

Nutrição de precisão na pecuária leiteira



bigstockphoto.com

Thierry Ribeiro Tomich¹ - CRMV-MG S624, Fernanda Samarini Machado² - CRMV-MG, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira³ - CRMV-MG S930, Mariana Magalhães Campos⁴ - CRMV-MG

¹ Pesquisador, Embrapa Gado de Leite. Email para contato: thierry.tomich@embrapa.br

² Pesquisadora, Embrapa Gado de Leite.

³ Médico Veterinário e doutorado em Ciência Animal (UFMG); Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE

⁴ Doutor Zootecnia UFMG - Embrapa Gado de leite

Introdução

A produção de leite é uma atividade complexa cujo sucesso depende da integração dos componentes do sistema produtivo. Considerando que a nutrição do rebanho está associada ao desempenho animal e é o principal componente do custo variável da produção, a adoção de estratégias cientificamente embasadas pode conduzir ao aumento da eficiência em relação ao uso de insumos e ao incremento da produtividade, contribuindo

Como pré-requisito, a prática da nutrição de precisão exige o conhecimento exato das exigências nutricionais das várias categorias de animais ... e a caracterização detalhada do valor nutritivo dos alimentos disponíveis ... permitindo o apropriado balanceamento de dietas, considerando a viabilidade técnica (desempenho), econômica (custo de alimentação) e ambiental (emissão de agentes com potencial poluidor).

para a obtenção de unidade de produto com mais baixo custo e de melhor qualidade sob o aspecto global.

Como pré-requisito, a prática da nutrição de precisão exige o conhecimento exato das exigências nutricionais das várias categorias de animais presentes no rebanho e a caracterização detalhada do valor nutritivo dos alimentos disponíveis para a alimentação desses animais, permitindo o apropriado balanceamento de dietas, considerando a via-

bilidade técnica (desempenho), econômica (custo de alimentação) e ambiental (emissão de agentes com potencial poluidor).

Outro aspecto relevante para a prática da nutrição com precisão está relacionado à crescente disponibilidade e adoção de equipamentos, sensores, dispositivos e sistemas que permitem a coleta e o processamento de dados individuais dos animais em larga escala, de forma que as estratégias de manejo alimentar das unidades de produção de leite possam ser formuladas e adotadas em função de indivíduos e não somente em função das previsões e respostas assinaladas para os lotes de produção.

Exigências nutricionais

Pesquisas relacionadas às exigências nutricionais são necessárias para definição de normas e padrões de alimentação. E diversos países estabeleceram as exigências nutricionais de seus rebanhos bovinos levando em consideração as suas realidades: França em 1978 (L'Institut National de la Recherche Agronomique – INRA, 1978), Inglaterra em 1965 (Agricultural Research Council – ARC, 1965), Reino Unido em 1980 (Agricultural Research Council – ARC, 1980) e 1993 (Agricultural Food and Research Council – AFRC, 1993), e Austrália em 2007 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization – CSIRO, 2007). O sistema do National Research Council (NRC) dos Estados Unidos da América já passou por várias revisões e atualizações, sendo a última em 2001 para gado de leite, quando novos avanços obtidos em estudos sobre exigências nutricionais dos animais foram incorporados.

A determinação das exigências nutricionais de bovinos no Brasil tem sido alvo da pesquisa desde os anos 1980. No entanto, a

primeira versão da tabela de exigências nutricionais para bovinos de corte foi publicada em 2006 (Valadares Filho *et al.*, 2006b), intitulada Exigências Nutricionais de Zebuínos e Tabelas de Composição de Alimentos – BR-CORTE. Uma segunda edição foi publicada em 2010 (Valadares Filho *et al.*, 2010a), o que representou um avanço importante da pesquisa para a produção de bovinos de corte no país.

Pesquisas de avaliação de sistemas nutricionais (Lanna *et al.*, 1994; Backes, 2003) têm mostrado incompatibilidade quando gerados em condições temperadas e aplicados em condições tropicais. Trabalhos nacionais (Gonçalves, 1988; Borges, 2000; Silva, 2011), envolvendo a quantificação das exigências nutricionais de bovinos leiteiros, são escassos.

Visando estabelecer normas e padrões locais de alimentação para bovinos de leite, em meados dos anos 2000, a equipe liderada pelo professor Norberto Rodríguez instalou o primeiro laboratório de calorimetria animal da América Latina no Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Belo Horizonte, Minas Gerais. Também para dar suporte às pesquisas na mesma linha, desde o ano de 2012 entraram em funcionamento as câmaras respirométricas do laboratório de bioenergética no Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária, na Embrapa em Coronel Pacheco, Minas Gerais. Nesses laboratórios estão sendo gerados dados nacionais sobre exigência nutricional das diferentes categorias de bovinos de leite das várias composições genéticas presentes no país.

A opção atual ainda é a formulação de dietas para bovinos leiteiros com base nas exigências nutricionais estabelecidas em outros países. Dessa forma, o técnico nutricionista

e o produtor devem estar conscientes de que as diferenças dos sistemas de alimentação gerados em condições temperadas podem comprometer a precisão da nutrição quando esses sistemas são utilizados para embasar formulações de dietas para animais mantidos em condições tropicais.

Valor nutritivo dos alimentos

Os parâmetros de valor nutritivo dos alimentos utilizados para balanceamento de dietas são definidos com base em análises de composição química e por modelos matemáticos gerados em estudos de metabolismo. Segundo Sniffen e Chalupa (2015), a composição de nutrientes nas dietas pode mudar em função de alterações na composição de nutrientes dos ingredientes ou por mudanças na formulação (ingredientes e proporções). A composição do ingrediente pode mudar inconscientemente (como uma partida de silagem fornecida contendo contaminação com plantas daninhas), mas há situações em que se pode esperar que ocorram mudanças de composição em determinados ingredientes (como uma nova partida de feno). Desse modo, a composição de nutrientes nos alimentos não é constante e, com foco na precisão, amostras devem ser colhidas e analisadas repetidamente.

Embora o surgimento de novos equipamentos analíticos e prestadores de serviços tenha conferido agilidade na condução das análises dos alimentos, para a grande maioria das fazendas, não é prática usual. Em regra, o uso de valores tabelados de composição/valor nutritivo de alimentos é a opção prática e a estratégia largamente empregada para a composição de dietas balanceadas. Nesse caso, destaca-se que a composição química dos

alimentos produzidos em uma determinada região é influenciada por fatores inerentes ao cultivo, variedades, clima (temperatura e umidade), condições de solo, adubação, processamento e armazenamento.

No Brasil, trabalhos orientados pelo professor Sebastião de Campos Valadares Filho, do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, possibilitaram a compilação de dados sobre a composição química de alimentos para bovinos obtidos no país e a publicação das Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos – CQBAL (Valadares Filho *et al.*; 2002, 2006a e 2010b). Com o objetivo de disponibilizar na internet o conteúdo cadastrado, foi desenvolvido o *software* CQBAL 3.0 <<http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal/index.php>>, que atualmente apresenta valores tabelados para 2.090 derivados de alimentos e 298 nutrientes obtidos de 2.610 referências nacionais. Com esse *software*, o usuário pode gerar relatórios de composição de nutrientes e valor energético, selecionando o alimento, o derivado, entre outras opções, para receber um relatório personalizado mais acurado, gerado a partir das informações cadastradas (Valadares Filho *et al.*, 2015).

Ainda, as diferenças marcantes entre regiões do país, especialmente as climáticas e aquelas associadas aos sistemas de produção típicos de cada local, têm motivado a organização de tabelas regionais. Essas tabelas apresentam a composição de alimentos endêmicos da região e de alimentos encontrados em todo o país, mas cujos processos de produção e armazenagem ou uso e análise ocorreram naquela região focalizada. Como exemplos, existem as Tabelas Nordestinas de Composição de Alimentos para Bovinos Leiteiros (Neves *et al.*, 2014) e a possibilidade de “busca avançada” no CQBAL 3.0, onde está disponível a composição dos alimentos por região ou estado.

O valor nutritivo dos alimentos depende das transformações mecânicas e químicas que ocorrem no trato digestivo e, assim, há necessidade de considerar características do animal que o consome, como a dinâmica digestiva, incluindo o consumo e sua repercussão na taxa de passagem, e aquelas próprias do alimento, incluindo o tipo de processamento, para definição da fração do nutriente realmente disponível para utilização pelo animal. Com essa perspectiva, no NRC (2001) foi apresentada a correção do valor de nutrientes digestíveis totais (NDT) baseada no nível de consumo e no tipo de processamento sofrido pelo alimento. Contudo, estudos conduzidos no Brasil (Rocha Júnior *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2005; Pina *et al.*, 2006) apontaram a perda de eficiência dos modelos descritos no NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos em condições tropicais.

Diversos estudos foram conduzidos para desenvolvimento e validação de submodelos para predição das frações digestíveis dos componentes nutritivos de alimentos obtidos em condições tropicais (Detmann *et al.*, 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2008). O uso de submodelos gerados no país de forma associada mostrou-se mais preciso para predição do teor de NDT dos alimentos e dietas em relação à aplicação do que foi descrito no NRC (2001) (Detmann *et al.*, 2008; Azevêdo *et al.*, 2011; Magalhães *et al.*, 2010). Dessa forma, a precisão na nutrição de gado leiteiro no Brasil exige o uso criterioso das informações sobre o valor nutritivo dos alimentos utilizados para alimentação dos animais, incorporando o

conhecimento, a experiência e a capacidade crítica dos técnicos nutricionistas para minimizar as distorções entre o valor nutritivo da dieta formulada daquela que é consumida pelos animais.

Aplicação da nutrição de precisão

Existem dois sistemas de alimentação predominantes em fazendas leiteiras: no primeiro os animais têm acesso ilimitado aos volumosos, e as suplementações de concentrado, mineral e vitaminas ocorrem de forma individual; no segundo os animais são alimentados com uma única mistura contendo todos

os alimentos fornecidos (mistura ou dieta total). No primeiro sistema, a suplementação é baseada nas exigências nutricionais de cada animal e, no segundo, as vacas são agrupadas em lotes determinados com base nessas exigências, que são definidas na prática em função da ordem de parição, da produção de leite, período da lactação e do escore de condição corporal.

As suplementações individuais específicas no primeiro sistema e a formação de lotes recebendo dietas customizadas no segundo visam sempre aproximar a composição da dieta ao perfil de nutrientes requeridos pelos animais. Em qualquer sistema de alimentação, a coleta detalhada de dados sobre animais e alimentos e a transformação desses dados em informações que possam nortear estratégias de manejo alimentar com ajuste fino é a base para a prática da nutrição de precisão.

O valor nutritivo dos alimentos depende das transformações mecânicas e químicas que ocorrem no trato digestivo ... as características do animal que o consome ... a dinâmica digestiva, incluindo o consumo e sua repercussão na taxa de passagem, e aquelas próprias do alimento, incluindo o tipo de processamento, para definição da fração do nutriente...

A variabilidade no teor de nutrientes da ração afeta o desempenho dos animais. Os atuais modelos de exigência de *software* de cálculo de dietas não consideram os fatores associados ao manejo dos alimentos na formulação e predizem as exigências para a média das vacas, sem considerar a variabilidade existente nos lotes de alimentação. Além disso, os valores de nutrientes dos alimentos contidos nas bibliotecas usadas nesses programas também afetam o teor de nutrientes das rações, uma vez que os valores tabelados podem não ser representativos da composição do alimento utilizado (Rossow e Aly, 2013). Assim, considerando que os nutrientes da formulação **não** são exatamente os mesmos da dieta consumida e que os modelos de exigências não são totalmente precisos, há pontos no fluxo do processo de alimentação dos animais que podem ser associados às falhas de precisão na nutrição (Fig. 1).

Tendo consciência das possíveis diferenças existentes entre a dieta formulada para

dieta misturada, para a dieta fornecida e para a consumida pelos animais, o primeiro passo para melhorar a precisão da nutrição é aproximar ao máximo o valor nutritivo utilizado na formulação ao valor nutritivo real do alimento que comporá a dieta fornecida. Nesse caso, sempre que viável, é recomendado substituir o uso de dados tabelados por dados gerados em análises de amostras dos alimentos realmente utilizados. No Brasil, há vários laboratórios públicos (vinculados a universidades e instituições de pesquisa) e privados que conduzem essas análises como prestação de serviço. Um fator que geralmente dificulta essa prática é a frequente morosidade para condução das análises com consequente atraso para acesso aos resultados em relação ao prazo requerido para o uso do insumo.

Atualmente, **há laboratórios** no país que têm garantido prazos específicos para entrega de resultados sobre o valor nutritivo de alimentos em função da complexidade para execução da análise solicitada. Por exemplo,

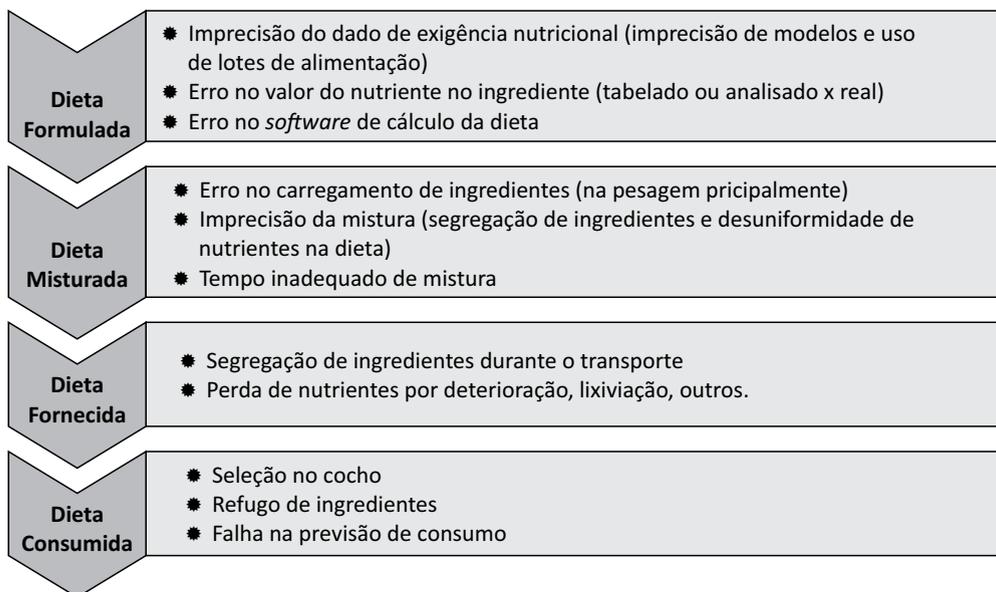


Figura 1. Fluxo do processo de alimentação e exemplos que podem determinar falha na precisão para atendimento das exigências nutricionais.

análises feitas empregando métodos químicos ou biológicos (via úmida) para a determinação da composição de alimentos ou dietas e estimativas de valor energético podem exigir prazos para liberação de resultados superiores a 10 dias. Já a utilização da técnica de Espectroscopia de Infravermelho Próximo (Near Infrared Reflectance Spectroscopy – NIRS), para determinação dos mesmos parâmetros, pode requerer prazos para execução

tão curtos quanto o de um dia útil após o recebimento da amostra pelo laboratório. Independentemente, a noção desse prazo possibilita o planejamento da alimentação na propriedade considerando o emprego da condução de análises nos alimentos para basear a formulação das dietas.

Estudos conduzidos em décadas passadas (Norris *et al.*, 1976; Marten *et al.*, 1983; Corson *et al.*, 1999) já constataram a aptidão da técnica NIRS para descrever acuradamente a composição e o valor energético de alimentos para ruminantes. Segundo Stuth *et al.* (2003), o aumento da capacidade de processamento e a disseminação do uso de computadores pessoais associado ao desenvolvimento de procedimentos estatísticos multivariados no campo da quimiometria resultaram no aumento da utilização da técnica NIRS para determinação de valor nutritivo.

As vantagens do uso da técnica NIRS frente às análises que empregam procedimentos químicos e biológicos incluem não requerer reagentes nem gerar resíduos com potencial poluente, não destruir a amostra e possibilitar várias análises numa mesma amostra, gerar

As vantagens do uso da técnica NIRS frente às análises que empregam procedimentos químicos e biológicos incluem não requerer reagentes nem gerar resíduos com potencial poluente, não destruir a amostra e possibilitar várias análises numa mesma amostra, gerar múltiplos dados analíticos em procedimento único, demandar menos trabalho e tempo para processamento da amostra e para execução da análise.

múltiplos dados analíticos em procedimento único, demandar menos trabalho e tempo para processamento da amostra e para execução da análise. Dessa forma, permite amostragem em larga escala e agilidade para geração de resultados. Essas duas características levaram ao recente desenvolvimento de sistemas portáteis para avaliação de valor nutritivo de alimentos para gado leiteiro em tempo real, ou próximo ao momento de utilização

do alimento ou dieta. Análises em tempo real são particularmente importantes para forragens verdes e silagens, devido à interferência do estágio de desenvolvimento das plantas e do tempo de estocagem sobre o valor nutritivo desses volumosos, respectivamente.

Os sistemas que empregam analisador NIRS portáteis na propriedade podem requerer a amostragem dos alimentos como atividade exclusiva ou processar a análise dos alimentos de forma automatizada em pontos específicos da linha de produção da ração. Nesse caso, o analisador NIRS pode ser instalado diretamente na pá carregadeira, na esteira de transporte, no vagão misturador, etc. (Fig. 2), escaneando os alimentos **à medida que são** manejados para confecção da ração, gerando automaticamente os dados sobre os teores de MS e de nutrientes. O ganho na precisão da nutrição ocorre por possibilitar recalcular o peso dos ingredientes que serão inseridos na ração sempre que houver discrepância entre o dado utilizado para a formulação daquele encontrado na análise feita em tempo real, aproximando, dessa forma, a composição formulada daquela ofertada no cocho.

Arranjos e métodos que incorporam a análise do alimento na propriedade em tempo real têm sido propostos como estratégia de manejo de animais e de alimentos para aumentar a precisão da nutrição, reduzir custos, aumentar a produção e a qualidade do leite e favorecer a automação dos processos envolvidos com a alimentação dos animais (Fig. 3).

Quanto à formulação de dietas para o atendimento mais acurado das exigências nutricionais, trabalho conduzido por White e Capper (2014), modelando o aumento da frequência de formulação (trimestral, mensal ou semanal) em diferentes condições climáticas, mostrou que a reformulação foi capaz de influenciar positivamente o consumo de energia e de nutrientes, o consumo de matéria seca (CMS), o balanço de energia metabolizável e a produção de leite. Esses autores consideraram que a reformulação mais frequente possibilitou aumento no CMS em períodos de balanço energético negativo; verificaram que o balanceamento semanal das dietas possibilitou aumento na produção individual de leite de 0,59kg/d em relação à estratégia de balanceamento trimestral (Tab. 1); como esse aumento foi consistentemente mantido nas várias condições climáticas ava-

liadas, a precisão na alimentação conferida pela maior frequência no balanceamento das dietas pode representar uma estratégia adequada para manutenção da produção de leite em distintas situações de clima.

Para a etapa de mistura da dieta, falhas em equipamentos de pesagem para medir acuradamente a quantidade do ingrediente representa um problema adicional que pode afastar a composição de nutrientes da formulação daquela apresentada na dieta fornecida aos animais. Aferição e calibração periódica dos equipamentos de pesagem são recomendadas e devem ser efetuadas de acordo com a periodicidade estabelecida pelo fabricante. Ainda nessa etapa, cuidados adicionais com misturadores devem ser observados. Misturadores com sistema de rocas horizontais, de rotor ou por tombamento são comuns no Brasil e cada um apresenta características, capacidades operacionais e necessidades singulares de regulagem e manutenção para se produzir uma ração com mistura homogênea.

Cada ingrediente apresenta características próprias capazes de interferir na homogeneidade da ração (tamanho de partícula, densidade e capacidade para reter umidade). Assim, entre as orientações para obter dietas com mistura uniforme inclui a ordenação de



Figura 2. Analisador NIRS acoplado a equipamentos de manejo de alimentos.

Fonte: Dinamica Generale S.p.A. <http://www.dinamicagenerale.com/dg_precision_feeding>.

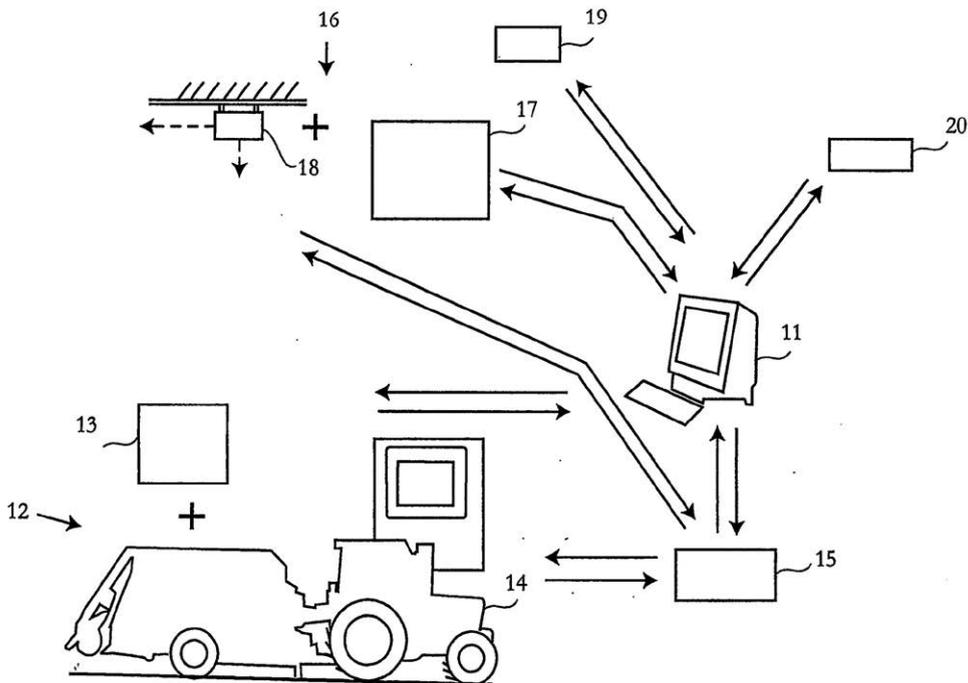


Figura 3. Proposta de arranjos e métodos para manejo da alimentação de animais considerando a análise dos alimentos em tempo real na propriedade. O primeiro arranjo (12) representa um sistema de distribuição convencional de dietas, constituído por (11) dispositivo computadorizado para manejo e controle de vacas, capaz de monitorar dados de ordenha, alimentação, inspeção e amostragem do leite e tráfego de vacas na propriedade; (13) equipamento para análise de alimentos na propriedade (preferencialmente NIRS); (14) veículo para distribuição de dietas e (15) módulo de manejo de alimentos (calcula a quantidade de dieta que deve ser fornecida antes de cada alimentação, baseando-se no monitoramento atualizado dos dados de produção de leite e de consumo da ração de cada vaca, considerando os dados das análises dos alimentos obtidos antes da mistura). O segundo arranjo (16) representa um sistema de fornecimento automático de dietas, constituído por (17) equipamento de análise de alimentos na propriedade (NIRS); (18) equipamento automatizado para distribuição de dietas; (15) módulo de manejo de alimentos; (11) dispositivo computadorizado para manejo e controle de vacas; (19) balança ou equipamento óptico (com capacidade de processamento de imagem) para gerar dados individuais de sobras (ou consumo) e (20) representa aparatos capazes de fazer análises do leite (composição), da condição das vacas (sensores de movimento, balança para os animais, etc.) e/ou análises de dejetos (indicação de funcionamento do rúmen e digestibilidade da dieta).

Fonte: Mazeris (2007) <<http://www.uspto.gov/web/patents/patog/week30/OG/html/1416-4/US09091644-20150728.html>>.

carregamento do misturador, sendo indicado inserir primeiro os ingredientes com maior tamanho de partícula, como as forragens, seguidos por aqueles com menor tamanho de partícula. O uso de forragem úmida ou de

subprodutos úmidos e de ingredientes líquidos podem favorecer uma mistura uniforme e dificultar a segregação de ingredientes durante o transporte ou pela seleção no cocho. Recomenda-se ainda que ingredientes incluí-

Tabela 1. Energia metabolizável (EM) e proteína metabolizável (PM) na dieta, consumo de matéria seca (CMS), produção de leite e balanço de energia metabolizável em diferentes frequências de balanceamento de dietas para vacas em lactação

Frequência de balanceamento	EM (Mcal/d)	PM (g/d)	CMS (kg/d)	Produção de leite (kg/d)	Balanço EM (Mcal/d)
Trimestral	56,7	2,459	20,63	35,93	- 0,24
Mensal	56,8	2,461	20,70	35,91	- 0,19
Semanal	56,6	2,454	20,73	36,52	- 0,07

Fonte: White e Capper (2014).

dos em quantidades pequenas em relação ao total da ração, como os núcleos minerais e aditivos, sejam primeiramente misturados com outro ingrediente isoladamente antes de serem inseridos na mistura total, de forma a permitir a distribuição uniforme em toda a ração. O tempo ótimo de mistura também deve ser considerado para que a apresentação da ração tenha mínima variação em ingredientes e nutrientes, dificultando a possibilidade de seleção em rações que não apresentam composição homogênea devido ao reduzido tempo de mistura, ou pela mistura excessiva capaz de produzir a segregação de partículas pelas diferenças em densidade.

O aumento na frequência de fornecimento dos alimentos para vacas leiteiras geralmente aumenta a produção de leite e minimiza a ocorrência de problemas de saúde, principalmente devido à manutenção de condições mais estáveis no rúmen. Assim, fracionar o fornecimento da ração e aumentar o número de tratos diários pode favorecer a digestibilidade da dieta, o consumo e a precisão no atendimento das exigências nutricionais das vacas. Além disso, manter alimentos recém-misturados no cocho pode reduzir as

perdas de nutrientes por espoliação, deterioração ou lixiviação – ocorrências que são comumente dependentes das condições climáticas associadas à variável temporal.

Conforme relatado no NRC (2001), vacas produzindo de 23-44kg de leite/d e recebendo ração na forma de mistura total à vontade acessam o cocho 11 vezes ao dia e se alimentam durante cinco horas diárias. De acordo com Borges *et al.* (2009), variações na rotina de frequência do fornecimento e na quantidade diária de alimentos fornecidos podem alterar o consumo devido às flutuações do pH ruminal, dos níveis sanguíneos de ácidos graxos não esterificados e dos níveis hormonais, sendo indicado o fornecimento de alimentos à vontade.

Conforme Hutjens (2011), considera-se adequado entre 5% e 10% de sobras do alimento fornecido para o gado leiteiro, mas deve-se progredir para sobras

entre 2% e 5%, condição atualmente verificada em sistemas bem manejados.

Com foco na nutrição de precisão, aferições quantitativa e qualitativa de consumo devem ser permanentes. Nesse caso, a leitura de cocho fornece uma informação

O aumento na frequência de fornecimento dos alimentos para vacas leiteiras geralmente aumenta a produção de leite e minimiza a ocorrência de problemas de saúde, principalmente devido à manutenção de condições mais estáveis no rúmen.

que é rotineiramente empregada nas fazendas para avaliar o consumo e definir estratégias de manejo alimentar. A quantificação e qualificação das sobras associadas aos dados de fornecimento de alimentos e nutrientes permitem ganhos de precisão na informação sobre a estimativa do consumo de nutrientes, mas a acurácia dessa informação é comprometida quando são considerados os dados de lotes de alimentação e não os de animais individualmente.

Adicionalmente, como regra, o manejo alimentar nas fazendas leiteiras é definido em função de lotes de produção, e o balanceamento das rações é geralmente delineado para atender os animais mais exigentes do lote, visando reduzir perdas produtivas. Mesmo trabalhando com lotes homogêneos em termos de exigências nutricionais, os animais mais exigentes representam cerca de 20%-30% do total e sempre haverá situações de sobre alimentação ou subalimentação para a maioria dos animais do lote.

Como alternativa ao excessivo uso de mão de obra para gerar dados individualizados, sistemas automatizados para monitoramento de ingestão de alimentos e de comportamento de consumo têm sido desenvolvidos e validados para gado bovino (DeVries *et al.*, 2003; Chapinal *et al.*, 2007; Chizzotti *et al.*, 2015). Esses sistemas apresentam variações entre si, mas contam com cochos de alimentação associados a medidores de massa, mecanismos que permitem o registro individual de acesso e/ou a restrição de acesso aos cochos e dispositivos e *software* para coleta, processamento e apresentação dos dados. Possibilitam a geração de dados sobre horário de tratos e quantidade fornecida de alimento, taxa de ocupação dos cochos ao longo do dia, dados individualizados de consumo diário de alimento, consumo em cada visita ao cocho, taxa de consumo (Fig. 4), tempo de permanência

no cocho com e sem consumo e possibilitam o monitoramento das sobras.

Estudos de validação feitos por DeVries *et al.* (2003) e Chizzotti *et al.* (2015) mostraram a acurácia desses sistemas para quantificar o consumo individual diário, com possibilidade de uso dessa informação para aproximar o perfil de nutrientes utilizados na formulação das dietas daquele que realmente é consumido pelos animais, aumentando a precisão da alimentação para atendimento das exigências nutricionais. Outra possibilidade potencial de uso de dados gerados por esses sistemas está em estabelecer de forma exata as melhores frequências e períodos indicados para realização dos tratos. A transformação dos dados gerados por esses sistemas em informações que repercutam em aumento na precisão da nutrição ainda é um desafio para pesquisa em nutrição de gado leiteiro.

Para Sniffen e Chalupa (2015), uma das estratégias para aumentar a eficiência com a alimentação e poupar nutrientes utilizados para a produção de leite é aumentar o número dos lotes de alimentação para uniformizá-los e favorecer a gestão dos nutrientes. Essa alternativa adiciona desafios relativos ao aumento de custos com trabalho para alimentação, à crescente necessidade de adaptação dos animais aos lotes e às alterações nas dietas. Esses autores também consideraram que o uso de sistemas robóticos de alimentação pode proporcionar o refinamento das rações para atender de forma mais precisa às exigências nutricionais.

Os sistemas robóticos ou automatizados de alimentação mais completos possibilitam o controle digital 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/vitamínicos, fazendo o trans-

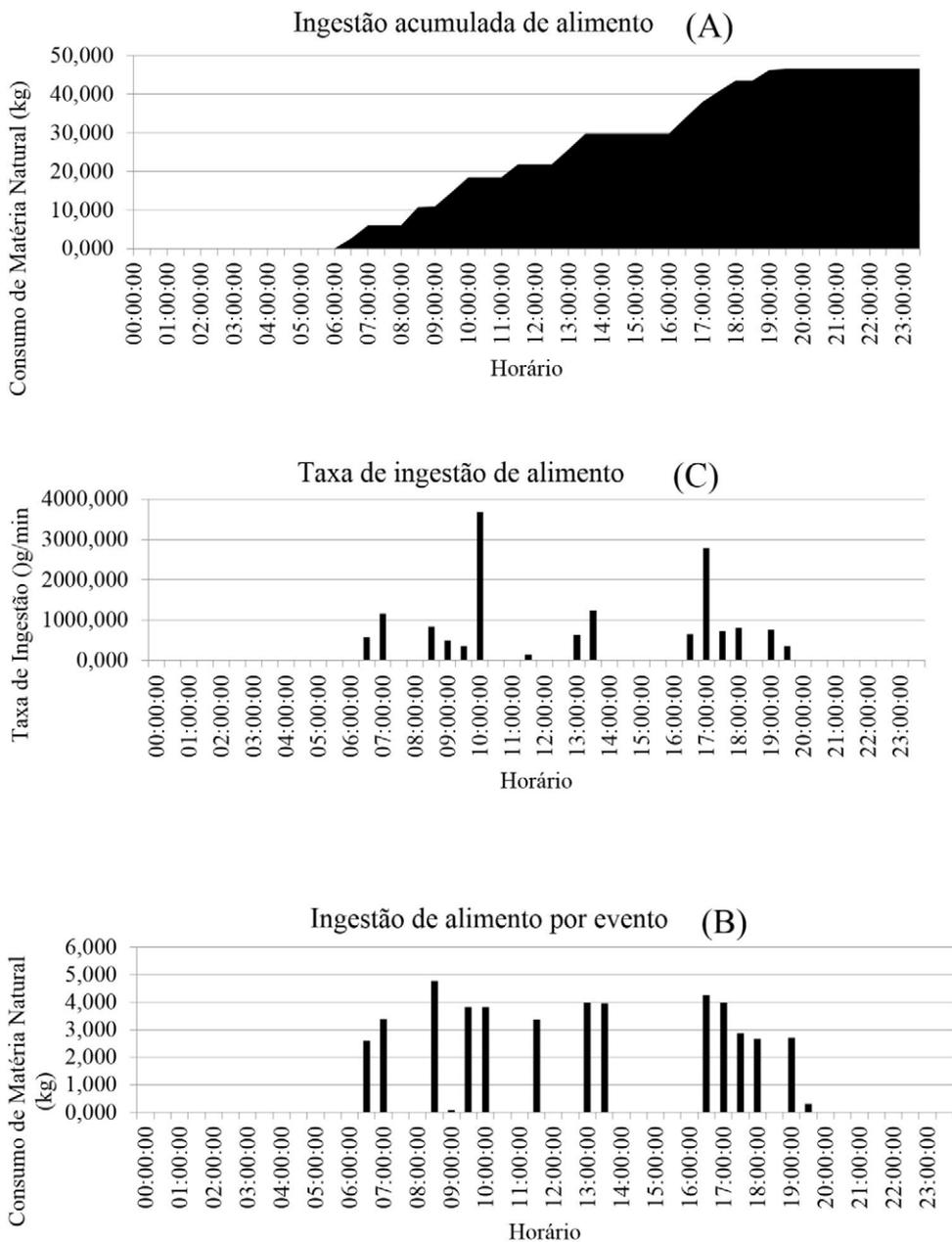


Figura 4. Dados diários individuais de (A) ingestão acumulada de alimento, (B) ingestão de alimento por evento e (C) taxa de ingestão gerados por sistema automatizado de monitoramento de ingestão de alimentos e de comportamento de consumo por gado bovino.

Fonte: Sistema INTERGADO <www.intergado.com.br>

porte, a pesagem e a mistura de ingredientes e o transporte e a distribuição da ração como processos mecanizados (Fig. 5).

Desenvolvidos para funcionar durante 24 horas, trabalhar com inúmeros ingredientes e processar diariamente diferentes tipos de ração, esses sistemas possibilitam a programação de horários para mistura e fornecimento, reduzindo o tempo de ocupação da mão de obra para alimentação do rebanho, colaborando para a precisão da nutrição por favorecer a ampliação do número de lotes de alimentação (lotes mais homogêneos alimentados com dietas customizadas) e/ou de tratos diários (otimizar consumo, reduzir perdas no cocho e favorecer o aproveitamento de nutrientes).

A associação de sistemas automatizados para monitoramento de ingestão de alimentos com os sistemas robóticos de alimenta-

ção favorece a formação de lotes de manejo com padronização otimizada dos animais e, até mesmo, a individualização da coleta dos dados e a formulação das estratégias para manejo nutricional por indivíduo. Pesquisas associando esses sistemas estão sendo iniciadas no Complexo Multiusuário de Bioeficiência e Sustentabilidade da Pecuária instalado na Embrapa Gado de Leite em Coronel Pacheco, Minas Gerais, o que possibilitará avaliar os impactos sobre a precisão da nutrição em condições nacionais.

A individualização da coleta de dados relacionados à nutrição com a respectiva possibilidade de formulação de estratégias mais precisas para alimentação dos animais também tem sido favorecida pela crescente disponibilidade de sensores, dispositivos e sistemas para as fazendas leiteiras.

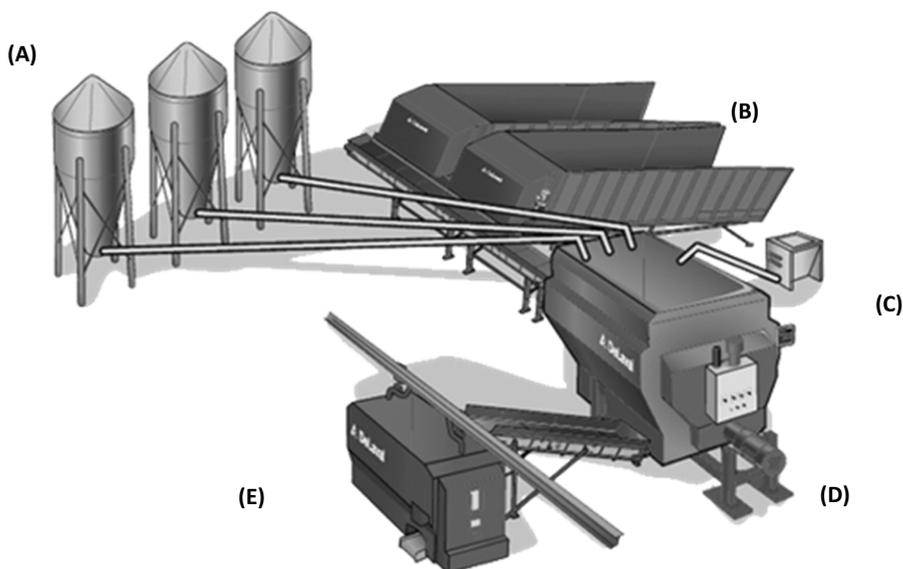


Figura 5. Sistema automatizado de alimentação de gado leiteiro, composto por (A) silos para concentrados, (B) compartimentos para deposição de forragens, (C) recipiente para armazenagem de aditivos, minerais ou núcleos vitamínicos, (D) misturador e (E) vagão para distribuição de ração. Fonte: DeLaval Corporate <<http://www.delaval.com.br/-/Produtos--Solucoes/Nutricao/Solucoes/>>

[Sistemas-de-Alimentacao-DeLaval/Optimat--Sistema-de-Alimentacao-Automatica/>](#)

Estudo conduzido por Borchers e Bewley (2015) para identificar o uso e a percepção de tecnologias de precisão para produção de leite apontou que as tecnologias que monitoram a produção de leite, o desempenho reprodutivo e a saúde do úbere apresentaram mais ampla adoção. Tecnologias capazes de monitorar e gerar dados que podem ser utilizados para definição de estratégias mais precisas para alimentação do rebanho, como a produção diária de leite, componentes do leite (gordura, proteína, etc.), comportamento alimentar, temperatura corporal, peso corporal, ruminação, escore de condição corporal, emissão de metano e pH do rúmen, apresentaram adoções de 52,3%, 24,8%, 12,8%, 12,8%, 11,0%, 10,1%, 2,8%, 1,8% e 0,9%, respectivamente.

Sensores, dispositivos e sistemas que geram dados de produção e composição de leite, peso e escore de condição corporal podem ser utilizados para embasar informação individual sobre a exigência por nutrientes, nortear estratégia para a designação dos animais com exigências similares para lotes de alimentação específicos e para a customização das dietas com ajuste fino. Com foco na nutrição, os sensores de ruminação e de pH do rúmen geram dados indicativos do funcionamento dos processos digestivos associados à dieta consumida e, juntamente com os dados gerados por sensores de comportamento alimentar, possibilitam avaliações e ajustes da formulação e da estratégia de fornecimento da dieta na busca do exato atendimento das exigências nutricionais de lotes ou animais. Exemplo de uso integrado desse tipo de tecnologia de precisão em sistemas de alimentação para gado leiteiro pode ser verificado no enunciado da Figura 3, apresentada anteriormente, que descreve uma proposta de arranjos e métodos para alimentação dos animais.

Impactos potenciais da nutrição de precisão

A ênfase das estratégias usadas para formulação de dietas tem sido conferida à maximização da produção animal e do retorno econômico, e não à minimização da excreção de nutrientes ou emissão de gases poluidores. Assim, o uso das informações sobre exigências nutricionais e valor nutritivo dos alimentos para formulação de dietas tem rotineiramente privilegiado a dimensão econômica, consistindo-se, geralmente, em uma estratégia eficaz para amparar a viabilidade econômica dos sistemas de produção.

Embora a viabilidade econômica de longo prazo seja um dos pilares para a sustentabilidade dos sistemas de produção, a incorporação da dimensão ambiental para o balanço global da sustentabilidade é condição essencial, sendo crescente a pressão sobre produtores de leite e técnicos nutricionistas para fornecer soluções práticas que resultem em redução no desperdício de nutrientes com potencial poluidor, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), e emissão de gases de efeito estufa (GEE), sobretudo o metano (CH₄).

Conforme Branco e Osmani (2010), o balanço de massa de nutrientes tem sido adotado com frequência cada vez maior em sistemas de produção animal e agrícola. É uma estimativa que usa os registros e dados da propriedade, contabilizando os nutrientes importados ao sistema por meio da fixação de N (estimada), de fertilizantes, de alimentos e animais, e os exportados do sistema, como venda de produtos (leite, carne), animais, grãos e dejetos. A diferença entre a importação e a exportação representa o balanço de massa. De posse dessas informações, produtores e técnicos podem adotar medidas que visem reduzir as emissões e fontes de contaminação ambiental. Estudo conduzido por

Cela *et al.* (2014), abordando o balanço de N e P em fazendas leiteiras no estado americano de Nova York, apontou que o saldo positivo no balanço anual de N pode chegar até 259kg/ha e o de P até 51kg/ha, sendo que esses autores consideraram que a principal contribuição para esse balanço positivo deriva da importação de nutrientes para a propriedade, especialmente pela compra de alimentos. Os mesmos autores também apontaram a implementação da precisão na alimentação como uma das estratégias viáveis para reduzir esse balanço.

Resultados de experimento clássico com vacas leiteiras, conduzido por Colmenero e Broderick (2006), indicaram que dietas com 16,5% de proteína bruta (PB) são capazes de suportar máximas produções de leite com mínima excreção de N para o meio ambiente em comparação às dietas com mais altas concentrações proteicas. Verificou-se nesse estudo que aumentos de 13,5% para até 19,4% de PB na dieta resultaram em aumentos lineares no

consumo de PB, no teor de nitrogênio ureico no leite (NUL) e nas excreções de N para o meio ambiente, sem que a elevação no teor proteico da dieta tenha resultado em variações significativas no ganho de peso dos animais, na produção de leite ou nos teores de gordura, proteína verdadeira e lactose do leite (Tab. 2).

De acordo com Sniffen e Chalupa (2015), o consumo excessivo de proteína, N urinário e NUL são altamente correlacionados e, embora não se faça monitoramento periódico do N excretado na urina ou no esterco, o NUL tem sido rotineiramente monitorado. O excesso de N nas dietas tem sido frequente, tendo sido observado por anos o padrão para alimentação de vacas de alta produção com dietas contendo 17%-18% de PB. Nesse caso, buscava-se NUL entre 14 e 18mg/dL. Porém, sabe-se que grupos de vacas de alta produção podem ser eficientemente alimentados com dieta

Tabela 2. Efeito do teor de proteína bruta na dieta sobre o consumo proteico, excreção de N para o meio ambiente, peso corporal, produção e composição do leite

Item	Proteína bruta na dieta (% da MS)				
	13,5	15,0	16,5	17,9	19,4
Consumo de proteína bruta kg/d	3,02	3,32	3,78	4,00	4,44
Excreção urinária de N g/d	113	140	180	213	257
Excreção fecal de N g/d	196	176	196	197	210
Alteração de peso vivo kg/d	0,49	0,46	0,70	0,55	0,64
Produção de leite kg/d	36,3	37,2	38,3	36,6	37,0
Composição de leite %					
Gordura %	3,14	3,27	3,27	3,47	3,44
Proteína verdadeira %	3,09	3,15	3,09	3,18	3,16
N ureico mg/dL	7,7	8,5	11,2	13,0	15,6
Lactose %	4,91	4,89	4,94	4,91	4,92

Fonte: Colmenero e Broderick (2006).

contendo de 14%-15% de PB, buscando conseguir valores de NUL próximos a 10mg/dL.

Além do teor proteico, a composição da dieta pode afetar a amplitude da excreção de N para o meio ambiente. Nesse caso, devem ser consideradas as necessidades de sincronização das taxas de liberação de energia e de N no rúmen e de quantidades não limitantes de aminoácidos essenciais na fração de proteína metabolizável da dieta. Revisão feita por Oldham *et al.* (1984) sobre a inter-relação entre proteína e energia da dieta de vacas leiteiras apontou que a forma de energia afeta a utilização da proteína e do amido, possibilitando, muitas vezes, reduzir o uso de proteína na dieta. Diversos estudos (Herrera-Saldana *et al.*, 1990; Klover *et al.*, 1998; Casper *et al.*, 1999) mostraram que a sincronização no suprimento de N e de energia em substratos para síntese proteica microbiana no rúmen pode maximizar a utilização do N disponível no rúmen, a eficiência da síntese proteica microbiana e o fluxo de proteína microbiana para o duodeno, resultando em efeito poupador para a proteína dietética, possibilitando a redução na excreção de N.

Embora se saiba que as deficiências em lisina e metionina na proteína metabolizável possam promover redução na síntese de proteína do leite, não há consenso quanto à resposta produtiva quando esses aminoácidos são fornecidos como proteína protegida ou diretamente no abomaso (Robinson *et al.*, 1995; Robinson *et al.*, 2000; Robinson, 2010). Fatores relacionados à dieta e à partição de nutrientes e à sua destinação para a glândula mamária (produção de leite, estágio da lactação e balanço energético) interferem e dificultam prever a resposta produtiva em função dessa suplementação. Contudo, para que o catabolismo dos aminoácidos não essenciais em excesso na dieta e a consequente excreção de N para o ambiente sejam mini-

mizados, os aminoácidos essenciais devem estar presentes em quantidades suficientes para não limitar a síntese proteica pelo ruminante. Dessa forma, alimentar para atender às exigências específicas em aminoácidos representa um desafio para a pesquisa que colabora para reduções de PB na dieta e de excreção de N para o ambiente.

É largamente reconhecida a importância do consumo de quantidades adequadas de P para a manutenção dos processos fisiológicos e de produção em bovinos. Mas, conforme Knowlton (2011), o gado utiliza o P de forma ineficiente, excretando de 60%-80% do total consumido, fazendo com que a maior parte do P utilizado na fazenda fique na fazenda, em vez de ser exportado na carne ou no leite, e, de acordo com Morse *et al.* (1992), o P tem sido frequentemente fornecido em excesso às exigências das vacas de leite, sem, contudo, saber se essa estratégia traz benefícios ou prejuízos para a saúde ou produção. Esses autores observaram aumento linear na excreção com o aumento no consumo de P (0,30%, 0,41% ou 0,56% da MS na dieta) e verificaram que as fezes são a principal rota para excreção desse mineral. Observaram ainda que vacas com consumo restrito a 20kg de MS/d, consumindo 0,30% de P na MS da dieta, apresentaram excreção de P 22,7% inferior ao de vacas alimentadas com a mesma restrição de consumo e 0,56% de P na MS da dieta. Esses resultados mostraram que a redução na sub-realimentação com P pode ser uma estratégia importante para reduzir excreção de P em dejetos de vacas de leite.

O uso excessivo de P em dietas de vacas de leite tem sido justificado principalmente devido ao conceito de que dietas com altas concentrações de P são capazes de melhorar o desempenho reprodutivo. Todavia, estudo conduzido por Satter e Wu (1999), sumariando resultados de desempenho repro-

ditivos de vacas em lactação, obtidos de 13 experimentos e 393 dados, não verificaram diferenças significativas nos índices reprodutivos para os animais que receberam dietas com mais alto teor de P (Tab. 3). Outros estudos (Wu e Satter, 2000; Wu *et al.*, 2000) também não apontaram comprometimento no desempenho reprodutivo quando as vacas foram alimentadas abaixo do recomendado no NRC (2001). Além disso, experimentos de longa duração (Kuipers *et al.*, 1999; Wu e Satter, 2000; Wu *et al.*, 2000) não apontaram diferenças nas produções de leite quando as vacas foram alimentadas com quantidades de P ligeiramente inferiores às exigências preconizadas no NRC (2001). Ainda Cerosaletti *et al.* (2004), avaliando modificações nas dietas de dois rebanhos para alcançar a média de 25% de redução do teor de P, observaram reduções de 33% da concentração de P nas fezes sem que houvesse comprometimento da produção de leite. Esses autores concluíram que modificações em dietas podem resultar em grandes reduções na entrada de P em alimentos adquiridos pelas fazendas leiteiras, no balanço geral de P da fazenda e nas excreções nos dejetos.

O CH₄ entérico é um importante GEE, que é responsável por aproximadamente 15% do aquecimento global. A tendência ou obrigação legal de mitigar as emissões de GEE

influenciará diretamente a necessidade de aumento da eficiência zootécnica nos sistemas pecuários, atrelado ao manejo nutricional dos animais a ser adotado.

O desenvolvimento de estratégias de mitigação e a viabilidade de aplicação são temas atuais de pesquisa em todo o mundo (Pereira *et al.*, 2015). De acordo com Martin *et al.* (2010), as estratégias de nutrição de ruminantes para mitigação de CH₄ devem focar em um ou mais dos seguintes objetivos: redução da produção de H₂ no rúmen sem afetar negativamente a digestão; estimulação do uso de H₂ no rúmen por produtos alternativos; e inibição de *Archaea* metanogênicas (número e/ou atividade) associada à estimulação de vias que consomem H₂ para evitar os efeitos negativos do aumento da pressão parcial de H₂ no rúmen. Já segundo Pereira *et al.* (2015), as estratégias que estão sendo consideradas para mitigação de CH₄ entérico incluem modificações da composição e qualidade da dieta, adição de lipídios, uso de aditivos (ionóforos, ácidos orgânicos, extratos de plantas), vias alternativas para uso de H₂ no rúmen (probióticos acetogênicos, nitrato e sais de sulfato), vacinação contra organismos metanogênicos ruminais, uso de bacteriófagos e bacteriocinas, variações no manejo de pastagem e uso de sistemas de produção integrados.

Considerando as alterações na dieta,

Tabela 3. Desempenho reprodutivo de vacas de leite em lactação alimentadas com dietas com alto ou baixo teor de fósforo (P) – 393 dados de 13 experimentos

Item	Baixo P	Alto P
P na dieta (% da MS)	0,32 – 0,40	0,39 – 0,61
Dias para o 1º cio*	46,8 ± 10,9	51,6 ± 13,8
Dias vazias*	103,5 ± 21,4	102,1 ± 13,0
Taxa de prenhez*	92% ± 6%	85% ± 5%

*Médias ± desvio padrão, sem diferenças estatísticas significativas.

Fonte: Satter e Wu (1999).

Pereira *et al.* (2015) destacaram que o aumento nos índices zootécnicos, principalmente quando relacionados ao uso mais eficiente de forragem, associado à nutrição adequada, pode constituir uma estratégia importante para mitigação de GEE de origem entérica em ruminantes, e estudo com vacas de leite recentemente conduzido por Hristov *et al.* (2015) mostrou a capacidade da molécula 3-nitrooxypropanol para reduzir a emissão de CH₄ entérico sem afetar o consumo de alimento, a produção de leite ou a digestibilidade da fibra.

A coleta acurada de dados e a capacidade para transformá-los em informações úteis para nortear estratégias para planejamento, execução, monitoramento e ajustes do manejo nutricional são etapas fundamentais para alcançar a precisão na nutrição.

Considerações finais

A coleta acurada de dados e a capacidade para transformá-los em informações úteis para nortear estratégias para planejamento, execução, monitoramento e ajustes do manejo nutricional são etapas fundamentais para alcançar a precisão na nutrição. A nutrição de precisão para gado de leite deve ser abordada como uma postura gerencial que considere a variabilidade animal e permita que as exigências nutricionais sejam atendidas pontualmente (sem excesso ou escassez), maximizando o retorno econômico e minimizando o efeito negativo sobre o meio ambiente. Nesse contexto, o homem deve ser considerado o principal componente do processo, independentemente do nível tecnológico da propriedade.

Bibliografia citada

1. AFRC – AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.
2. ARC – AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. **The nutrient requirements of ruminants' livestock. Technical Review by Agricultural Research**

Council Working Party. London: Commonwealth Agricultural Bureau International, 1980, 351p.

3. ARC – AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. **The nutrient requirements of ruminants' livestock: technical review**. London: Agricultural Research Council Working Party, 1965. 264p.
4. AZEVÊDO, J.A.G.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Predição de frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.2, p.391-402, 2011.
5. BACKES, A.A. **Composição corporal e exigências de energia, proteína e macroelementos minerais, para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento**. 2003. 97p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
6. 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.
7. BORGES, A.L.C.C. **Exigências nutricionais de proteína e energia de novilhas das raças Guzerá e Holandesa**. 2000. 90p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
8. BORGES, A.L.C.C.; GONÇALVES, L.C.; GOMES, S.P. Regulação da ingestão de alimentos. In: GONÇALVES, L.C.; BORGES, I.; FERREIRA, D.P.S. **Alimentação de gado de leite**. Belo Horizonte, MG: FEPMVZ, p.1-25, 2009.
9. BRANCO, A.F.; OSMARI, M.P. **Nutrição de precisão e impacto ambiental**. IV Congresso Latino Americano de Nutrição Animal. Campinas-São Paulo: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2010, v. 600, p. 307-316.
10. CASPER, D.P.; MAIGA, H.A.; BROUK, M.J.; SCHINGOETHE, D.J. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.8, p. 1779-1790, 1999.
11. CELA, S.; QUIRINE, M.; KETTERINGS, K. et al. Characterization of nitrogen, phosphorus, and potassium mass balances of dairy farms in New York State. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.12, p.7614-7632, 2014.
12. CEROSALETTI, P.E.; FOX, D.G.; CHASE, L.E. Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.87, n.7, p.2314-2323, 2004.
13. CHAPINAL, N.; VEIRA, D.M.; WEARY, D.M.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. Technical Note: Validation of a System for Monitoring Individual Feeding and Drinking

- Behavior and Intake in Group-Housed Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.90, n.12, p.5732–5736, 2007.
14. CHIZZOTTI, M.L.; MACHADO, F. S.; VALENTE, E.E.L. et al. Technical note: Validation of a system for monitoring indigestion behavior and individual feed intake in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.98, n.5, p.3438–3442, 2015.
 15. COLMENERO, J.J.; G.A. BRODERICK. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.89, n.5, p.1704–1712, 2006.
 16. CORSON, D.C.; WAGHORN, G.C.; ULYATT, M.J.; LEE, J. NIRS: Forage analysis and livestock feeding. **Proceedings of the New Zealand Grassland Association**. V.61, p. 127–132, 1999.
 17. COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos nas condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.280-287, 2005.
 18. CSIRO – COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION. **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood, Australia: CSIRO PUBLISHING. 2007. 270p.
 19. DETMANN, E.; PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.5, p.2101-2109, 2006a.
 20. DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos utilizando-se o conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1479-1486, 2006c.
 21. DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4, p.1469-1478, 2006b.
 22. DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.127-147, 2008.
 23. DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1866-1875, 2004.
 24. DeVRIES, T.J.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; WEARY, D.M.; BEAUCHEMIN, K.A. 2003. Technical note: Validation of a system for monitoring feeding behavior of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.11, p.3571–3574, 2003.
 25. GONÇALVES, L.C. **Digestibilidade, composição corporal, exigências nutricionais e características das carcaças de zebuínos, taurinos e bubalinos**. 1988, 238p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
 26. HERRERA-SALDANA, R.; GOMEZ-ALARCON, R.; TORABI, M.; HUBER, J.T. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. **Journal of Dairy Science**, v.73, n.1, p.142-148, 1990.
 27. HRISTOV, A.N.; OH, J.; GIALLONGO, F.; et al. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. **PNAS**, v.112, n.34, p. 10663–10668, 2015.
 28. HUTJENS, M.F. Changes in feeding dairy cows during the last 20 years and what's ahead. In: TRI-STATE DAIRY NUTRITION CONFERENCE, 2011, Indiana, EUA. **Proceedings...** Indiana: Tri-state Dairy Nutrition Conference, 2011.
 29. INRA – INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE. **Alimentation des ruminants**. Versailles: INRA Pub., 1978. 697p.
 30. KNOWLTON, K.F. Strategies to Reduce Phosphorus Losses from Dairy Farms. **WCDS Advances in Dairy Technology**, v.23 p.299-309, 2011.
 31. KOLVER, E.; MULLER, L.D.; VARGA, G.A.; CASSIDY, T.J. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.81, n.7, p.2017-2028, 1998.
 32. KUIPERS, A.; MANDERSLOOT F.; ZOM R.L.G. An approach to nutrient management on dairy farms. **Journal of Dairy Science**. v.82, suppl.2, p.84–89. 1999.
 33. LANNA, D.P.D.; BOIN, C.; FOX, D.G. Validação do CNCPS e do NRC (1984) para estimativa dos requerimentos nutricionais e desempenho de zebuínos em crescimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31. 1994, **Anais...** Maringá, PR: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.480. 1994.
 34. MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; et al. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 155, p.44-54, 2010.
 35. MARTEN, G.C., HALGERSON, J.L. AND CHEMEY, J.H., Quality prediction of small grain forage by near-infrared reflectance spectroscopy. **Crop Science**, v.23, p.94-96, 1983.
 36. MARTIN, C.; MORGAVI D.P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. **Animal**, v.4, issue 3, p.351-365, 2010.
 37. MAZERIS, F. Arrangement and method for feeding animals. 2007. **Unites States Patent and Trademark Office - USPTO**. Disponível em: <<http://www.uspto.gov/web/patents/patog/week30/OG/html/1416-4/US09091644-20150728.html>> Acesso em 09/set./15.

38. MORSE, D.; HEAD, H.H.; WILCOX, C.J. et al. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.11, p.3039-3049, 1992.
39. NEVES, A.L.A.; PEREIRA, L.G.R.; VERNEQUE, R.S. et al. **Tabelas nordestinas de composição de alimentos para bovinos**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 184p.
40. NORRIS, K.H., BARNES, R.F., MOORE, J.E. AND SHENK, J.S. Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Animal Science**, v.43, p.889-897, 1976.
41. NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle**. 7th. ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.
42. OLDHAM, J.D. Protein-Energy Interrelationships in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.67, n.5, p.1090-1114, 1984.
43. PEREIRA, L.G.R.; MACHADO, F.S.; CAMPOS, M.M. et al. Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v.28, p. 124-143, 2015.
44. PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Efeitos de indicadores e dias de coleta na digestibilidade dos nutrientes e nas estimativas do valor energético de alimentos para vacas alimentadas com diferentes fontes de proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.2461-2468, 2006.
45. ROBINSON, P.H.; CHALUPA, W.; SNIFFEN, C.J.; et al. Influence of abomasal infusion of high levels of lysine or methionine, or both, on ruminal fermentation, eating behavior, and performance of lactating dairy cows. **Journal of Animal Science**, v.78, n.4, p.1067-1077, 2000.
46. ROBINSON, P.H., FREDEEN, A.H.; CHALUPA, W.; et al. Ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows fed a diet designed to meet requirements for microbial and post-ruminal protein. **Journal of Dairy Science**, v.78, n.3, p.582-594, 1995.
47. ROBINSON, P.H. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. **Livestock Science**, v.127, p.115-126, 2010.
48. ROCHA JÚNIOR, V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; BORGES, A.M. et al. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.480-490, 2003.
49. ROSSOW, H.A.; ALY, S.S. Variation in nutrients formulated and nutrients supplied on 5 California dairies. **Journal of Dairy Science**, v.96, n.11, p.7371-7381, 2013.
50. SATTER, L.D.; WU, Z. Reducing manure phosphorus by dairy diet manipulation. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 1999, Rochester, New York, **Proceedings...** Ithaca, NY: Cornell University, p.183-192, 1999.
51. SILVA, R.R. **Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos**. 2011. 59p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.
52. SNIFFEN, C.J.; CHALUPA, W. Targeted Feeding to Save Nutrients. In: WESTERN DAIRY MANAGEMENT CONFERENCE, 2015, **Proceedings...** Reno, Nevada, 2015. Disponível em: <<http://www.wdmc.org/2015/Sniffen.pdf>> Consultado em 05/out./2015.
53. STUTH, J.; JAMA, A.; TOLLESON, D. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. **Field Crops Research**, v.84, p.45-56, 2003.
54. VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, P.V. R. **Nutrient requirement of zebu cattle - BR-CORTE**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, DZO. 2010a, 185p.
55. VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. 2015. Disponível em: <<http://cqbal.agropecuaria.ws/webcqbal/index.php>>. Acesso em: 15/set./2015.
56. VALADARES FILHO, S.C.; MACHADO, P.A.S.; CHIZZOTTI, M.L. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. CQBAL 3.0**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Suprema Gráfica Ltda. 2010b.
57. VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JUNIOR, V.R. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. CQBAL 2.0**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Suprema Gráfica Ltda. 2006a. 329p.
58. VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, P. V. R.; MAGALHÃES, K. A. **Exigências nutricionais de Zebuínos e tabelas de composição de alimentos - BR-CORTE**. 1 ed. Viçosa, MG: Viçosa, MG: UFV, DZO. 2006b, 142 p.
59. VALADARES FILHO, S.C., ROCHA JUNIOR, V.R., CAPPELLE, E.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. CQBAL 2.0**. 1.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Suprema Gráfica Ltda. 2002.
60. WHITE, R.R.; CAPPER, J.L. Precision diet formulation to improve performance and profitability across various climates: Modeling the implications of increasing the formulation frequency of dairy cattle diets. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.3, p.1563-1577, 2014.
61. WU, Z.; SATTER, L.D. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.5, p.1052-1063, 2000.
62. WU, Z.; SATTER, L.D.; SOJO, R. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. **Journal of Dairy Science**. v.83, n.5, p.1028-1041. 2000.