimento de 1,6% ao ano. A soja, cana-de-açúcar, e milho de segunda safra deverão ser os principais produtos. A produção de carnes (bovina, suína e aves), deverá aumentar de 27,4 para 34,0 milhões de toneladas, que representam cerca de 24% de crescimento no período.

Este acentuado crescimento da produção agrícola no Brasil tem ocorrido devido aos ganhos de produtividade (Embrapa, 2018). Os aumentos de produtividade agropecuária se basearam na inovação tecnológica, e para seguir evoluindo um fluxo contínuo de conhecimentos técnicos é uma condição necessária para a sustentabilidade do setor.

A agricultura brasileira tem encontrado novos desafios nos últimos anos como aumento dos custos de produção, crescente percepção dos consumidores quanto à segurança alimentar, bem-estar animal e os impactos ambientais da atividade (Embrapa, 2018). Também tem havido uma redução da disponibilidade de mão de obra no campo, uma vez que a população rural brasileira está diminuindo aceleradamente (MAIA & BUAINAIN, 2015).

Neste cenário de expansão da produção, maior qualidade dos produtos e menor oferta de mão-de-obra, pode ser decisivo o uso do conjunto de tecnologias digitais da Agricultura e Pecuária de Precisão na gestão da propriedade, considerando a variabilidade espacial e a individualização dos animais para maximização do retorno econômico e minimização dos riscos de

danos ao meio ambiente (BASSOI et al., 2019). As tecnologias digitais podem contribuir na resolução de problemas tradicionais, modificando processos operacionais e melhorando a experiência do cliente e novos modelos de negócios (MASSRUHÁ et al., 2020).

A automação dos processos operacionais de produção agrícola, pecuária e/ou florestal envolve o monitoramento, controle e execução por meio de máquinas e/ou dispositivos mecânicos, eletrônicos ou computacionais para ampliar a capacidade de trabalho humano (INAMASU et al., 2016; BASSOI et al., 2019). O estudo de Manyika et al. (2017) indicou que metade de todas as atividades desempenhadas atualmente por trabalhadores poderão ser automatizadas até 2055. E, segundo os autores, a revolução digital e a automação também ocorrerão na agricultura e setores da produção de alimentos. Desta forma o uso de máquinas, equipamentos, sensores e atuadores serão imprescindíveis para garantir a segurança alimentar no futuro, e junto com a automação, trará ganhos importantes em eficiência, auxiliando a agricultura a tornar-se uma atividade cada vez mais sustentável.

## **TECNOLOGIAS DIGITAIS MÓVEIS E PECUÁRIA DE PRECISÃO**

Na pecuária tradicional, as decisões muitas vezes são baseadas apenas na experiência e observações do produtor, e as decisões de manejo consideram grupos ou lotes de animais. Já na pecuária de precisão (PP) as decisões são baseadas em dados quantitativos (por exemplo, litros de leite por ordenha; ganho de peso diário etc.) mensurados individualmente, potencializando o desempenho de cada animal (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.

A PP foi definida por Wathes et al. (2008) como o manejo da produção animal utilizando os princípios e tecnologia de

engenharia de processos, e, dessa forma, depende do monitoramento automático e individual dos animais e, também dos processos físicos relacionados. A PP trata a produção pecuária como um conjunto de processos interligados, que atuam juntos em uma rede complexa que incluem desde o crescimento animal, a produção (carne, leite e ovos, p. ex), algumas 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 estes 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).

No Brasil, onde a produção de ruminantes é baseada 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. 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 PP objetivamente melhorar a eficiência de uso das pastagens.

A Sociedade Internacional de Agricultura de Precisão (ISPA, 2019) adotou um conceito abrangente de agricultura de precisão (AP), como sendo “uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gestão de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência do uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agrícola”. Nesta

definição também se insere o manejo de pastagens. Isso é importante, uma vez que a PP voltada para produção de ruminantes deve considerar as pastagens, além do componente animal.

A automação na produção animal inclui sistemas de controles ambiental, fisiológico e comportamental, de identificação, de monitoramento e controle da alimentação e reprodutivo (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 deve ser aplicada a sistemas de pastejo. 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).

A Agricultura Digital (AD) está estabelecendo as ações de gerenciamento, não apenas com base na variabilidade do campo ou na individualização dos animais, mas também nos dados e imagens coletados em tempo real (WOLFER et al., 2017; BASSOI et al., 2019), com avaliações e correções dos problemas (estresses bióticos e abióticos), permitindo diagnóstico, intervenção e controle de forma a promover a recuperação da produtividade das culturas e dos animais. A digitalização da agricultura envolve o desenvolvimento, adoção e interação de tecnologias digitais no setor agrícola combinando tecnologias da internet e tecnologias orientadas para o uso de objetos inteligentes (BASSOI et al., 2019; FIELKE et al., 2020).

Connolly (2016) listou oito tecnologias digitais que devem transformar a agricultura, e podem alterar profundamente a produção de alimentos, fibras e energia. Estas tecnologias disruptivas podem ser categorizadas em hardware (robôs, impressão 3D, sensores, VANTs) e softwares (IA, Blockchain, realidades virtual e aumentada), e a combinação delas pela a IoT (Internet das Coisas). Connolly (2016), Embrapa (2018), Smith (2018), e Shepherd et al. (2018) detalharam estas tecnologias disruptivas (Tabela 1).

A AD tem sido impulsionada pelos rápidos desenvolvimentos da IoT, *big data*, computação em nuvem, *machine learning* e IA, atuando com a integração de interfaces e tecnologias que se sobrepõem e englobam ideias como AP, PP e sistemas de informação de gestão na agricultura (Verduw; et al., 2016; Liao et al., 2017). Grande parte dos benefícios oriundos de análises, posicionamento e aplicações das informações derivadas da AP virá de modelos mais robustos e customizados de IA, utilização em massa da IoT, e computação em nuvem que impactarão por inteiro a cadeia produtiva, das fazendas aos consumidores (SINGHAL et al., 2018; SOWMYA et al., 2019). Neethirajan & Kemp (2021) revisaram criticamente o estado da arte atual da digitalização na PP, especificamente sensores biométricos, big data e tecnologia blockchain.

Tabela 1 - Tecnologias disruptivas que devem transformar a agropecuária

Hardware	<b>VANTs:</b>	Sigla de Veículo Aéreo Não Tripulado (tradução de UAV – <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> ), para transporte de sensores capazes de coletar informações (imagens) para auxiliar a tomada de decisão, e realizar intervenções (pulverizações, com tratamento químico localizado, por exemplo).
	<b>Impressão 3D:</b>	Potencial ainda pouco explorado no agronegócio, mas têm potencial de aplicações óbvias e diretas nas propriedades, como criar peças para reparos e manutenção, aumentando assim a autossuficiência e evitando possíveis perdas na produção. E podem permitir o desenvolvimento de peças alternativas para atender às suas necessidades específicas como em máquinas e equipamentos, ou até animais (suporte de sustentação para um animal com uma perna quebrada, por exemplo).
	<b>Robôs:</b>	Aplicados nas tarefas demoradas e repetitivas, e na redução do custo da mão de obra. No entanto, aos avanços estão sendo rápidos e em breve alcançarão o próximo nível com funcionando de forma autônoma.
	<b>Sensores:</b>	Dispositivos ópticos, térmicos ou elétricos utilizados para a obtenção de dados, permitindo o monitoramento de funções ou parâmetros específicas (temperatura, umidade, radiação, fluxos, dentre outros).
Software	<b>Internet das coisas (IoT):</b>	Conexão de “objetos inteligentes”, como máquinas, equipamentos, veículos e construções, os quais são providos de dispositivos digitais, como sensores e interface de programação de aplicativos ( <i>Application Programming Interface - APIs</i> ), capazes de coletar e transmitir dados e informações por meio da estrutura de rede da Internet. Essa conexão forma uma rede tanto entre objetos, quanto entre objetos e indivíduos.
	<b>Blockchain:</b>	É uma ferramenta para coletar, interpretar e compartilhar informações de uma cadeia alimentar, por exemplo. Inclui o conjunto de informações confiáveis sobre os alimentos incluindo cultivo, processamento, armazenamento e transporte, como registro do controle de cada etapa para atender os requisitos de conformidade cada vez mais complexos da cadeia alimentar globalizada. Essencialmente é um livro eletrônico criptografado que pode rastrear cada etapa de um alimento na cadeia alimentar, garantindo a qualidade e segurança das informações.
	<b>Inteligência artificial:</b>	Ou computação cognitiva, ramo da ciência da computação que se propõe a elaborar dispositivos que simulem a capacidade humana de raciocinar, perceber, aprender, tomar decisões e resolver problemas.
	<b>Realidade Virtual:</b>	Interface entre um usuário e um sistema operacional por meio de recursos gráficos 3D ou imagens 360°, que criam a sensação de presença em um ambiente virtual diferente do real, permitindo que os usuários usem as habilidades naturais em objetos virtuais para inspecionar ou operar, proporcionando visualização, audição, tato e outras percepções naturais e intuitivas do tempo real.
	<b>Realidade aumentada:</b>	Permite a visualização de informações digitais no contexto físico

Fonte: Adaptado de Connolly (2016), Embrapa (2018), Smith (2018); Shepherd et al. (2018).

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).

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), contribuindo também para a gestão de riscos da atividade.

A literatura científica sobre AD tem focado principalmente nos aspectos técnicos da aplicação dessas tecnologias para melhorar as práticas agrícolas e a produtividade (WATHES et al., 2008), bem como melhorar os processos de monitoramento da qualidade pós-colheita no processo logístico e rastreabilidade em tempo real (WOLFERT et al., 2017).

Bolfe et al. (2020), em levantamento com 504 produtores sobre o uso da AD no Brasil, indicaram que 84% dos entrevistados utilizam pelo menos uma tecnologia digital em seu sistema de produção. O principal benefício percebido pelos usuários da AD refere-se à percepção de aumento de produtividade, e os principais desafios elencados estão nos custos de aquisição de máquinas, equipamentos, softwares e na conectividade. Os autores destacaram, ainda, que 95% dos produtores estão dispostos para conhecer novas tecnologias para fortalecer o desenvolvimento agrícola em suas propriedades.

As tecnologias digitais possibilitarão que a pecuária aborde de forma positiva as preocupações prementes sobre qualidade e segurança dos produtos, segurança alimentar, conforto e bem-estar animal, impactos ambientais das atividades agropecuárias, tornando-se mais transparente e promovendo uma maior confiança do consumidor. No entanto, novas tecnologias de PP ainda estão evoluindo e precisam ser validadas em escala.

A próxima geração de tecnologias PP exigirá plataformas analíticas preventivas e preditivas que podem classificar grandes quantidades de dados enquanto contabilizam variáveis específicas com precisão e acessibilidade. Problemas com privacidade, segurança e integração de dados precisam ser resolvidos antes que a implantação de soluções de PP compartilhadas entre propriedades se torne comercialmente viável.

## **PECUÁRIA DE PRECISÃO NO MANEJO DE PASTAGENS**

### **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, são as principais soluções utilizadas pelos produtores para contornar este 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 manejada intensivamente. Com os resultados de análises químicas de amostras 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) (GILLINGHAM, 2001; 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). Os resultados da VRT levaram à maior homogeneidade dos atributos químicos do solo, correção das propriedades químicas do solo e redução das necessidades de insumo.

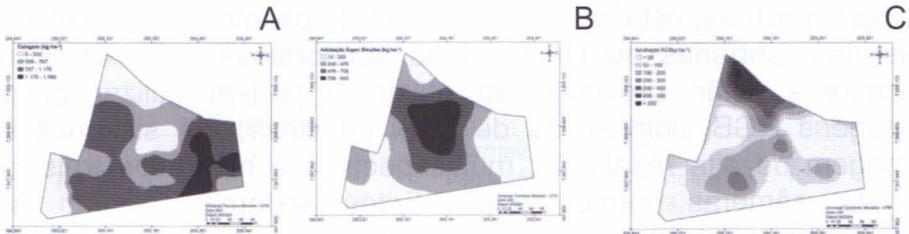


Figura 1 - Mapas de aplicação de calcário (A), superfosfato simples (B) e KCl (C) a taxa variável em pastagem de alfafa (*Medicago sativa* cv. Crioula) em São Carlos-SP. Fonte: Adaptado de Bernardi et al. (2016).

## 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 o suficiente para amostrar 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.

As combinações matemáticas são utilizadas para o cálculo dos índices de refletância, 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). Os índices de vegetação possibilitam estimar a produtividade de biomassa vegetal e os efeitos dos estresses bióticos e abióticos sobre um sistema de produção agrícola, e os mais frequentemente utilizados nos estudos com pastagens estão listados na Tabela 2.

O índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI, TUCKER, 1979) 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, obtidas com câmera RGB e o índice de vegetação MPRI calculado a partir destas imagens para uma área de pasto irrigado por pivô em São Carlos, SP.

Tabela 2 - Cálculos e definições dos parâmetros biofísicos

Índice	Equação	Descrição	Referência
NDVI	$\text{NDVI} = \frac{(\text{Nir}_{760} - \text{Vis}_{670})}{(\text{Nir}_{760} + \text{Vis}_{670})^{-1}}$	<i>Normalized difference vegetation index</i> ou Índice de diferença de vegetação normalizado, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico.	Rouse et al. (1973)
NDRE	$\text{NDRE} = \frac{(\text{Nir}_{760} - \text{Re}_{720})}{(\text{Nir}_{760} + \text{Re}_{720})}$	<i>Normalized difference red edge</i> ou diferença normalizada na banda do vermelho, relacionado aos teores de clorofila e N na biomassa.	Rodriguez et al. (2006)
Chl	$\text{Chl} = 1 - \frac{(\text{Nir}_{760})}{(\text{Re}_{720})^{-1}}$	<i>Chlorophyll Index</i> ou índice de clorofila, relacionado ao teor de clorofila.	Gitelson et al. (2003)
SRI	$\text{SRI} = (\text{Nir}_{760}) (\text{Vis}_{670})^{-1}$	<i>Simple Ratio Index</i> ou índice de relação simples, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico.	Tucker (1979)
MSR	$\text{MSR} = 1 - \frac{(\text{Nir}_{760} - \text{Vis}_{670})}{(\text{Nir}_{760} + \text{Vis}_{670})^{-0,5}}$	<i>Modified simple ratio</i> ou relação simples modificada, relacionada à linearização do índice em relação aos parâmetros biofísicos.	Chen (1996)
MPRI	$\text{MPRI} = \frac{(R - G)}{(R + G)^{-1}}$	<i>Modified photochemical reflectance index</i> ou índice de refletância fotoquímica modificado (MPRI)	Yang et al. (2008)

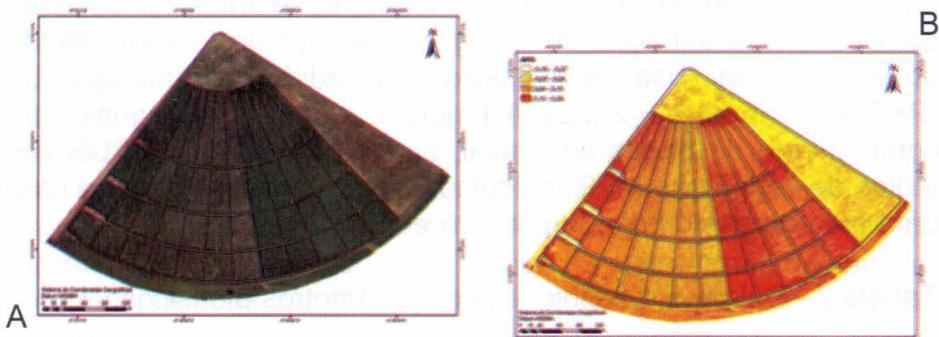


Figura 2 - Imagens RGB (A) e índice de vegetação MPRI (B) para uma área de pastagem (*Megathyrus maximus* cv. Tanzânia) irrigada por pivô em São Carlos, SP.

## VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT)

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). Estas 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 nestes 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) 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 as diferenças da resolução das imagens obtidas por satélite e com o VANT.

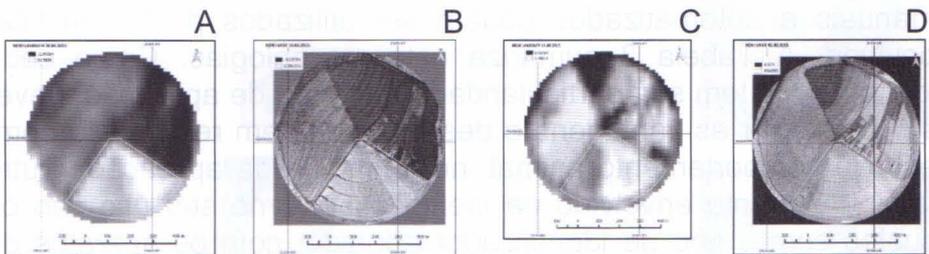


Figura 3 - Índices MPRI (A e B) e NDVI (C e D) obtidos a partir das imagens de satélite Landsat-8 e VANT de pastagem (*Megathyrus maximus* cv. Tanzânia) irrigada por pivô em São Carlos, SP.

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

O manejo da pecuária em sistemas de produção extensivo pode ser desafiador, principalmente em grandes áreas de pastagens, e o monitoramento da população de gado é essencial na gestão das propriedades. Nas grandes propriedades que adotam a pecuária extensiva, muito comuns no Brasil, o inventário

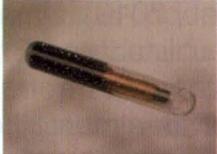
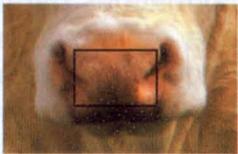
do rebanho por meio de levantamentos aéreos podem ser uma solução potencial como foi demonstrado por Barbedo & Koenigkan (2018) e Barbedo et al. (2019 e 2020). Estas pesquisas para detecção e contagem de gado usando VANTs têm utilizado técnicas de processamento de imagens e aprendizado de máquina, aliadas ao desenvolvimento de softwares para a criação de algoritmos de processamento para reconhecer e contar automaticamente o gado nas imagens capturadas.

## **TECNOLOGIAS MÓVEIS PARA MANEJO DE ANIMAIS**

### **Identificação dos animais**

A identificação do gado 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). Várias ferramentas e métodos manuais a automatizados podem ser utilizados para identificar bovinos. A Tabela 3 sumariza estas tecnologias. Como cada identificação tem sua particularidade na forma de aplicação, deve-se considerar as vantagens e desvantagens em relação ao bem-estar e comportamento animal, no momento da aplicação. Outro fator importante envolvido na identificação 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).

Tabela 3 - Tipos de identificação para bovino

Identificadores de bovinos	Imagem real	Identificadores de bovinos	Imagem real
1. Marca de Fogo – Ferro quente, com dor*		7. Brinco tipo Botão eletrônico – RFID (conjunto macho e fêmea)*	
2. Marca a Ferro com Nitrogênio líquido (a frio, sem dor)*		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 (focinho) é como a impressão digital. Escaneia o focinho do boi. Marcação única e permanente.	

\*Formas válidas de identificação pelo SISBOV (Brasil, 2006).

A identificação eletrônica automática dos animais facilita o manejo do rebanho, permite acompanhar o 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 (SCHLEPPE et al., 2010; TROTTER et al., 2010; BERCKMANS, 2017; QIAO et al., 2021).

Mais recentemente, surgiram trabalhos que integram múltiplas visões de faces de gado 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.

### **Monitoramento do comportamento e bem-estar animal**

A automação pecuária de ruminantes depende do conhecimento do comportamento animal, pois 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 obtida e a oferta diferencial de água e alimentos podem fornecer opções de intervenção na distribuição espacial dos animais (TROTTER et al., 2010; ANDERSON et al., 2013). O monitoramento conjunto das diferentes atividades (pastejo, ruminação, descanso etc.) e de sua posição 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 temporal se ampliam, dificultando a aferição dos resultados econômicos de práticas de manejo sítio-

específicas e, por conseguinte, sua adoção. Diante disso, o conhecimento, o monitoramento 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 considera a amplitude de ambientes e 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, com o uso de tatuagens, brincos, tarjetas e marcas não digitais. Nesses casos, o rastreamento dos animais é realizado ao vivo ou assistindo a vídeos pré-gravados, usando indivíduos treinados profissionalmente para monitorar e registrar os animais e suas atitudes. Para tal, existe a necessidade de equipes bem treinadas, observadores/registadores 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 não somente realizar inventário de rebanho, mas também manejarem 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.

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).

Contudo, para que o monitoramento baseado em tecnologias móveis 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; CAPPAL 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.

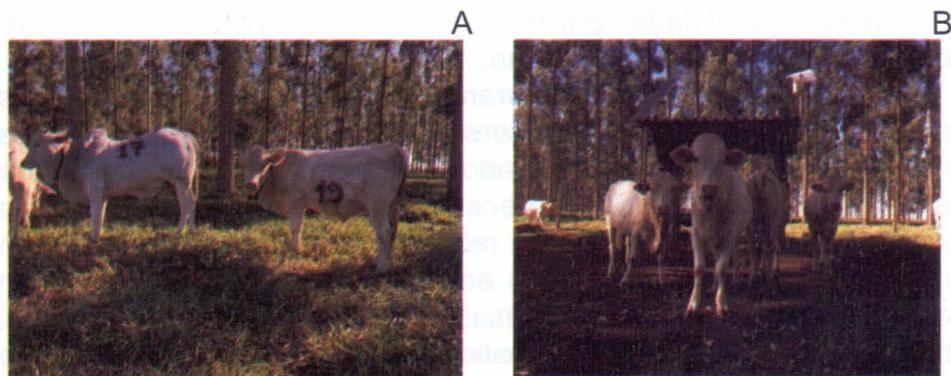


Figura 3 - Animais monitorados em sistema ILPF com colares (A), brinco eletrônico (B) e o sistema de conectividade alimentado por energia fotovoltaica.

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 3 mostra animais monitorados em sistema ILPF da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP com colares, brinco eletrônico e o 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 da 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). Quando o componente arbóreo é inserido nos sistemas de produção, espera-se aumento do conforto térmico e reflexos no comportamento dos animais. De fato, 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. Por isso, o monitoramento eletrônico dos animais pode ser uma ferramenta complementar útil, que amplie a capacidade do produtor em observar seus animais, real ou virtualmente, visando antecipar as tomadas de decisão e aumentar a eficiência da produção de animais a pasto.

## **Pesagem automática dos animais**

As informações sobre o peso corporal de bovinos são importantes para orientar as decisões de manejo relacionadas à nutrição, genética, saúde e meio ambiente. Esta variável está diretamente associada à dieta, reprodução, saúde e bem-estar. Por isso, a pesagem dos animais é um indicador chave do desempenho individual, além disso pode ser um indicativo do potencial de produção dos sistemas, crescimento, comportamental, saúde e bem-estar animal, estoque animal na propriedade, indicadores econômicos e auxiliar na seleção para melhoramento genético. Especificamente quanto ao manejo de pastagens, a pressão de pastejo 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 gado, 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, uma alternativa bastante prática é a pesagem dos animais em plataformas de pesagem automática (Embrapa, 2017). Estas 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 o rebanho que a pesagem nos centros de manejo (BROWN et al., 2014). Um esquema usual para instalação destes equipamentos é nas entradas das áreas de acesso à água e ao cocho de sal dos animais com identificador individual. Dessa forma, os animais são obrigados a subir ou passar pelos equipamentos, e a cada entrada e saída os animais têm seu peso registrado, gerando um intenso controle do ganho médio diário possibilitando estudos com diferentes grupos genéticos, dietas e comportamental. Simultaneamente, ele é identificado, por exemplo, por um brinco contendo um transponder RFID de alta

frequência (entre 3 e 30 MHz), permitindo a vinculação do peso registrado ao animal. Informações adicionais, como horário da pesagem e frequência de visitas, também podem ser registradas. Nas balanças de passagem, produzidas por exemplo pelas empresas nacionais Coimma<sup>1</sup> (Dracena, SP, Brasil) e PersonalBov<sup>2</sup> (Campo Grande, MS, Brasil), a pesagem é feita com o animal em movimento. Neste caso, é necessário utilizar um algoritmo para estimar o peso. Cveticanin & 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.

Há, também, balanças de plataforma que pesam o animal estaticamente, pois o bebedouro se encontra do lado oposto da entrada da balança, forçando-o a subir nas balanças para alcançar a água e permanecer parado enquanto consome a água. Esse é o caso do sistema produzido e comercializado pela Growsafe<sup>3</sup> (Calgary, Canada). Interessante que a pesagem é feita com apenas as duas patas dianteiras do animal, exatamente por ter menor variação em relação às quatro patas sobre a balança<sup>4</sup>. Um sistema semelhante produzido no Brasil pela Intergado<sup>5</sup> (Betim, MG, Brasil) pesa os animais com o corpo integralmente na plataforma, com resultados satisfatórios. Uma outra diferença entre essas duas opções é que as células de carga do produto da Intergado são localizadas embaixo da plataforma, enquanto na configuração do produto da Growsafe, na parte superior, exatamente para evitar que o acúmulo de sujeira comprometa o

---

<sup>1</sup><https://coimma.com.br/balpass/>

<sup>2</sup><https://personalbov.com/>

<sup>3</sup><https://growsafe.com/nproject-tag/technology/>

<sup>4</sup>Alison Sunstrum, Growsafe, comunicação pessoal.

<sup>5</sup><https://pecuariadealtaperformance.com.br/intergado/pt/home/>

funcionamento da balança. Já uma vantagem do sistema de pesagem da Intergado é que antena de leitura do chip de identificação (RFID Full Duplex) é ativada apenas quando um sensor infravermelho detecta a presença do animal no cocho, o que confirma a presença do animal e evita falsas marcações de acesso ao cocho.

Ao contrário das balanças de passagem, a pesagem do gado nos centros de manejo, por método convencional com balança, é demorada e trabalhosa, e pode ser estressante para os animais. Para superar esse problema, 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 de área corporal (vista superior), altura da cernelha e do quadril, comprimento do corpo, largura do quadril, volume corporal e perímetro torácico são amplamente utilizadas nas abordagens (DOHMEN et al., 2021; QIAO et al., 2021). As estimativas podem ser melhoradas pelo uso de algoritmos de aprendizado de máquina (DOHMEN et al., 2021), porém algoritmos adequados para extração de informações relevantes das imagens ainda são raros (BARBEDO et al., 2020). Weber et al. (2020b, c) 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 destes bovinos.

## **Sistemas de ordenha robotizado**

Enquanto o uso de robôs na agricultura ainda está em seus estágios iniciais de desenvolvimento e adoção (MARTIN et al., 2022), os sistemas de ordenha robotizado já são uma realidade no campo em diversos países (RODENBURG, 2017) e no Brasil (SILVI et al., 2021) evidenciado pela crescente taxa de adoção. O sistema de ordenha robotizado, automático (AMS, do inglês *Automatic Milking System*) ou voluntário (VMS, do inglês *Voluntary Milking System*), possibilitam que as vacas sejam

ordenhadas sem a intervenção humana tornando o processo mais flexível e menos laborioso (ROSSING et al., 1997; SVENNERSTEN-SJAUNJA & PETTERSSON, 2008; ROSSING, 2017). Os sistemas têm o potencial de aumentar a produção de leite, diminuir o emprego de mão de obra nas propriedades, além de melhorar o bem-estar do produtor e das vacas leiteiras. Nestes sistemas automatizados, os sensores monitoram e registram automaticamente o volume de leite, parâmetros de qualidade do leite e frequência de ordenha dos animais, alimentando um grande arquivo de dados de todos os processos realizados sem a intervenção humana. O sistema permite aumentar a frequência de ordenha, que afeta positivamente a produção de leite. Os parâmetros analisados podem ser a ordem de lactação, fase de lactação, produção de leite, peso do animal, ingestão de concentrado, número de ordenhas e recusas. Efeitos positivos significativos na saúde do úbere e no tratamento dos tetos foram observados em alguns estudos (SVENNERSTEN-SJAUNJA & PETTERSSON, 2008).

A produção de leite em pastagens é o principal sistema de produção no Brasil. Dessa forma há o desafio de buscar as diferentes formas de motivar as vacas a visitar a sala de ordenha, entre elas está a menor distância entre o galpão de ordenha e o pasto, fornecimento de alimentação suplementar, acesso à água e uso de sinais acústicos, foram testadas com sucesso. A experiência que vem sendo utilizada na Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos-SP, indica que o uso dos sistemas robotizados e vacas em pastejo é possível, e com rotinas de manejo adequadas, é possível atingir um nível de produção e bem-estar animal nestes sistemas que são equivalentes aos sistemas convencionais de ordenha.

### **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 visam 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 (SHALOO et al., 2021), 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 tem 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, 2017; BASECA et al., 2019; TEDESCHI et al., 2021).

Há vários tipos de sistemas de apoio à decisão (SAD) descritos na literatura: SAD orientado à comunicação; SAD orientado à dados, SAD orientado à documentos, SAD orientado à conhecimento; SAD orientado à 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., 2017). Para o desenvolvimento de 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 chaves, pois de maneira geral, os SADs ainda são pouco implementados nas propriedades (LINDBLUM et al., 2017), embora a tendência da adoção é crescente (TEDESCHI et al., 2021).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As tecnologias digitais da Agricultura e Pecuária de Precisão estão se desenvolvendo rapidamente, impulsionada por

muitos avanços tecnológicos na automação de máquinas e equipamentos, uso de sensores e atuadores, internet das coisas, big data, computação em nuvem, inteligência artificial, aprendizado de máquinas, e integração de sistemas. Estas tecnologias são úteis para racionalizar recursos (naturais, financeiros e humanos) e tornar produção agropecuária mais eficiente.

A integração de informações sobre clima, solo, pastagens e animais 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.

As ferramentas e máquinas tornaram o trabalho no campo mais rápido, com menor esforço e mais eficiente. No entanto as tecnologias não substituem o trabalho humano, mas pode apoiá-lo no processo de tomada de decisão.

O desenvolvimento de soluções tecnológicas baseadas na aplicação de sistemas inteligentes e automatizadas às pastagens pode contribuir para o processo de tomada de decisão nos sistemas de produção depende que cada vez mais da análise e interpretação de dados e informações.

Há ainda problemas para implementação nas propriedades como o custo elevado, falta de informação e conhecimento, resistência às novas tecnologias. Dessa forma, para favorecer implementação deverá haver mais investimento na infraestrutura de fornecimento de energia, conectividade, e redução do custo das tecnologias e serviços, ampliação da capacidade de armazenamento e processamento de dados, e contornar a relutância dos agricultores para a adoção em cenários de curto médio e longo prazo. Estes pontos precisam ser abordados para o uso eficaz dessas tecnologias na transformação digital da pecuária e melhoria da sustentabilidade destes sistemas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Embrapa (Projetos Rede Pecus, Rede AP e Carne Carbono Neutro), à Fapesp (Processos 15/26627-5, 16/02959-1, 19/04528-6) pelo suporte financeiro necessário à condução dos trabalhos experimentais. Esta pesquisa foi desenvolvida no âmbito do Projeto Rural Sustentável - Cerrado, fruto da parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), o Governo do Reino Unido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) e a Rede ILPF e Embrapa.

## 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.
- 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 p.649-67, 2016
- ANDERSON, D.M.; ESTELL, R.E.; CIBILS, A.F. Spatiotemporal cattle data – a plea for protocol standardization. **Positioning**, v. 4, p. 115-136, 2013.
- AWAD, A.I. From classical methods to animal biometrics: A review on cattle identification and tracking. **Computer and Electronics in Agriculture**, v.123, p.423-435, 2016.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFIRIODA-SILVA, V. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.10, 2011.

- 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.
- 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**, 20, 2126, 2020.
- 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**, v. 19, 5436, 2019.
- BARIONI JUNIOR, W.; MACHADO, C. G. de C. F.; GARCIA, A. R.; NOVITA, S. E.; 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.C.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: 29º Congresso Brasileiro de Zootecnia, 2019, Uberaba-MG. **Anais...** 29º Congresso Brasileiro de Zootecnia. Brasília-DF: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2019. v. 1. p. 110351.
- BASSOI, L.H.; INAMASU, R.Y.; BERNARDI, A.C.de C.; VAZ, C.M.P.; SPERANZA, E.A.; CRUVINEL, P.E. Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, p. 17-36, jul./dez. 2019.
- BERCKMANS, D. General introduction to precision livestock farming. **Animal Frontiers**, v.7, p.6-11, 2017.
- BERNARDI, A.C.C.; BERNDT, A.; GARCIA, A.R.; NOVO, A.L.M.; GUIMARAES, E.S.; PORTUGAL, J.A.B.; PEZZOPANE, J.R.M.; PALHARES, J.C.P.; BARIONI JUNIOR, W. **Aplicação da agricultura e pecuária de precisão na Embrapa Pecuária Sudeste**, São Carlos – SP. São Carlos-SP: Embrapa Pecuária Sudeste (Nota Técnica/Nota Científica). 2018. 4p.
- 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, p. 737-752, 2016.

- 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.
- BERNARDI, A.C.C.; LAURENTI, N.; BETTIOL, G.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; PEDROSO, A.F.; ESTEVES, S.N.; PEZZOPANE, J.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
- 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. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 492-499.
- BOLFE, E.L.; JORGE, L.A.C.; DEL'ARCO SANCHES, I.; LUCHIARI JUNIOR, A.; COSTA, C.C.; VICTORIA, D.C.; INAMASU, R.Y.; GREGO, C.R.; FERREIRA, V.R.; RAMIREZ, A.R. Precision and digital agriculture: adoption of technologies and perception of brazilian farmers. **Agriculture**, v.10, n. 12, p.1-16, 2020.
- BOLFE, E.L.; VICTORIA, D.C.; LUCHIARI JUNIOR, A.; COSTA, C.C.; JORGE, L.A.C. Tecnologias digitais na pecuária: aplicações, desafios e expectativas. Análise da equipe de especialistas. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2021. **Boletim CiCarne**, ano 1, n. 37, p. 1-3, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2020-2021 a 2030-2031**: projeções de longo prazo. Brasília: MAPA. 2021. 101p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cartilha do novo serviço de rastreabilidade da cadeia produtiva de bovinos e bubalinos - SISBOV**. Brasília: SDC/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, p.207-213, 2014.

- 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, p.e179, 2019.
- CHEN, J.M. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.22, p.229-242, 1996.
- CONNOLLY, A. 8 Disruptive digital technologies... with the power to transform agriculture. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/disruptive-digital-technologies-power-transform-aidan-connolly-7k-?trk=mp-author-card>. Consultado em 28/jul/2022.
- CVETICANIN, D.; WENDL, G. Dynamic weighing of dairy cows: using a lumped parameter model of cow walk. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.44., p.63-69, 2004.
- 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**, p. 1-21, 2021. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00288233.2021.1876107>
- EDAN, Y.; HAN, S.; KONDO N.; SHUFENG, H. **Automation in agriculture**. In: NOF, S. Y. (Eded.). Handbook of automation. Berlin: Springer Springer-Verlag, 2009. p. 1095-1128.
- Embrapa. **Balança de Passagem** - BalPass. Brasília, DF, 2017. 1p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/pt/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4214/balanca-de-passagem---balpass>
- Embrapa. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF, 2018. 212 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194611/1/Visao-2030-o-futuro-da-agricultura-brasileira.pdf>
- FIELKE, S. J.; TAYLOR, B.; JAKKU, E. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: a state-of-the-art review. **Agricultural Systems**, v.180, p.102763, 2020
- GILLINGHAM, A.G. Precision management of fertiliser application to pasture. Proceedings of the Regional Institute, Geo-spatial Information in Agriculture Conference, 2001. Paper no. 534. p. 534-541. Disponível em: <http://www.regional.org.au/au/gia/16/534gillingham.htm>

- GITELSON, A.A.; GRITZ, U.; MERZLYAK M.N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, v.160, p.271-282, 2003.
- HANRAHAN, L.; GEOGHEGAN, A.; O'DONAVANA, M.; GRIFFITHA, V.; RUELLEA, 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.
- GARCIA, AR; BARROS, DV; OLIVEIRA JUNIOR, MCM; BARIONI JUNIOR, W; SILVA, JAR; LOURENÇO JÚNIOR, JB; PESSOA, JS. Innovative use and efficiency test of subcutaneous transponders for electronic identification of water buffaloes. **Tropical Animal Health and Production**, 52, 3725–3733.
- GARCIA, A.R.; BERNARDI, A.C.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; GUIMARAES, E.S.; PEDROSO, A.F.; ROMANELLO, N.; BARRETO, N.A. Configuração de rede informatizada para monitoramento do bem-estar e comportamento de bovinos de corte a pasto. In: Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária 2019, 2019, São Carlos-SP. Anais do Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária 2019. São Carlos-SP: Embrapa Instrumentação, 2019. v. 1. p. 231-235.
- GARCIA, A.R.; GIRO, A.; BERNARDI, A.C.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEDROSO, A.F.; GUIMARAES, 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-SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2018 (Circular Técnica).
- INAMASU, R.Y.; BELLOTE, A.F.J.; LUCHIARI JUNIOR, A.; SHIRATSUCHI, L.S.; OLIVEIRA, P.A.V.; BERNARDI, A.C.C. **Portfólio automação agrícola, pecuária e florestal**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2016. 14 p. (Embrapa Instrumentação. Documentos, 60).
- INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE (ISPA). **Precision Ag definition**: International Society of Precision Agriculture. International Society of Precision Agriculture: Monticello, IL, USA, 2019. Disponível em: <https://www.ispag.org/about/definition>
- 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.

- JORGE, L.A.; BRANDÃO, Z.N.; INAMASU, R.Y. Insights and recommendations of use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil. **Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI**, v.9239, p.313-330, 2014.
- LACA, E.A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 123-32, 2009.
- LIAO, Y.; DESCHAMPS, F.; LOURES, E. D. F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of industry 4.0: a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.
- 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, p.309-331, 2017.
- 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
- MAIA, A.G.; BUAINAIN, A. M. O novo mapa da população rural brasileira. **Confins**, v. 25, n. 25, p. 1-26, 2015.
- MANYIKA, J.; CHUI, M.; MIREMADI, M.; BUGHIN, J.; GEORGE, K.; WILLMOTT, P.; DEWHURST, M. **A future that works: Automation, employment, and productivity**. McKinsey Global Institute, New York. 2017. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/global-themes/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works>
- MASSRUHÁ, S.M.F.S.; LEITE, M.A.A.; LUCHIARI JR, A.; EVANGELISTA, S.R.M. A transformação digital no campo rumo à agricultura sustentável e inteligente. In: MASSRUHÁ, S.M.F.S.; LEITE, M.A.A.; OLIVEIRA, S.R.M.; MEIRA, C.A.A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; BOLFE, E.L.(Ed.). **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p.20-45.
- MARTIN, T.; GASSELIN, P.; HOSTIOU, N.; FERON, G.; LAURENS, L.; PURSEIGLE, F.; OLLIVIER, G. Robots and transformations of work in farm: a systematic review of the literature and a research agenda. **Agronomy for Sustainable Development**, v.42, p.1-20, 2022.
- 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, 2021.

- NEETHIRAJAN, S.; KEMP, B. Digital Livestock Farming. **Sensing and Bio-Sensing Research**, p. 100408, 2021.
- PAIVA, C.A.V.; JUNTOLLI, F.V.; CARVALHO, L.F.R.; BERNARDI, A.C.C.; TOMICH, T.R.; PEREIRA, L.G.R. **Pecuária leiteira de precisão**. In: VILELA, D.; FERREIRA, R.P.; FERNANDES, E.N.; JUNTOLLI, F.V. (Ed.). *Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos*. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 307-323.
- PEZZOPANE, J.R.M.; BERNARDI, A.C.C.; BOSI, C.; BONANI, W.L.; SANTOS, P.M. Estimating productivity and nutritive value of Marandu palisadegrass using a proximal canopy reflectance sensor. **Experimental Agriculture**, v.8, 2022.
- 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.
- 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.
- RODENBURG, J. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on workflow. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 9, p. 7729-7738, 2017.
- RODRIGUEZ, D.; FITZGERALD, G.J.; BELFORD, R.; CHRISTENSEN, L. Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-biophysiological concepts. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.57, p.781-89, 2006.
- ROSSING, W.; HOGWERF, P.H.; IPEMA, A.H.; KETELAAR-DE LAUWERE, C.C.; DE KONING, C.J.A.M. Robotic milking in dairy farming. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 45, p.15-31, 1997.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: *Earth Resources Technology Satellite -1 Symposium*, 3, 1973, Washington. Anais. Washington, D.C.: NASA, Goddard Space Flight Center 1:309-317. 1973
- SAMPAIO, H.S.; BOURSCHEIDT, 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.

- SANTOS, M.L. **Yield-gap in pasture-based animal production systems in Central-west and Southeast of Brazil (Central Brazil)**. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 2021.
- SANTOS, P.M.; EUCLIDES, V.P.B. **Demandas para pesquisa e desenvolvimento para pastagens no Brasil**. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 2022. (Embrapa Pecuária Sudeste, Série Documento) (no prelo).
- SANTOS, S.A.; TAKAHASHI, F.; CARDOSO, E.L.; FLORES, C.; OLIVEIRA, L.O.F.; GOMES, E.G.; SOUZA, G.S. An emergy-based approach to assess and value ecosystem services of tropical wetland pastures in Brazil. **Open Journal of Ecology**, v.10, p.303-319, 2020.
- 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, p. 59-71, 2008.
- SCHLEPPE, J. B.; LACHAPPELLE, G.; BOOKER, C. W AND.; PITTMAN, T. P Challenges in the design of a GNSS ear tag for feedlot cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, p. 84-95, 2010.
- 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.
- SHEPHERD, M.; TURNER, J.A.; SMALL, B.; WHEELER, D. Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture' revolution. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, 2018.
- SILVI, R.; PEREIRA, L.G.R.; PAIVA, C.A.V.; TOMICH, T.R.; TEIXEIRA, V.A.; SACRAMENTO, J. P.; DÓREA, J.R.R. Adoption of Precision Technologies by Brazilian Dairy Farms: The Farmer's Perception. **Animals**, v.11(12), p.3488, 2021.
- SINGHAL, K.; FENG, Q.; GANESHAN, R.; SANDERS, N.R.; SHANTHIKUMAR, J. G. Introduction to the special issue on perspectives on big data. **Production and Operations Management**, v. 27, n. 9, p. 1639-1641, 2018.
- SMITH, M.J. Getting value from artificial intelligence in agriculture. **Animal Production Science**, (2018), 10.1071/AN18522.
- SOWMYA, B.J.C.; SHETTY, C.; CHOLAPPAGOL, N.V.; SEEMA S. IoT and data analytics solution for smart agriculture. In: SOWMYA, B.J.C.; SHETTY, C.; CHOLAPPAGOL, N.V.; SEEMA S. **The rise of fog computing in the digital era**. Hershey: IGI Global, 2019. p. 210-237.

- SVENNERSTEN-SJAUNJA, K.M.; PETTERSSON, G. Pros and cons of automatic milking in Europe. **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 37-46, 2008.
- SVORAY, T.; PEREVOLOTSKY, A.; ATKINSON, P.M. Ecological sustainability in rangelands: the contribution of remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v.34, p.6216-6242, 2013.
- TAGARAKIS, A.; DORDAS, C.; LAMPRIIDI, M.; KATERIS, D.; BOCHTIS, D. A Smart Farming System for Circular Agriculture. Eng. Proc. v.9, n.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**, v.99, n.2, 2021.
- TEDESCHI, L.O.; MOLLE, G.; MENENDEZ, H.M.; CANNAS, A.; FONSECA, M.A. The assessment of supplementation requirements of grazing ruminants using nutrition models Transl. Anim. Sci. v.3, p.812–828, 2019.
- TROTTER, M.G. Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems. In: Food Security from Sustainable Agriculture. Proceedings of 15th Agronomy Conference 2010. Lincoln, New Zealand, Australian Society of Agronomy. Disponível em: [http://regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/precision-agriculture/7130\\_trotter.htm#TopOfPage](http://regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/precision-agriculture/7130_trotter.htm#TopOfPage). Acesso em: 02 fev. 2021.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, v.8, p. 127-150, 1979.
- VERDOUW, C.; WOLFERT, S.; TEKINERDOGAN, B. Internet of things in agriculture. **CAB Reviews**, v. 11, p. 1-12, 2016.
- WATHES, C.M.; KRISTENSEN, H.H.; AERTS, J.M.; BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*, v.64, p.2-10, 2008.
- 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, 105548, p. 1-9, 2020a.
- WEBER, V.A.M.; WEBER, F.L.; GOMES, R.C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.S.; MENEZES, G.V.; ABREU, U.G.P.; BELETE, N.A.S.; PISTORI, H. Prediction of Girolando cattle weight by means of body measurements extracted from images. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 49, e20190110, 2020b.

- WEBER, V.A.M.; WEBER, F.L.; OLIVEIRA, A.S.; ASTOLFI, G.; MENEZES, G.V.; PORTO, J.V.A.; 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.; GOMES, R.C.; PISTORI, H. Cattle weight estimation using active contour models and regression trees Bagging . **Computers and Electronics in Agriculture**, v.179, 105804, p. 1-12, 2020c.
- WHITEHEAD, D. Management of grazed landscapes to increase soil carbon stocks in temperate, dryland grasslands. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.28, 2020.
- WOLFERT, S.; GE, L. VERDOUW, C.; BOGAARDT M.-J. Big data in smart farming – a review. **Agricultural Systems**, v.153, p.69-80, 2017.
- YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: Pecora – The Future of Land Imaging... Going Operational, Denver, Colorado, USA. **Proceedings**. Maryland: (ASPRS), 2008.
- 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.