

Pecuária leiteira de precisão

Cláudio Antonio Versiani Paiva | Fabrício Vieira Juntoli | Luiz Felipe Ramos Carvalho |
Alberto Carlos de Campos Bernardi | Thierry Ribeiro Tomich | Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

INTRODUÇÃO

A produção nacional de leite apresentou crescimento consistente nas últimas três décadas e o volume anual produzido se aproxima de 35 bilhões de litros. No entanto, as fazendas leiteiras no Brasil apresentam baixa produtividade. Para se manterem competitivas, terão que aumentar a produtividade de forma econômica e socialmente sustentável e se enquadrarem às regras ambientais. Adicionalmente, estão defrontando-se com grandes aumentos nos salários dos trabalhadores. Isso se deve ao contínuo êxodo rural e ao crescimento econômico das últimas décadas, que geraram maior escassez de trabalhadores no campo e aumento dos salários e também ao desenvolvimento educacional que aumentou o leque de atividades que o trabalhador pode desenvolver em outros setores da economia. Assim, a produtividade da mão de obra passa a ser cada vez mais importante para a eficiência dos sistemas de produção de leite.

No Brasil, o incremento da produção de leite tem ocorrido com base no adensamento animal por sistema produtivo em contrapartida da redução no uso de mão de obra. Assim, tem-se observado taxa de crescimento anual constante de vacas por fazenda nos últimos anos, o que poderá levar a dificuldades operacionais de rotina como: observar cio, identificar animais com problemas de saúde, ordenha, e manejo alimentar. Práticas de manejo e adoção de tecnologias que permitam a automação e a intensificação sustentável passam a ser demandas atuais e necessárias para o aumento da bioeficiência dos sistemas de produção de leite.

O conceito de “precisão”, aplicado à pecuária de leite, segue os preceitos básicos de gerenciar a variabilidade espacial e temporal com o intuito de maximizar o retorno econômico e minimizar efeitos negativos ao meio ambiente (BERNARDI; INAMASU, 2014). No cenário atual de expansão da produção agropecuária, o conjunto de tecnologias adotadas na Agricultura e Pecuária de Precisão pode ser decisivo.

Assim, como forma de estimular a adoção da Agricultura de Precisão (AP) nos diversos setores do agronegócio brasileiro, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) criou, em 2012, a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP). Esta Comissão tem como objetivos promover, organizar e unir os setores da AP, levantar dados e informações setoriais e propor programas de fomento e capacitação de forma a ter um setor organizado com maiores condições de articulação.

Como catalisador dos esforços em pesquisa e desenvolvimento tecnológico para atender aos crescentes desafios para a melhoria da eficiência dos sistemas de produção de leite, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) estruturou o Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária (CMB), que abriga o Laboratório de Pecuária de Precisão, infraestrutura destinada ao estudo da variabilidade da resposta individual dos animais, como forma de maximizar o retorno econômico e minimizar o efeito ao meio ambiente. Nesse laboratório, estão sendo conduzidas pesquisas na área de Pecuária de Precisão (PP) com o objetivo de mensurar o consumo para avaliar a eficiência alimentar em vacas, bem como estudo para associar a eficiência alimentar com fertilidade e saúde animal. Os animais são monitorados diariamente quanto ao consumo de alimentos, água e peso vivo por um sistema automático, composto por cochos e bebedouros eletrônicos associados às estações de pesagem corporal dos animais. A tecnologia de precisão empregada nesse sistema facilita a coleta e o armazenamento dos dados gerados e aumenta a confiabilidade das informações. As pesquisas realizadas têm possibilitado a qualificação de fenótipos para eficiência alimentar, permitindo o entendimento da variabilidade individual, o que tornará possível incorporar essas características nos programas de melhoramento, com impacto positivo no desempenho econômico e ambiental dos sistemas de produção. Outra linha em execução diz respeito à nutrição de precisão. A associação de cochos eletrônicos com sistemas automatizados de alimentação (Optimat, DeLaval) e de avaliação da composição de alimentos (*NearInfrared Reflectance Spectroscopy* – NIRS) favorece a coleta de dados e a formulação de estratégias para o manejo nutricional de forma individualizada. Pesquisas associando esses sistemas estão sendo iniciadas na Embrapa e possibilitam avaliar o impacto da nutrição de precisão em condições tropicais. A nutrição de precisão aplicada à pecuária de leite deve ser abordada como uma postura gerencial que considera a variabilidade animal para que as exigências nutricionais sejam atendidas pontualmente (sem excesso ou escassez), maximizando o retorno econômico e minimizando o efeito negativo sobre o meio ambiente. Esses são alguns exemplos de como a Embrapa está contribuindo para o avanço do conhecimento em pecuária leiteira de precisão, gerando produtos, processos e serviços a favor da cadeia produtiva do leite.

DESENVOLVIMENTO E USO DE TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DE PRECISÃO

TECNOLOGIAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

Atualmente, é consenso mundial que a Agricultura de Precisão (AP) é a forma de gestão mais eficiente das propriedades rurais, pela qual se detecta significativa variabilidade espaço-temporal.

Os benefícios e limitações potenciais do uso da AP em sistemas de pastagens foi apresentado e discutido inicialmente por Schellberg et al. (2008) e Bernardi e Perez (2014). Já os marcos conceituais para a pecuária de precisão em sistemas de pastagem e sistemas integrados, considerando os componentes animal e forragem, foram apresentados por Schellberg et al. (2008), Wathes et al. (2008), Laca (2009) e Banhazi et al. (2012).

Podem-se elaborar mapas de aplicação com taxa variável de insumos a partir de mapas de atributos químicos do solo. Dessa forma, corretivos e fertilizantes podem ser aplicados em quantidades distintas para diferentes partes da faixa ou piquete (BERNARDI et al., 2015). Essa tecnologia está difundida nos sistemas de produção de culturas anuais, mas o trabalho de Bernardi et al. (2016) mostra as possibilidades de uso em sistema de produção pecuária com base no uso de pastagens. A partir de resultados de análise química do solo (P, K, CTC, e saturação por bases), georreferenciados, elaboraram-se os mapas de aplicação de insumos (superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário), mostrados na Figura 1. Esses mapas ilustram a recomendação de calagem e adubação com P e K para uma pastagem de alfafa considerando a variabilidade espacial do sistema de produção. Eles indicaram que existem áreas nas quais a necessidade de fertilizantes fosfatados variava de menos de 300 kg ha⁻¹ a próxima de 800 kg ha⁻¹. Para a recomendação de calcário, também houve grandes diferenças, com doses variando de 300 kg ha⁻¹ a 1.500 g ha⁻¹. No caso da adubação potássica, apesar de a maior parte da área requerer uma baixa aplicação do insumo (< 50 kg ha⁻¹), observaram-se manchas que exigiam mais de 300 kg ha⁻¹ para atingir o nível adequado. Os efeitos dessas diferenças nas quantidades necessárias de fertilizantes podem ser observados no custo de produção estimado para o sistema de produção de leite que utilizava pastagem de alfafa (Figura 1D). Os resultados mostraram que as variações foram em torno de 7% nos extremos.

A análise da sustentabilidade de qualquer sistema de produção tem de considerar tanto os aspectos agrônômicos e zootécnicos, quanto os ambientais e econômicos. No trabalho de Bernardi et al. (2016), foram realizadas estimativas da produção de forragem e de leite com base nas diferenças espaciais da oferta de forragem (Figuras 2A e 2B). Dessa forma, foi também possível estimar a receita (Figura 2C). A partir do custo e da receita, os autores relataram diferenças de cerca de 30% no retorno econômico do sistema (Figura 2D), considerando a variabilidade espacial.

A quantificação da variabilidade espacial da produção da biomassa e de índices de vegetação pode auxiliar nas práticas de manejo de pastagens, como rotação, manejo de nutrientes e previsão de rendimento (BERNARDI; PEREZ, 2014). Para tanto, ferramentas de AP podem ser muito interessantes, aumentando a eficiência e a qualidade dos dados levantados (BERNARDI; PEREZ, 2014; SCHELLBERG et al., 2008). Entre as tecnologias se destacam a sonda de capacitância e os sensores ultrassônicos e óticos (SERRANO et al., 2009; YULE et al., 2006). Porém, esses sensores não são adequados para avaliar a qualidade das pastagens, sendo necessário o uso de sensores óticos (PULLANAGARI et al., 2011). Os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados para estimar a biomassa de culturas e pastagens, uma vez que fornecem padrões temporais e espaciais das mudanças nos ecossistemas pastoris, e têm sido úteis na estimativa de parâmetros biofísicos (SCHELLBERG et al., 2008).

TECNOLOGIAS DE PECUÁRIA LEITEIRA DE PRECISÃO

Tecnologias de pecuária leiteira de precisão (PP) utilizam sistemas de monitoramento por sensores desenvolvidos com o objetivo de identificar (EDAN et al., 2009) e mensurar os indicadores produtivos, comportamentais e fisiológicos em benefício da saúde, produtividade e bem-estar

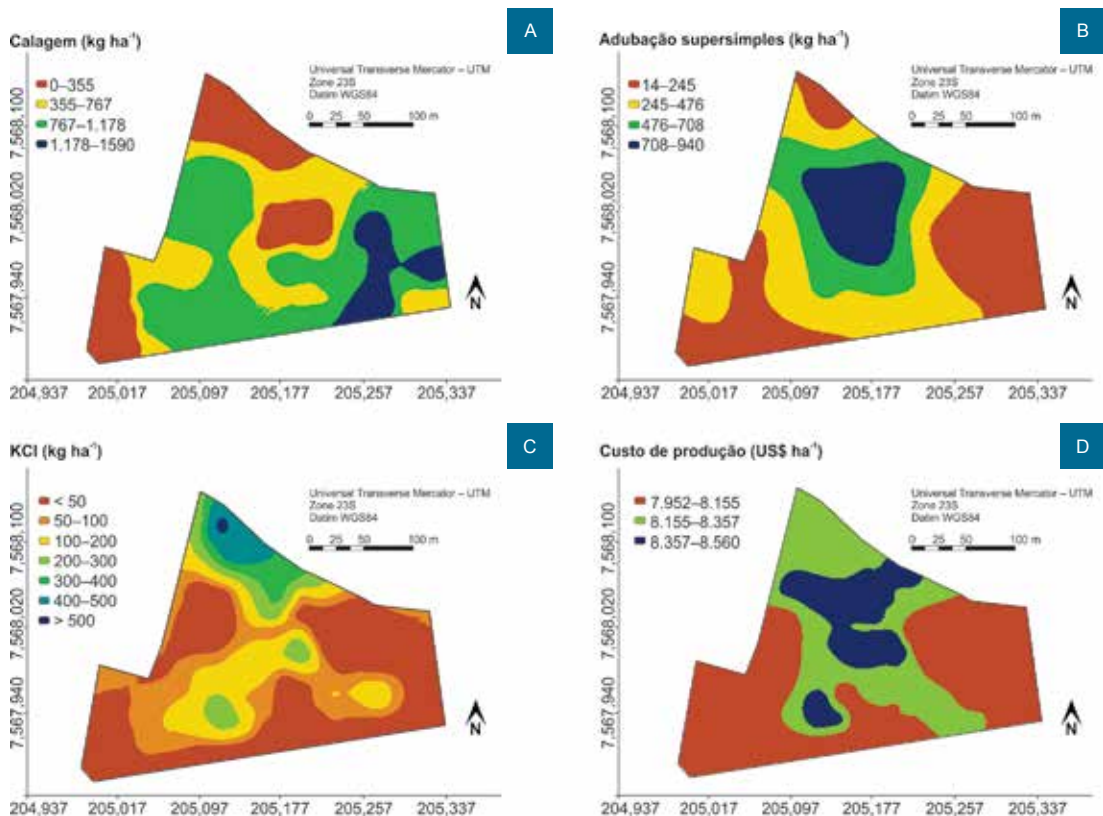


Figura 1. Recomendação espacial da calagem (A), adubação com fósforo (B) e potássio (C) para uma pastagem de alfafa, e custo de produção (D) para um sistema de produção de leite.

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

animal (STEENEVELD et al., 2015). Dessa forma, estão sendo disponibilizados aos produtores sistemas automatizados de pesagem, produção de leite, consumo de alimentos e água, comportamento alimentar, frequência cardiorrespiratória, temperatura corporal, atividade e posição dos animais, entre outros. No entanto, sistemas de informação avançados são necessários para que os dados de monitoramento e controle, individual ou em grupo, dos vários sensores disponíveis sejam efetivos e possam orientar as decisões de manejo mais adequadas (EDAN et al., 2009).

Há grandes possibilidades para novas tecnologias de automação na pecuária para o monitoramento de parâmetros individuais dos animais. Entretanto, para que tais tecnologias possam auxiliar a rápida tomada de decisões pelos produtores, os dados registrados precisam ser coletados, armazenados, interpretados e utilizados para otimizar a eficiência produtiva, sanitária e aumento do bem-estar dos animais.

Esses sistemas de automação na pecuária podem ser descritos a partir de quatro níveis de desenvolvimento e utilização (Figura 3): (I) tecnologia(sensor) que mensura algum parâmetro individual

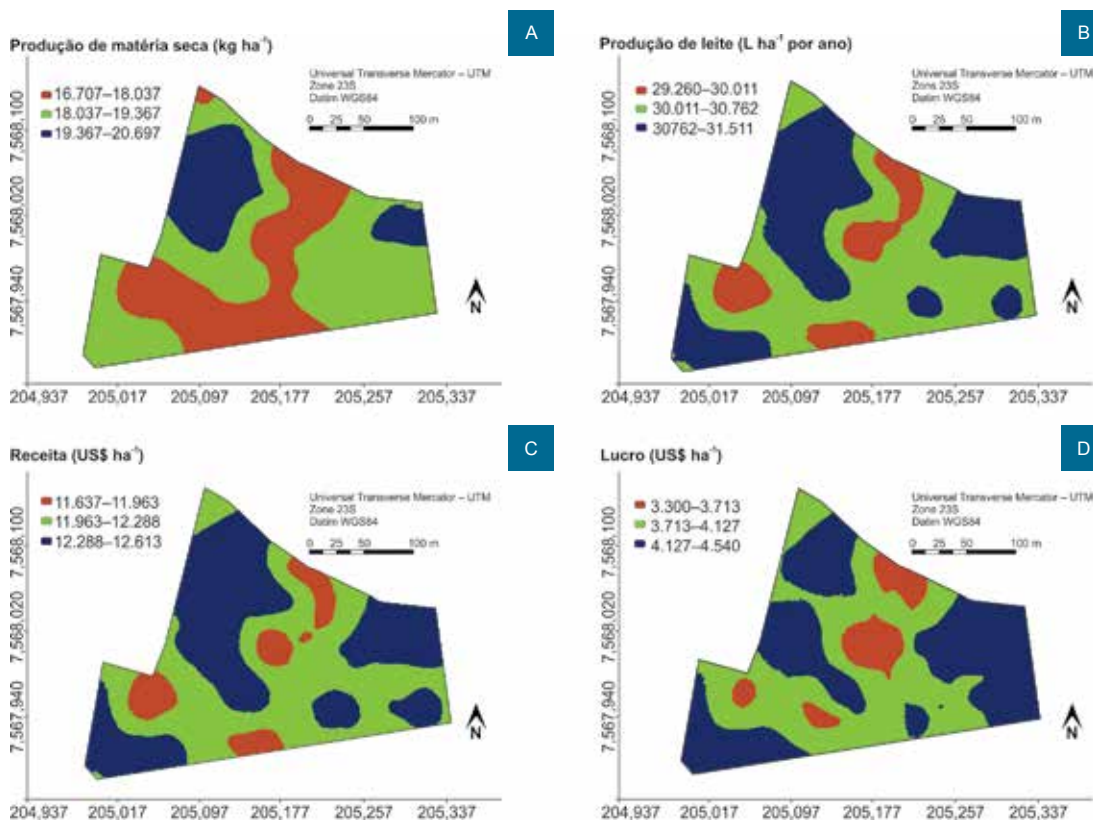


Figura 2. Produção de forragem (A), estimativas da produção espacial de leite (B), da receita (C) e do lucro (D) para um sistema de produção de leite utilizando pastagem de alfafa.

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

da vaca (ex.: atividade da vaca) gerando um conjunto de dados; (II) interpretação que resume as alterações observadas no conjunto de dados gerados pelo sensor (ex.: aumento da atividade) para produção de uma informação sobre o status da vaca (ex.: vaca em cio); (III) integração dessa informação gerada pelo sensor, acrescida a outra informação (ex.: informação de cunho econômico) para proposição de uma recomendação (ex.: inseminar a vaca); (IV) tomada de decisão pelo gestor da fazenda ou autonomamente pelo sistema (ex.: o inseminador é acionado).

O uso de tecnologias de precisão está se tornando uma prática cada vez mais comum em fazendas leiteiras. Entre os principais parâmetros monitorados atualmente estão: produção, composição, temperatura, condutividade, presença de sangue no leite, assim como contagem de células somáticas, tempo de ruminação, consumo de alimentos e água, medidores de atividade para detecção de cio, problemas de casco, pesagem e escore corporal das vacas (BEWLEY, 2010; BÜCHEL; SUNDRUM, 2014; CHAPINAL et al., 2010; CHIZZOTI et al., 2015; HOLMAN et al., 2011; MIEKLEY et al., 2012). No entanto, vários outros parâmetros estão sendo propostos ou se encontram em fase de desenvolvimento.

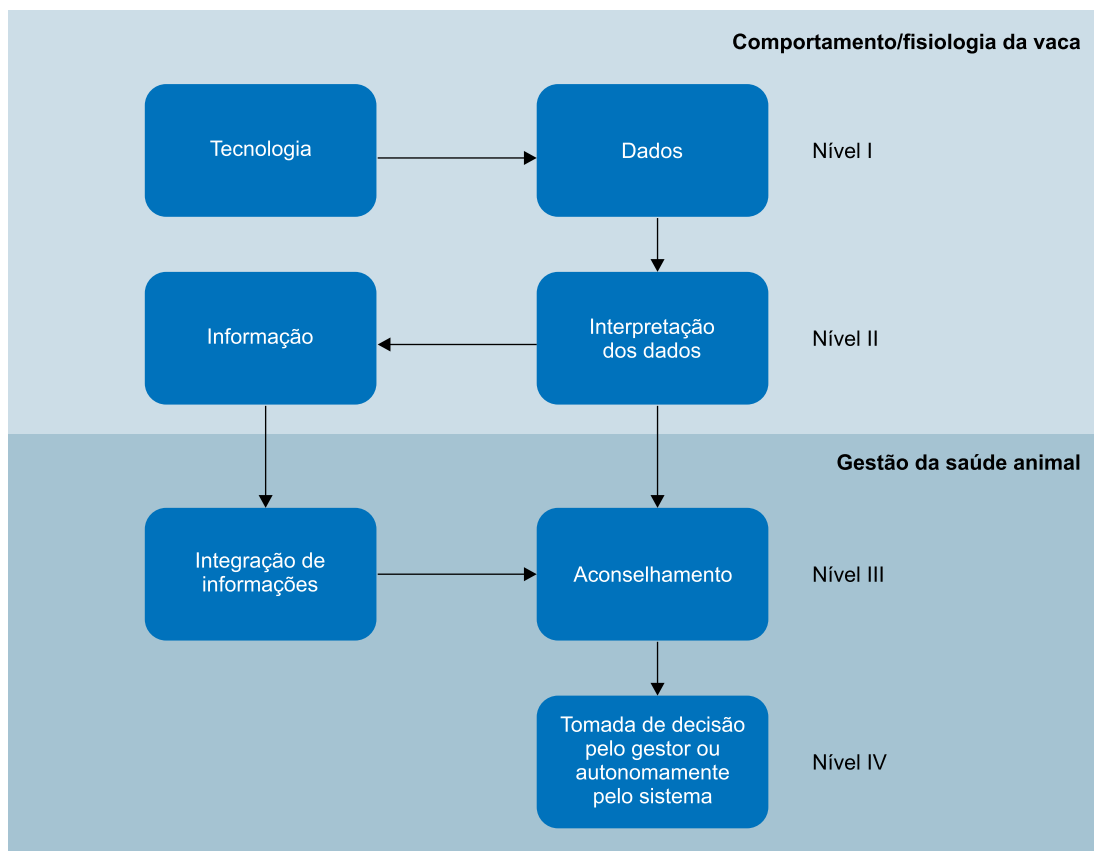


Figura 3. Níveis de desenvolvimento e utilização dos sistemas de monitoramento por sensores na gestão de fazenda leiteira.

Fonte: adaptado de Rutten et al. (2013).

De acordo com Banhazi et al. (2012), a pecuária de precisão, devidamente implementada, tem potencial para: i) melhorar e documentar objetivamente os parâmetros de bem-estar animal nas propriedades; ii) reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e melhorar os aspectos ambientais dos diferentes sistemas de produção agropecuários; iii) melhorar a comercialização e facilitar a segmentação dos produtos de origem animal; iv) reduzir o comércio ilegal de produtos de origem animal por meio da rastreabilidade; e v) melhorar o retorno econômico das atividades agropecuárias. Banhazi et al. (2012) alertam que para assegurar que o potencial da pecuária de precisão seja adotado pelo setor produtivo é necessário: i) estabelecer uma nova indústria de serviços; ii) avaliar, demonstrar e divulgar os benefícios da PP; iii) coordenar esforços do setor privado e órgãos públicos de pesquisa e transferência interessados no desenvolvimento e implementação de tecnologias de PP nas propriedades; e iv) incentivar o setor de prestação de serviços no desenvolvimento de produtos de gestão profissional das propriedades.

A pecuária de precisão deve ter início na identificação e no conhecimento do comportamento animal, pois esse conhecimento é fundamental para o desenvolvimento de métodos integrados com tecnologia eletrônica, sem fio, com os sistemas de decisão para o manejo de animais. A identificação eletrônica dos animais permite, também, a rastreabilidade das informações referentes àquele indivíduo, fornecendo informações para a tomada de decisão mais rápida e adequada sobre o manejo. Existem várias alternativas de identificadores animais sendo utilizadas tanto na pesquisa como comercialmente (ANDERSON et al., 2013; SCHLEPPE et al., 2010). A identificação eletrônica animal tem como base o transponder, que utiliza microchips com memória EPROM que permitem ou não a regravação, podendo ser encapsulados em material biocompatível (para implantação no animal) ou fixos a brincos. Há transponders passivos (sem fonte de energia) e ativos. A transmissão das informações pode ser realizada por RFID (MACHADO; NANTES, 2004). Essa tecnologia permite interligar outras ferramentas práticas de manejo ao sistema, como balanças, cochos e bebedouros eletrônicos. Com isso é possível alimentar um sistema de dados informatizados, flexibilizando os processos de gestão da propriedade por meio de sistemas de suporte à decisão. Adicionalmente, as aplicações da identificação animal podem incluir a rastreabilidade dos produtos, oferecendo registros quanto à origem dos produtos e ao seu meio de produção (ANDRADE et al., 2015).

IMPLICAÇÕES DO USO DAS TECNOLOGIAS DE PECUÁRIA LEITEIRA DE PRECISÃO

As maiores oportunidades e ganhos na utilização de tecnologias de precisão na pecuária de leite estão relacionados às atividades de rotina que ocupam grande parte do tempo do produtor ou que representam a maior parte do custo de produção, como produção de alimentos, alimentação, reprodução e ordenha dos animais. Nesse sentido, a crescente adoção de tecnologias poupadoras de mão de obra, que proporcionem economias, diminuam o desperdício e o tempo das operações e aumentem a produtividade, é uma tendência mundial. Outra importante contribuição do uso de tecnologias de precisão consiste na identificação precoce de animais doentes. Esse fator é um componente crítico de qualquer sistema de produção, sendo de grande interesse o desenvolvimento de métodos, dispositivos e processos para o monitoramento da saúde dos animais.

OTIMIZAR A MÃO DE OBRA

As fazendas estão defrontando-se com maior escassez de mão de obra e aumento dos salários dos trabalhadores em razão do crescente desenvolvimento econômico e educacional observado nas últimas décadas. Nesse contexto, as tecnologias de precisão que envolvem mecanização e automação estão cada dia mais presentes nas fazendas leiteiras, já que a produtividade da mão de obra passa a ser cada vez mais importante para o aumento da eficiência bioeconômica dos sistemas de produção. A operação de ordenha, por exemplo, requer mão de obra capacitada, porém cada vez mais escassa e onerosa. Para o manejo reprodutivo, a baixa disponibilidade de mão de obra gera consequências graves, como tempo reduzido para observar cio nos animais. O tempo despendido

por um funcionário para a realização de atividades ligadas à alimentação animal pode chegar a 50% do tempo total disponível, contribuindo para o aumento da ineficiência de todo o sistema.

Entre os principais motivos que levam o produtor de leite a adquirir sistemas de monitoramento por sensores, comumente denominados de tecnologias de precisão, destacam-se: escassez e custo da mão de obra; reduzir o trabalho e facilitar o manejo diário do rebanho; reduzir problemas relativos à sucessão familiar e estimular a adoção de tecnologias inovadoras pelos mais jovens; proporcionar mais tempo com a família e com isso mais qualidade de vida e maior flexibilidade no trabalho e prolongar o tempo de vida no trabalho a partir da terceira idade (SCHEWE; STUART, 2015; STEENEVELD; HOGEVEEN, 2015). No entanto, as razões para investir-se em sistemas de monitoramento por sensores apresentam variações em função do perfil socioeconômico do produtor de leite.

Dessa forma, o uso de tecnologias de PP tende a apresentar um resultado econômico positivo, especialmente em virtude da redução esperada sobre os custos da mão de obra (STEENEVELD et al., 2015). Em pesquisa realizada na Holanda, fazendas que adotaram algum tipo de tecnologia de precisão obtiveram uma redução de até 23% das horas trabalhadas por vaca/semana, comparadas àquelas que não faziam uso de sistemas de monitoramento por sensores (STEENEVELD; HOGEVEEN, 2015).

Além da questão da redução da mão de obra, Sniffen e Chalupa (2015) citam como exemplo o uso de sistemas automáticos de alimentação, que podem proporcionar o refinamento das rações para atender de forma mais precisa às exigências nutricionais das vacas em lactação. Esses sistemas possibilitam o controle de todas as atividades de alimentação após o carregamento de ingredientes em silos (alimentos concentrados), mesas forrageiras (deposição de forragens) e recipientes para armazenagem de aditivos e núcleos minerais, fazendo o transporte, a pesagem e a mistura de ingredientes, bem como o transporte e a distribuição da ração de forma autônoma.

Schewe e Stuart (2015) avaliam que o sistema de ordenha automático (AMS) está entre as tecnologias de pecuária leiteira de precisão mais importantes e inovadoras, justamente por ser um sistema poupador de mão de obra e tempo (Figuras 4A e 4B). A adoção do AMS tem alterado de forma significativa o papel do produtor de leite e sua relação com as vacas. Ao invés de gastarem o tempo ordenhando vacas, eles permanecem mais tempo inspecionando e observando os animais, o que pode ser considerado uma vantagem em relação ao sistema de ordenha convencional. Dessa forma, os produtores podem detectar problemas mais precocemente em função da maior disponibilidade de tempo para observá-las (BUTLER et al., 2012; SCHEWE; STUART, 2015). A vantagem do AMS está justamente na disponibilidade de se ter mais tempo para atividades gerenciais e estratégicas (EDMONDSON, 2012). Pesquisas têm apontado reduções entre 19% e 50% do tempo associado à ordenha das vacas, além da redução no quantitativo e custo da mão de obra após a instalação do AMS (KONING; RODENBURG, 2004; STEENEVELD; HOGEVEEN, 2015).

Nesse contexto, as tecnologias de automação e precisão em todas as suas dimensões e áreas aplicáveis surgem para complementar a mão de obra. Ao criar novas oportunidades, demandam

mão de obra especializada, ampliam os salários pagos aos novos trabalhos e funções, promovem o aumento da produtividade e a eficiência dos sistemas de produção (AUTOR, 2015).

AUMENTAR A PRODUÇÃO DE LEITE

A automação do processo de ordenha é uma tendência mundial e uma resposta aos aumentos do custo, menor disponibilidade de mão de obra e à necessidade de melhoria de qualidade de vida e rotina de trabalho na fazenda. Os equipamentos de ordenha robotizados (Figuras 4A e 4B) disponíveis no mercado geram informações que permitem o entendimento da variabilidade individual dos animais, contribuindo para a aplicação dos conceitos de pecuária de precisão.



Fotos: Cláudio Antonio Versiani Paiva

Figura 4. Unidade de sistema de ordenha automático instalado na Fazenda Morro dos Ventos, Carambeí, PR (A), e detalhe do braço robótico em operação durante a ordenha voluntária (B).

Fonte: Paiva (2015).

O uso de tecnologias de monitoramento da produção diária de leite e sua composição já estão disponíveis aos produtores e podem ser adquiridos no momento da compra do equipamento de ordenha, ou isoladamente em qualquer outro momento específico. O fator econômico é ainda, na maioria das vezes, o maior obstáculo para a aquisição desses sensores. Adicionalmente, o perfil dos produtores de leite que utilizam tecnologias de precisão apresenta grande variação. Existem aqueles que o fazem de forma deliberada, investindo em sensores para melhorar a eficiência da gestão do rebanho. Outros já os utilizam porque estão embarcados no equipamento de ordenha adquirido como, por exemplo, em sistemas de ordenha robotizados (STEENEVELD; HOGVEEN, 2015).

Uma unidade de ordenha robótica (AMS) pode aumentar a produção de leite entre 6% e 35% em razão, principalmente, do aumento da frequência de ordenha (NEW BRUNSWICK..., 2014; STEENEVELD et al., 2015). O número de frequências de ordenha alcançado no AMS depende de fatores como tipo de fluxo e rotina de ordenha adotada, onde as frequências podem ser predeterminadas e adaptadas ao estágio de lactação ou ao tipo de sistema de produção (SVENNERSTEN-SJAUNJA;

PETTERSSON, 2008). Steeneveld et al. (2015) observaram que a utilização de sensores embutidos no AMS resultou maior produção de leite do rebanho. No entanto, não puderam afirmar se o aumento da produção de leite ocorreu em função da maior taxa de frequência de ordenha, normalmente observada nesse tipo de sistema de produção (SPERONI et al., 2006), ou se foi decorrente do uso mais eficiente dos dados e informações obtidos pelo sistema de sensores.

Adicionalmente, o fornecimento de alimentação concentrada durante a ordenha no sistema automático tem sido associado à redução do tempo de ordenha, aumento do fluxo e maior extração do leite (SAMUELSSON et al., 1993). A explicação mais provável tem a ver com a melhora do reflexo de liberação da ocitocina quando a alimentação concentrada é fornecida (SVENNERSTEN et al., 1995). Outro fator que tem sido associado ao aumento da produção de leite no AMS é a adoção de uma rotina de ordenha consistente e sistemática (RASMUSSEN et al., 1990). O AMS permite que o processo de ordenha seja executado sempre da mesma forma a cada ordenha, tornando a rotina previsível para as vacas.

Algumas fazendas comerciais têm reportado que a expectativa de aumento na produção de leite não se concretizou depois da implantação do AMS. O resultado negativo pode ser creditado parcialmente à redução da curva de lactação, ocorrida em função dos intervalos irregulares entre ordenhas e às falhas na colocação dos insufladores (BACH; BUSTO, 2005). Porém, a maioria dos casos de queda na produção reportados aconteceu em razão das mudanças estruturais nas instalações e no manejo, que ocorreram concomitantemente com a adoção do AMS (STEENEVELD; HOGVEEN, 2015).

MELHORAR A SAÚDE ANIMAL

Segundo Rutten et al. (2013), atualmente, a maioria dos estudos sobre as implicações das tecnologias de precisão na saúde animal está relacionada à detecção de mastite e problemas de locomoção e ao aumento da fertilidade.

Detecção de mastite

Sensores para detecção precoce de animais com mastite, como a medição da condutividade elétrica e presença de sangue, além da contagem de células somáticas do leite em tempo real, estão entre as tecnologias mais utilizadas por produtores de leite no mundo. Nos EUA, os parâmetros mais comumente mensurados por tecnologias de precisão são a produção diária de leite (52,3%), a atividade da vaca (41,3%) e a detecção de mastite (25,7%) (BORCHERS; BEWLEY, 2015). Entre os maiores produtores de leite do Brasil, esses valores correspondem a 58,7%, 28,3% e 26,1%, respectivamente (PAIVA et al., 2016). O grau de utilidade dada pelos produtores brasileiros aos parâmetros que as tecnologias de precisão permitem mensurar encontra-se na Tabela 1. Os parâmetros de maior utilidade considerados pelos maiores produtores brasileiros foram: produção diária de leite (4,67), detecção de estro (4,43) e de mastite (4,26). Já nos EUA, a ordem de importância foi detecção de mastite (4,77), detecção de estro (4,75) e produção diária de leite (4,72). Além disso, produtores dos EUA citaram os sistemas de medição de atividade da vaca, temperatura corporal e comportamento alimentar como

Tabela 1. Resultados de pesquisa com os 100 maiores produtores do Brasil indicando a utilidade dos atuais e potenciais parâmetros mensurados pelas tecnologias de pecuária leiteira de precisão.

Item	Respostas TOP100 (%)(²)					Média + Dp(¹)	
	Muito útil	Útil	Utilidade moderada	Pouco útil	Sem utilidade	TOP100(²) (n = 46)	EUA (³) (n = 109)
Produção diária de leite	73,9	19,6	6,5	0,0	0,0	4,67±0,60	4,72±0,62
Deteção de estro	65,2	21,7	6,5	4,3	2,2	4,43±0,96	4,75±0,57
Mastite	58,7	21,7	10,9	4,3	4,3	4,26±1,10	4,77±0,47
Saúde do casco	42,2	22,2	17,8	6,7	11,1	3,78±1,36	4,06±0,89
Composição do leite	34,8	28,3	17,4	13,0	6,5	3,72±1,26	4,28±0,93
Atividade da vaca	30,4	32,6	19,6	6,5	10,9	3,65±1,29	4,60±0,83
Temperatura corporal	26,1	30,4	28,3	10,9	4,3	3,63±1,12	4,31±1,04
Atividade ruminal	28,3	32,6	19,6	8,7	10,9	3,59±1,29	3,94±1,10
Laminite	30,4	23,9	21,7	17,4	6,5	3,54±1,28	4,25±0,90
Comportamento da vaca	21,7	37,0	21,7	10,9	8,7	3,52±1,21	3,79±1,05
Peso corporal	26,1	17,4	39,1	13,0	4,3	3,48±1,15	3,26±1,20
Ruminação	17,4	39,1	21,7	13,0	8,7	3,43±1,19	4,08±1,07
pH ruminal	15,6	37,8	24,4	13,3	8,9	3,38±1,17	3,62±1,16
Comportamento alimentar	13,0	37,0	19,6	13,0	17,4	3,15±1,32	4,30±0,80
Escore de condição corporal	8,7	28,3	34,8	19,6	8,7	3,09±1,09	3,26±1,15
Mov. da mandíbula/ mastigação	6,5	32,6	34,8	13,0	13,0	3,07±1,12	3,61±1,15
Taxa respiratória	10,9	21,7	41,3	10,9	15,2	3,02±1,18	3,40±1,15
Batimento cardíaco	0,0	20,0	35,6	22,2	22,2	2,53±1,06	3,07±1,15
Local./posicionamento animal	4,4	8,9	35,6	24,4	26,7	2,40±1,12	2,75±1,26
Emissão de metano	8,9	11,1	17,8	28,9	33,3	2,33±1,30	2,20±1,16

Fonte: ⁽²⁾ Paiva et al. (2016); ⁽³⁾ Borchers e Bewley (2015).

os parâmetros mais úteis (BORCHERS; BEWLEY, 2015). No Brasil, esse cenário vem mudando com a presença cada vez maior de empresas que têm importado e também desenvolvido tais tecnologias no mercado doméstico, tornando-as mais conhecidas do produtor de leite brasileiro.

A robotização dos sistemas de ordenha (AMS) promoveu a automação completa de todo o processo de ordenha. Nesse sistema, normalmente, estão embutidos sensores que monitoram e registram automaticamente o volume de leite, parâmetros de qualidade do leite, frequência de ordenha e saúde da glândula mamária dos animais, mantendo um arquivo de todos os processos realizados sem a intervenção humana (BLOSS, 2014). A adoção do AMS tem alterado de forma significativa o papel do produtor de leite e sua relação com as vacas. Ao invés de gastarem o tempo ordenhando as vacas, eles permanecem mais tempo inspecionando e observando os animais, o que pode ser considerado uma vantagem em relação ao sistema de ordenha convencional (SCHEWE; STUART, 2015). Por fim, Edmondson (2012) cita que em rebanhos bem dimensionados e manejados, os níveis de mastite e outras doenças podem ser menores com o uso de robôs na ordenha. Porém, quando essas condições não estão presentes, pode haver aumento da CCS e problemas de casco e de nutrição.

Aumento da fertilidade

O desempenho da detecção do cio pode ser melhorado pela utilização de medidores eletrônicos de atividade. Pedômetros e acelerômetros são as tecnologias mais comuns disponíveis comercialmente; esses últimos possuem os sensores de medição da atividade embutidos em colares de pescoço para vacas. O sistema com base em pedômetros normalmente é composto por dispositivos eletrônicos acoplados às patas das vacas que identificam o animal e registram o número de passos. Antenas localizadas em pontos estratégicos da fazenda fazem a leitura dos dados e os enviam para um software que os interpreta (GALON, 2010). Adicionalmente, alguns pedômetros podem controlar a posição do animal e registrar o tempo que o animal permanece deitado ou em pé. Esses dispositivos possuem maior capacidade de armazenamento e a transmissão dos dados ocorre após a passagem dos animais por cortinas de leitura (AUNGIER et al., 2015). De acordo com Senger (1994), um sistema eletrônico de detecção de cio deve garantir o monitoramento contínuo das mudanças fisiológicas ou comportamentais que ocorrem durante o estro.

Os sistemas de monitoramento de atividade podem detectar cerca de 80 a 85% de vacas em cio, enquanto que o método visual normalmente detecta apenas 55% das vacas nessa mesma condição (KAMPHUIS et al., 2012). No entanto, nem sempre o aumento na detecção do cio pelos sistemas de monitoramento resulta melhoria dos índices de idade ao primeiro parto e dias ao primeiro serviço. Em grande parte das vezes os produtores que fazem uso de sistemas de detecção de cio ainda utilizam as mesmas regras, por exemplo, sobre o melhor momento para a inseminação, resultando alterações pouco efetivas nos parâmetros reprodutivos. O investimento em sensores de detecção de cio deve ser feito visando melhorar a taxa de detecção de cio, reduzir o trabalho (STEENEVELD; HOGEVEEN, 2015) e melhorar os índices de saúde e zootécnico do rebanho.

O aumento da eficiência de detecção de cio e o diagnóstico precoce de doenças são exemplos de como essas tecnologias podem contribuir para o aumento da eficiência reprodutiva em bovinos de

leite. A expectativa é que essas tecnologias sejam gradualmente incorporadas aos sistemas de produção e que, em futuro próximo, façam parte da rotina da maioria das propriedades leiteiras no Brasil.

Detecção de problemas de locomoção

A claudicação é definida como uma alteração na marcha ou postura resultante de dor ou desconforto nas pernas e cascos do animal (FLOWER; WEARY, 2009). Problemas de locomoção continuam a ser uma das maiores preocupações para a saúde e bem-estar das vacas. Esses problemas normalmente estão associados a uma diminuição da produtividade, a efeitos negativos sobre o desempenho reprodutivo e a elevadas taxas de descarte, resultando em perdas consideráveis na produção (HUXLEY, 2013).

A utilização de métodos manuais ou automáticos de detecção de problemas de locomoção tem como objetivo a prevenção, detecção e gestão eficiente das condições que induzem à locomoção deficitária (SCHLAGETER-TELLO et al., 2014). O método mais comum para detectar problemas de locomoção é o sistema manual de escore de locomoção (FLOWER; WEARY, 2009), onde as pontuações são baseadas na observação visual por técnico treinado. A avaliação visual depende de vários parâmetros, como assimetria da marcha, movimento da cabeça e curvatura das costas (SCHLAGETER-TELLO et al., 2014). No entanto, o método manual de escore de locomoção não é viável em grandes rebanhos por ser muito demorado. Como resultado, as vacas que apresentam discretos problemas de locomoção frequentemente não são diagnosticadas e tratadas até o momento em que se tornem severamente afetadas (ZIMMERMAN, 2001). Essa é uma das principais razões para o desenvolvimento de sistemas automáticos de detecção de problemas de locomoção.

Os sistemas automáticos de detecção de problemas de locomoção recolhem dados das vacas através do uso de sensores presentes nas vacas ou no ambiente onde vivem. Os dados desses sensores são analisados usando algoritmos matemáticos para avaliar a locomoção desses animais (SCHLAGETER-TELLO et al., 2014). No entanto, a maioria das tecnologias de precisão para detecção automática de problemas de locomoção se encontra em fase de desenvolvimento ou validação nos centros de pesquisas. O monitoramento do comportamento de locomoção da vaca pode fornecer aos pesquisadores e produtores uma ferramenta de alerta precoce. Nesse sentido, várias tecnologias para monitorar a atividade da vaca estão sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas nos centros de pesquisas (ROELOFS et al., 2005); algumas já se encontram disponíveis comercialmente.

Como exemplo de sistema disponível comercialmente, o sensor Cow-manager SensOor System® (Agis Automatisering BV, Harmelen, Países Baixos) é composto por um microchip embutido no brinco de identificação de orelha (Supertag; Dalton ID Ltd., Oxfordshire, Reino Unido). Esse sistema permite a quantificação em tempo real da temperatura da orelha, ruminação, consumo alimentar e atividade das vacas. Basicamente, um acelerômetro registra continuamente os movimentos da orelha da vaca e envia os dados através de uma rede sem fios para o computador. Os dados são continuamente coletados e cada minuto é classificado em uma das quatro categorias comportamentais: ruminação, consumo, descanso e ativo. Esses dados serão posteriormente expressos em porcentagem do comportamento por hora ou dia.

Outro exemplo é o StepMetrix® (BOUMATIC, Madison, WI). O modelo desse sistema utiliza cinco variáveis dos movimentos dos membros e calcula a probabilidade de um dos membros posteriores apresentarem problemas. O StepMetrix foi testado em ensaio de campo por Bicalho et al. (2007) e Liu et al. (2009, 2011). Ainda que promissor, o sistema precisa ser aperfeiçoado para que vacas sem problemas não sejam erroneamente classificadas pelo modelo.

Há diferentes abordagens científicas sendo estudados no desenvolvimento de sistemas de detecção automática de problemas de locomoção. A abordagem cinemática mede a geometria do movimento, sem considerar as forças que provocam o movimento, e calcula diferentes aspectos da marcha, tais como o comprimento da passada, a posição e a duração da oscilação ou a curvatura das costas. Métodos cinéticos, tais como medidas de força de reação do solo e sensores de carga, avaliam a claudicação pela distribuição do peso/pressão exercidos sobre uma superfície (SCHLAGETER-TELLO et al., 2014). Outros estudos têm demonstrado o potencial da utilização de imagens de vídeo para detecção de problemas de casco. A técnica de processamento de imagem transforma as gravações de vídeo em sequência de imagens binárias para facilitar a detecção de peças anatômicas das vacas (HERTEM et al., 2013; VIAZZI et al., 2013) e identificar anomalias no movimento e posicionamento do animal. A termografia de infravermelhos (IRT) é uma técnica não invasiva que mede a radiação térmica a partir da superfície de um objeto e apresenta a informação como um termograma (EDDY et al., 2001). Finalmente, a abordagem indireta (SCHLAGETER-TELLO et al., 2014) utiliza variáveis comportamentais e de produção com base no comportamento bidimensional ou tridimensional de dispositivos ligados aos membros ou pescoço das vacas para detectar alterações no comportamento e da produção, como por exemplo, frequência e tempo deitada ou em pé por dia (ALSAAOD et al., 2012; ITO et al., 2010), associadas aos dados produtivos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego das tecnologias de pecuária de precisão estimulará novas vertentes de agregação de valor e de fabricação, com grandes possibilidades de aumento de competitividade do setor de pecuária de leite. As oportunidades ligadas à pecuária de precisão podem surgir tanto dentro como fora da porteira da fazenda. Os produtores podem beneficiar-se nas áreas de automação e tomadas de decisões mais eficientes ao fazer melhor uso dos escassos e cada vez mais onerosos recursos. O uso dessas tecnologias tornará possível, por exemplo, inferir padrões de comportamento animal, fisiológicos e sanitários e ajustar o manejo para cada indivíduo, com ganhos de eficiência operacional e econômica.

A era do “big data” indica as possibilidades de gerar, medir, coletar e armazenar enormes quantidades de dados que são a matéria-prima do conhecimento. O uso dessas tecnologias pode contribuir, por exemplo, para garantir a qualidade e a segurança do alimento para as indústrias de laticínio. Técnicos podem interagir com os sistemas de precisão para alimentar as suas próprias análises, oferecendo serviços sobre o uso das tecnologias de precisão e na capacitação dos produtores. Isso pode incluir o monitoramento remoto de parâmetros de desempenho, de melhoramento genético,

da previsão de clima e o entendimento da dinâmica dos mercados. Nesse sentido, os bancos de dados de cada sistema de produção podem ser conectados aos da indústria ou governos. Isso permitirá comparar diferentes sistemas e desenhar políticas públicas e privadas de fomento à pecuária leiteira com maior precisão.

REFERÊNCIAS

- ALSAAAD, M.; RÖMER, C.; KLEINMANN, J.; HENDRIKSEN, K.; ROSE-MEIERHÖFER, S.; PLÜMER, L.; BÜSCHER, W. Electronic detection of lameness in dairy cows through measuring pedometric activity and lying behavior. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 142, n. 3-4, p. 134-141, 2012.
- 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.
- ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Georastreabilidade: sustentabilidade da bovinocultura. **Agroanalysis**, v. 35, n. 1, p. 29-31, 2015.
- AUNGIER, S. P. M.; ROCHE, J. F.; DUFFY, P.; SCULLY, S.; CROWE, M. A. The relationship between activity clusters detected by an automatic activity monitor and endocrine changes during the periostrous period in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 3, p. 1666-1684, 2015.
- AUTOR, D. H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 29, n. 3, p. 3-30, 2015.
- BACH, A.; BUSTO, I. Effects on milk yield of robotic milking interval regularity and teat cup attachment failures with robotic milking systems. **Journal of Dairy Research**, v. 72, n. 1, p. 101-106, 2005.
- BANHAZI, T. M.; BABINSZKY, L.; HALAS, V.; TSCHARKE, M. Precision livestock farming: precision feeding technologies and sustainable livestock production. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 5, n. 4, p. 1-9, 2012.
- 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. 211-227, 2015.
- BERNARDI, A. C. C.; COARACY, G. M. B.; 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. 3, 2016. DOI: 10.1007/s11119-016-9446-9.
- BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da agricultura de precisão no Brasil. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V. R.; BASSOI, L. H. B.; INAMASU, R. Y. I. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 559-577.
- BERNARDI, A. C. C.; PEREZ, N. B. Agricultura de precisão em pastagens. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V. R.; BASSOI, L. H. B.; INAMASU, R. Y. I. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 492-499.
- BEWLEY, J. Precision dairy farming: advanced analysis solutions for future profitability. In: NORTH AMERICAN CONFERENCE ON PRECISION DAIRY MANAGEMENT, 1., 2010, Toronto. **Proceedings**... Toronto: Guelph, 2010. p. 2-5.
- BICALHO, R. C.; CHEONG, S. H.; CRAMER, G.; GUARD, C. L. Association between a visual and an automated locomotion score in lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 7, p. 3294-3300, 2007.
- BLOSS, R. Robot innovation brings to agriculture efficiency, safety, labor savings and accuracy by plowing, milking, harvesting, crop tending/picking and monitoring. **Industrial Robot**, v. 41, n. 6, p. 493-499, 2014.
- BORCHERS, M. R.; BEWLEY, J. M. An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 6, p. 4198-4205, 2015.
- BUHEL, S.; SUNDRUM, A. Short communication: decrease in rumination time as an indicator of the onset of calving. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 3120-3127, 2014.
- BUTLER, D.; HOLLOWAY, L.; BEAR, C. The impact of technological change in dairy farming: robotic milking systems and the changing role of the stockperson. **Royal Agricultural Society of England**, v. 173, n. 1, p. 1-6, 2012.

- CHAPINAL, N.; PASSILLÉ, A. M. de; RUSHEN, J.; WAGNER, S. Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 5, p. 2007-2013, 2010.
- CHIZZOTTI, M. L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E. E.; PEREIRA, L. G.; CAMPOS, M. M.; TOMICH, T. R.; COELHO, S. G.; RIBAS, M. N. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 5, p. 3438-3442, 2015.
- EDAN, Y.; HAN, S.; KONDO, N. Automation in agriculture. In: NOF, S. Y. (Ed.). **Handbook of automation**. Berlin: Springer Verlag, 2009. p. 1095-1128.
- EDDY, A. L.; HOOGMOED, L. M. van; SNYDER, J. R. The role of thermography in the management of equine lameness. **Veterinary Journal**, v. 162, n. 3, p. 172-181, 2001.
- EDMONDSON, P. Mastitis control in robotic milking systems. **Farm Animal Practice**, v. 34, n. 5, p. 260-268, 2012.
- FLOWER, F. C.; WEARY, D. M. Gait assessment in dairy cattle. **Animal**, v. 3, n. 1, p. 87-95, 2009.
- GALON, N. The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in Israel. **Journal of Reproduction and Development**, v. 56, n. 1, p. S48-S52, 2010.
- HERTEM, T. van; ALCHANATIS, V.; ANTLER, A.; MALTZ, E.; HALACHMI, I.; SCHLAGETER-TELLO, A.; LOKHORST, C.; VIAZZI, S.; ROMANINI, C. E. B.; PLUK, A.; BAHR, C.; BERCKMANS, D. Comparison of segmentation algorithms for cow contour extraction from natural barn background in side view images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 91, n. 1, p. 65-74, 2013.
- HOLMAN, A.; THOMPSON, J.; ROUTLY, J. E.; CAMERON, J.; JONES, D. N.; GROVE-WHITE, D.; SMITH, R. F.; DOBSON, H. Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. **Veterinary Record**, v. 169, n. 2, p. 47, 2011.
- HUXLEY, J. N. Impact of lameness and claw lesions in cows on health and production. **Livestock Science**, v. 156, n. 1-3, p. 64-70, 2013.
- ITO, K.; KEYSERLINGK, M. A. von; LEBLANC, S. J.; WEARY, D. M. Lying behavior as an indicator of lameness in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 8, p. 3553-3560, 2010.
- KAMPHUIS, C.; DELARUE, B.; BURKE, C. R.; JAGO, J. Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 6, p. 3045-3056, 2012.
- KONING, K.; RODENBURG, J. Automatic milking: state of the art in Europe and North America. In: MEIJERING, A.; HOGEVEEN, H.; KONING, C. J. A. M. **Automatic milking, a better understanding**. Wageningen: Wageningen Academic, 2004. p. 27-37.
- LACA, E. A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 123-132, jul. 2009. Número especial.
- LIU, J.; DYER, R. M.; NEERCHAL, N. K.; TASCH, U.; RAJKONDAWAR, P. G. Diversity in the magnitude of hind limb unloading occurs with similar forms of lameness in dairy cows. **Journal of Dairy Research**, v. 78, n. 2, p. 168-177, 2011.
- LIU, J.; NEERCHAL, N. K.; TASCH, U.; DYER, R. M.; RAJKONDAWAR, P. G. Enhancing the prediction accuracy of bovine lameness models through transformations of limb movement variables. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 6, p. 2539-2550, 2009.
- MACHADO, J. G. C. F.; NANTES, J. F. D. Identificação eletrônica de animais por rádiofrequência (RFID): perspectivas de uso na pecuária de corte. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 2, n. 1, p. 29-36, 2004.
- MIEKLEY, B.; TRAUlsen, I.; KRIETER, J. Detection of mastitis and lameness in dairy cows using wavelet analysis. **Livestock Science**, v. 148, n. 3, p. 227-236, 2012.
- NEW BRUNSWICK dairy milking system comparison guide. New Brunswick: Milk 2020, 2014. Disponível em: <<http://www.milk2020.ca/en/dwn/GUIDEENG.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2015.
- PAIVA, C. A. V. **Unidade de sistema de ordenha automático instalado na fazenda Morro dos Ventos**. Carambeí, 2015. 1 fotografia.
- PAIVA, C. A. V.; TOMICH, T. R.; CAMPOS, M. M.; MACHADO, F. S.; PEREIRA, L. G. R. Pecuária de precisão no Brasil. **Revista Leite Integral**, v. 1, n. 1, p. 20-26, 2016.
- PULLANAGARI, R. R.; YULE, I.; KING, W.; DALLEY, D.; DYNES, R. The use of optical sensors to estimate pasture quality. **International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems**, v. 4, n. 1, p. 125-137, 2011.
- RASMUSSEN, M. D.; FRIMER, E. S.; HORVATH, Z.; JENSEN, N. E. Comparison of a standardized and variable milking routine. **Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 12, p. 3472-3480, 1990.

ROELOFS, J. B.; EERDENBURG, F. J. van; SOEDE, N. M.; KEMP, B. Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. **Theriogenology**, v. 64, n. 8, p. 1690-1703, 2005.

RUTTEN, C. J.; VELTHUIS, A. G.; STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 4, p. 1928-1952, 2013.

SAMUELSSON, B.; WAHLBERG, E.; SVENNERSTEN, K. The effect of feeding during milking on milk production and milk flow. *Swedish Journal of Agricultural Research*, v. 23, n. 2, p. 101-106, 1993.

SCHELLBERG, 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, p. 59-71, 2008.

SCHEWE, R. L.; STUART, D. Diversity in agricultural technology adoption: how are automatic milking systems used and to what end? *Agriculture and Human Values*, v. 32, n. 2, p. 199-213, 2015.

SCHLAGETER-TELLO, A.; BOKKERS, E. A. M.; KOERKAMP, P. W. G. G.; HERTEM, T. van; VIAZZI, S.; ROMANINI, C. E. B.; HALACHMI, I.; BAHR, C.; BERCKMANS, D.; LOKHORST, K. Manual and automatic locomotion scoring systems in dairy cows: a review. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 116, n. 1, p. 12-25, 2014.

SCHLEPPE, J.B.; LACHAPPELLE, G.; BOOKER, C. W.; PITTMAN, T. Challenges in the design of a GNSS ear tag for feedlot cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 70, n. 1, p. 84-95, 2010.

SENGER, P. L. The estrus detection problem: new concepts, technologies, and possibilities. *Journal of Dairy Science*, v. 77, n. 9, p. 2745-2753, 1994.

SERRANO, J. M.; PEÇA, J. O.; PALMA, P.; SILVA, J. R.; CARVALHO, M. Calibração e validação de um medidor de capacitância num projecto de agricultura de precisão em pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 32, n. 2, p. 85-96, 2009.

SNIFFEN, C. J.; CHALUPA, W. Targeted feeding to save nutrients. In: WESTERN DAIRY MANAGEMENT CONFERENCE, 12., 2015, Reno. Proceedings... Reno: University of Wisconsin, 2015. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2015/Sniffen.pdf>>. Acesso em: 5 out. 2015.

SPERONI, M.; PIRLO, G.; LOLLI, S. Effect of automatic milking systems on milk yield in a hot environment. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 12, p. 4687-4693, 2006.

STEENEVELD, W.; HOGVEEN, H. Characterization of dutch dairy farms using sensor systems for cow management. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 709-717, 2015.

STEENEVELD, W.; VERNOOIJ, J. C. M.; HOGVEEN, H. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 6, p. 3896-3905, 2015.

SVENNERSTEN, K.; GOREWIT, R. C.; SJAUNJA, L. O.; UVNÄS-MOBERG, K. Feeding during milking enhances milking related oxytocin secretion and milk production in dairy cows whereas food deprivation decreases it. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 153, n. 3, p. 309-310, 1995.

SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. M.; PETTERSSON, G. Pros and cons of automatic milking in Europe. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 13, p. 37-46, 2008.

VIAZZI, S.; BAHR, C.; SCHLAGETER-TELLO, A.; HERTEM, T. van; ROMANINI, C. E.; PLUK, A.; HALACHMI, I.; LOKHORST, C.; BERCKMANS, D. Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 1, p. 257-266, 2013.

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, n. 1, p. 2-10, 2008.

YULE, I. J.; FULKERSON, B.; LAWRENCE, H.; MURRAY, R. Pasture measurement: the first step towards precision dairying. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON PRECISION AGRICULTURE RESEARCH AND APPLICATION IN AUSTRALIA, 10., 2006, Sydney. **Proceedings**... Sydney: ACPA, 2006. p. 6.

ZIMMERMAN, A. **Lameness in dairy cattle**: are activity levels, hoof lesions and lameness correlated? 2001. Thesis (Ph.D.) – Faculty of Land and Food Systems, The University of British Columbia, Vancouver.