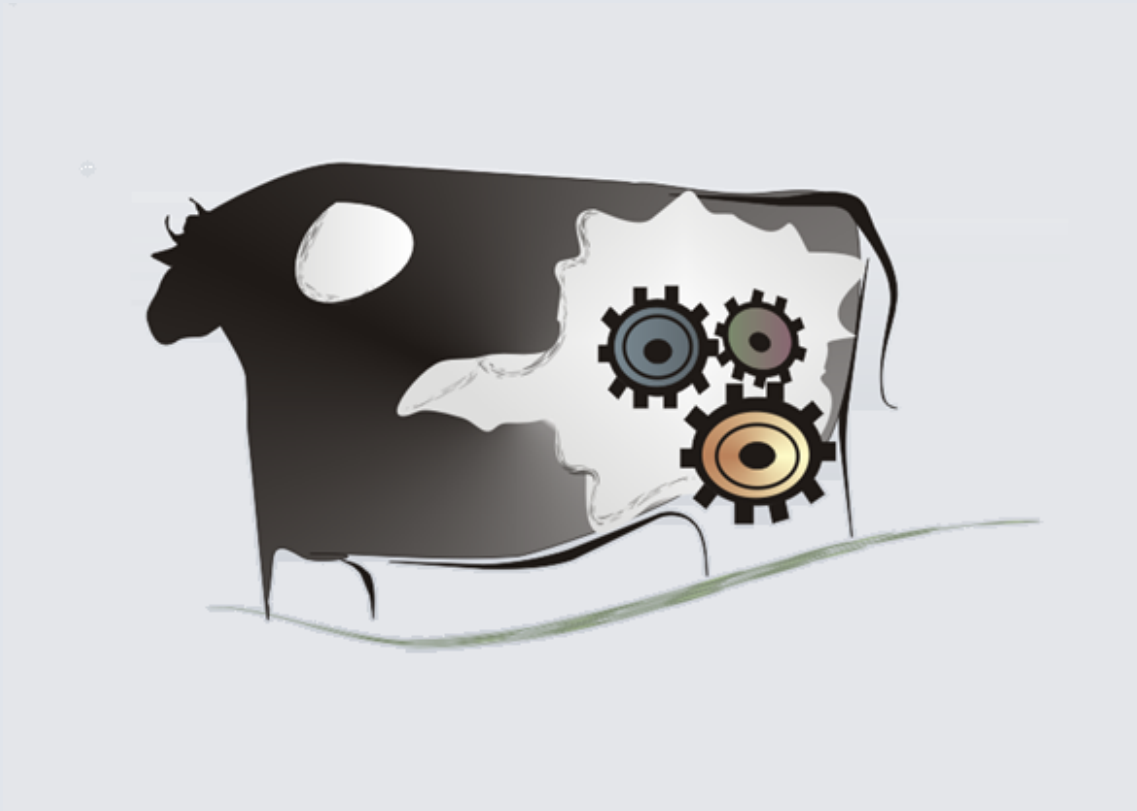
II Simpósio Internacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite

V Simpósio Nacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite

X Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite



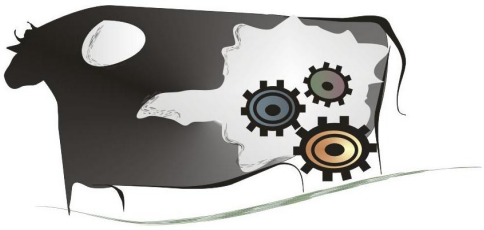
Uberlândia – MG

20 a 22 de setembro de 2023

II Simpósio Internacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite

V Simpósio Nacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite

X Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite



Uberlândia – MG
20 a 22 de setembro de 2023
Faculdade de Medicina Veterinária – UFU

EDITORES

Alex de Matos Teixeira

Ana Flávia de Paula Pereira

Lúcio Carlos Gonçalves

Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão
Belo Horizonte, 2023

Capa: Lucas Braga Pereira de Avelar Tonelli, Wilson Gonçalves de Faria Júnior

1ª Edição
Copyright © Alex de Matos Teixeira

Editora: FEPE

Todos os direitos reservados
A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil

S612a

Simpósio Internacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite (2. : 2023 : Uberlândia, MG)
Anais [recurso eletrônico] / II Simpósio Internacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite, V Simpósio Nacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite, X Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite, 20 a 22 de setembro de 2023, editores Alex de Matos Teixeira ... [et al.] – Belo Horizonte: FEPMVZ, 2023.
106 p.: il.

ISBN: 978-65-994630-3-7 (e-book)
Inclui bibliografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: http://www.eventos.ufu.br/simnutrileite

1. Bovino de leite - Alimentação e rações. 2. Nutrição animal. I. Teixeira, Alex de Matos, (ed.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Medicina Veterinária. III. Título.

CDU: 636.2.034

Rejâne Maria da Silva – CRB6/1925
Bibliotecária Documentalista

O conteúdo dos artigos contidos nesta publicação é de inteira responsabilidade dos respectivos autores.

COMISSÃO ORGANIZADORA

ACADÊMICOS:

Ana Carolina Borges Araujo
Ana Cristina Covic Castro
Ana Flávia de Paula Pereira
Ana Laura Guerra Lara
Ana Vitória De Souza
Anna Karoline Rodrigues Vieira
Antonio Augusto Ayres Silva
Bianca Alves Borges Pereira
Caroline Teixeira Dreyer
Drielly Cristina Rodrigues
Eduarda Silva Ribeiro
Fagundes Junio Balbino Braga
Giovanna Silva Freitas de Souza
Isabela Defensor Faria
Isabela Gonçalves Ribeiro
Júlia Elize Oliveira
Mateus Morais Alves
Polliany Cristina Santos Silva
Rayane Silva Carvalho

PROFESSORES:

Alex de Matos Teixeira
Lúcio Carlos Gonçalves

AGRADECIMENTOS

PALESTRANTES:

Aos professores e pesquisadores pela excelência e diligência com que compartilharam com os participantes todo conhecimento e experiência.

Prof. André Ostrensky – PUC/PR

Prof. Elias Jorge Facury Filho – EV/UFMG

Profa. Fernanda Batistel – UF

Prof. Carlos Humberto Corassin – FZEA/USP

Dr. Eduardo Micotti da Gloria – ESALQ/USP

Prof. José Eduardo Portela dos Santos – UF

Profa. Kelly Moura Keller – EV/UFMG

Prof. Rodrigo de Almeida – UFPR

Prof. Marcos Neves Pereira – UFLA

REALIZAÇÃO:

PATROCINADORES:

As empresas privadas e Instituições de Fomento pela contínua participação e confiança indispensáveis a realização do evento.

Categoria Master:

Categoria Ouro:

Categoria Prata:

Categoria Bronze:

Apoio:

BECAUSE IT'S ABOUT

QUALITY

Criando gerações de vacas saudáveis.

Aumente a produção de leite e reduza os custos de alimentação com a metionina protegida pelo rúmen da Evonik para vacas leiteiras. O Mepron® fornece DL-metionina altamente concentrada exatamente onde ela mais beneficia o animal - no intestino delgado. Como? Com ciência. O Mepron® é produzido com um revestimento de filme de liberação lenta que garante a estabilidade do manuseio e da mistura. Ele pode ser misturado de forma homogênea e não é afetado por componentes potencialmente abrasivos, altas temperaturas ou pH baixo.

Sciencing the global food challange. | evonik.com/mepron

mepron®

EVONIK
Leading Beyond Chemistry

SUMÁRIO – PALESTRAS

TABLE OF CONTENTS

Eficiência alimentar e consumo alimentar residual em bovinos leiteiros: o que é, suas implicações e seu uso para seleção genética 8

Qual o futuro na nutrição aminoacídica para vacas leiteiras? 28

Impactos negativos das principais micotoxinas no desempenho, saúde e reprodução de vacas leiteiras 31

Critérios para escolha de adsorventes para uso na alimentação de bovinos leiteiros 42

Micotoxinas na alimentação de bovinos no Brasil (2017 a 2023) 47

Como utilizar o teor e o perfil da gordura do leite para avaliar a dieta e o manejo nutricional em fazendas leiteiras 60

Consequências da acidose ruminal subclínica em vacas leiteiras 75

Indicadores-chave de desempenho em sistemas com ordenha robotizada 84

Sistemas de ordenha robótica e nutrição 96

Eficiência alimentar e consumo alimentar residual em bovinos leiteiros: o que é, suas implicações e seu uso para seleção genética

José Eduardo P. Santos[1]

Mariana Nehme Marinho[1]

Resumo

Eficiência alimentar em animais de produção é fundamental para manter a sustentabilidade econômica de sistemas de produção. Parte disso é devido ao fato do custo alimentar representar a maior fração do custo de produção na agricultura animal. No caso de bovinos leiteiros, o custo alimentar representa cerca de 50 a 60% de todo custo de produção de leite (USDA, 2023). Melhorar o uso dos recursos alimentares de forma que a produção de leite e componentes do leite por unidade de alimento consumido aumente é o desejo de todos. Entretanto, a lógica é que isso seja feito desde que não haja ramificações negativas para a novilha ou vaca leiteira. A eficiência alimentar é avaliada de distintas maneiras, mas talvez o método mais comum seja o de mensurar os quilogramas (**kg**) de leite produzidos por kg de matéria seca (**MS**) consumidos, também denominada de conversão alimentar ou eficiência alimentar bruta. Uma das limitações deste sistema é que ele não leva em consideração o valor energético do leite e nem considera a melhora em eficiência alimentar em detrimento da mobilização de tecido corpóreo, o que é típico do período inicial de lactação em vacas leiteiras. Em 1963 Koch e colaboradores (Koch et al., 1963) propôs o uso de um novo método de avaliar eficiência alimentar em bovinos de corte, o consumo alimentar residual (**CAR**). Consumo alimentar residual nada mais é que o resíduo (diferença entre o observado e o predito) de uma equação linear para predizer a ingestão de MS que leva em consideração as principais determinantes do uso de energia por bovinos como, no caso de bovinos leiteiros, a produção de leite e sua composição, o peso metabólico como uma aproximação para a necessidade de mantença do animal, a mudança de peso corpóreo diária, e o grupo animal. Esse método traz vantagens sobre a conversão alimentar pois, por definição, os resíduos de uma equação linear são independentes dos componentes da equação que foram utilizados para predizer a resposta, neste caso ingestão de MS. Interesse recente no CAR tem propagado o número de estudos e investigações para entender o porquê das diferenças entre vacas leiteiras na sua habilidade de converter alimento em produto final, mas também em entender o impacto de se selecionar bovinos leiteiros para CAR com relação a produção de leite, saúde e reprodução desses animais. No futuro, o uso do CAR irá expandir com o intuito de reduzir a pegada de carbono da produção leiteira além dos esforços já estão em andamento para incorporar medidas de digestibilidade da fibra em detergente neutro (**FDN**) e da MS no trato digestivo de bovinos e produção de metano para reduzir o impacto ambiental da produção leiteira. Apesar de em pleno uso, os mecanismos e a biologia que explica as diferenças fenotípicas entre animais de CAR divergente ainda foi pouco explorada. O conhecimento do porquê de um animal ser mais eficiente que outro ainda é precário e progride a passos lentos. Neste artigo, resumimos os achados mais recentes e pontos importantes do uso da eficiência alimentar e enfatizamos alguns aspectos do uso de CAR como novo fenótipo na seleção de bovinos leiteiros.

[1]Departamento de Ciências Animais.
Universidade da Flórida.
Gainesville, EUA.

Por que avaliar eficiência alimentar em bovinos leiteiros?

A avaliação da eficiência alimentar em bovinos leiteiros desempenha um papel crucial para otimizar tanto a eficiência de produção quanto a sustentabilidade. Em termos econômicos, uma vaca com alta eficiência alimentar, dependendo da métrica utilizada, pode converter o alimento consumido em leite de forma mais eficiente. Isso geralmente resulta em uma produção mais rentável, uma vez que os custos com alimentação, que representam a maior despesa nas fazendas leiteiras (USDA, 2023), são minimizados. Do ponto de vista global ambiental, a produção de alimentos tem impacto significativo, incluindo emissões de gases de efeito estufa, uso intensivo de água e necessidade de expansão agrícola. Ao considerar diferentes abordagens de avaliação da eficiência alimentar, pode-se direcionar esforços para reduzir a demanda por terras agrícolas, conservar água e diminuir as emissões de gases.

A eficiência alimentar, usada como característica de seleção, tem sido incorporada em diferentes sistemas de produção como na suinocultura e avicultura por mais de 30 anos (Fairfull e Chambers, 1984; de Vries e Kanis, 1992), enquanto na pecuária leiteira, priorizou-se características voltadas para o aumento de produção de leite e componentes do leite, assim como as características morfológicas de tipo como o composto de úbere, o composto corpóreo, estatura entre outras (Persaud et al., 1991). Embora o foco o foco tenha sido em selecionar vacas mais produtivas e não necessariamente implementar seleção para eficiência alimentar, observou-se um aumento gradativo na eficiência do uso de nutrientes para produção de leite conforme a produção de leite e seus componentes aumentou. Isso se deu devido à diluição das exigências de mantença da vaca, ou seja, a energia necessária para sustentar as funções vitais básicas do animal, e direcionou uma maior proporção dos nutrientes consumidos para a produção de leite. No entanto, projeta-se que essa melhoria na eficiência alimentar devido somente ao aumento contínuo na produção de leite atingirá um platô teórico (VandeHaar et al., 2016). Isso é explicado pelo fato da produção de leite e ingestão de MS terem alta correlação, acima de 0,80, o que faz com as vacas selecionadas para maior produção também consumam mais kg de MS, o que influencia a cinética ruminal de alimentos e reduz a digestibilidade tanto no rúmen como no trato digestivo total (VandeHaar et al., 2016). Com isso, a capacidade da vaca em extrair nutrientes por kg de MS consumido acaba sendo reduzida, o que irá diminuir a concentração energética de uma dada dieta.

Quando Bach et al. (2020) revisou dados de 51 experimentos publicados na literatura e reportou a energia secretada no leite em função da energia consumida além da necessidade de mantença, também considerando a mudança de peso corpóreo, eles observaram que a relação não foi de 1 para 1. Ou seja, seria esperado que toda energia líquida para lactação consumida pelas vacas uma além do que foi necessário para mantença e para mudança de peso fosse incorporada em energia no leite, mas não foi isso que os autores observaram. Para vacas de baixa produção, com energia secretada no leite inferior a 25 Mcal/d, o equivalente a 36 kg/d de LCE, a eficiência de uso da energia consumida além das necessidades de mantença e mudança de peso foi superior a 1. No entanto, para vacas com alta produção de leite as quais tiveram energia secretada no leite de 30 a 40 Mcal/d, o equivalente a 43 a 57 kg/d de LCE, a eficiência de uso da energia consumida ficou aquém de 1. Isso exemplifica que ou a necessidade de mantença dessas vacas de distintas produções de leite difere do valor constante em função do peso metabólico, ou a eficiência de uso de nutrientes difere em vacas de baixo comparado com as de alto potencial produtivo. É possível que vacas com alto potencial produtivo tenham maior necessidade de mantença e que a energia líquida para lactação da dieta seja inferior que a calculada devido a descontos de digestibilidade quando a ingestão de matéria seca aumenta.

Do ponto de vista de manejo alimentar de rebanhos, é de total interesse dos bons produtores de avaliar se mudanças na dieta ou medidas de manejo tiveram algum impacto na

eficiência alimentar. Obviamente, nestes casos, a eficiência alimentar avaliada seria a produção de leite corrigido para energia (**LCE**) produzido dividida pela ingestão de matéria seca. Para tal, é necessário saber diariamente a quantidade de dieta fornecida para cada lote, as sobras do dia, o número de animais em cada lote, a produção de leite individual de cada vaca, e sua composição do leite do lote das vacas. Bons produtores avaliam a eficiência alimentar diariamente de cada lote de produção ou usando a produção de leite dividida pela ingestão de MS ou coletando amostras dos lotes para análise de gordura, proteína e lactose para o cálculo da produção de LCE diária do lote.

Independente do objetivo, há um crescente interesse em utilizar a informação de eficiência alimentar, seja ela para manejo de rebanhos ou então no programa de seleção genética, com o intuito de melhor utilizar os recursos ou então de reduzir o custo de produção. A avaliação do CAR tem o potencial de identificar animais com menor ingestão de MS sem afetar sua a produção ou peso corporal. Assim sendo, selecionar vacas que necessitam de menos alimentos para produzir a mesma quantidade de leite não só reduz os custos diretos com alimentação, mas também reduz a área necessária para produção de alimentos e a infraestrutura para produção de alimentos. Outra vantagem é que vacas mais eficientes em termos de CAR têm menor impacto ambiental, elas produzem uma menor quantidade de equivalentes de CO_2 por litro de leite produzido e por kg de MS consumida (Guinguina et al., 2020), e apresentam melhor eficiência do uso de nitrogênio (Nehme Marinho et al., 2023). Do ponto de vista individual, um rebanho mais eficiente significa mais oportunidade para se obter lucro pelo produtor. Do ponto de vista global, países com rebanhos mais eficientes irão reduzir a pegada de carbono ou de nitrogênio da produção leiteira, o que se torna um diferencial positivo e pode representar uma vantagem competitiva num mercado globalizado.

Métodos para avaliação de eficiência alimentar e suas limitações

Ao longo dos anos, diferentes métodos foram utilizados para avaliar eficiência alimentar na pecuária leiteira. O mais comum é a conversão alimentar, normalmente calculada dividindo a unidade de produção leite, mais comumente o LCE (LCE, kg/d = [(0.3246 x kg de leite) + (12.86 x kg de gordura) + (7.04 x kg de proteína)], pela unidade de ingestão alimentar, ex.: kg de LCE por kg de MS consumida. O LCE tem como intuito padronizar o leite produzido para uma composição similar, neste caso um leite com 3,50% de gordura e 3,20% de proteína verdadeira, ou cerca de 3,40% de proteína bruta. Com isso, o valor energético do leite acaba sendo equiparado. Por exemplo, duas vacas, uma produzindo 50 kg de leite com 3,20% de gordura e 3,10% de proteína verdadeira e a outra produzindo 45 kg de leite com 4,00% de gordura e 3,20% de proteína verdadeira teriam praticamente a mesma produção de LCE, 47,8 kg/d. Isso é feito para ajustar a produção de acordo com a composição do leite, mas também para seu valor energético. O LCE tem um valor energético de aproximadamente 0,70 Mcal/kg.

Apesar da conversão alimentar usando produção de LCE por kg de MS consumido ser de uso rotineiro em rebanhos leiteiros, tanto ela como outros métodos de conversão alimentar são falhos, pois vacas que perdem peso no início da lactação podem ser inicialmente muito eficientes, mas à custa das reservas corporais. Por outro lado, vacas que estão ganhando peso e recuperando condição corporal no meio ao fim da lactação irão parecer ineficientes. Melhorar o índice de conversão alimentar através da mobilização de reservas corporais no início da lactação pode ser prejudicial à saúde e ao desempenho reprodutivo em vacas leiteiras (Santos et al., 2010).

Diferentemente dos métodos comumente calculados, o CAR é uma característica que está diretamente associada com a melhoria da eficiência em utilizar os nutrientes. Consumo

alimentar residual nada mais é do que diferença entre a ingestão de MS observada e a ingestão de MS predita. Esta última é estimada matematicamente através de uma equação por via de um modelo linear. Neste caso, a equação para predizer o consumo de MS é calculada por um modelo estatístico que considera os principais usos de energia pela vaca leiteira como produção de leite e de componentes do leite, a exigência de mantença do animal, a mudança de peso e de escore corporal, os dias em lactação, a paridade, e o grupo animal. Um valor positivo de CAR indica que o animal consumiu mais alimento do que o esperado, ou seja, representando vacas menos eficientes que a média, enquanto um valor negativo indica que o animal consumiu menos alimento do que o esperado, ou seja vacas mais eficientes que a média esperada. A Figura 1 é um gráfico de pontos que ilustra a ingestão de MS observada em 399 vacas da raça Holandesa nas primeiras 15 semanas de lactação no eixo X e a ingestão de MS predita para estas mesmas vacas de acordo com o modelo estatístico utilizado para predizer ingestão de MS por Nehme Marinho et al. (2021). Note que há duas vacas identifica duas vacas que tiveram praticamente a mesma ingestão de MS predita, cerca de 24 kg/d, mas uma consumiu cerca de 28 kg/d (círculo vermelho, acima da linha de regressão) e a outra consumiu cerca de 21 kg/d (círculo verde, abaixo da linha de regressão). Isso significa que, ajustado para uma mesma produção de LCE, mesma mudança diária de peso vivo, e mesma necessidade de mantença, as duas vacas divergiram em cerca de 7 kg de MS diários.

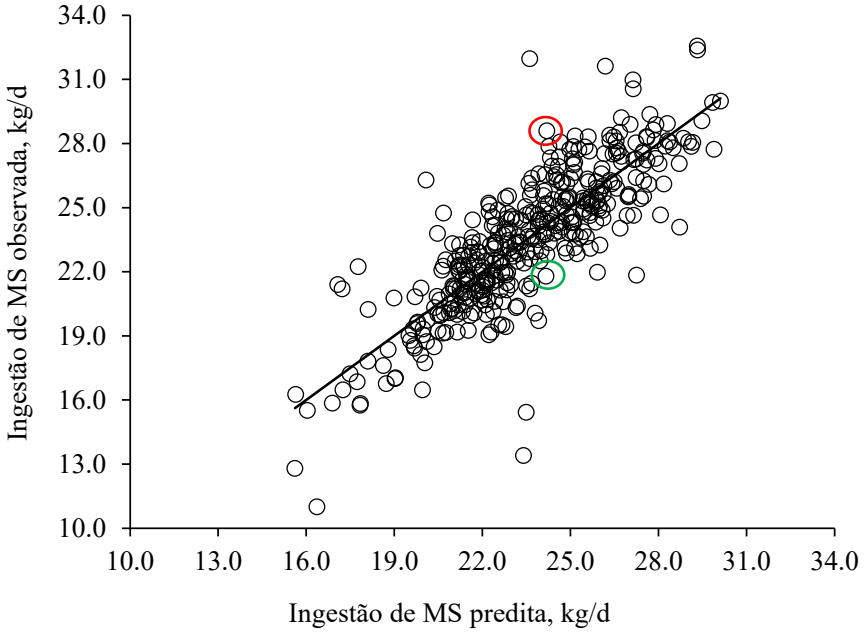


Figura 1. Gráfico de pontos representando a ingestão de MS observada de 9 a 15 semanas pós-parto em 399 vacas da raça Holandesa e a ingestão de MS predita com base no modelo estatístico utilizado por Nehme Marinho et al. (2021). A linha contínua representa os valores preditos pelo modelo. Os pontos representam os valores observados. O desvio entre os pontos e a linha contínua representa o valor do resíduo, neste caso o consumo alimentar residual ou CAR.

Apesar de criticado por alguns (Old et al., 2015), o CAR apresenta inúmeras vantagens em relação à conversão alimentar visto que, por definição, os resíduos de uma equação linear são independentes dos componentes da equação usados para predizer a resposta, neste caso, a ingestão de MS. Ou seja, para uma dada ingestão de MS predita, o valor foi ajustado para o valor médio de produção de LCE, peso metabólico da vaca, mudança média de peso etc. Ao mesmo tempo, as variações de consumo de MS observadas são independentes das variáveis

usadas no modelo. Então, espera-se que vacas mais eficientes tenham produção similar àquelas menos eficientes para um mesmo valor predito de ingestão de MS, sem afetar as variações de peso ou escore de condição corporal.

Consumo alimentar residual

Consumo alimentar residual foi apresentado pela primeira vez em bovinos de corte por Robert Koch e colaboradores em 1963 (Koch et al.,1963). Como mencionado anteriormente, vacas mais eficientes são aquelas com CAR negativo (Figura 1), as quais consomem menos MS que o valor predito, mas ao mesmo tempo apresentam a mesma produção de LCE, utilizam proteína dietética de forma mais eficiente, sem impactos deletérios para sua saúde e desempenho reprodutivo em comparação com vacas menos eficientes (Liu e VandeHaar, 2020b; Nehme Marinho e Santos, 2022). Estudos realizados para explorar o CAR mostraram que a característica é de cunho hereditário (Connor et al., 2013), com valores de herdabilidade que variam de 0,17 (Tempelman et al., 2015) a 0,19 (CDCB, 2023). Ele é replicável em diferentes estágios de lactação (Nehme Marinho et al., 2021), bem como em diferentes dietas (Liu e VandeHaar, 2020a).

A principal limitação de incluir CAR como característica de seleção é o banco de dados fenotípico limitado, resultando em baixa confiabilidade genômica. Medir a ingestão de MS de vacas individualmente não é uma tarefa fácil, por isso, tais medições são conduzidas principalmente em rebanhos leiteiros de universidades ou instituições de pesquisa. A confiabilidade de uma característica aumenta à medida que o banco de dados fenotípico cresce. Para a maioria das características usadas em programas de seleção em gado leiteiro, as medições são realizadas em fazendas comerciais, incluindo populações de milhares de animais. No entanto, para medir ingestão de MS individual, equipamentos especializados que não fazem parte do manejo diário de vacas em fazendas comerciais são necessários. Até que métodos indiretos confiáveis sejam desenvolvidos para avaliar com precisão a ingestão de MS, as medições de CAR dependerão de instituições com infraestrutura para coletar as informações individualmente, o que aumenta os custos e limita o progresso rápido porque o número de fazendas leiteiras em instituições de pesquisa é limitado. Identificar potenciais mecanismos associados à melhoria da eficiência podem permitir a identificação desses fenótipos e facilitar sua caracterização, de modo em que a seleção para eficiência alimentar não dependa fortemente da caracterização fenotípica da ingestão de MS em vacas individuais.

Os mecanismos por trás das diferenças do uso de nutrientes observados em vacas que diferem para CAR permanecem incertos. Uma possível explicação seria que as exigências energéticas para mantença são menores para animais mais eficientes (Meale et al., 2017), ou talvez a digestão e uso pós-absortivo de nutrientes seja melhor nas vacas mais eficientes (Casal et al., 2019; Guinguina et al, 2020). Em concordância, um estudo conduzido com 851 vacas Holandesas mostrou que vacas mais eficientes, CAR negativo, comeram 4 kg a menos na MS do que as menos eficientes, aumentando o valor energético da dieta em 19% quando comparadas com as menos eficientes (Nehme Marinho e Santos, 2022).

Fatores que afetam a eficiência alimentar

Existem diversas maneiras de melhorar eficiência alimentar em vacas leiteiras que incluem estratégias de manejo como agrupar vacas de acordo com o nível de produção e paridade, oferecer resfriamento evaporativo para alívio térmico (Hill e Wall, 2017), formular

dietas para atender as demandas nutricionais específicas de cada grupo animal, incluir fontes de forragem altamente digestíveis, suplementar ácidos graxos na dieta, e formular dietas mais precisa em seu aporte de amino ácidos metabolizáveis. De maneira geral, medidas que melhoram o desempenho produtivo invariavelmente diluem o custo de mantença da vaca e, consequentemente, priorizam uma maior fração dos nutrientes para o crescimento e produção de leite. Muitas destas medidas, no entanto, resultam em aumento na produção de leite associados com aumento na ingestão de MS. Por outro lado, algumas estratégias alimentares influenciam a eficiência alimentar sem necessariamente aumentar o consumo de alimentos, ou seja, um efeito direto na eficiência de uso dos nutrientes consumidos.

Dos Santos Neto et al. (2021a; 2021b) conduziu duas meta-análises para avaliar a inclusão de ácidos graxos na dieta de vacas leiteiras e seus efeitos no desempenho produtivo, digestibilidade de nutrientes, e eficiência alimentar. Os autores mostraram claramente que tanto a inclusão fontes de gordura contendo ácidos graxos livres (Dos Santos Neto et al., 2021a) assim como sabões de cálcio de destilados de óleo de palma (Dos Santos Neto et al., 2021b) aumentaram a produção de leite e de LCE ao mesmo tempo que a ingestão de MS ou não foi afetada quando o suplemento foi baseado em ácidos graxos livres (Dos Santos Neto et al., 2021a), ou foi reduzida quando o suplemento foi baseado em sabão de cálcio (Dos Santos Neto et al., 2021a). Em ambos os casos, a suplementação com ácidos graxos aumentou a produção de LCE em 53 e 80 g/kg de MS consumidos (Dos Santos Neto et al., 2021a; 2021b). Outro exemplo é a suplementação com colina protegida, a qual aumentou a produção de LCE em 120 g/kg de MS consumidos (Arshad et al., 2020), ou mesmo alimentar as vacas de acordo com suas necessidades. Maltz et al. (2013) conduziu um experimento como prova de conceito onde o tratamento controle recebeu uma dieta contendo 1,64 Mcal de energia líquida para lactação e com 47,8% de forragem e 52,2% de concentrados. Um segundo tratamento, denominado de precisão, os autores ajustaram a relação forragem concentrado da dieta de cada vaca semanalmente de acordo com o balanço energético observado na semana anterior. Com isso, durante as 16 semanas de experimento, as vacas no tratamento de precisão receberam uma dieta com composição média similar à das vacas controles, com concentração de energia líquida para lactação de 1,65 Mcal/kg, mas com varrições ao longo do experimento (1,59 a 1,68 Mcal/kg) de acordo com a necessidade de cada vaca. Apesar das vacas terem recebido dietas completas, o experimente seria a princípio equivalente a oferecer suplemento concentrado adicional a cada vaca de acordo com seu balanço energético. Fazendo isso, os autores observaram um aumento de 3,2 kg/d de LCE sem efeito na ingestão de MS (controle = 23,9 vs. precisão = 24,6 kg/d), o que resultou em 70 g de LCE adicionais por kg de MS consumido.

Reduzir o risco de doenças durante a lactação é outro fator considerado de extrema importância para melhorar a eficiência alimentar. Praticamente toda doença tem como consequência uma redução transiente de ingestão de MS, e esse é um comportamento conservado entre praticamente todas as espécies estudadas e nos vários estados fisiológicos avaliados. Esse mesmo comportamento de redução de ingestão de MS é observado em bovinos, e vacas em lactação que desenvolvem alguma doença no período de transição apresentam menor ingestão de MS que vacas sem morbidade (Pérez-Báez et al., 2019). Doença não só resulta em menor produção e ingestão de MS, mas também altera como é feita a partição dos nutrientes consumidos. Burciaga-Robles (2009) utilizou novilhos de corte cateterizados na veia porta, veia mesentérica, veia hepática e artéria mesentérica para estudar o fluxo de nutrientes através dos tecidos drenados pela veia porta e por todo tecido esplâncnico. Os animais foram alocados de forma casualizada a um de quatro tratamentos com arranjo fatorial: controle-alimentação a vontade; controle-restrição alimentar por 72 h; indução de inflamação no trato respiratório com infusão de *Mannheimia haemolytica* e alimentação a vontade; e indução de inflamação no trato respiratório com infusão de *M. haemolytica* e restrição alimentar por 72 h. O autor mostrou que a indução de inflamação respiratória reduziu o fluxo líquido de amino

ácidos essenciais e não essenciais pelo tecido hepático. Isso mostra que durante um processo inflamatório, o tecido hepático e, provavelmente, outros tecidos, aumentam seu consumo de nutrientes, resultando em menos disponibilidade dos mesmos para crescimento e produção de leite.

Uma outra alternativa de melhorar a eficiência alimentar é através da seleção genética para animais com capacidade inata de melhorar utilização de nutrientes. Essa alternativa é de média a longo prazo, mas como toda mudança genética, ela é permanente nos indivíduos selecionados e tem impacto aditivo e que se perpetuaria ao longo de inúmeras gerações na população desde que o programa de seleção seja mantido. A seleção genética para fenótipos de difícil caracterização, como o CAR, é, em grande parte, dependente de marcadores genômicos. No caso da seleção genética, ela é baseada na observação do fenótipo na progênie de indivíduos e consequente identificação de indivíduos superiores para tal fenótipo. Já o uso de marcadores genômicos depende da identificação de polimorfismos de nucleotídeos únicos, os chamados **SNP** (single nucleotide polymorphisms), e haplótipos no genoma do indivíduo que estão associados com a variação no fenótipo previamente observado na população. Com isso, é possível selecionar de forma indireta indivíduo superiores para tal fenótipo sem necessariamente avaliar o fenótipo no próprio indivíduo. A seleção genética para CAR é baseada principalmente em marcadores genômicos haja vista dificuldade de se avaliar ingestão de MS em indivíduos na população em rebanhos comerciais. Além do CAR ser uma característica hereditária, há uma variação genética importante na população, com valores de habilidade predita de transmissão (sigla da língua Inglesa, **PTA**) que variam de -194 a +191 kg em touros na raça Holandesa (CDCB, 2023), e de -186 a +128 kg na população de fêmeas Holandesas genotipadas (CDCB, 2023). Isso significa que as filhas dos touros mais eficientes hoje consumirão cerca de 194 kg a menos em uma lactação (aproximadamente -0,58 kg/d, assumindo uma lactação média de 330 dias) que a média das filhas na população, e as filhas dos touros menos eficientes para CAR consumirão cerca de 191 kg a mais que a média das filhas na população (+0,58 kg/d). Ou seja, um diferencial de cerca de 385 kg de MS por lactação entre as filhas dos touros nos extremos da população. Essa variabilidade genética indica potencial para seleção genética (CDCB, 2023; VanRaden et al., 2021), o que já começou a ser implementado e faz parte de alguns dos índices econômicos de melhoramento genético para bovinos (CDCB, 2023). No entanto, o CAR é uma característica de difícil mensuração, e o limitado número de animais com fenótipo caracterizado, hoje cerca de 12.000 vacas, restringe a acurácia do fenótipo. Por esta razão, um fenótipo composto denominado alimento economizado ou "Feed Saved" (**FS**), da língua Inglesa, foi incorporado para aprimorar o processo de seleção para a raça Holandesa. A ideia da utilização de FS é selecionar animais que necessitam menos alimento para produzir a mesma quantidade de LCE ao mesmo tempo que irão produzir mais por unidade de peso corporal. Vale ressaltar que CAR está disponível apenas para animais da raça Holandesa devido ao fenótipo ter sido caracterizado somente nesta raça até o momento.

Associações entre CAR e desempenho produtivo

A seleção para reduzir a ingestão de MS em vacas de alta produção é desejável para melhorar a eficiência alimentar (Tetens et al., 2014), mas isso desde que não seja em detrimento de reservas corpóreas, saúde ou reprodução. Os resultados com base em avalição fenotípica mostram que vacas mais eficientes podem consumir até 4 kg/d a menos de MS nas primeiras 15 semanas de lactação do que as menos eficientes, sem quaisquer alterações na produção de leite, LCE ou de componentes no leite (Nehme Marinho e Santos, 2022). De fato, espera-se que indivíduos identificados com CAR negativo tenham menor ingestão de MS ao mesmo tempo

que o desempenho produtivo seja mantido, tanto em bovinos leiteiros como de corte (Richardson e Herd, 2004; Connor et al., 2013). Obviamente, durante o processo de seleção de animais, produtores irão buscar aqueles que são mais eficientes, mas também mais produtivos. Eventualmente, a expectativa é que a produção irá aumentar ao mesmo tempo com melhor eficiência alimentar.

Uma possível preocupação é que, para vacas leiteiras, o consumo de MS usado para calcular o CAR é normalmente medido após as primeiras semanas de lactação. Isso evita o período em que as vacas sofrem perda de peso e de condição corporal, o que frequentemente tende a inflar as medidas de eficiência alimentar. Com isso, é importante entender se há implicações negativas de se selecionar para uma característica que tem como objetivo a redução na ingestão de MS, o que é uma preocupação para vacas leiteiras nas primeiras 3 a 4 semanas de lactação. Nehme Marinho et al. (2021) reportou que apesar da redução de consumo de MS observado em vacas com CAR negativo, não houve diferenças no desempenho produtivo nas primeiras 5 ou nas primeiras 15 semanas pós-parto, assim como na produção de leite nos primeiros 305 dias de lactação.

Como as reduções em consumo de MS observadas não estão relacionadas com desempenho produtivo, a melhoria na eficiência é causada pela redução da ingestão de MS, sugerindo que as vacas mais eficientes possuem características distintas, por um lado elas podem se diferenciar nas exigências de mantença, ou seja, podem necessitar de menos alimento para sustentar suas funções vitais básicas. Por outro lado, elas podem ser mais aptas em converter o alimento consumido em leite sem comprometer tecidos corporais, seja aumentando a digestibilidade e absorção de nutrientes ingeridos, ou serem mais eficientes em gerar energia nos processos pós absortivos (Figura 2).

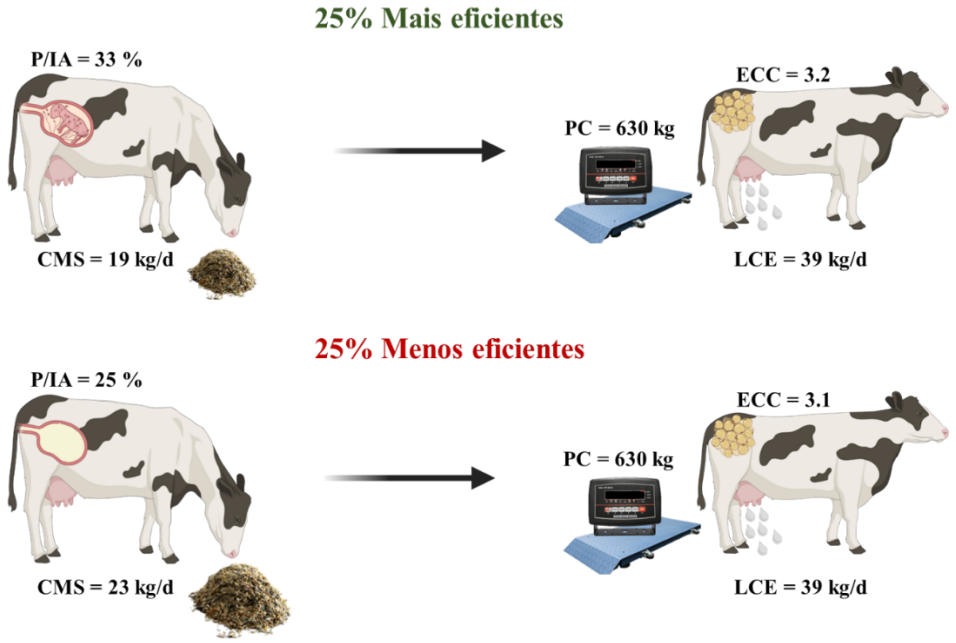


Figura 2. Resumo gráfico dos achados dos estudos conduzidos na Universidade da Florida (Nehme Marinho et al., 2021; 2022). O quartil representando os 25% das vacas mais eficientes consumiu cerca de 4 kg/d a menos de MS tiveram maior taxa de prenhez durante a lactação que o quartil representando os 25% das vacas menos eficientes, sem diferir na produção de leite corrigido para energia, mudança de peso corporal, ou escore de condição corporal. **CMS** = consumo de matéria seca; **ECC** = escore de condição corporal; **LCE** = leite corrigido para energia; **PC** = peso corporal; **P/IA** = prenhez por inseminação artificial.

Associações entre CAR e mobilização de tecido corpóreo e saúde

Distúrbios de saúde pós-parto estão frequentemente vinculados a resultados negativos na produção de leite, reprodução e aumento dos custos de produção, comprometendo a rentabilidade em fazendas leiteiras. Estimular o consumo de MS no início da lactação é geralmente considerado benéfico, pois a baixa ingestão nas primeiras semanas pós-parto está associada com ocorrência de doenças e redução na produção de leite (Pérez-Báez et al., 2019). No entanto, surge uma preocupação ao selecionar vacas para CAR negativo, porque a redução da ingestão de MS nesse estágio inicial de lactação irá resultar num balanço energético mais negativo, o que poderia intensificar a lipomobilização, processo frequentemente considerado prejudicial à saúde de vacas leiteiras (Dechow et al., 2017). Por outro lado, aumentos no consumo de MS e balanço energético no início da lactação são geralmente associados a uma melhora na saúde animal (Pérez-Báez et al., 2019). Assim, aumenta-se a importância em avaliar a influência do CAR e seus impactos na mobilização de tecido corpóreo.

Como a ingestão de MS é a variável que mais explica o cálculo de balanço energético em vacas leiteiras (Santos et al., 2010), não é surpresa alguma que CAR apresente uma correlação positiva com o balanço energético, ou seja, vacas com CAR negativo, as mais eficientes, tem balanço energético mais negativo, e vice-versa (Seymour et al., 2020). Uma limitação importante do cálculo de balanço energético é que ele assume que para uma dada dieta, o seu valor calórico é o mesmo para todas as vacas. Além disso, é assumido que a necessidade de mantença é simplesmente uma função do peso metabólico da vaca. Obviamente, apesar de ambos os conceitos funcionarem para valores médios da população, eles não estão completamente corretos para boa parte dos indivíduos da população e são utilizados para simplificar os cálculos já que os valores individuais praticamente nunca estão disponíveis. Nehme Marinho et al. (2021) mostrou claramente que vacas com CAR negativo tiveram a mesma mobilização de tecido corpóreo que vacas com CAR positivo, apesar das diferenças em ingestão de MS e de balanço energético. A Figura 3 ilustra as associações entre CAR nas primeiras 5 semanas de lactação e balanço energético (Figura 3A) ou mudança de energia corpórea (Figura 3B). Está claro que o cálculo de balanço energético neste caso é inadequado para refletir se as vacas com diferentes CAR irão mobilizar ou não tecido. De fato, a Figura 3B mostra que CAR no início de lactação não foi associado com diferenças na mobilização de tecido corpóreo. O mesmo estudo (Nehme Marinho et al., 2021) mostrou a ausência de qualquer associação entre CAR e risco de doenças em vacas leiteiras no início de lactação.

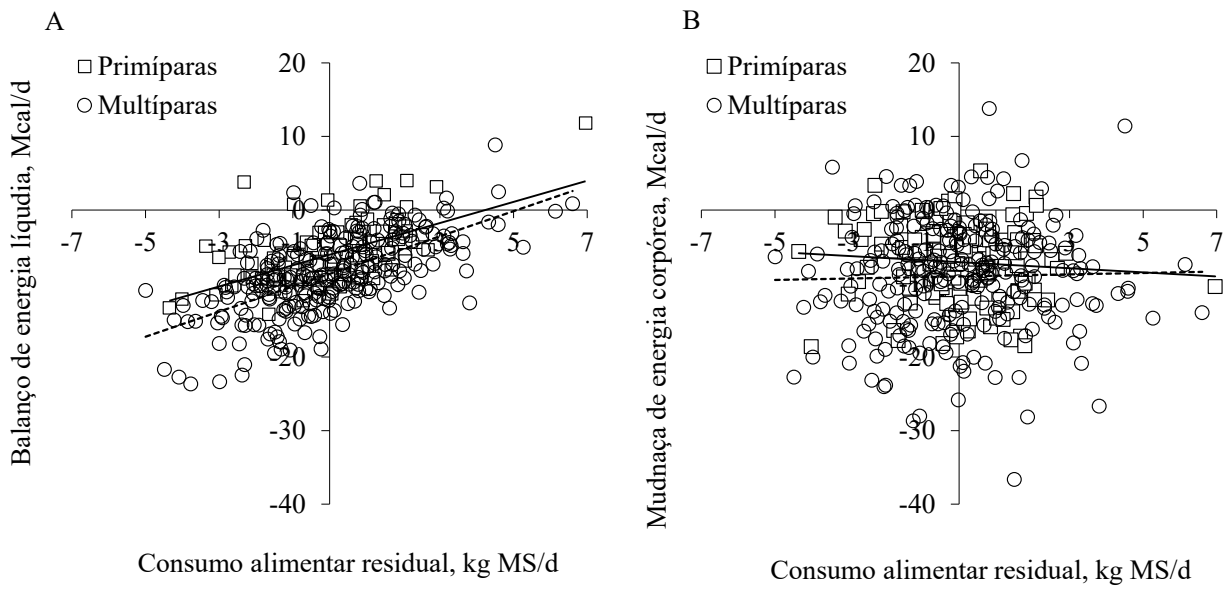


Figura 3. Balanço de energia líquida para lactação (A) e mudança de energia na forma de peso corpóreo ajustado para a condição corporal (B) nas primeiras 5 semanas de lactação de acordo com o consumo alimentar residual nas mesmas primeiras 5 semanas de lactação em vacas Holandesas. As linhas contínuas representam as linhas de regressão para vacas primíparas, sendo que as tracejadas representam as linhas de regressão para as vacas multíparas. Figura A, coeficientes de regressão foram: $R^2 = 0{,}33$ para primíparas e 0,40 para multíparas ($P < 0.001$). Figura B, coeficientes de regressão foram: $R^2 = 0{,}31$ para primíparas e 0,00 para multíparas ($P > 0{,}40$). Dados de Nehme Marinho et al. (2021).

Do ponto de vista genético, o CAR tem correlação muito baixa com fenótipos de saúde (CDCB, 2023), próximas de zero. Ou seja, o valor genômico de CAR de indivíduos praticamente não tem relação alguma com os seus valores genéticos e genômicos de resistência à retenção de placenta (Figura 4A), metrite (Figura 4B), ou mastite (Figura 4C), assim como a sobrevivência na lactação (Figura 4D). Isso significa que selecionar animais para CAR, a princípio, não deverá alterar aspectos de saúde em vacas leiteiras. Isso se dá devido ao fato dos genes que controlam CAR serem independentes daqueles que controlam a variação genética para resistência à doenças ou mesmo a sobrevivência da vaca numa lactação.

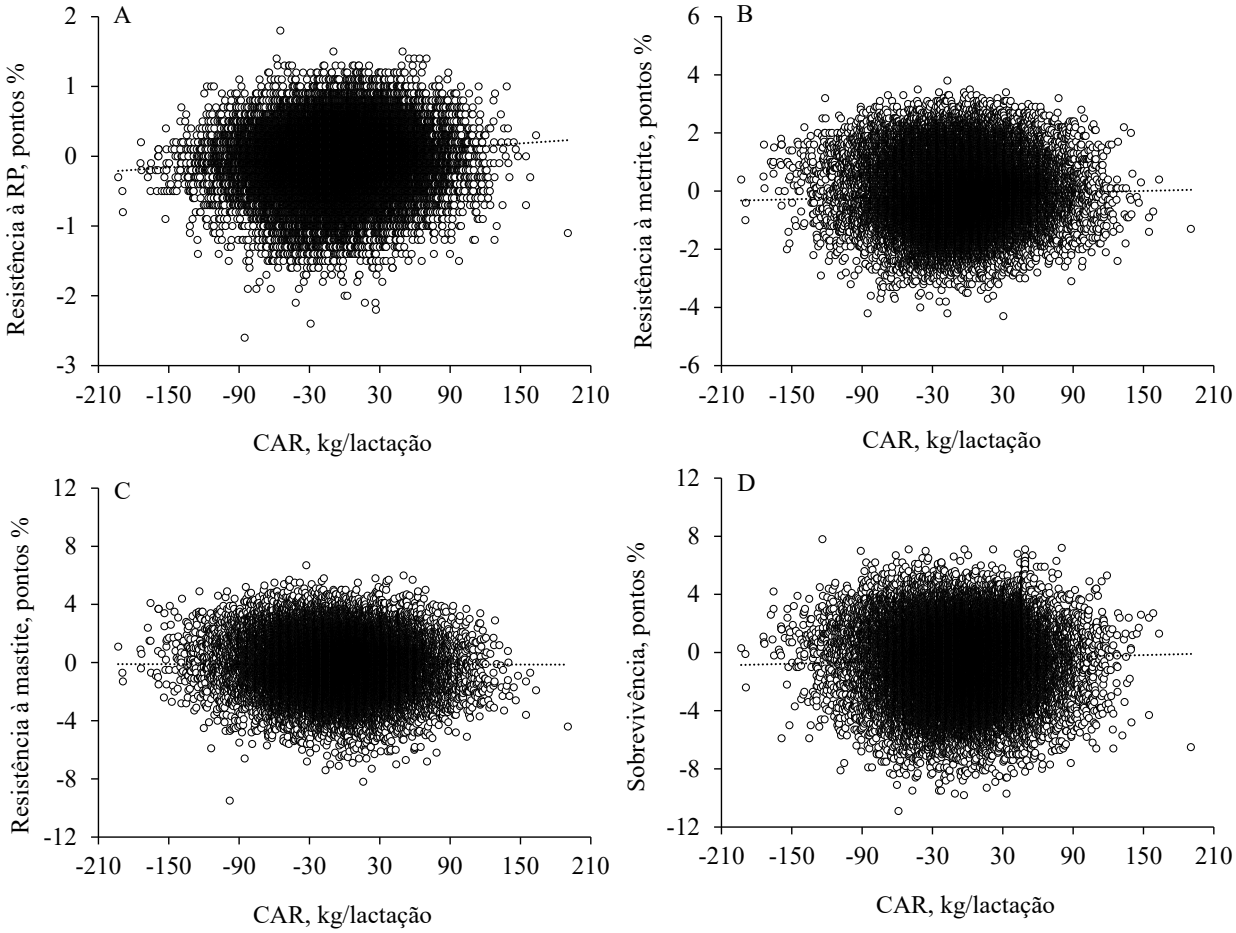


Figura 4. Valores de PTA de consumo alimentar residual (CAR) e resistência à retenção de placenta (RP; A), metrite (B), e mastite (C), e sobrevivência na lactação (D) de 81.840 touros da raça Holandesa na base de dados do CDCB (2023). A linha pontilhada representa a linha de regressão de cada figura. Valores de CAR abaixo de 0 representa a população de touros cujas filhas serão mais eficientes que a média da população. Valores de PTA para retenção de placenta, metrite e mastite acima de 0 representa a população de touros cujas filhas serão mais resistentes a essas doenças que a média da população. Valores de PTA de sobrevivência acima de 0 representa a população de touros cujas filhas têm maior probabilidade de sobreviver ao final de uma lactação em pontos percentuais.

Associações entre CAR e desempenho reprodutivo

Uma das preocupações com o uso de CAR é se a redução da ingestão de MS no início de lactação em vacas mais eficientes irá resultar em implicações negativas para a reprodução. É sabido que ingestão de MS explica a maior parte da variância em balanço energético (Santos et al., 2010), e este último está associado com desempenho reprodutivo em vacas leiteiras (Butler et al., 2000). Vacas que consomem menos alimento por unidade de leite produzida automaticamente terão seu balanço energético reduzido. Entretanto, CAR não está associado com maior mobilização de tecido no início de lactação (Figura 3B; Nehme Marinho et al., 2021). Assume-se que para uma dada dieta, seu valor energético é basicamente uma função da sua composição de nutrientes, com mínimo desconto devido a diferenças em ingestão de MS (NASEM, 2021), e que para uma dada vaca, sua necessidade de mantença é função basicamente de seu peso metabólico (peso vivo^{0,75}). Obviamente, essas são maneiras simplistas de explicar

e entender aspectos da bioenergética animal. Sabemos que uma mesma dieta oferecida a animais distintos resulta em diferenças em digestibilidade e uso de nutrientes no período pós-absortivo. Sabemos também que, apesar da mantença ser uma função associada ao peso metabólico do animal, ela não é um valor constante. Ou seja, o cálculo de balanço energético sofre de certas limitações, sendo que o cálculo de CAR considera o peso metabólico da vaca, ou seja, sua estimativa de mantença, e também a mudança de peso corpóreo associada a condição corporal da vaca, o que se espera representar o acréscimo (balanço nutricional positivo) ou mobilização (balanço nutricional negativo) de peso vivo.

Nehme Marinho et al. (2022) avaliou o CAR em 851 vacas da raça Holandesa nas primeiras 15 semanas de lactação e sua associação com desempenho reprodutivo. Os autores observaram que, ao contrário do que se esperava, as vacas mais eficientes também tiveram melhor desempenho reprodutivo. Na verdade, o quartil de vacas menos eficientes é que teve o pior desempenho reprodutivo. O quartil de vacas mais eficientes quando comparado com o quartil de vacas menos eficientes resultou em diferenças em prenhez por inseminação artificial (31,4% vs. 24,5%), na proporção de vacas prenhes até os 300 dias pós-parto (79,0% vs. 71,5%), e na redução do período de serviço (132 vs. 147 dias), o que culminou num aumento na taxa de prenhez a cada 21 dias (21,2 vs. 16,6%) e taxa diária de prenhez em 29% (razão de "hazard" = 1,29; IC 95% = 1,03-1,62; Nehme Marinho e Santos, 2022). Embora o estudo não permita inferir mecanismos, postula-se que vacas com CAR positivo, ou seja, as menos eficientes em converter energia do alimento em produto, não apenas têm um uso menos eficiente de nutrientes, mas possíveis mudanças no metabolismo pós-absortivo desses nutrientes podem afetar gametas e embriões, comprometendo assim o desempenho reprodutivo (Figura 2).

Mecanismos que explicam as diferenças em CAR entre bovinos

Entender os mecanismos que explicam as diferenças observadas em CAR entre bovinos é de enorme interesse da comunidade científica e da indústria pecuária, dadas as implicações econômicas e ambientais que a eficiência alimentar apresenta. Até o momento, o conhecimento é insípido e superficial. Pouco se sabe das razões para diferenças de mantença ou de melhor uso da energia consumida entre indivíduos com CAR divergente. A princípio, acredita-se que os mecanismos relacionados com a melhoria da eficiência alimentar estão associados principalmente com aumento na digestibilidade dos alimentos, diferenças na microbiota gastrointestinal, diferenças nas necessidades de mantença e diferenças em comportamento alimentar ou atividade física das vacas (Figura 4).

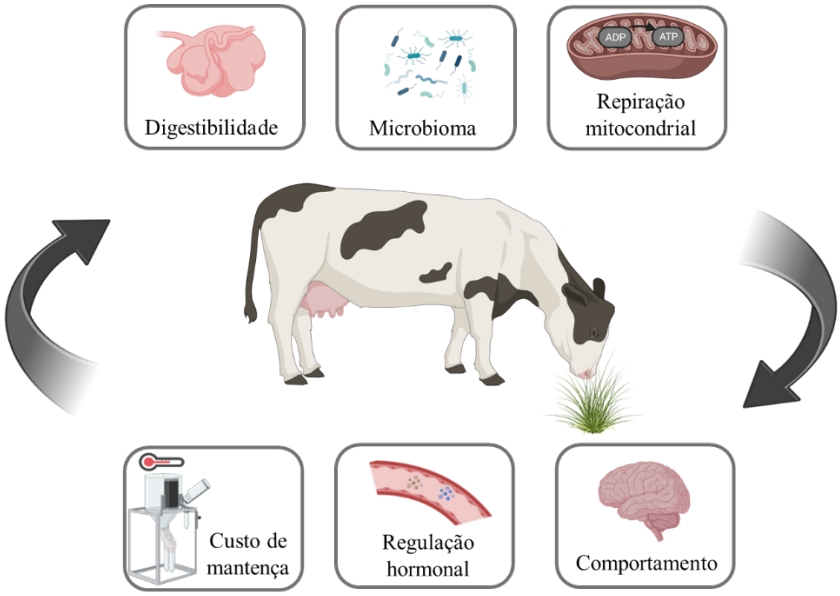


Figura 2. Diagrama das características biológicas associadas à eficiência alimentar que podem explicar as diferenças entre animais que divergem para consumo alimentar residual (CAR). Animais com CAR negativo provavelmente tem maior digestibilidade de alimentos o que potencializa a energia digestível da dieta. Estes mesmo indivíduos têm microbiota ruminal distinta, o que pode favorecer a digestão dos alimentos ou os produtos originários da digestão gastrointestinal disponíveis para serem absorvidos e utilizados pela vaca. Bovinos mais eficientes podem ter respiração mitocondrial também mais eficiente resultando em síntese de ATP mais eficiente por unidade de oxigênio consumido, reduzindo assim ciclos fúteis e perda de prótons que podem causar dano celular. Vacas mais eficientes podem ter menor custo de mantença, portanto utilizando mais dos nutrientes consumidos para utilizados para produção e crescimento. É possível que vacas mais eficientes tenham diferenças hormonais que alteram a função celular e o uso de nutrientes pelos tecidos de modo que as prioridades são alocadas principalmente à glândula mamária sem detrimento para outros tecidos. Por fim, vacas mais eficientes podem apresentar diferenças comportamentais com maior taxa de ruminação por unidade de MS consumida, o que deveria aumentar a digestibilidade e alterar o local de digestão favorecendo a ruminal, mais tempo descansando, menos tempo caminhando, além de diferenças no tempo e tamanho das refeições que poderia melhorar o uso de nutrientes.

A melhoria das funções digestivas está associada com o aumento de eficiência alimentar em novilhas (Rius et al., 2012), vacas em lactação (Guinguina et al., 2020), bovinos de corte (Nkrumah et al., 2006) e em outras espécies, como por exemplo em suínos (Harris et al., 2012). Isso não é surpreendente porque melhorias na digestibilidade, em particular na digestibilidade ruminal, aumentam a energia líquida para lactação das dietas que favorecem o desempenho produtivo com menor ingestão de alimento, como observado em vacas com CAR negativo (Guinguina et al., 2020; Nehme Marinho et al., 2023). No entanto, é possível que diferenças em digestibilidade em vacas com distintos CAR seja dependente da dieta fornecida, apesar de haver uma constância no ranqueamento da eficiência alimentar quando vacas recebem diferentes dietas (Liu e VandeHaar, 2020a).

Cerca de 60% do fluxo de energia líquida pelo sistema drenado pela veia porta em vacas leiteiras é representado por ácidos graxos de cadeia curta (**AGCC**), acetato, propionato e

butirato (Huntington e Reynolds, 1987), os quais são produzidos durante o processo de fermentação microbiana da matéria orgânica principalmente no rúmen, mas também no ceco e cólon. Portanto, ruminantes dependem de uma diversidade simbiótica de micróbios do trato gastrointestinal, principalmente no compartimento ruminal, para digerir nutrientes que muitas vezes são indigestos pelo hospedeiro. Por causa dessa relação, é esperado que microbiota ruminal dite parte da variação na eficiência alimentar observada entre vacas leiteiras. Grupos de vacas que divergem em CAR também divergem na composição da microbiota ruminal (Monteiro et al., 2023; Nehme Marinho et al., 2023) e intestinal (Monteiro et al., 2022). Uma das comunidades microbianas que mais diferiu foi as bactérias do grupo *Ruminococcus gauvreaii,* cuja abundância relativa foi maior em vacas mais eficientes (Monteiro et al. 2023). Estes microrganismos são responsáveis principalmente por degradar celulose, hemicelulose e peptídeos (Wallace, 1996). Mais do que isso, sua atividade está associada ao aumento na produção de AGCC e síntese de proteína microbiana (Yin et al., 2021), o que condiz com resultados de estudos demonstrando aumento nas concentrações ruminais de nitrogênio amoniacal (Monteiro et al., 2023; Nehme Marinho et al., 2023) e AGCC (Kruger et al., 2016) em vacas mais eficientes. Além disso, a diversidade microbiana no rúmen, medida por índices como o de Shannon, é menor em vacas mais eficientes. Este índice avalia tanto a variedade de espécies presentes quanto a uniformidade de sua representação. Uma comunidade microbiana menos diversa, como observado por Kruger et al. (2016), Monteiro et al. (2023) e Nehme Marinho et al. (2023), em animais mais eficientes talvez sugira uma microbiota mais especializada para produzir produtos da fermentação que beneficiam o hospedeiro, o que favoreceria a eficiência de conversão de alimento em leite. Essas diferenças talvez favoreçam a degradação de carboidratos e proteínas no rúmen, o que favoreceria a síntese de proteína de origem microbiana. Talvez, diferenças na microbiota ruminal favoreça a reciclagem de N para o rúmen, o que beneficiaria o uso de N pelo hospedeiro (Nehme Marinho et al., 2021). Muitos dos aspectos mecanísticos associados a digestão gastrointestinal ainda precisam ser explorados de maneira mais detalhada para entendermos melhor as diferenças que de fato explicam a divergência em CAR entre vacas leiteiras.

O apetite de um animal e sua sensação de saciedade são controlados por uma série de mecanismos interligados entre os tecidos esplâncnicos e o sistema nervoso central, e inclui efeitos psicogênico, que descreve como o animal responde a diferentes estímulos, sejam eles inibidores ou ativadores. Estes estímulos podem ter origens sensoriais, como cheiro ou visão do alimento, interações sociais, ritmos circadianos ou mudanças no ambiente. Em paralelo, a regulação do apetite também está relacionada com o estado nutricional do animal, onde o equilíbrio ou desequilíbrio de nutrientes pode sinalizar a necessidade de comer ou parar. Aspectos físicos, como a capacidade do rúmen-retículo de se expandir, a presença de reservas de gordura, a capacidade de certos nutrientes exercerem efeitos específicos na secreção hormonal, ou a taxa de oxidação de nutrientes desempenham papel importante em determinar o tamanho de uma refeição assim como a frequência de refeições num dado dia. Por isso, comportamento animal pode ser um dos fatores que explicam as diferenças em CAR entre vacas leiteiras. Consumo alimentar residual está de fato associado a mudanças no comportamento alimentar. Connor et al. (2013) reportaram que vacas mais eficientes apresentaram uma taxa de consumo de MS (gramas/segundo) mais lenta do que em as menos eficientes. Além disso, vacas mais eficientes apresentam um tempo de ruminação mais longo por quilograma de MS consumida (Nehme Marinho et al., 2023) e maior tempo diário de ruminação (Fischer et al., 2018). Consequentemente, a diminuição da taxa de ingestão de MS, combinada com o aumento da ruminação em animais mais eficientes podem levar a um aumento na digestibilidade. Isso ocorre provavelmente devido a um maior período de retenção do alimento no rúmen, redução mais efetiva do tamanho de partícula, criando assim uma maior oportunidade para os microrganismos ruminais digerir a matéria orgânica presente nos alimentos. Outras medidas comportamentais, como tempo que os animais passam em pé ou caminhando, podem

influenciar o direcionamento do uso de energia para atividades que não sejam produtivas, diminuindo assim a eficiência alimentar.

Embora assuma-se que a energia líquida necessária para a mantença em bovinos leiteiros seja uma constante em função do peso metabólico, cerca de 100 Kcal/kg de peso vivo^{0,75} (NASEM, 2021), é esperado que haja variação entre animais. Diferenças na composição corporal, como a relação proteína gordura, e no tamanho dos órgãos internos poderiam afetar as necessidades de mantença e, assim, influenciar o CAR. Bovinos de corte mais eficientes apresentaram órgãos internos mais leves como o rúmen, coração, e bexiga comparados com os menos eficientes (Fitzsimons et al., 2014; Meale et al., 2017). Isso implicaria em um possível menor custo energético para funções voltadas ao metabolismo basal, o que favoreceria a eficiência alimentar.

Além disso, o uso energético a nível celular também é um fator que pode influenciar a eficiência alimentar. Estudos em bovinos de corte reportaram um aumento na respiração mitocondrial no tecido hepático em bovinos de corte mais eficientes, resultando em maior produção de ATP per mol de oxigênio consumido (Casal et al., 2018), achado que não foi observado em vacas leiteiras (Nehme Marinho et al., 2023). Os mesmos autores observaram e uma maior expressão de genes e proteínas antioxidantes em no tecido hepático de bovinos com CAR negativo (Casal et al., 2019), o que sugere uma regulação mais eficiente do estresse oxidativo celular.

Alimento economizado ("Feed Saved"), um novo fenótipo para seleção na raça Holandesa

Embora O CAR seja uma característica hereditária, apresentando uma herdabilidade estimada de 0,19 (CDCB, 2023), sua acurácia, também referida como confiabilidade, continua limitada devido a pequena população caracterizada até o momento. A confiabilidade para todo fenótipo considerado num programa de melhoramento genético. Quanto maior seu valor, mais certeza temos de que os valores de PTA refletem a verdadeira mudança genética que será observada na população. Devido a isso, a indústria americana integrou o CAR com dados de composto corpóreo, um fenótipo amplamente disponível e coletado em mais de dois milhões de vacas e que detém alta confiabilidade e herdabilidade (h^2 = 40%; CDCB, 2023). Com isso, um novo fenótipo composto incluindo o CAR e composto corpóreo foi criado e denominado FS, o que torna seu uso mais relevante nos programas de seleção de bovinos leiteiros. A característica FS na raça Holandesa tem confiabilidade média variando de 28 a 38% (CDCB, 2023). Na raça Holandesa, a única a ter o valor de FS disponível, o CDCB atualmente usa a seguinte fórmula para calcular a PTA:

PTA FS = -1(PTA CAR) - 151,8 (PTA composto corpóreo)

Valores de PTA mais altos são preferíveis para FS já que representam as libras (equivalente a 0,458 kg) de alimento economizados numa lactação. No caso de composto corpóreo, é notável que o coeficiente é negativo (-151,8) devido ao fato de animais menores e mais leves terem menor necessidade de mantença que animas maiores e mais pesados. Cada 1 desvio padrão na PTA para composto corpóreo resulta em uma mudança prevista de aproximadamente 16 kg no peso adulto de uma vaca Holandesa. Por exemplo, as filhas de um touro com PTA para composto corpóreo de +2 são previstas a pesarem 32 kg a mais do que a média das filhas da raça na população referência. Assim, a seleção de animais menores e mais leves, com composto corpóreo negativo, deve reduzir as necessidades de mantença, o que é esperado melhorar a eficiência alimentar e, por isso, aumentar o valor de FS.

Eficiência alimentar é apenas mais um componente do programa de seleção genética para bovinos leiteiros. Obviamente, reduzir a ingestão de MS por kg de LCE produzido tem um impacto econômico e ambiental importante, mas as diferenças esperadas ainda são pequenas. Mais importante, a baixa confiabilidade atual no fenótipo, apenas 28 a 38%, faz com que FS tenha um peso pequeno e seja apenas um dos inúmeros componentes de fenótipos compostos como os utilizados pela indústria americana, o mérito líquido vitalício, mérito de queijo, e outros. Selecionar animais com base FS como o principal fenótipo a ser considerado seria um erro. No entanto, identificar animais superiores para produção de leite e componentes do leite, aspectos de saúde, reprodução e sobrevivência, associados valores de FS positivos é o caminho a ser traçado no programa de seleção genética de um rebanho leiteiro.

Conclusões

A eficiência alimentar é uma das medidas de desempenho de bovinos leiteiros que, em conjunto com a produção de leite e seus componentes, tem provavelmente o maior impacto econômico numa fazenda. Avaliar a eficiência alimentar com o uso de conversão alimentar, como os kg de produção de leite-corrigido para energia por kg de MS consumido deve ser parte da rotina diária de todo rebanho leiteiro bem manejado. Entretanto, conversão alimentar sofre de limitações que não permite comparar diretamente diferentes indivíduos em estágios distintos de lactação. Uma medida de eficiência alimentar mais abrangente é o CAR, mas ela não é de uso rotineiro no manejo de rebanhos. O que o CAR permite é identificar animais superiores para eficiência alimentar ajustando para outras características como a produção de leite corrigido para energia, a necessidade de mantença da vaca, as mudanças de peso e composição corpórea, assim como as características do grupo animal avaliado. De tal forma, o valor obtido se torna independente destas características e um animal mais eficiente não é em detrimento de suas reservas corpóreas ou de seu peso vivo. Por isso, espera-se que implementar programas de seleção onde CAR ou FS são componentes dos critérios de seleção utilizados não deve tornar a vaca mais susceptível a doenças ou comprometer seu desempenho reprodutivo. Obviamente, no caso do FS, como parte do fenótipo inclui composto corpóreo, espera-se que sua implementação irá reduzir o tamanho e peso adulto das vacas Holandesas nas fazendas que implementarem seu uso como ferramenta de seleção genética. O ganho com a economia alimentar ainda será pequeno e incerto, em parte devido à baixa confiabilidade no fenótipo com os dados disponíveis atualmente. Entretanto, se a ingestão de MS continuar a ser coletadas em rebanhos pilotos em milhares de animais, a tendência é que a confiabilidade tanto no CAR como no FS irá aumentar, assim como iremos entender melhor como manipular o CAR e suas implicações para a vaca leiteira. Desenvolver estudos mais elaborados para entender os mecanismos que explicam diferenças em CAR é ponto fundamental para que possamos implementar essa ferramenta de maneira mais efetiva. Hoje, o conhecimento é insípido e longe de se explicar o porquê de duas vacas com mesmo peso vivo, recebendo a mesma dieta, produzirem exatamente a mesma quantidade de LCE, mas uma consumindo 3 ou 4 kg a menos de MS que a outra. Integrar conhecimentos nas áreas de genética, fisiologia, nutrição, bioenergética, biologia celular e molecular serão fundamentais para que haja mais progresso no conhecimento do que explica consumo de alimento e o uso de nutrientes em vacas que divergem na sua habilidade de direcionar nutrientes para a produção de leite de maneira mais eficiente.

Referências

Arshad, U., M. G. Zenobi, C. R. Staples, and J. E. P. Santos. 2020. Meta-analysis of the effects of supplemental rumen-protected choline during the transition period on performance and health of parous dairy cows. J. Dairy Sci. 103:282–300

Bach, A., M. Terré, and M. Vidal. 2020. Symposium review: Decomposing efficiency of milk production and maximizing profit. J. Dairy Sci. 103:5709-5725.

Burciaga-Robles, L. O. 2009. Effects of bovine respiratory disease on immune response, animal performance, nitrogen balance, and blood and nutrient flux across total splanchnic tissues in beef steers. PhD Dissertation. Oklahoma State University.

Butler, W. R. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. Anim. Reprod. Sci. 60-61:449-457.

Casal A., M. Garcia-Roche, E. A. Navajas, A. Cassina, and M. Carriquiry. 2018. Hepatic mitochondrial function in Hereford steers with divergent residual feed intake phenotypes. J. Anim. Sci. 96:4431-4443.

Casal A., M. Garcia-Roche, E. A. Navajas, A. Cassina, and M. Carriquiry. 2019. Differential hepatic oxidative status in steers with divergent residual feed intake phenotype. Animal 14:78-85.

CDCB. 2023. Feed Saved (FSAV). Accessed Aug. 12, 2023. https://uscdcb.com/feed-saved/.

Connor, E. E., J. L. Hutchison, H. D. Norman, K. M. Olson, C. P. Van Tassell, J. M. Leith, and R. L. Baldwin. 2013. Use of residual feed intake in Holsteins during early lactation shows potential to improve feed efficiency through genetic selection. J. Anim. Sci. 91:3978-3988.

Dechow, C. D., C. R. Baumrucker, R. M. Bruckmaier, and J. W. Blum. 2017. Blood plasma traits associated with genetic merit for feed utilization in Holstein cows. J. Dairy Sci. 100:8232-8238.

De Vries, A. G., and Kanis E. 1992. A growth model to estimate economic values for food intake capacity in pigs. Anim. Prod. 55:241-246.

Dos Santos Neto, J. M., J. de Souza, A. L. Lock. 2021a. Nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows when saturated free fatty acid supplements are included in diets: A meta-analysis. J. Dairy Sci. 104:12628–12646.

Dos Santos Neto, J. M., J. de Souza, A. L. Lock. 2021b. Effects of calcium salts of palm fatty acids on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows: A meta-analysis and meta-regression. J. Dairy Sci. 104:9752-9768.

Fairfull, R. W., and J. R. Chambers. 1984. Breeding for feed efficiency: Poultry. J. Anim. Sci. 64:513-527.

Fischer, A., R. Delagarde, and P. Faverdin. 2018. Identification of biological traits associated with differences in residual energy intake among lactating Holstein cows. J. Dairy Sci. 101:4193-4211.

Fitzsimons, C., D.A. Kenny, and M. McGee. 2014. Visceral organ weights, digestion and carcass characteristics of beef bulls differing in residual feed intake offered a high concentrate diet. Anim. 8:949-959.

Guinguina, A., T. Yan, P. Lund, A. R. Bayat, A. L. F. Hellwing, and P. Huhtanen. 2020. Between-cow variation in the components of feed efficiency. J. Dairy Sci. 103:7968-7982.

Harris, A. J., J. F. Patience, S. M. Lonergan, J. C. M. Dekkers, and N. K. Gabler. 2004. Improved nutrient digestibility and retention partially explains feed efficiency gains in pigs selected for low residual feed intake. Aust. J. Exp. Agric. 44:371-382.

Hill, D. L., and E. Wall. 2017. Weather influences feed intake and feed efficiency in a temperate climate. J. Dairy Sci. 100:2240-2257.

Huntington, G.B., and C.K. Reynolds. 1987. Oxygen consumption and metabolite flux of bovine portal-drained viscera and liver. J. Nutr. 117:1167-1173.

Koch, R. M., L. A. Swiger, D. Chambers, and K. E. Gregory. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. J. Anim. Sci. 22:486-494.

Kruger, S., B. Shabat, G. Sasson, A. Doron-Faigenboim, T. Durman, S. Yaacoby, M. E. B. Miller, B. A. White, N. Shterzer, and I. Mizrahi. 2016. Specific microbiome-dependent mechanisms underlie the energy harvest efficiency of ruminants. ISME 10:2958-2972.

Liu, E., and M. J. VandeHaar. 2020a. Relationship of residual feed intake and protein efficiency in cows fed high- or low-protein diets. J. Dairy Sci. 103:3177-3190.

Liu, E., and M. J. VandeHaar. 2020b. Low dietary protein resilience is an indicator of the relative protein efficiency of individual dairy cows. J. Dairy Sci. 103:11401-11412.

Maltz, E., L.F. Barbosa, P. Bueno, L. Scagion, K. Kaniyamattam, L.F. Greco, A. de Vries, and J.E.P. Santos. 2013. Effect of precision feeding on performance, nutrient excretion and feeding behavior of early lactation dairy cows. J. Dairy Sci. 96: 5249–5266.

Meale S. j., D. P. Morgavi, I. Cassar-Malek, D. Andueza, I. Ortigues-Marty, R. J. Robins, A. Schiphorst, S. Laverroux, B. Graulet, H. Boudra, and G. Cantalapiedra-Hijar. 2017. Exploration of biological markers of feed efficiency in young bulls. J. Agric. Food Chem. 65:9817-9827.

Monteiro, H.F., Z. Zhou, M. S. Gomes, Peixoto, P. M. G., Bonsaglia, E. C. R., Canisso, I. F., Weimer, B. C., Lima, F.S. 2022. Rumen and lower gut microbiomes relationship with feed efficiency and production traits throughout the lactation of Holstein dairy cows. Sci. Rep. 12:4904.

Monteiro, H.F., C. Figueiredo, B. Mion, W. Coelho Jr., R. Bisinotto, M. Nehme Marinho, J. E. P. Santos, F. Peñagaricano, E. Ribeiro, F. Schenkel, B. Weimer, L. Guan, A. Neves, T. Brown, F. Lima. 2023. A multi-omics approach to characterize the role of the rumen microbiome on feed efficiency in dairy cows. J. Dairy Sci. 106 (Suppl.1):142. (Abstr.).

NASEM. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th rev. ed. Nat. Acad. Press, Washington, DC.

Nehme Marinho, M., S. E. Wohlgemuth, M. C. Perdomo, and J. E. P. Santos. 2023. Associations between residual feed intake (RFI) and digestibility and hepatic mitochondrial respiration in Holstein cows. J. Dairy Sci. 106 (Suppl.1):146. (Abstr.).

Nehme Marinho, M., and J. E. P Santos. 2022. Association of residual feed intake with blood metabolites and reproduction in Holstein cows. Front. Anim. Sci. 3:847574.

Nehme Marinho, M., R. Zimpel, F. Peñagaricano, and J. E. P Santos. 2021. Assessing feed efficiency in early and mid-lactation and its associations with performance and health in Holstein cows. J. Dairy Sci. 104:5493-5507.

Nkrumah, J. D., E. K. Okine, G. W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J. A. Basarab, M. A. Price, Z. Wang, and S. S. Moore. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. J. Anim. Sci. 84:145-153.

Old, C.A., H.A. Rossow, and T.A. Famula. 2015. Reproducibility of estimators and validity of feed efficiency models. J. Dairy Sci. 98 (Suppl. 2):637 (Abstr.).

Pérez-Báez, J., C. A. Risco, R. C. Chebel, G. C. Gomes, L. F. Greco, S. Tao, I. M. Thompson, B. C. do Amaral, M. G. Zenobi, N. Martinez, C. R. Staples, G. E. Dahl, J. A. Hernández, J. E. P. Santos, and K. N. Galvão. 2019. Association of dry matter intake and energy balance prepartum and postpartum with health disorders postpartum: Part I. Calving disorders and metritis. J. Dairy Sci. 102:9138-9150.

Persaud, P., G. Simm, and W. G. Hill. 1991. Genetic and phenotypic parameters for yield, food intake and efficiency of dairy cows fed ad libitum. 1. Estimates for 'total' lactation measures and their relationship with live-weight traits. Anim. Prod. 52:435-444.

Richardson, E. C., and R. M. Herd. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. Aust. J. Exp. Agric. 44:431-440.

Rius, A. G., S. Kittelmann, K. A. Macdonald, G. C. Waghorn, P. H. Janssen, and E. Sikkema. 2012. Nitrogen metabolism and rumen microbial enumeration in lactating cows with divergent residual feed intake fed high-digestibility pasture. J. Dairy Sci. 95:5024-5034.

Santos, J. E. P., R. S. Bisinotto, E. S. Ribeiro, F. S. Lima, L. F. Greco, C. R. Staples, and W. W. Thatcher. 2010. Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle. Soc. Reprod. Fertil. Suppl. 67:387-403.

Seymour, D. J., A. Cánovas, T. C. S. Chud, J. P. Cant, V. R. Osborne, C. F. Baes, F. S. Schenkel, and F. Miglior. 2020. The dynamic behavior of feed efficiency in primiparous dairy cattle. J. Dairy Sci. 103:1528-1540.

Tempelman, R. J., D. M. Spurlock, M. Coffey, R. F. Veerkamp, L. E. Armentano, K. A. Weigel, Y. de Haas, C. R. Staples, E. E. Connor, Y. Lu, M. J. VandeHaar. 2015. Heterogeneity in genetic and nongenetic variation and energy sink relationships for residual feed intake across research stations and countries. J. Dairy Sci. 98:2013-2026.

Tetens, J., G. Thaller, and N. Krattenmacher. 2014.Genetic and genomic dissection of dry matter intake at different lactation stages in primiparous Holstein cows. J. Dairy Sci. 97:520-531.

USDA ERS (US Department of Agriculture Economic Research Service). 2023. Milk production costs and returns per hundredweight (cwt) sold, by state. Accessed Aug. 12, 2023. https://www.ers.usda.gov/data-products/milk-cost-of-production-estimates/.

VandeHaar, M. J., L. E. Armentano, K. Weigel, D.M. Spurlock, R. J. Tempelman, and R. Veerkamp. 2016. Harnessing the genetics of the modern dairy cow to continue improvements in feed efficiency. J. Dairy Sci. 99:4941-4954.

VanRaden, P. M., J. B. Cole, M. Neupane, S. Toghiani, K. L. Gaddis, and R. J. Tempelman. 2021. Net merit as a measure of lifetime profit: 2021 revision. AIPL Res. Rep. NM$8 (05-21). Accessed Aug. 12, 2023. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80420530/Publications/ARR/nmcalc-2021_ARR-NM8.pdf

Wallace R. J., Ruminal microbial metabolism of peptides and amino acids. 1996. J. Nutr. 126: 1326S-1334S.

Yin X., S. Ji, C. Duan, P. Tian, S. Ju, H. Yan, Y. Zhang, Y. Liu, et al. 2021. Age-related changes in the ruminal microbiota and their relationship with rumen fermentation in lambs. Front. Microbiol. 12:679135.

Qual o futuro na nutrição aminoacídica para vacas leiteiras?

Fernanda Batistel[1]

Aminoácidos são cruciais para manter as funções vitais e desempenham um papel fundamental no crescimento, desenvolvimento, lactação e também nas funções do sistema imunológico e reprodutivo dos bovinos leiteiros. Bovinos leiteiros, assim como outros ruminantes, obtêm aminoácidos tanto da dieta quanto da proteína microbiana (**Figura 1**). Do ponto de vista nutricional, a proteína da dieta pode ser dividida em duas categorias: proteína degradável no rúmen (PDR) e a proteína não degradável no rúmen (PNDR). A PDR é utilizada pelos microrganismos para gerar proteína microbiana, enquanto a PNDR passa sem ser utilizada pelos microrganismos. Além disso, os microrganismos ruminais são capazes de utilizar fontes de nitrogênio-não proteico presentes na dieta para gerar proteína microbiana. Atualmente, a produção de proteína microbiana é estimada com base na digestão ruminal do amido e da fibra em detergente neutro (NASEM, 2021). Ao chegarem no abomaso, tanto a proteína microbiana quando a PNDR são desnaturadas pelo ácido clorídrico e o processo de digestão é iniciado pelas proteases. Quando essas proteínas chegam ao intestino delgado, a digestão continua com a ação de enzimas proteolíticas do pâncreas e do intestino delgado. Nessa mesma seção do trato digestivo, aminoácidos e pequenos peptídeos são absorvidos e encaminhados ao fígado pela veia porta. Posteriormente os aminoácidos podem ser utilizados para síntese de proteínas e também para outros vários processos biológicos pelo fígado e também pelos tecidos extra-hepáticos.

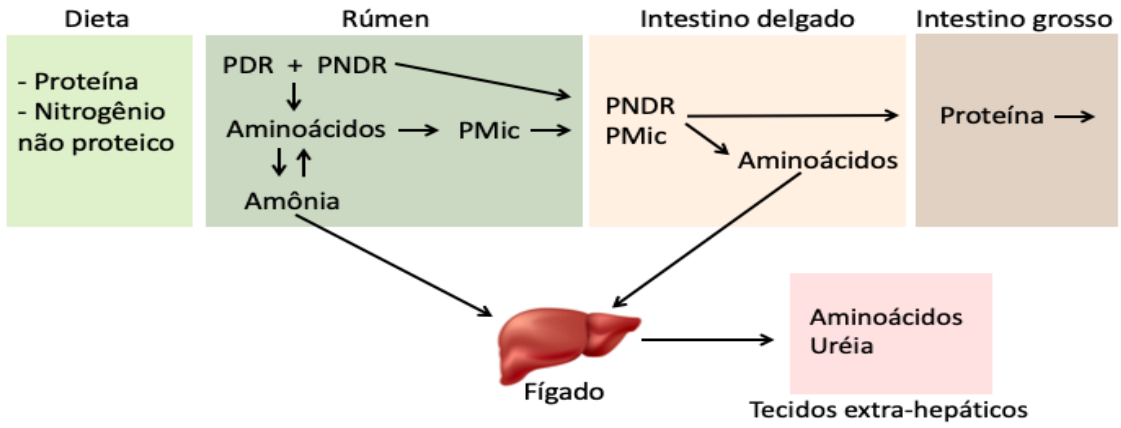


Figura 1. Resumo do metabolismo de nitrogênio em ruminantes. (PDR = proteína degradável no rúmen; proteína não degradável no rúmen (PNDR); PMic = proteína microbiana).

Embora os aminoácidos absorvidos no intestino delgado sejam os componentes exigidos nos processos metabólicos, a formulação das dietas para bovinos leiteiros se baseia na quantidade de proteína metabolizável, e não diretamente quanto de cada aminoácido é metabolizado (NASEM, 2021). No entanto, a proporção dos aminoácidos essenciais, especialmente lisina e metionina, na proteína metabolizável é considerado na formulação das dietas com o intuito de favorecer a produção de leite. A proteína metabolizável é definida como a proporção de aminoácidos metabolizáveis oriundos da proteína microbiana e da PNDR (NASEM, 2021).

[1] *University of Florida.*

Dentro dos vinte aminoácidos considerados necessários para a síntese de proteína, nove são classificados como essenciais (histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina), um como condicionalmente essencial (arginina), e dez como não-essenciais (alanina, asparagina, aspartato, cisteína, glutamato, glutamina, glicina, prolina, serina e tirosina) para bovinos leiteiros (NASEM, 2021). A essencialidade dos aminoácidos significa que estes não são produzidas, ou não são produzidos em quantidade suficiente pelas células do animal e, portanto, precisam ser obtidos por meio da proteína metabolizável. Em casos de vacas de alta produção, em que as frações de PNDR e proteína microbiana não conseguem atender às exigências dos aminoácidos essenciais, fontes comerciais de aminoácidos protegidos da degradação ruminal são utilizados para balancear as dietas.

O efeito da nutrição de aminoácidos sobre a produção e composição do leite tem sido objeto de estudo por décadas (Schwab and Broderick, 2017). Metionina, lisina, e histidina têm sido os aminoácidos mais amplamente pesquisados devido ao fato de serem considerados aminoácidos limitantes, ou seja, estão presentes em concentrações mais baixas na proteína metabolizável em relação às exigências nutricionais de vacas de alta produção (Schwab and Broderick, 2017). Mais recentemente, o efeito da suplementação de aminoácidos vem sendo investigado durante o período de transição, que compreende o final da gestação e início da lactação. Esse período é caracterizado pela diminuição do consumo de alimentos, aumento na mobilização de tecido adiposo e muscular, e alta incidência de doenças metabólicas. A utilização de animais durante o período de transição possibilitou uma compreensão não apenas do efeito dos aminoácidos na síntese de proteínas, mas também a avaliação da resposta bioativa dessas substâncias.

Estudos que examinaram a utilização de metionina protegida contra a degradação no rúmen durante o período de transição constataram um aumento na produção de leite e na concentração de sólidos no leite (Osorio et al., 2013, Batistel et al., 2017b) . Além disso, observou-se um aumento na atividade dos neutrófilos, que são células de defesa do organismo (Batistel et al., 2018). Esse aumento na função imune pode estar associada com a redução do estresse oxidativo observado quando os animais foram suplementados com metionina (Batistel et al., 2018). Além disso, a suplementação de metionina durante a fase final da gestação parece ter afetado o desenvolvimento e crescimento dos bezerros por meio de mudanças no metabolismo da placenta e mudanças epigenéticas nos bezerros (Batistel et al., 2017a, Alharthi et al., 2018). De maneira geral, os efeitos bioativos da metionina se devem, pelo memos em parte, à sua função como doadora de grupos metil e à sua participação em reações de transmetilação, que estão envolvidas em mais de cem reações metabólicas. De uma forma similar, a suplementação de lisina no período de transição também promoveu efeitos favoráveis a produção animal e melhorou a função hepática das vacas (Girma et al., 2019, Fehlberg et al., 2023). Embora a suplementação de lisina protegida no pré e pós-parto tenha melhorado os indicadores do estado imunológico uterino, ela não alterou os dias até a primeira ovulação pós-parto (Guadagnin et al., 2022).

Embora tenhamos progredido consideravelmente na área da nutrição de aminoácidos para bovinos leiteiros, há ainda espaço para avanços na formulação de dietas a fim de melhorar a eficiência no uso de nitrogênio e, por consequência, reduzir o impacto ambiental causado pela elevada excreção de nitrogênio pelas vacas. Além disso, é fundamental aprofundar nosso entendimento sobre como determinar as necessidades de aminoácidos, especialmente quando a disponibilidade de energia não atende aos requisitos. Também é crucial compreender como os aminoácidos são utilizados pelo sistema imunológico. Estudos que investiguem a função bioativa de aminoácidos além de metionina e lisina, assim como o impacto dos aminoácidos na programação fetal, têm o potencial de contribuir de forma significativa para a indústria leiteira.

Referências

Alharthi, A. S., F. Batistel, M. K. Abdelmegeid, G. Lascano, C. Parys, A. Helmbrecht, E. Trevisi, and J. J. Loor. 2018. Maternal supply of methionine during late-pregnancy enhances rate of Holstein calf development in utero and postnatal growth to a greater extent than colostrum source. J Anim Sci Biotechnol 9:83.

Batistel, F., A. S. Alharthi, L. Wang, C. Parys, Y. X. Pan, F. C. Cardoso, and J. J. Loor. 2017a. Placentome Nutrient Transporters and Mammalian Target of Rapamycin Signaling Proteins Are Altered by the Methionine Supply during Late Gestation in Dairy Cows and Are Associated with Newborn Birth Weight. J Nutr 147(9):1640-1647.

Batistel, F., J. M. Arroyo, A. Bellingeri, L. Wang, B. Saremi, C. Parys, E. Trevisi, F. C. Cardoso, and J. J. Loor. 2017b. Ethyl-cellulose rumen-protected methionine enhances performance during the periparturient period and early lactation in Holstein dairy cows. J Dairy Sci 100(9):7455-7467.

Batistel, F., J. M. Arroyo, C. I. M. Garces, E. Trevisi, C. Parys, M. A. Ballou, F. C. Cardoso, and J. J. Loor. 2018. Ethyl-cellulose rumen-protected methionine alleviates inflammation and oxidative stress and improves neutrophil function during the periparturient period and early lactation in Holstein dairy cows. J Dairy Sci 101(1):480-490.

Fehlberg, L. K., A. R. Guadagnin, B. L. Thomas, M. Ballou, J. J. Loor, Y. Sugimoto, I. Shinzato, and F. C. Cardoso. 2023. Feeding rumen-protected lysine altered immune and metabolic biomarkers in dairy cows during the transition period. J Dairy Sci 106(4):2989-3007.

Girma, D. D., L. Ma, F. Wang, Q. R. Jiang, T. R. Callaway, J. K. Drackley, and D. P. Bu. 2019. Effects of close-up dietary energy level and supplementing rumen-protected lysine on energy metabolites and milk production in transition cows. J Dairy Sci 102(8):7059-7072.

Guadagnin, A. R., L. K. Fehlberg, B. Thomas, Y. Sugimoto, I. Shinzato, and F. C. Cardoso. 2022. Effect of feeding rumen-protected lysine through the transition period on postpartum uterine health of dairy cows. J Dairy Sci 105(9):7805-7819.

NASEM. 2021. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Vol. 8th The National Academies Press.

Osorio, J. S., P. Ji, J. K. Drackley, D. Luchini, and J. J. Loor. 2013. Supplemental Smartamine M or MetaSmart during the transition period benefits postpartal cow performance and blood neutrophil function. J Dairy Sci 96(10):6248-6263.

Schwab, C. G. and G. A. Broderick. 2017. A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. J Dairy Sci 100(12):10094-10112.

Impactos negativos das principais micotoxinas no desempenho, saúde e reprodução de vacas leiteiras

Aline Moreira Borowsky[1]

Luzianna Macêdo Fonseca[1]

Rogério D´Antonio Pires[1]

Carlos Humberto Corassin[2]

O termo micotoxina é originário da palavra grega "*mykes*", que significa fungo, e da palavra em latim "*toxicum*" que corresponde a toxina ou veneno. As micotoxinas são denominadas como metabolitos tóxicos, orgânicos, secundários e de baixo peso molecular, produzidos por uma diversa gama de fungos, que invariavelmente podem contaminar produtos agrícolas destinados à alimentação humana e animal. A contaminação pode ocorrer antes, durante ou pós-colheita, quase sempre devido a armazenagem incorreta dos produtos, geralmente em condições inadequadas de temperatura e umidade (Oliveira e Corassin, 2014).

As doenças em humanos e animais causadas por micotoxinas são chamadas de micotoxicoses, podendo levar a síndromes difusas com lesões principalmente em órgãos como fígado, rins, tecido epitelial (pele e mucosas) e até mesmo no sistema nervoso central, dependendo do tipo de toxina. *Aspergillus sp, Fusarium sp* e *Penicillium sp* são os principais grupos de fungos produtores de micotoxinas e consequentemente causadores de micotoxicoses. O gênero *Aspergillus sp*., principalmente *A. flavus, A. parasiticus* e *A. nomius* produtores das aflatoxinas, toxinas estas já amplamente conhecidas. O gênero *Fusarium sp.,* produtores das fumonisinas, tricotecenos, zearalenona e moniliforminas, e por último, mas não menos importante as ocratoxinas que são produzidas pelo gênero P*enicillium* sp. e pelo *Aspergillus alutaceus*.

Com relação às aflatoxinas, já foram identificados aproximadamente 20 tipos de moléculas diferentes no grupo, entretanto os principais tipos são B_1, B_2, G_1 e G_2. Sendo que a ocorrência de aflatoxinas tem sido observada com frequência em alimentos destinados ao consumo humano e animal. A AFB_1 é uma das aflatoxinas que além de ser frequentemente encontrada em milho, amendoim, semente de algodão, café e algumas especiarias, apresenta o maior potencial toxigênico do grupo, seguida pela G_1, B_2 e G_2.

Além do impacto direto ocasionado pela ingestão da AFB_1 é preciso levar em consideração que animais produtores de leite como as vacas, por exemplo, ao ingerirem alimentos contaminados com esta micotoxina, tem grande parte desta biotransformada em AFM_1 a partir de um processo de hidroxilação que ocorre no organismo desses animais, fazendo esse derivado hidrossolúvel, o que facilita a excreção através de fluidos corporais como, por exemplo, no leite, representando um sério risco para a saúde humana (Gimeno e Martins, 2006). O efeito mais importante à saúde dos humanos causado pelas aflatoxinas é o carcinoma hepatocelular, estima-se que este seja responsável por 90% dos tumores primários malignos do

[1]Universidade de São Paulo/ESALQ, Piracicaba-SP, Brasil.

[2]Universidade de São Paulo/FZEA, Pirassununga- SP, Brasil.

fígado, sendo o 5º tipo mais comum de câncer, com os homens apresentando até quatro vezes mais chances de desenvolver a doença (Hefaiedh et al., 2013).

No entanto, outras micotoxinas também podem estar presentes em rações ou na dieta de vacas em lactação, especialmente em cereais e silagens. Uma grande família de micotoxinas de interesse geral são os tricotecenos. Atualmente, já foram reconhecidos mais de 150 compostos chamados de tricotecenos, eles são divididos em quatro grupos que vão de A a D, dependendo de sua estrutura molecular. O maior foco dos estudos tem sido nos tricotecenos A e B. Os tricotecenos do grupo A incluem toxina T-2, toxina HT-2 e diacetoxiscirpenol (DAS) (Abbas, 2005).

Os tricotecenos do grupo B, incluem desoxinivalenol (DON), 3-acetildeoxinivalenol (3-AcDON) e 15-acetildeoxinivalenol (15-AcDON). A DON é comum em grãos e cereais na América do Norte e Europa, onde já se tem relatado problemas à saúde animal e humana. A toxicidade dos tricotecenos em animais inclui recusa alimentar, vômitos e diarreias (Latila, 2015).

As fumonisinas compreendem o último grupo de micotoxinas descobertas, desde seu isolamento em 1988, tem sido associada a doenças em animais previamente conhecidas como a leucoencefalomalácia equina e o edema pulmonar em suínos (EFSA et al., 2018). A fumonisina B_1 (FB_1) e a fumonisina B_2 (FB_2), encontradas principalmente em cereais, são as principais micotoxinas do grupo e foram mais bem investigadas. Estudos mostram que FB_1, que é considerado o composto mais tóxico do grupo fumonisina, é pouco metabolizado pela microflora ruminal e microssomas hepáticos (Caloni et al, 2000). De acordo com outros estudos, uma transferência significativa de fumonisinas para o leite é possível, (Jia, et al. 2014) e em seres humanos, a FB_1 tem sido associada como um possível agente causador de câncer de esôfago, em animais a imunossupressão é vista como um dos principais efeitos tóxicos da FB1 (IARC, 2002).

A zearalenona é considerada uma substância estrogênica derivada do ácido resorcílico, tendo assim efeitos diretos sobre a reprodução em animais de produção (Rodríguez- Blanco et al., 2021). A contaminação por zearalenona é bastante comum no milho já que este é um excelente substrato para o crescimento de fungos, outros cereais, como trigo, cevada, aveia, centeio, sorgo e soja também podem ser alvo de contaminação por ZEA (Beltrán et al., 2013). Os efeitos da zearalenona são predominantemente estrogênicos, envolvendo, principalmente, o sistema urogenital, sintomas característicos de intoxicação por zearalenona são inflamação do útero, mama e vulva, atrofia testicular, infertilidade e inflamação das mamas em machos jovens e animais adultos.

A ocratoxina A (OTA) é a mais comum e tóxica do grupo das ocratoxinas, muitos dos seus efeitos hepatotóxicos, nefrotóxicos e teratogênicos já foram muito bem documentados (Liu et al., 2022). A OTA foi classificada pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer como carcinogênica da classe 2B (IARC, 2002). É uma micotoxina comumente encontrada em cereais e derivados, os quais têm sido relatados como as principais fontes de contaminação por OTA naturalmente.

A contaminação de alimentos por micotoxinas é um problema global, persistente, inevitável e imprevisível. Alimentos contaminados com micotoxinas podem causar alterações adversas no trato gastrointestinal, sistema reprodutor, imunológico e a saúde geral das vacas leiteiras, que por sua vez refletem sobre a produtividade, levando a perdas econômicas significativas (El-Sayed et al., 2022).

A presença ou coocorrência de fungos micotoxigênicos não significa que o alimento tenha elevados níveis de toxinas, visto que existem condições específicas para que ocorra a formação das micotoxinas, como umidade relativa e temperatura adequada (Gonçalves et al., 2015). Dito isso, é válido ressaltar que é imprescindível o conhecimento da ocorrência de multi-micotoxinas na dieta dos animais para elaboração de estratégias que reduzam os danos sobre a saúde do rebanho.

MICOTOXINAS DE MAIOR IMPORTÂNCIA NA PECUÁRIA LEITEIRA

O grupo de micotoxinas, que atualmente tem importância significativa frente aos impactos econômicos voltados à atividade leiteira, são as aflatoxinas, fumonisinas, zearealenona e tricotecenos (deoxinilvalenol e toxina T-2). A presença dessas toxinas nas dietas pode acarretar uma série de distúrbios sanitários nos bovinos, reduzindo o desempenho produtivo e reprodutivo.

Aflatoxinas

A contaminação mundial de alimentos por micotoxinas é de aproximadamente, 25% e grande parte dessa porcentagem é corresponde à contaminação por aflatoxinas (Dhakal et al., 2023). Milho, amendoim, caroço de algodão, trigo, arroz, girassol, sorgo e muitos outros alimentos, especialmente aqueles armazenados de forma inadequada, poderão estar contaminados com AFB_1. A contaminação dos alimentos pelo fungo *Aspergillus* poderá ocorrer no campo, durante o armazenamento ou transporte. As aflatoxinas (AFLA) são termicamente estáveis, mesmo em temperaturas acima de 100 °C, fato que impede sua degradação durante o processamento dos alimentos (Gonçalves et al., 2015, 2017 e 2020).

Fumonisinas

As fumonisinas (FUM) podem estar amplamente distribuídas na ração animal, matérias-primas de ração e alimentos humanos. Assim como as AFLA, as FUM apresentam carcinogenicidade e/ou teratogenicidade e promovem grandes perdas econômicas na pecuária (Wang et al., 2020). As FUM têm alta toxicidade e frequentemente ocorrem em conjunto com as aflatoxinas (Qu et al., 2022), podem estar presentes no milho, arroz e outros grãos, causando danos hepáticos e renais em animais. Apresentam hidrossolubilidade, termogenicidade e são quimicamente estáveis sob várias condições, fato que dificulta sua remoção durante o processamento de grãos (Pena et al., 2022).

Tricotecenos

Os tricotecenos forma o grupo de micotoxinas sintetizadas por fungos do gênero *Fusarium*. Os tricotecenos tipo A e B são os mais preocupantes devido à sua ampla toxicidade. A toxina T-2 é um tricoteceno do tipo A, não volátil, que pode ser facilmente desativado por condições fortemente ácidas ou alcalinas, assim como pode ser reduzido pela presença de microrganismos capazes de detoxificá-la, alterando sua estrutura química. Podem ser encontradas em grãos, como trigo, milho, cevada, arroz, soja e particularmente na aveia e seus produtos (Polak et al., 2021). Cerca de 80% da toxina T-2 é excretada 48 horas após ingestão, o que evita o acúmulo tecidual (Adhikari et al., 2017).

O desoxinivalenol (DON) é um tricoteceno tipo B, também produzido por espécies de *Fusarium*, sendo um metabólito tóxico, frequentemente presente, na maioria dos grãos e cereais. O DON é conhecido por desencadear vômito em animais, podendo ser também denominado de vomitoxina. Por essa micotoxina comumente contaminar silagens e outros

ingredientes importantes da dieta, comumente causa danos à saúde das vacas leiteiras. Assim como na AFLA e na FUM, o armazenamento prolongado e sem controle adequado do alimento aumenta a contaminação por DON que pode permanecer tóxica mesmo após 4 anos.

Zearalenona

Zearalenona (ZEA) é uma fusariotoxina de caráter estrogênico que está frequentemente presente em rações. A ZEA tem estrutura molecular similar ao estrogênio, o que proporciona sua capacidade de ligação aos receptores deste hormônio no organismo. O fígado e o intestino são os principais responsáveis pelos processos de biotransformações estruturais da ZEA, que após estar na corrente sanguínea atinge órgãos distintos, como rim, intestino, tecido adiposo e útero (Li et al., 2021).

A ZEA ocorre principalmente em lavouras de milho, trigo, arroz, cevada, sorgo, soja, aveia, porém produtos de origem animal, como o leite e derivados, também poderão estar contaminados por ZEA.

EFEITOS NA SANIDADE E DESEMPENHO DOS BOVINOS

Aflatoxina

A AFB_1 é encontrada em maior concentração e apresenta maior potencial de bioacumulação tóxica em bovinos, podendo promover mutação carcinogênica, teratogênica e carcinoma hepatocelular. Vacas leiteiras, ao ingerirem ração contaminada com AFB_1, metabolizam essa toxina no fígado, produzem Aflatoxina M_1 (AFM_1) e excretam essa nova toxina através do leite. A concentração de AFM_1 detectada no leite aumenta significativamente em relação à quantidade de AFB_1 ingerida sendo que a taxa de transferência da AFB_1 para AFM_1 é variável de 1,8% a 6,2% em vacas no final e no início da lactação, respectivamente (Zentai et al., 2023). Tal eventualidade pode causar a exposição humana a essa toxina, sendo que a AFM_1 também já foi encontrada no leite de mulheres lactentes que ingeriram alimento contaminado com AFB_1 (Coppa et al., 2020).

As AFB_1 e AFM_1 são classificadas em Grupo 1 e Grupo 2B, respectivamente, pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC) devido ao potencial carcinogênico dessas toxinas pela formação de adutos de DNA. A toxicidade de AFM_1 é 10 vezes menor que a AFB_1. Atualmente, a AFM_1 é a única micotoxina regulamentada no leite, a União Europeia permite até de 50 ng/L de AFM_1 no leite, enquanto o Brasil permite um limiar 10 vezes maior, com 500 ng/L (Frey et al., 2021).

Fumonisinas

As fumonisinas (FUM) causam uma diversidade de efeitos tóxicos aos bovinos, incluindo autofagia, apoptose, neurotoxicidade, imunotoxicidade, toxicidade reprodutiva, e carcinogenicidade. Além, de promover uma variedade distúrbios quando sozinha, a FUM também potencializa os efeitos tóxicos quando combinada a outras micotoxinas, como as aflatoxinas (Chen et al., 2021). O mecanismo tóxico das FUM é complexo, sento que a toxicidade modula o metabolismo dos esfingolipídios e induz ao estresse oxidativo celular, fazendo com que ocorra a produção e acúmulo de radicais livres aeróbicos, que não são neutralizados pelos antioxidantes das células (Renaud et al., 2021). Foram também observados danos significativos ao esperma, comprovando a toxicidade reprodutiva (Minervini et al., 2010).

Tricotecenos

Toxina T-2

Os ruminantes são relativamente resistentes à toxina T-2 em comparação com os animais monogástricos devido a atividade de desepoxidação e desacetilação no rúmen, no entanto a exposição frequente de vacas leiteiras a toxina T-2 tem sido associada à recusa alimentar, perdas produtivas, lesões e hemorragias gastroinstestinais e a morte (Nayakwadi et al., 2020). O nível de intoxicação por T-2 é diretamente relacionado com a dose administrada e a via de administração. Não são relatados problemas de saúde pública envolvendo resíduos de T-2 em produtos de origem animal, como carne, leite e ovos (EFSA, 2012). Entretanto, a toxina T-2 afeta a medula óssea dos animais, promovendo indução de apoptose, necrose celular, imunossupressão e lesões orgânicas frequentemente relacionadas à peroxidação lipídica, sendo considerado o tricoteceno mais agudamente tóxico, com sensibilidade variável entre as espécies.

Deoxinilvalenol

Os bovinos podem ser mais resistentes ao deoxinilvalenol (DON) se comparados aos monogástricos, sendo que grande parte das DON ingerido é convertido em de-epoxi-desoxinivalenol (DOM-1) por bactérias ruminais. Contudo, os efeitos adversos gerados por essa toxina não devem ser negligenciado, pois é possível detectar níveis de DOM-1 no sangue de bovinos até 20 vezes superiores aos que de DON ingerido por meio de alimentos contaminados (Winkler et al., 2015).

A exposição de células bovinas a DON desencadeia respostas hipóxicas, hipertônicas e ribotóxicas, essas respostas celulares contribuem para a redução da produtividade das vacas, ocasionando redução no percentual de proteína e gordura do leite, além do menor volume de produção (Bailey et al., 2019; Lee et al., 2019; Zhao et al., 2022). A presença de DON na alimentação dos animais também causa problemas reprodutivos devido as altas concentrações do contaminante no fluido folicular de vacas leiteiras (Winkler et al., 2015) e danos significativos nas células da granulosa, células da teca ovariana, assim como redução da motilidade dos espermatozoides bovinos e falhas no desenvolvimento embrionário, por menor taxa na formação de blastocistos (Guerrero et al., 2015; 2017; 2021). Distúrbios causados por DON também foram observados em células epiteliais renais e intestinais (Bailey et al., 2019). O DON afeta células de metabolismo rápido, destruindo mitocôndrias e membranas celulares (Yao e Long, 2020), tendo como consequência inflamação do tecido epitelial mamário bovino (Lee et al., 2019).

Zearalenona

A zearalenona (ZEA) é uma micotoxina categorizada como xenoestrogênio, que causa distúrbios hormonais e desequilíbrios reprodutivos, como a hiperestrogenicidade em vacas. A metabolização da ZEA inicia no rúmen e segue via hepática, passando por hidroxilação, glicuronidação ou reações de conjugação da toxina. Essas reações permitem a síntese de diferentes metabólitos, como o alfa-zearalenol (α-ZEL), que é 60 vezes mais potente que a ZEA, e o beta-zearalenol (β-ZEL), que é 0,2 vezes mais potente (Falkauskas et al., 2022). Animais com toxicidade reprodutiva causada por ZEA apresentam infertilidade, expansão ovariana e uterina, redução de células espermáticas, queda nos níveis de hormônios reprodutivos, além de diminuição das taxas de prenhez (Li et al., 2021). Vacas são capazes de impedir parte do efeito estrogênico da ZEA, convertendo à β-ZEL em maior quantidade em relação à α-ZEL (Liu e Applegate, 2020). Esses metabólitos podem ser detectados em diferentes regiões do corpo de animais intoxicados, como fígado, intestino e fluidos como sangue, urina e leite (Falkauskas et

al., 2022). Vacas alimentadas com dieta contaminada com ZEA (500 ± 75 µg/kg) apresentaram concentrações de β-ZEL e ZEA na urina maiores em relação à α-ZEL, sendo que a concentração de ZEA no leite foi de 35% (Falkauskas et al., 2022), confirmando a que a presença do metabólito pode ser encontrada em leite e derivados.

Animais intoxicados com ZEA apresentam uma incidência maior de casos de mastite, cistos ovarianos e piometras (Baranski et al., 2021), sendo que a ZEA também pode induzir o estresse oxidativo e a apoptose de células epiteliais mamárias bovinas (Fu et al., 2022). Além de prejuízos reprodutivos a ZEA pode causar uma redução na diversidade microbiana do líquido ruminal (Hartinger et al., 2023), podendo alterar a ingestão de matéria seca e a síntese de proteína microbiana ruminal.

Na tabela 1 e figura 1, podemos observar um resumo das principais micotoxinas e seus efeitos sobre a saúde de bovinos.

Tabela 1 – Efeitos das principais micotoxinas sobre a saúde de bovinos

Micotoxinas	Efeitos Tóxicos
Aflatoxina	Alquilação do DNA; carcinogênese; apoptose celular; imunotoxicidade.
Fumonisina	Autofagia; neurotoxicidade; imunotoxicidade; toxicidade reprodutiva; carcinogenicidade.
Deoxinilvalenol	Redução da síntese proteica; inibição da proliferação de células T; citotoxidade da teca e das células da granulosa; redução da motilidade dos espermatozoides; falhas no desenvolvimento embrionário; autólise de células renais e intestinais; apoptose por estresse oxidativo.
Toxina T-2	Peroxidação lipídica; imunossupressão; apoptose; necrose; gastroenterite; hemorragias intestinais; morte.
Zearalenona	Hiperestrogenicidade; infertilidade; expansão ovariana e uterina; redução de células espermáticas, de hormônios reprodutivos e taxas de prenhez; mastite; cistos ovarianos; piometra; estresse oxidativo; apoptose de células mamárias; redução da diversidade microbiana do líquido ruminal.

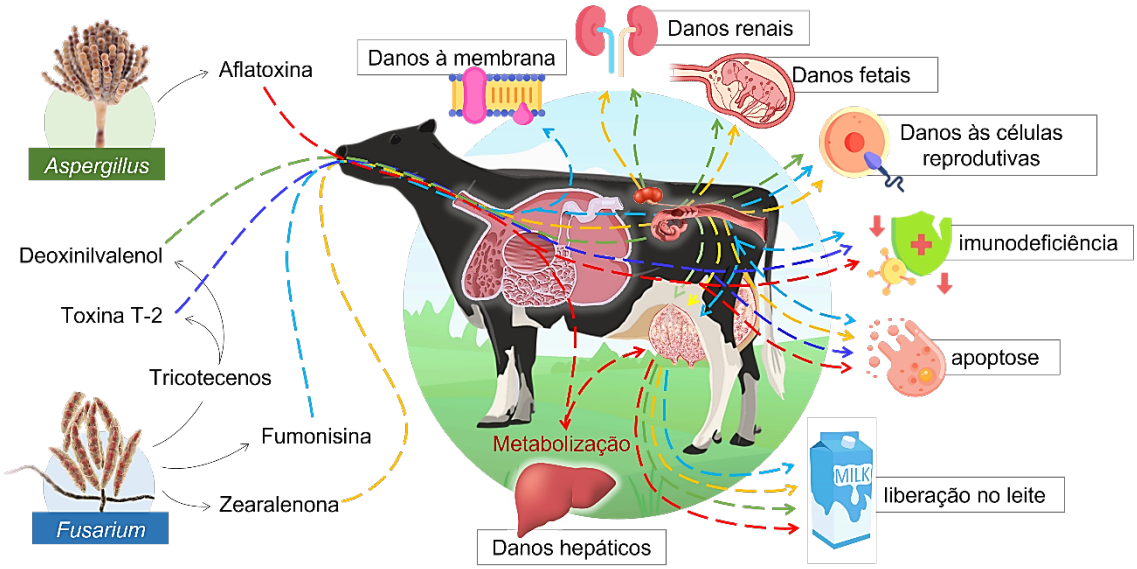


Figura 1 – Efeitos das principais micotoxinas sobre a saúde e desempenho de vacas leiteiras

CONTROLE DE MICOTOXINAS

O grande problema relacionado às micotoxinas é a incapacidade de sua destruição através do processamento de alimentos, como a fermentação, refrigeração, aquecimento, congelamento ou pasteurização. Dessa forma, essas substâncias apresentam potencial risco à saúde humana, especialmente para idosos, crianças e gestantes que consomem alimentos contaminados com essas substâncias, como o leite.

Na busca de reduzir a quantidade de micotoxinas das rações e alimentos fornecidos aos animais, a fim de favorecer uma melhor saúde e minimizar a ocorrência dessas toxinas em alimentos humanos, métodos físicos e biológicos de descontaminação foram estudados e desenvolvidos (Corassin et al., 2013; Gonçalves et al., 2017). Dentre os diversos métodos, os físicos são menos funcionais quando comparados aos biológicos, visto que as bactérias apresentam menos processos de degradação e são mais estáveis no trato gastrointestinal em vários níveis de pH (Zhy et al., 2017). Entretanto, existem métodos físicos que apresentam eficácia na redução e inativação de substâncias tóxicas, sendo que os adsorventes são os mais comuns deste grupo. São exemplos de adsorventes a argila mineral, zeólita, bentonitas e aluminosilicatos, todos apresentam boas respostas na redução da AFB_1 no trato gastrointestinal de bovinos e sua metabolização a AFM_1 para o leite (Assaf et al., 2019). Os adsorventes reduzem a biodisponibilidade de micotoxinas por meio de enterossorção, sendo este um método prático e bastante utilizado na produção animal. Sua utilização visa proporcionar menores incidências de efeitos negativos promovidos pela toxicidade das micotoxinas, como a ocorrência de micotoxicoses, diminuindo os impactos sobre a produção animal e as perdas econômicas do produtor.

Os efeitos dos adsorventes podem ser potencializados no consórcio com métodos biológicos ou esterases, funcionando como complementos adequados em ingredientes comumente contaminados com mais de uma micotoxina (Kemboi et al., 2023). Os tratamentos biológicos, especialmente associados com a utilização de leveduras, também apresentam bons resultados por meio de testes *in vitro* e *in vivo*, apontando uma aplicação potencial, em especial o grupo das aflatoxinas (Corassin et al., 2013).

A remoção ou degradação de micotoxinas por microrganismos, enzimas e adsorventes apresentam boas perspectivas, sendo extremamente importante a escolha de produtos comerciais que tenham estudos científicos provando seus mecanismos de desintoxicação, efeitos nas características sensoriais dos alimentos e quantidades necessárias de fornecimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura apresenta resultados que justificam uma real preocupação com os potenciais efeitos aditivos adversos da ocorrência da presença de multi-micotoxinas na dieta afetando o desempenho, saúde e reprodução de vacas leiteiras, destacando-se a necessidade de prevenção e controle da contaminação, como a escolha de aditivos anti-micotoxinas que sejam efetivos para evitar as diversas micotoxinas presentes na dieta.

REFERÊNCIAS

ABBAS, H. K. Aflatoxin and food safety. Boca Raton: CRC Press, 2005.

ADHIKARI, M.; NEGI, B.; KAUSHIK, N.; ADHIKARI, A.; AL-KHEDHAIRY, A. A.; KAUSHIK, N. K.; CHOI, E. H. T-2 mycotoxin: toxicological effects and decontamination strategies. Oncotarget, 8:33933–33952, 2017.

ASSAF, J. C.; NAHLE, S.; CHOKR, A.; LOUKA, N.; ATOUI, A.; EL KHOURY, A. Assorted Methods for Decontamination of Aflatoxin M1 in Milk Using Microbial Adsorbents. Toxins, 11:6, 2019.

BAILEY, J. R.; BRETON, J.; PANIC, G.; COGAN, T. A.; BAILEY, M.; SWANN, J. R.; LEE, M. R. F. The mycotoxin deoxynivalenol significantly alters the function and metabolism of bovine kidney epithelial cells in vitro. Toxins, 11:10, 2019.

BELTRÁN, E.; IBÁÑEZ, M.; PORTOLÉS, T.; RIPOLLÉS, C.; SANCHO, J. V.; YUSÀ, V.; HERNÁNDEZ, F. Development of sensitive and rapid analytical methodology for food analysis of 18 mycotoxins included in a total diet study. Analytica Chimica Acta, 783:39–48, 2013.

CALONI, F.; SPOTTI, M.; AUERBACH, H.; OP DEN CAMP, H.; FINK GREMMELS, J.; POMPA, G. In vitro metabolism of fumonisin B1 by ruminal microflora. Veterinary Research Communications, 24:379–387, 2000.

CHEN, J.; WEN, J.; TANG, Y.; SHI, J.; MU, G.; YAN, R.; CAI, J.; LONG, M. Research progress on fumonisin b1 contamination and toxicity: A Review. Molecules, 26, 17, 2021.

COPPA, C. F. S. C.; CIRELLI, A. C.; GONÇALVES, B. L.; BARNABÉ, E. M. B.; MOUSAVI KHANEGHAH, A.; CORASSIN, C. H.; OLIVEIRA, C. A. F. Dietary exposure assessment and risk characterization of mycotoxins in lactating women: Case study of São Paulo state, Brazil. Food research international, 134, 2020.

CORASSIN, C. H.; BOVO, F.; ROSIM, R. E.; OLIVEIRA, C. A. F. Efficiency of *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria strains to bind aflatoxin M1 in UHT skim milk. Food Control, 31:80–83, 2013.

DHAKAL, A.; HASHMI, M. F.; SBAR, E. Aflatoxin Toxicity. StatPearls, 2023.

EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Knutsen, H-K.; Alexander, J.; Barregard, L.; Bignami, M.; Br€uschweiler, B.; Ceccatelli, S.; Cottrill, B.; Dinovi, M.; Edler, L.; Grasl-Kraupp, B.; Hogstrand, C.; Hoogenboom, L. R.; Nebbia, C. S.; Petersen, A.; Rose, M.; Roudot, A-C.; Schwerdtle, T.; Vleminckx, C.; Vollmer, G.; Wallace, H.; Dall'Asta, C.; Eriksen, G-S.; Taranu, I.; Altieri, A.; Roldan-Torres, R.; Oswald, I. P. Scientific opinion on the risks for animal health related to the presence of fumonisins, their modified forms and hidden forms in feed. EFSA Journal 2018. 144 pp.

EFSA. Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of T-2 and HT-2 toxin in food and feed. EFSA Journal, 9:12, 2011.

EL-SAYED, R. A.; JEBUR, A. B.; KANG, W.; EL-ESAWI, M. A.; EL-DEMERDASH, F. M. An overview on the major mycotoxins in food products: characteristics, toxicity, and analysis. Journal of Future Foods, 2:91–102, 2022.

FALKAUSKAS, R.; BAKUTIS, B.; JOVAIŠIENĖ, J.; VAIČIULIENĖ, G.; GERULIS, G.; KERZIENĖ, S.; JACEVIČIENĖ, I.; JACEVIČIUS, E.; BALIUKONIENĖ, V. Zearalenone and its metabolites in blood serum, urine, and milk of dairy cows. Animals, 12:13, 2022.

FREY, M.; ROSIM, R.; OLIVEIRA, C. Mycotoxin co-occurrence in milks and exposure estimation: a pilot study in São Paulo, Brazil. Toxins, 13:8, 2021.

FU, Y.; JIN, Y.; TIAN, Y.; YU, H.; WANG, R.; QI, H.; FENG, B.; ZHANG, J. Zearalenone promotes lps-induced oxidative stress, endoplasmic reticulum stress, and accelerates bovine mammary epithelial cell apoptosis. International Journal of Molecular Sci., 23:18, 2022.

GIMENO, A.; MARTINS, M. L. Mycotoxins and Mycotoxicosis in Animals and Humans. Special Nutrients, Inc. USA (Ed.). Victor Mireles Communications, Mexico City: 1-127, 2006.

GONÇALVES, B. L.; CORASSIN, C. H.; OLIVEIRA, C. A. F. Mycotoxicoses in dairy cattle: A review. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, 10:752–760, 2015.

GONÇALVES, B. L.; GONÇALVES, J. L.; ROSIM, R. E.; CAPPATO, L. P.; CRUZ, A. G.; OLIVEIRA, C. A. F.; CORASSIN, C. H. Effects of different sources of *Saccharomyces cerevisiae* biomass on milk production, composition, and aflatoxin M1 excretion in milk from dairy cows fed aflatoxin B1. Journal of Dairy Science, 100:5701–5708, 2017.

GONÇALVES, B. L.; MUAZ, K.; COPPA, C. F. S. C.; ROSIM, R. E.; KAMIMURA, E. S.; OLIVEIRA, C. A. F.; CORASSIN, C. H. Aflatoxin M 1 absorption by non-viable cells of lactic acid bacteria and *Saccharomyces cerevisiae* strains in Frescal cheese. Food Research International, 136, 2020.

GUERRERO-NETRO, H. M.; CHORFI, Y.; PRICE, C. A. Effects of the mycotoxin deoxynivalenol on steroidogenesis and apoptosis in granulosa cells. Reproduction, 149: 555–561, 2015.

GUERRERO-NETRO, H. M.; ESTIENNE, A.; CHORFI, Y.; PRICE, C. A. The mycotoxin metabolite deepoxy-deoxynivalenol increases apoptosis and decreases steroidogenesis in bovine ovarian theca cells. Biology of Reproduction, 97: 746–757, 2017.

GUERRERO-NETRO, H. M.; BARRETA, M. H.; COSTA, E.; GOETTEN, A.; DUPRAS, R.; MILLS, L.; KOCH, J.; PORTELA, V. M.; PRICE, C. A.; CHORFI, Y. Effects of the mycotoxin metabolite de-epoxy-deoxynivalenol (DOM-1) on embryo development and sperm motility in cattle. Journal of applied toxicology, 41:1180–1187, 2021.

HARTINGER, T.; KRÖGER, I.; NEUBAUER, V.; FAAS, J.; DOUPOVEC, B.; SCHATZMAYR, D.; ZEBELI, Q. Zearalenone and its emerging metabolites promptly affect the rumen microbiota in holstein cows fed a forage-rich diet. Toxins, 15:185, 2023.

HEFAIEDH, R.; ENNAIFER, R.; ROMDHANE, H.; BEN NEJMA, H.; ARFA, N.; BELHADJ, N.; GHARBI, L.; KHALFALLAH, T. Gender difference in patients with hepatocellular carcinoma. Tunis Med, 91:505-508, 2013.

IARC. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans IARC Scientific Publication, 2002.

JIA, W.; CHU, X.; LING, Y.; HUANG, J. ; CHANG, J. Multi-mycotoxin analysis in dairy products by liquid chromatography coupled to quadrupole orbitrap mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 1345:107–114, 2014.

KEMBOI, D.; ANTONISSEN, G.; OCHIENG, P.; CROUBELS, S.; DE BAERE, S.; SCIPPO, M. L.; OKOTH, S.; KANGETHE, E.; FAAS, J.; DOUPOVEC, B.; LINDAHL, J.; GATHUMBI, J. Efficacy of bentonite and fumonisin esterase in mitigating the effects of aflatoxins and fumonisins in two Kenyan cattle breeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 7:2143–2151, 2023.

LATILA, A. 6 - Toxigenic fungi and mycotoxins in the barley-to-beer chain. In: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Hiil, A. E (Ed.). Annie E. Hill, Brewing Microbiology, Woodhead Publishing, 2015. p. 107-139.

LEE, J. Y.; LIM, W.; PARK, S.; KIM, J.; YOU, S.; SONG, G. Deoxynivalenol induces apoptosis and disrupts cellular homeostasis through MAPK signaling pathways in bovine mammary epithelial cells. Environmental pollution, 252:879–887, 2019.

LI, L.; ZHANG, T.; REN, X.; LI, B.; WANG, S. Male reproductive toxicity of zearalenone-meta-analysis with mechanism review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 221, 2021.

LIU, W.C.; PUSHPARAJ, K.; MEYYAZHAGAN, A.; ARUMUGAM, V.A.; PAPPUSWAMY, M.; BHOTLA, H.K.; BASKARAN, R.; ISSARA, U.; BALASUBRAMANIAN, B.; KHANEGHAH, A.M. Ochratoxin A as an alarming health threat for livestock and human: A review on molecular interactions, mechanism of toxicity, detection, detoxification, and dietary prophylaxis. Toxicon, v. 23, p. 59-75, 2022.

LIU, J.; APPLEGATE, T. Zearalenone (ZEN) in livestock and poultry: dose, toxicokinetics, toxicity and estrogenicity. Toxins, 12:6, 2020.

MINERVINI, F.; LACALANDRA, G. M.; FILANNINO, A.; GARBETTA, A.; NICASSIO, M.; DELL'AQUILA, M. E.; VISCONTI, A. Toxic effects induced by mycotoxin fumonisin B1 on equine spermatozoa: assessment of viability, sperm chromatin structure stability, ROS production and motility. Toxicology In Vitro, 24:2072–2078, 2010.

NAYAKWADI, S.; RAMU, R.; SHARMA, A. K.; GUPTA, V. K.; RAJUKUMAR, K.; KUMAR, V.; SHIRAHATTI, P. S.; RASHMI, L.; BASALINGAPPA, K. M. Toxicopathological studies on the effects of T-2 mycotoxin and their interaction in juvenile goats. PloS one, 15:3, 2020.

OLIVEIRA, C. A. F.; CORASSIN, C. H. Aflatoxins. In: Mycotoxins and their Implications in Food Safety, Duarte, S. C.; Lino, C. M; Pena, A. L. S. (Eds.). v. 1, Future Science Ltd., London, UK, p. 6-19, 2014.

PENA, G. A.; CARDENAS, M. A.; MONGE, M. P.; YERKOVICH, N.; PLANES, G. A.; CHULZE, S. N. Reduction of *Fusarium proliferatum* growth and fumonisin accumulation by ZnO nanoparticles both on a maize based medium and irradiated maize grains. International Journal of Food Microbiology, 363, 2022.

POLAK-ŚLIWIŃSKA, M.; PASZCZYK, B. Trichothecenes in food and feed, relevance to human and animal health and methods of detection: a systematic review. Molecules, 26:2, 2021.

QU, L.; WANG, L.; JI, H.; FANG, Y.; LEI, P.; ZHANG, X.; JIN, L.; SUN, D.; DONG, H. Toxic mechanism and biological detoxification of fumonisins. Toxins, 14:3, 2022.

RENAUD, J. B.; DESROCHERS, N.; HOOGSTRA, S.; GARNHAM, C. P.; SUMARAH, M. W. Structure activity relationship for fumonisin phytotoxicity. Chemical Research in Toxicology, 34:1604–1611, 2021.

RODRÍGUEZ-BLANCO, M; RAMOS, A. J.; SANCHIS, V; MARÍN, S. Mycotoxins occurrence and fungal populations in different types of silages for dairy cows in Spain. Fungal Biology, 125:103-114, 2021.

WANG, J.; LIU, Z.; HAN, Z.; WEI, Z.; ZHANG, Y.; WANG, K.; YANG, Z. Fumonisin B1 triggers the formation of bovine neutrophil extracellular traps. Toxicology letters, 232:140–145, 2020.

WINKLER, J.; KERSTEN, S.; MEYER, U.; STINSHOFF, H.; LOCHER, L.; REHAGE, J.; WRENZYCKI, C.; ENGELHARDT, U. H.; DÄNICKE, S. Diagnostic opportunities for evaluation of the exposure of dairy cows to the mycotoxins deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN): reliability of blood plasma, bile and follicular fluid as indicators. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 99: 847–855, 2015.

YAO, Y.; LONG, M. The biological detoxification of deoxynivalenol: A review. Food and Chemical Toxicology, 145, 2020.

ZENTAI, A.; JÓŹWIAK, Á.; SÜTH, M.; FARKAS, Z. Carry-over of aflatoxin b1 from feed to cow milk-a review. Toxins, 15:195, 2023.

ZHAO, X.; SUN, P.; LIU, M.; LIU, S.; HUO, L.; DING, Z.; LIU, M.; WANG, S.; LV, C.; WU, H.; YANG, L.; LIANG, A. Deoxynivalenol exposure inhibits biosynthesis of milk fat and protein by impairing tight junction in bovine mammary epithelial cells. Ecotoxicology and Environmental Safety, 237, 2022.

Critérios para escolha de adsorventes para uso na alimentação de bovinos leiteiros

Eduardo Micotti da Gloria[1]

O uso de adsorventes, histórico e justificativas

A possibilidade da utilização de compostos com capacidade de adsorção de micotoxinas na dieta de animais é reportada desde 1978 por um artigo científico de pesquisadores belgas (Masimango et al, 1978) que avaliaram in vitro várias argilas quanto a capacidade destas para adsorver Aflatoxina B1. Entretanto, na natureza existem muitos relatos de animais (humanos ou não) com o hábito de ingerir terra (argila), o qual recebe o nome de geofagia. Existem muitas teorias para explicar este hábito, entre estas teorias é relatado o fato de nativos que habitavam e habitam certas regiões do continente americano, comer argila para diminuir os efeitos de alcaloides prejudiciais presentes na dieta.

Desde 1978 muitos relatos da avaliação in vitro e in vivo de diferentes compostos para uso como adsorventes de micotoxinas em diferentes espécies de animais de produção se seguiram. A justificativa para uso destes compostos é que estes poderiam adsorver de forma estável a micotoxina existente na dieta e está não estaria livre para ser absorvida pelo organismo animal durante sua passagem pelo trato gastrointestinal e assim exercer seu efeito tóxico. Desta maneira, a preconização do uso dos adsorventes seria como terapia preventiva e curativa. O uso preventivo por sua vez é justificado pelo fato que mesmo com a adoção de várias medidas de mitigação nas cadeias de produção de grãos, as micotoxinas pode estar presente na dieta dos animais de produção.

A utilização de adsorventes de micotoxinas na alimentação de vacas leiteiras já foi amplamente estudada através de estudos in vitro e in vivo, principalmente quanto a utilização de adsorventes destinados a adsorver aflatoxinas. Estudos com a avaliação de outras micotoxinas são raros, pois existia a crença que somente as aflatoxinas seriam problema para produção leiteira, principalmente pelo fato da possibilidade da aflatoxina ingerida pela vaca ser metabolizada e transferida ao leite na forma de aflatoxina M1, para qual existe legislação em várias partes do mundo estabelecendo Limites Máximos Tolerados para presença no leite.Recentemente, a presença de outras micotoxinas na dieta de vacas tem mostrado ser um potencial problema a saúde do animal.

Tipos de Adsorventes

Os primeiros relatados de avaliações de composto destinados a adsorver micotoxinas englobavam basicamente as argilas naturais de vários grupos. As esmectitas, sepiolitas e zeolítas são as mais estudadas. Contudo, posteriormente surgiram as argilas organofilicas, que se constituíam de argilas naturais que foram modificadas artificialmente com a inclusão de radicais orgânicos em sua estrutura visando aumentar o espectro de adsorção de micotoxinas. Após o relato da possibilidade de se usar argilas como adsorventes de micotoxinas foi sugerido também o uso de carvões ativados (HATCH et al, 1982). Posteriormente frações de parede de levedura *Sacharomices cerevisae*, fibras ou subprodutos vegetais, polímeros

[1]Pesquisador USP/ESALQ/LCB.

sintéticos (polivinilpirolidona, colesteramina e poliestireno divinilbenzeno), bactérias e fungos também foram estudados.

O uso de argilas e outros compostos se utilizam da capacidade adsortiva destes compostos frente as micotoxinas, visando diminuir os níveis de micotoxinas na dieta de animais que estão bioacessíveis. Mais recentemente a possibilidade de desativação das micotoxinas, através do uso de enzimas começou a ser também utilizada, mas não para adsorver e sim para atuar sobre as moléculas de micotoxinas de modo a transformar estas em compostos atóxicos ou menos tóxicos que a molécula original da micotoxina. As enzimas têm especificidade sobre as moléculas das micotoxinas e para obtenção de um amplo espectro de desativação diferentes enzimas necessitam ser utilizadas. As enzimas utilizadas têm sua origem em fungos filamentosos ou leveduras e bactérias.

Assim, atualmente visando diminuir os níveis de micotoxinas bioacessíveis no trato gastrointestinal, existem compostos disponíveis com a tecnologia baseada na adsorção e também a baseada na desativação, como mostrado na Figura 1.

Compostos inorgânicos
- Aluminosilicatos (esmectitas, zeolitas, sepiolitas)
- Aluminosilicatos organofílicos
- Diatomitos

Compostos orgânicos
- Naturais (carvões ativados, paredes de levedura, fibras vegetais, ácido úmico, quitosanas e bactérias ácido láticas)
- Sintéticos (polivinilpirrolidona, colesteramina e poliestireno Divinilbenzeno)

Desativadores enzimáticos
- enzimas para desativação de fumonisina, desoxinivalenol, zearalenona e ocratoxina A

Figura 1. Possíveis compostos relatados com capacidade de adsorver ou desativar as micotoxinas

Visando complementar a ação dos adsorventes e enzimas desativadoras que podem estar presentes nas formulações de aditivos, outros compostos com capacidade de mitigar os efeitos que as micotoxinas podem causar, também foram acrescentados as formulações. Assim, compostos tais como agentes hepatoprotetores ou hepatoestimulantes, compostos capazes de diminuir o estresse oxidativo, com ação imunomoduladora e os promotores da saúde intestinal são utilizados atualmente. Desta maneira, o termo adsorvente de micotoxinas deve ser utilizado atualmente quando se referir a um aditivo que na sua formulação contiver somente compostos

com capacidade de adsorção. Caso haja na formulação compostos com outras ações alegadas, o termo aditivo antimicotoxinas deve ser preferido.

Avaliações utilizadas para caracterizar os produtos antimicotoxinas

A eficácia de diferentes compostos em reduzir os níveis de micotoxinas bioacessíveis pode ser avaliado de duas maneiras, através dos testes in vitro e in vivo. Estas duas modalidades de avaliações não devem ser utilizadas de maneira excludente e sim de maneira complementar. Os testes in vitro preferencialmente devem ser utilizados para mostrar que o composto candidato apresenta a capacidade de adsorção ou desativadora, em solução teste que simule as condições do trato gastrointestinal de diferentes espécies animais. Já os testes in vivo devem ser utilizados para comprovar, em condições reais, a eficácia dos aditivos antimicotoxinas para a espécie ou espécies que se destinam. Os testes in vitro devem ser utilizados para selecionar compostos adsorventes ou enzimas desativadoras, em uma fase inicial de escolha de compostos a serem utilizados em formulações finais de aditivos. Esta modalidade de teste também pode ser utilizada para monitorar a qualidade dos compostos escolhidos periodicamente. Os testes in vitro não conseguem demonstrar os efeitos de outros compostos da formulação com ação diferente da adsorção e desativação. Para demonstrar estes outros efeitos, somente os testes in vivo devem ser utilizados. Assim, como nas formulações atuais utilizadas para os aditivos antimicotoxinas existem diferentes tecnologias embarcadas (adsorção, desativação e mitigação dos efeitos) o teste in vivo necessariamente tem que ser utilizado para demonstrar a eficácia do aditivo, mas é importante ressaltar que o teste in vitro é um poderoso instrumento para selecionar os compostos candidatos que devem prosseguir para compor a formulação final do aditivo que vai ser avaliado in vivo, evitando assim gastos e utilização de animais em testes in vivo, que seriam desnecessários caso uma boa triagem fosse realizada.

Avaliações in vitro

Como já apresentado anteriormente, os testes in vitro se constituem em bons instrumentos para selecionar e acompanhar a qualidade de compostos com alegada capacidade adsortiva ou desativadora de micotoxinas. Mas para isto as condições de realização destes testes precisam ser bem escolhidas. O meio de avaliação deve preferencialmente simular as condições de composição do trato gastrointestinal, principalmente em relação ao pH, mas não somente. Vários trabalhos de pesquisas já demonstraram que a capacidade de adsorção é dependente do pH utilizado e da composição do meio teste. A realização do teste em um único valor de pH ou utilizando uma composição do meio teste somente de sais tamponantes, pode superestimar a adsorção de uma micotoxina específica. Assim, os testes in vitro devem ser realizados com o meio teste em ao menos em dois valores de pH, valores entre 2,0 a 3,0 e entre 6,0 e 7,0 são os mais utilizados para simular condições gástricas e intestinais, respectivamente. A dose de inclusão do produto a ser avaliado é outro ponto importante a ser observado nos protocolos in vitro, doses superiores a 0,5% ou 5,0 Kg/Ton. são raras de serem utilizadas e doses inferiores a 0,3% são as mais comuns. A composição do meio teste também deve receber atenção devendo incluir outros componentes tais como pancreatina sais biliares. Testes in vitro específicos para simular as condições do trato gastrointestinal de ruminantes são raros e algumas vezes se utilizam inclusive da coleta do líquido ruminal para simular as condições do rumén.

Os testes in vitro podem ser realizados em diferentes modalidades, existe a modalidade pontual onde a dose do produto avaliado é única e a concentração da micotoxina no meio teste é constante. Existe a modalidade de obtenção da curva-resposta, onde a dose do produto pode

variar dentro de uma faixa, com normalmente 5 pontos a serem avaliados e a concentração da micotoxina no meio também é constante. A modalidade para obtenção da isoterma de adsorção também é possível e neste protocolo a quantidade do produto é constante e a concentração da micotoxina no meio teste é que varia. As diferentes modalidades de teste in vitro darão diferentes informações sobre o processo de adsorção/desativação do produto, assim devem ser utilizados segundo os objetivos pretendidos.

Avaliações in vivo

As avaliações in vivo devem ser utilizadas obrigatoriamente para mostrar a eficácia de aditivos antimicotoxinas, contudo observa-se através de inúmeros artigos científicos, que há uma variação bastante ampla dos protocolos utilizados nestas avaliações considerando as espécies em geral. Contudo, a maioria das avaliações in vivo de aditivos antimicotoxinas para vacas leiteiras já relatadas foram realizadas com a exposição dos animais a aflatoxinas e mensuração da concentração do nível de aflatoxina M1 no leite dos animais, como meio de avaliar a eficácia dos aditivos. Poucos são os relatos de avaliação de outras micotoxinas em vacas leiteira e os poucos relatos existentes tem se utilizaram também da mensuração da concentração da micotoxina no leite, mas outros parâmetros têm sido utilizados.

Somente em 2010 as primeiras recomendações oficiais para execução das avaliações in vivo surgiram na Europa (EFSA, 2010). No Brasil, o MAPA em 2021 estabeleceu as recomendações do protocolo a ser utilizado em provas de eficácia in vivo, visando o registro de aditivos antimicotoxinas (MAPA, 2021). A legislação brasileira de certa forma adotou vários pontos dos recomendados pela legislação europeia. As recomendações importantes a serem adotadas englobam o uso de:

- Parâmetros de produção (ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar, peso final, etc.)
- Peso de órgãos como fígado, rins, intestino, reprodutivos e pulmão
- Bioquímica do soro como proteína total, albumina, globulinas, glicose, ácido úrico, colesterol, fosfato, magnésio, cálcio, ferro, enzimas (GGT, ALT, AST, ETC.)
- Parâmetros hematológicos como hematócritos e contagem de células vermelhas
- Parâmetros do sistema imune - imunoglobulinas (IgG, IgM e IgA) no soro
- Resposta inflamatória Interleucinas IL-1β, IL-6, IL-8 e IL-10
- Título de anticorpos de doença infecciosa após vacina
- Exame histológico de tecidos do fígado, intestino, pulmão
- Marcadores de estresse oxidativo
- Biomarcadores de exposição (nível da micotoxina e/ou metabólitos da micotoxina em urina, fezes, sangue, leite e órgãos) e marcadores de efeito (alteração da relação de esfingolipídeos – esfinganina e esfingosina, quando o animal é exposto as fumonisinas)
- Utilização de material naturalmente contaminado para contaminação da dieta, o uso de micotoxinas purificadas deve ser restrito e com adequada justificativa.

- Delineamento experimental com poder estatístico, para os parâmetros selecionados, ≥80% (≥75% para ruminantes e outros animais não destinados a produção de alimentos). O delineamento também deve incluir um tratamento controle, onde somente o aditivo é adicionado na dieta básica, visando se observar efeitos não específicos do produto

- Dose mínima do aditivo antimicotoxinas recomendada deve ser avaliada

- Uso de uma espécie animal para representar um grupo de espécies relacionadas com extrapolação somente considerando os animais de companhia (cães, gatos e equinos)

O uso parcial dos parâmetros acima citados é possível, contudo as quatro últimas recomendações precisam ser observadas nas avaliações in vivo.

Referências Bibliográficas

European Food Safety Authority (EFSA). Scientific Opinion – Statement on the establishment of guidelines for the assessment of additives from the functional group "substances for reduction of the contamination of feed by mycotoxins". **Europena Food Safety Journal**, 8(7), 2010.

Hatch, R.C.; Clark, J.D.; Weiss, A.V. Induced acute aflatoxicosis in goats: treatment with activated charcoal or dual combinations of oxytetracycline, stanozolol, and activated charcoal. **Journal of Veterinary Research**, 43, 1982.

Masinango, N.; Remacle, J.; Ramzut, J.L. The Role of Adsorption in the Elimination of Aflatoxin B 1. **European Journal of Applied Microbiology and Biothecnolgy**, 6, 1978.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Orientações para Apresentação do relatório técnico visando o registro de matérias-primas para fabricação de aditivos zootécnicos, de aditivo zootécnico e tecnológicos (adsorvente de micotoxinas e inoculantes de silagem). Material disponibilizado eletronicamente para interessados em março de 2021.

Micotoxinas na alimentação de bovinos no Brasil (2017 a 2023)

Kelly Moura Keller[1]

Introdução

As micotoxinas são metabólitos secundários tóxicos produzidos por uma grande variedade de fungos, especialmente por espécies dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. São reconhecidos os efeitos deletérios desses compostos na indução de processos carcinogênicos, hepatotóxicos, nefrotóxicos, estrogênicos e mutagênicos. Até o momento, mais de 400 micotoxinas já foram identificadas mundialmente, porém apenas cerca de 30 têm sido detectadas em alimentos com maior frequência (HUSSEIN; BRASEL, 2001; CAST, 2003; FREIRE et al., 2007; ZHAO et al., 2015).

Estima-se que aproximadamente 25% a 50% de todas as *commodities* produzidas no mundo, principalmente os alimentos básicos, estão de alguma forma contaminadas com micotoxinas, sendo grande o impacto que estas apresentam sobre a segurança alimentar em todo o mundo (BHAT; MILLER, 1991; MORETTI; LOGRIECO; SUSCA, 2017).

Os ruminantes são, de forma geral, considerados mais resistentes aos efeitos adversos das micotoxinas do que os animais monogástricos. Isso se baseia na suposição de que a microbiota ruminal tem a capacidade de biotransformar as micotoxinas em outros compostos, considerados menos tóxicos. No entanto, isto não se aplica à todas as micotoxinas e o impacto das micotoxinas nos ruminantes também depende de outros fatores, como idade, raça, sexo, quantidade e tipo de micotoxina ingerida, além do estado imunológico do animal (FINK-GREMMELS, 2008; UPADHAYA; PARK; HA, 2010).

Além disso, a capacidade desintoxicante da microbiota ruminal é saturável e varia com as mudanças na dieta ou como consequência de doenças metabólicas, como a acidose ruminal. Portanto, um efeito secundário da microbiota ruminal incompetente é um aumento na fração de micotoxinas que escapam da degradação microbiana, o que faz com que essas toxinas cheguem intactas ao duodeno, onde são absorvidas da mesma forma que nos animais monogástricos e levam à efeitos adversos (FINK-GREMMELS, 2008; UPADHAYA; PARK; HA, 2010).

Outro fator importante a ser considerado é a presença de mais de uma micotoxina no alimento ingerido, considerando que muitos fungos micotoxigênicos são capazes de produzir simultaneamente mais de uma micotoxina, que as *commodities* podem ser contaminadas por vários fungos e que a alimentação completa dos animais é feita a partir de várias *commodities* diferentes, o estudo da ocorrência de uma única micotoxina oferece informações incompletas sobre o risco associado ao respectivo alimento, pois coocorrências são muito comuns na alimentação animal, e a contaminação por uma única micotoxina não é a norma, mas sim a exceção (GRENIER; OSWALD, 2011; SMITH et al., 2016).

Diversos países possuem legislações que estabelecem limites máximos tolerados (LMT) para diversas micotoxinas, estes limites estimam a quantidade de uma determinada micotoxina que uma espécie pode ser exposta sem representar um risco significativo para a sua saúde. Estas legislações visam controlar a contaminação dos alimentos e rações e reduzir as perdas econômicas resultantes da contaminação (MORETTI; LOGRIECO; SUSCA, 2017; SOARES

[1]Escola de Veterinária da UFMG.

et al., 2018). O Brasil não possui regulamentação para micotoxinas em alimentação animal, e por isso a legislação da União Europeia é muito utilizada como parâmetro, por ser bastante completa. As micotoxinas legisladas pela União Europeia são aflatoxina B_1, deoxinivalenol, fumonisinas $B_1 + B_2$, ocratoxina A, T-2 toxina e zearalenona (EU, 2003; EU, 2006; EU, 2013; MORETTI; LOGRIECO; SUSCA, 2017; SOARES et al., 2018).

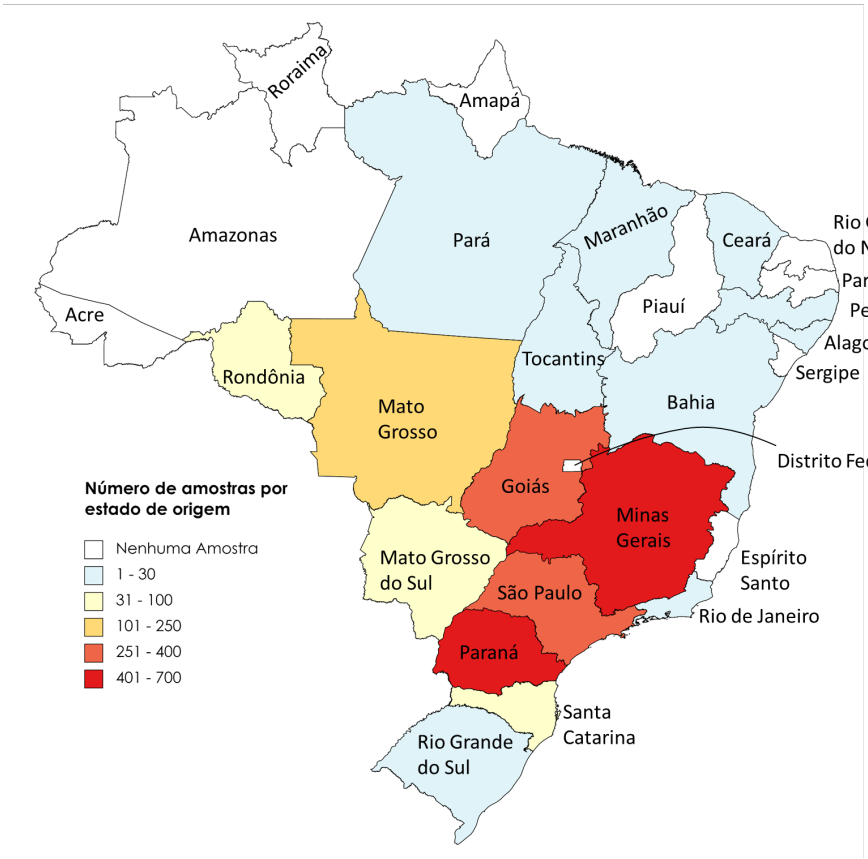
Nosso objetivo aqui é o de apresentar um panorama das análises de micotoxinas em amostras de alimentos destinados à bovinos coletadas no Brasil entre janeiro de 2017 e abril de 2023. Tendo em vista os grandes prejuízos que podem ser causados pela presença de micotoxinas na alimentação animal, o monitoramento destes metabolitos é essencial para que medidas de prevenção e controle possam ser instauradas evitando danos econômicos e à saúde animal.

Material e Métodos

Amostras e Amostragem

Foram analisadas 2.260 amostras de alimentos e *commodities* destinadas à bovinos oriundas de diferentes estados brasileiros (Figura 1) entre janeiro de 2017 e abril de 2023. As amostras foram enviadas pelos produtores ao laboratório, e, portanto, a amostragem não foi avaliada. Porém, os produtores foram instruídos quanto a forma correta de amostragem (RICHARD, 2006).

Figura 1 - Número de amostras por estados brasileiros.



Análise de Micotoxinas

Todas as análises foram realizadas por meio da técnica de ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), esta técnica foi escolhida por ser considerada de alto rendimento e por necessitar de menos procedimentos de purificação dos extratos, em comparação com outros métodos convencionais, além de não necessitar de equipamentos caros que muitas vezes não estão disponíveis. As seguintes micotoxinas foram pesquisadas: aflatoxinas totais (B_1, B_2, G_1 e G_2) (AFLA), deoxinivalenol (DON), fumonisinas (B_1, B_2 e B_3) (FUMO), ocratoxina A (OTA), T-2 toxina (T-2) e zearalenona (ZEA). Foram utilizados kits ELISA AgraQuant® produzidos pela Romer Labs Inc. (Áustria). Estes kits utilizam o método de ELISA competitivo direto para a análise das micotoxinas, sendo um kit específico para cada toxina estudada.

Anteriormente à realização dos testes ELISA é necessário que a amostra passe por um processo de extração, que visa a solubilização das micotoxinas em meio líquido. Foram preparados dois extratos: um para a quantificação de deoxinivalenol e outro para as demais toxinas. Para a preparação destes extratos as amostras foram trituradas e duas frações de 20 g foram pesadas. Em uma das frações foram adicionados 100 ml de água destilada (para quantificação de deoxinivalenol) e na outra 100 ml de uma solução metanol:água (70:30 v/v) (para a quantificação das demais toxinas). Em seguida, as amostras pesadas e acrescidas de água destilada ou metanol/água foram submetidas à agitação a 150 rpm (rotações por minuto) em agitador orbital por uma hora, após este tempo as amostras foram filtradas em papel de filtro tipo Whatman #1, e o pH foi ajustado para que estivesse entre 6,0 e 8,0.

Após a extração, os testes de ELISA foram realizados seguindo as recomendações do fabricante.

Análises Descritivas

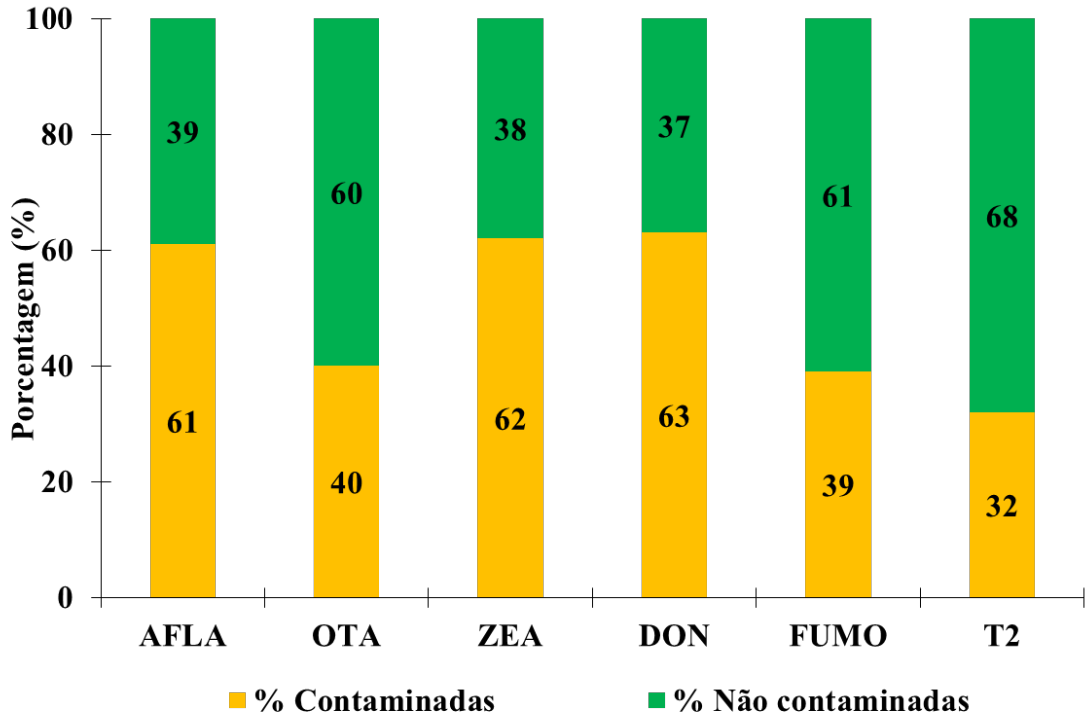
Todas as análises descritivas dos dados foram feitas utilizando o programa Microsoft 365® Excel (2023).

Resultados e Discussão

Ocorrência de Micotoxinas

Foi observado que 97% das amostras estavam contaminadas com pelo menos uma das micotoxinas estudadas. A micotoxina mais frequentemente encontrada foi DON, com uma frequência de contaminação de 63%, seguida por ZEA e AFLA (com 62% e 61% de amostras contaminadas, respectivamente), já para FUMO, OTA e T-2 os níveis de contaminação ficaram em 39%, 40% e 32%, respectivamente (Figura 2). Estes resultados sugerem a alta frequência de contaminação por micotoxinas na alimentação animal no Brasil, assim como já foi observado por outros autores em várias partes do mundo (BINDER et al., 2007; STREIT et al., 2013; GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2018; GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2019).

Figura 2 – Porcentagem de amostras contaminadas (amarelo) e não contaminadas (verde) com AFLA, OTA, ZEA, DON, FUMO e T2.



Também foram realizadas análises por tipo de micotoxina. Nestas análises foram estabelecidas faixas de contaminação para cada uma das toxinas e a porcentagem de amostras em cada faixa foi determinada.

Para as aflatoxinas as faixas determinadas foram: < 5 ppb, 5 a 10 ppb, 10 a 20 ppb e > 20 ppb. Foi observado que 81% das amostras continham < 5 ppb; 10% continham de 5 a 10 ppb; 4% continham de 10 a 20 ppb e 4% continham > 20 ppb (Figura 3). Para AFLA o limite máximo tolerado (LMT) estabelecido pela União Europeia para alimentos completos para gado leiteiro é de 5 µg/kg (EU, 2003), sendo esta a micotoxina que apresentou maior porcentagem de amostras acima do LMT. Além disso, a matriz na qual foi observada maiores contaminações por aflatoxinas foi o amendoim, o que já era esperado uma vez que a presença de AFLA em amendoim e derivados é um grande problema no Brasil (RODRÍGUEZ-AMAYA; SABINO, 2002).

Para deoxinivalenol as faixas estabelecidas foram: < 500 ppb, 500 a 1000 ppb, 1000 a 2000 ppb e > 2000 ppb. A maior parte das amostras continha menos de 500 ppb de DON (74%), 13% estavam contaminadas com 500 a 1000 ppb, 10% continham de 1000 a 2000 ppb e apenas 3% das amostras analisadas continham contaminação > 2000 ppb de DON (Figura 4). Com relação a legislação, a União Europeia estabelece um LMT de 2000 ppb de DON para bezerros (EU, 2006), portanto 97% das amostras analisadas estavam abaixo deste limite. Além disso, a matriz onde foram observadas maiores porcentagens de contaminação por DON foi dieta total.

Já para as fumonisinas as faixas de contaminação estabelecidas foram: < 1000 ppb, 1000 a 2500 ppb, 2500 a 5000 ppb e > 5000 ppb. Oitenta e dois por cento das amostras analisadas continham FUMO abaixo de 1000 ppb, 11% estavam contaminadas com 1000 a 2500 pbb, 5% continham de 2500 a 5000 ppb e 2% apresentavam contaminação superior a 5000 ppb de

FUMO (Figura 5). Com relação a legislação, a União Europeia estabelece um limite de 20.000 ppb para bezerros e 50.000 ppb para animais adultos (EU, 2006), dentre todas as amostras analisadas apenas duas amostras apresentaram contaminação superior a 20.000 ppb.

Também foi observado que a matriz que apresentou maior porcentagem de contaminação por FUMO foi o milho. Sabe-se que FUMO é uma micotoxina muito presente em milho, já que seu principal produtor (*Fusarium verticillioides*) é conhecido por ser um fitopatógeno de milho (BLACUTT et al., 2018), e diversos outros estudos já demonstraram a alta frequência de contaminação de amostras de milho por FUMO em alimentos utilizados tanto para alimentação animal quanto humana no Brasil (VAN DER WESTHUIZEN et al., 2003; MORENO et al., 2009; MARTINS et al., 2012; RODRIGUES; NAEHRER, 2012; FRANCO et al., 2019; GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2019).

Para ocratoxina A as faixas estabelecidas foram: < 5 ppb, 5 a 10 ppb, 10 a 20 ppb e > 20 ppb. Setenta e quatro por cento das amostras estavam contaminadas com menos de 5 ppb de OTA, já para as faixas 5 a 10 ppb, 10 a 20 ppb e > 20 ppb as porcentagens de contaminação foram 9%, 8% e 9%, respectivamente (Figura 6). As amostras que apresentaram maiores porcentagens de contaminação foram silagem de milho e grão úmido.

Com relação a toxina T-2 as faixas estabelecidas foram: < 50 ppb, 50 a 100 ppb, 100 a 200 ppb e > 200 ppb. A grande maioria das amostras apresentaram menos de 50 ppb de T-2 (93%), 5% estavam contaminadas com 50 a 100 ppb, as faixas 100 a 200 ppb e >200 ppb apresentaram 1% de amostras cada (Figura 7). Amostras de dieta total foram as que apresentaram maior porcentagem de contaminação por T-2.

As comparações com a legislação da União europeia não foram realizadas para OTA e T-2 pois esta legislação não possui limites máximos tolerados estabelecidos especificamente para bovinos para estas toxinas.

Para a zearalenona as faixas estabelecidas foram: < 100 ppb, 100 a 250 ppb, 250 a 500 ppb e > 500 ppb. A maior parte das amostras (88%) estavam contaminadas com < 100 ppb, 10% continham entre 100 e 250 ppb e apenas 1% estavam contaminadas com 250 a 500 ppb e > 500 ppb (Figura 8). A União Europeia estabelece um limite de 500 ppb de ZEA para bezerros e vacas em lactação (EU, 2006), portanto, apenas 1% das amostras analisadas estavam acima deste limite.

Além disso, dentre as amostras analisadas amostras de milho, trigo, soja e sorgo foram as que apresentaram maiores porcentagens de contaminação por zearalenona.

Figura 3 – Porcentagem de amostras contaminadas com < 5 ppb, 5 a 10 ppb, 10 a 20 ppb e > 20 ppb de aflatoxinas.

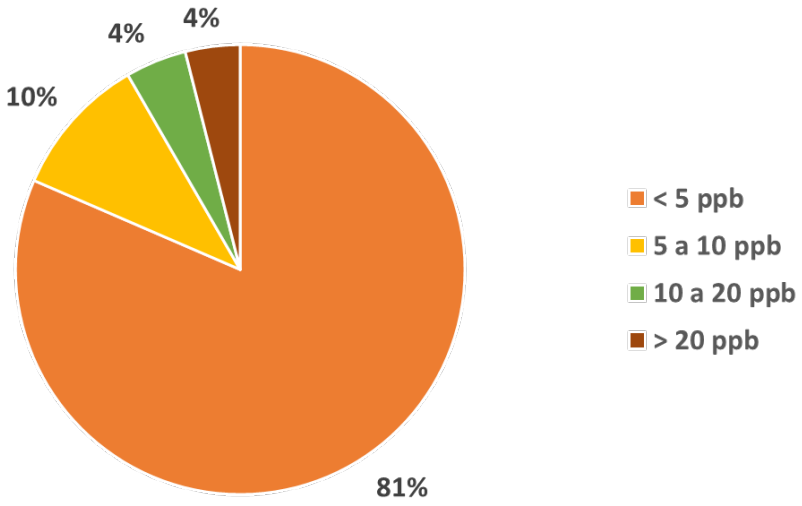


Figura 4 - Porcentagem de amostras contaminadas com < 500 ppb, 500 a 1000 ppb, 1000 a 2000 ppb e > 2000 ppb de deoxinivalenol.

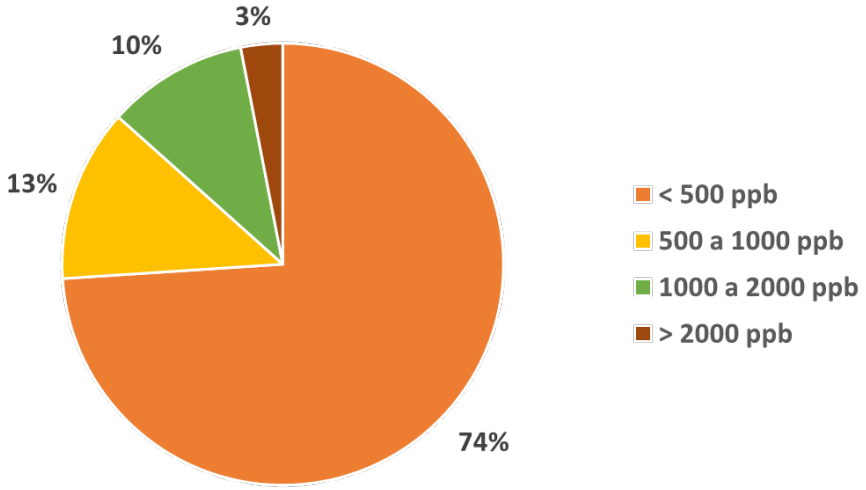


Figura 5 - Porcentagem de amostras contaminadas com < 1000 ppb, 1000 a 2500 ppb, 2500 a 5000 ppb e > 5000 ppb de fumonisinas.

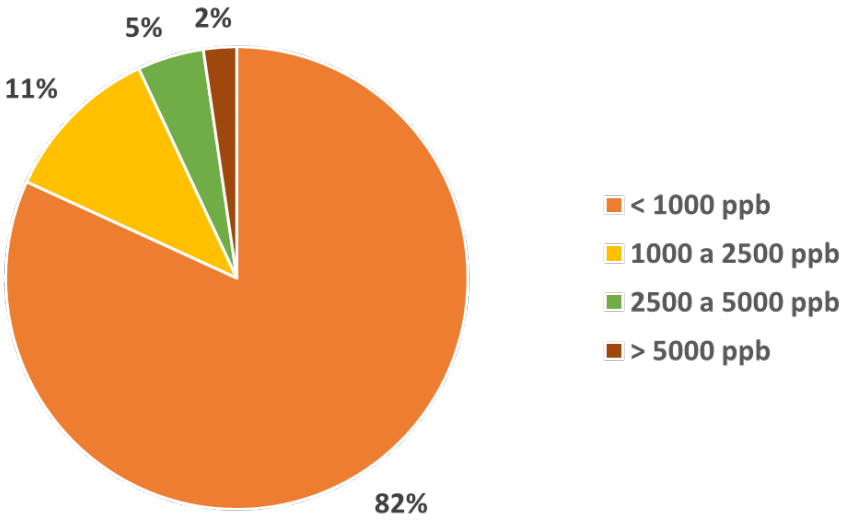


Figura 6 - Porcentagem de amostras contaminadas com < 5 ppb, 5 a 10 ppb, 10 a 20 ppb e > 20 ppb de ocratoxina A.

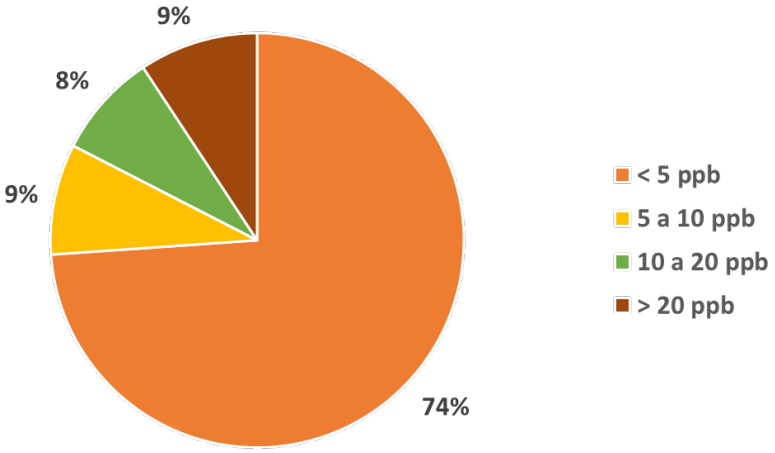


Figura 7 - Porcentagem de amostras contaminadas com < 50 ppb, 50 a 100 ppb, 100 a 200 ppb e > 200 ppb de T-2 toxina.

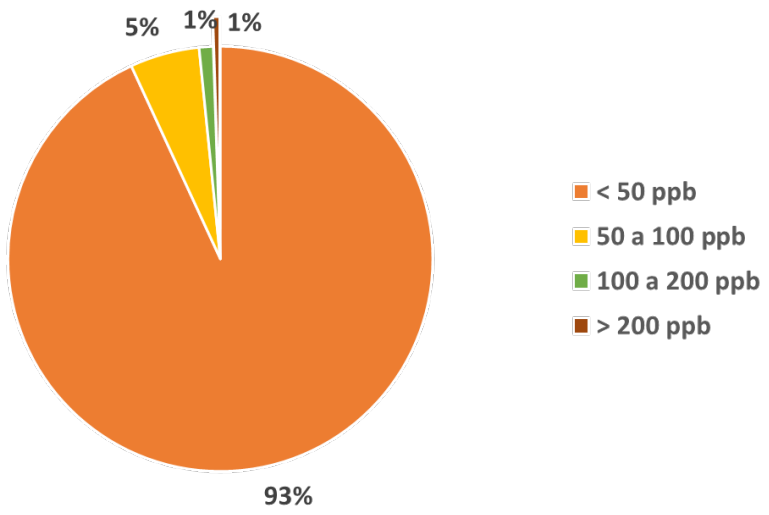
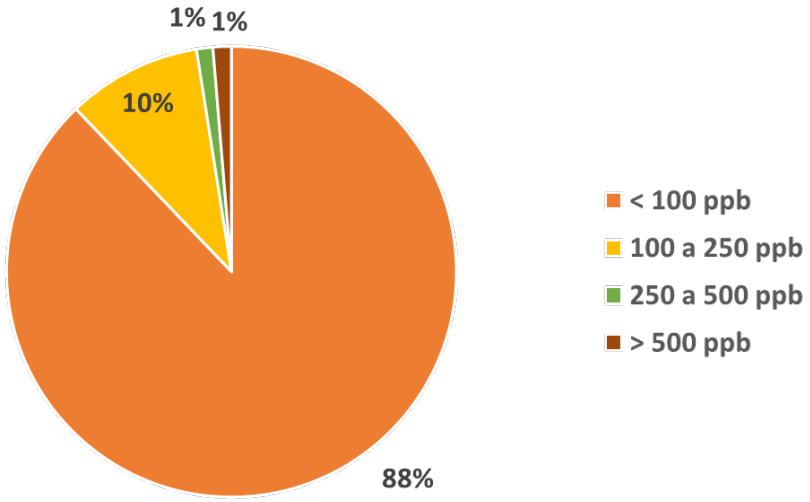


Figura 8 - Porcentagem de amostras contaminadas com < 100 ppb, 100 a 250 ppb, 250 a 500 ppb e > 500 ppb de zearalenona.

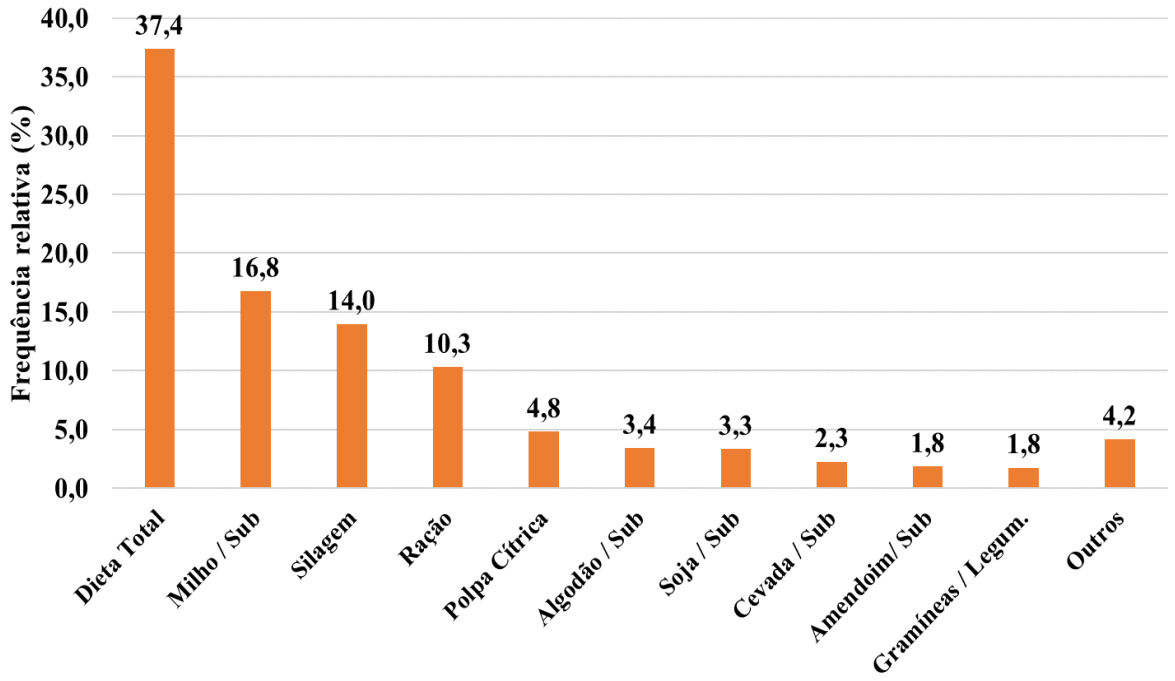


Os estudos que avaliam a presença de micotoxinas em alimentos destinados a bovinos no Brasil são escassos, e a alta frequência de contaminação observada neste estudo evidencia a necessidade de monitoramento frequente destes alimentos para garantir a segurança e bem-estar dos animais. Outro fator agravante no Brasil é a falta de legislações específicas para a contaminação por micotoxinas na alimentação animal, o que coloca em risco a saúde dos animais.

Tipos de amostra

As amostras analisadas foram categorizadas com relação ao seu tipo de amostra nas seguintes categorias: Dieta total, silagem, ração, polpa cítrica, milho / subprodutos, algodão / subprodutos, cevada / subprodutos, soja / subprodutos, amendoim / subprodutos, gramíneas e leguminosas e outras amostras. A porcentagem de amostras recebidas em cada uma das categorias está na Figura 9. Os tipos de amostra mais frequentes foram dieta total (37,4%), milho / subprodutos (16,8%) e silagem (14,0%).

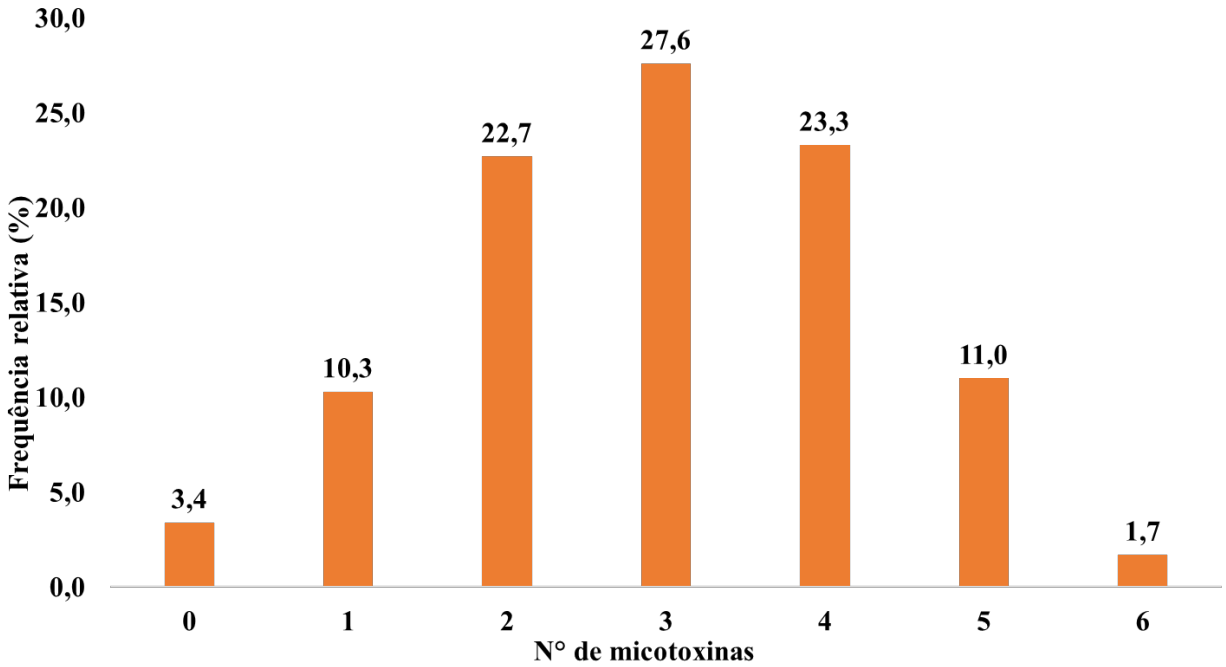
Figura 9 – Distribuição de frequência relativa referente ao tipo de amostra.



Coocorrências de micotoxinas

Para as análises das coocorrências foram utilizadas 1.704 amostras em que foram realizadas análises para as seis micotoxinas estudadas (AFLA, DON, FUMO, OTA, T-2 e ZEA). Foi observado que 87% estavam contaminadas com duas ou mais micotoxinas ao mesmo tempo, sendo que 22,7% estavam contaminadas com duas micotoxinas, 27,6% com três, 23,3% com quatro, 11,0% com cinco e 1,7% continham as seis micotoxinas estudadas ao mesmo tempo (Figura 10).

Figura 10 – Frequência relativa de amostras contaminadas com zero, uma, duas, três, quatro, cinco ou seis micotoxinas ao mesmo tempo.



Dentre todas as combinações de micotoxinas possíveis, as mais frequentes foram as descritas na Tabela 1.

Quadro 1 – Contaminações de micotoxinas mais frequentes.

1	AFLA + ZEA + DON
2	AFLA + OTA + ZEA + DON
3	DON + FUMO
4	AFLA + ZEA + DON + FUMO
5	DON
6	ZEA + DON
7	AFLA + OTA + ZEA + DON + T2
8	AFLA + OTA + ZEA + DON + FUMO
9	AFLA + ZEA + DON + T2
10	AFLA + ZEA + DON + FUMO + T2

Foi observado que DON e ZEA estavam presentes em quase todas as contaminações mais frequentes, o que é bastante comum, já que estas toxinas são principalmente produzidas pelos mesmos fungos (*Fusarium graminearum* e *Fusarium culmorum*) (DRIEHUIS et al., 2008, TWARUZEK et al., 2021, GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2018, GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR., 2019).

As coocorrências são muito comuns na alimentação animal, e foram relatadas em diversos estudos por todo o mundo (KOSICKI et al., 2016; GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2018; GRUBER-DORNINGER; JENKINS; SCHATZMAYR, 2019; YANG et al., 2019). Embora a literatura científica ofereça uma ampla variedade de informações sobre os efeitos individuais das micotoxinas em várias espécies animais, os estudos sobre os efeitos tóxicos combinados das micotoxinas *in vivo* são limitados e, portanto, o risco à saúde decorrente da exposição a uma combinação de micotoxinas é incompleto. Em surtos de campo, alimentos naturalmente contaminados podem conter múltiplas micotoxinas, e níveis de contaminação aparentemente mais baixos podem estar associados a efeitos mais graves devido a ação conjunta das micotoxinas, o que explica as divergências observadas nos efeitos descritos na literatura científica e nos casos observados à campo (BINDER et al., 2007; GRENIER; OSWALD, 2011; ALASSANE-KPEMBI et al. 2017). Além disso, o risco de exposição a multi-micotoxinas em ruminantes é ainda maior do que em outros animais (como suínos e aves), uma vez que a dieta destes animais é mais variada, contendo várias possíveis fontes de contaminação (GALLO et al., 2015).

Outro fator agravante é que as legislações existentes também foram estabelecidas com base em estudos toxicológicos que levam em consideração a exposição a apenas uma micotoxina, e não às misturas de micotoxinas (SMITH et al., 2016). Porém, os resultados deste estudo indicam que a coocorrência de micotoxinas nos alimentos utilizados para a alimentação de bovinos no Brasil e a consequente exposição dos animais à várias micotoxinas ao mesmo tempo é a regra e não a exceção, sendo muito importante considerar os efeitos tóxicos combinados das micotoxinas, e não apenas os efeitos individuais.

Referências

ALASSANE-KPEMBI, I.; SCHATZMAYR, G.; TARANU, I.; MARIN, D.; PUEL, O.; OSWALD, I. P. Mycotoxins co-contamination: Methodological aspects and biological relevance of combined toxicity studies. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 16, p. 3489-3507, 2017.

BHAT, R. V.; MILLER, J. D. Mycotoxins and food supply. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food, Nutrition and Agriculture**, n. 1. Rome: FAO, n.d., 1991. 27-31.

BINDER, E. M.; TAN, L. M.; CHIN, L. J.; HANDL, J.; RICHARD, J. Worldwide occurrence of mycotoxins in commodities, feeds and feed ingredients. **Animal Feed Science and Technology**, v. 137, n, 3-4, p. 265–282, 2007.

BLACUTT, A. A.; GOLD, S. E.; VOSS, K. A.; GAO, M.; GLENN, A. E. *Fusarium verticillioides*: Advancements in understanding the toxicity, virulence, and niche adaptations of a model mycotoxigenic pathogen of maize. **Phytopathology**, v. 108, n. 3, p. 312-326, 2018.

CAST - Council for Agricultural Science and Technology. **Mycotoxins: risks in plant, animal and human systems**. USA, Iowa: Task Force Report n° 139, 2003.

DRIEHUIS, F.; SPANJER, M. C.; SCHOLTEN, J. M.; TE GIFFEL, M. C. Occurrence of mycotoxins in maize, grass and wheat silage for dairy cattle in the Netherlands. **Food Additives & Contaminants**, v. 1, n. 1, p. 41-50, 2008.

EUROPEAN UNION (EU). Commission Regulation (EC) n° 100 of 31 October 2003. **Official Journal of the European Union**. L. 285, p. 33-37, 31 October 2003.

EUROPEAN UNION (EU). Commission Regulation (EC) nº 165 of 03 April 2013. **Official Journal of the European Union**. L. 91, p. 12-14, 03 April 2013.

EUROPEAN UNION (EU). Commission Regulation (EC) nº 576 of 16 August 2006. **Official Journal of the European Union**. L. 229, p. 7-9, 16 August 2006.

FINK-GREMMELS, J. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. **Veterinary Journal**, v. 176, n. 1, p. 84-92, 2008.

FRANCO, L. T.; PETTA, T.; ROTTINGHAUS, G. E.; BORDIN, K.; GOMES, G. A.; OLIVEIRA, C. A. F. Co-occurrence of mycotoxins in maize food and maize-based feed from small-scale farms in Brazil: a pilot study. **Mycotoxin Research**, v. 35, n. 1, p. 65-73, 2019.

FREIRE, F. C. O.; VIEIRA, I. G. P.; GUEDES, M. I. F.; MENDES, F. N. P. Micotoxinas: importância na alimentação e na saúde humana e animal. **Embrapa Agroindústria Tropical**, (Documentos, 110). Fortaleza, 48 p, 2007.

GALLO, A.; GIUBERTI, G.; FRISVAD, J. C.; BERTUZZI, T.; NIELSEN, K. F. Review on mycotoxin issues in ruminants: Occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. **Toxins**, v. 7, n. 8, p. 3057-3111, 2015.

GRENIER, B.; OSWALD, I. P. Mycotoxin co-contamination of food and feed: meta-analysis of publications describing toxicological interactions. **World Mycotoxin Journal**, v. 4, n. 3, p. 285-313, 2011.

GRUBER-DORNINGER, C.; JENKINS, T.; SCHATZMAYR, G. Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey. **Toxins**, v. 11, n. 7, p. 375, 2019.

GRUBER-DORNINGER, C.; JENKINS, T.; SCHATZMAYR, G. Multi-mycotoxin screening of feed and feed raw materials from Africa. **World Mycotoxin Journal**, v. 11, no. 3, p. 369-383, 2018.

HUSSEIN, H. S.; BRASEL, J. M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. **Toxicology**, v. 167, n. 2, p. 101-134, 2001.

KOSICKI, R.; BŁAJET-KOSICKA, A.; GRAJEWSKI, J.; TWARUŻEK, M. Multiannual mycotoxin survey in feed materials and feedingstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 215, p. 165-180, 2016.

MARTINS, F. A.; FERREIRA, F. M. D.; FERREIRA, F. D.; BANDO, E.; NERILO, S. B.; HIROOKA, E. Y.; MACHINSKI, M., Jr. Daily intake estimates of fumonisins in corn-based food products in the population of Parana, Brazil. **Food Control**, v. 26, n. 2, p. 614-618, 2012.

MORENO, E. C.; GARCIA, G. T.; ONO, M. A.; VIZONI, E.; KAWAMURA, O.; HIROOKA, E. Y.; ONO, E. Y. S. Co-occurrence of mycotoxins in corn samples from the Northern region of Paraná State, Brazil. **Food Chemistry**, v. 116, n. 1, p. 220-226, 2009.

MORETTI, A.; LOGRIECO, A. F.; SUSCA, A. Mycotoxins: An Underhand Food Problem. In: MORETTI, A.; SUSCA, A. **Mycotoxigenic Fungi**. v. 1542., New York: Humana Press, 2017. p. 3-12.

RICHARD, J. Sampling and Sample Preparation for Mycotoxin Analysis. **Romer Labs® Guide to Mycotoxins**, v. 2, 2006.

RODRIGUES, I.; NAEHRER, K. A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feedstuffs and feed. **Toxins**, v. 4, n. 9, p. 663-675, 2012.

RODRÍGUEZ-AMAYA, D. B.; SABINO, M. Mycotoxin research in Brazil: the last decade in review. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 33, n. 1, 2002.

SMITH, M. C.; MADEC, S.; COTON, E.; HYMERY, N. Natural Co-Occurrence of Mycotoxins in Foods and Feeds and Their *in vitro* Combined Toxicological Effects. **Toxins**, v.8, n.4, p.94, 2016.

SOARES, R. R. G.; RICELLI, A.; FANELLI, C.; CAPUTO, D.; DE CESARE, G.; CHU, V.; AIRES-BARROS, M. R.; CONDE, J. P. Advances, challenges and opportunities for point-of-need screening of mycotoxins in foods and feeds. **The Analyst**, v. 143, n. 5, p. 1015-1035, 2018.

STREIT, E.; NAEHRER, K.; RODRIGUES, I.; SCHATZMAYR, G. Mycotoxin occurrence in feed and feed raw materials worldwide: long-term analysis with special focus on Europe and Asia. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 12, p. 2892-2899, 2013.

TWARUŻEK, M.; SKRZYDLEWSKI, P.; KOSICKI, R.; GRAJEWSKI, J. Mycotoxins survey in feed materials and feedingstuffs in years 2015-2020. **Toxicon**, v. 202, p. 27-39, 2021.

UPADHAYA, S. D.; PARK, M. A.; HA, J. K. Mycotoxins and their biotransformation in the Rumen: A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 23, n. 9, p. 1250-1260, 2010.

VAN DER WESTHUIZEN, L.; SHEPHARD, G. S.; SCUSSEL, V. M.; COSTA, L. L. F.; VISMER, H. F.; RHEEDER, J. P.; MARASAS, W. F. O. Fumonisin contamination and *Fusarium* incidence in corn from Santa Catarina, Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 18, p. 5574-5578, 2003.

YANG, C.; CHENG, Y.; TSAI, W.; LIAO, R.; CHANG, C; CHIEN, W.; JHANG, J.; YU, Y. Prevalence of mycotoxins in feed and feed ingredients between 2015 and 2017 in Taiwan. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 26, n. 23, p. 23798-23806, 2019.

ZHAO, Z.; LIU, N.; YANG, L.; DENG, Y.; WANG, J.; SONG, S.; LIN, S.; WU, A.; ZHOU, Z.; HOU, J. Multi-mycotoxin analysis of animal feed and animal-derived food using LC-MS/MS system with timed and highly selective reaction monitoring. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 407, n. 24, p. 7359-7368, 2015.

Como utilizar o teor e o perfil da gordura do leite para avaliar a dieta e o manejo nutricional em fazendas leiteiras

Rodrigo de Almeida[1]

Larissa de Souza Nogueira[2]

Georgia Cristina de Aguiar[3]

Introdução

A gordura é o principal componente ou sólido do leite. Mesmo que numericamente seu teor seja inferior ao teor de lactose do leite, a gordura é um componente de relevância muito maior à indústria. Em sistemas de pagamento de leite por qualidade o teor de gordura tem valorização similar ao teor de proteína, mas a gordura é um componente há mais tempo estudado e avaliado, e particularmente na última década, por conta das crescentes vendas de manteiga, sua remuneração passou a ser inclusive superior à de proteína.

Outro ponto que devemos ressaltar é que a gordura é o componente do leite de maior variabilidade entre vacas, entre ordenhas, entre lotes, entre rebanhos, entre raças, entre estações do ano e mesmo entre espécies. Por exemplo, é normal encontrarmos vacas produzindo teores de gordura entre 2,50 e 4,50% entre animais do mesmo lote, alimentadas com a mesma dieta e manejadas de forma similar. Por conta disto, se quisermos estimar o real teor de gordura do leite de uma vaca ou de um rebanho, deveríamos coletar várias amostras de leite. Remunerar a produção de leite, bonificando ou penalizando pelo teor de gordura, mas baseado tão somente em uma única amostra mensal ou quinzenal de tanque, é impreciso e não-acurado.

Embora este artigo focará em práticas nutricionais e de manejo que impactam os teores de gordura do leite, não podemos esquecer que os coeficientes de herdabilidade para porcentagem de gordura são altos, próximos a 0,50. Ou seja, ao tentarmos incrementar os teores de gordura do leite, devemos conciliar as boas práticas de nutrição e manejo, com a escolha de material genético superior para esta variável. Há ótimas e numerosas opções de touros provados e positivos para produções e/ou porcentagens de gordura, oriundos tanto das avaliações genéticas quantitativas tradicionais, como também das mais recentes avaliações genômicas.

Fatores nutricionais que afetam a gordura do leite

Gordura baixa em rebanhos leiteiros é provavelmente a segunda causa mais frequente que produtores de leite chamam seus técnicos ou nutricionistas para revisitarem seus rebanhos, talvez somente após as visitas para aumentar a produção de leite. Na nossa experiência adquirida ao longo de 20-25 anos de pesquisas e consultorias em rebanhos leiteiros, achamos importante destacar o caráter multifatorial da gordura do leite. Ou seja, tipicamente, não há um único fator dietético que explica um quadro de depressão da gordura do leite (DGL). Da mesma forma, normalmente não há uma "bala de prata" que soluciona com uma única mudança o teor de gordura reduzido.

[1]Universidade Federal do Paraná; Curitiba – Paraná; ralmeida@ufpr.br.
[2]Mestranda PPGZ-UFPR; Curitiba – Paraná; larisnogueira22@gmail.com.
[3]Doutoranda PPGZ-UFPR; Curitiba – Paraná; georgiadeaguiar@outlook.com.

Ainda assim, há alguns fatores que devem ser inicialmente investigados quando um técnico, um produtor ou um rebanho se deparam com um quadro de DGL.

Fibra

Concentrações adequadas de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva (%FDNfe) são necessárias para manter saúde ruminal e, portanto, para manter satisfatórios teores de gordura do leite. Seguindo recomendações de Zebeli et al. (2012), recomendamos concentrações de FDNfe iguais ou superiores a 19,0 (%MS). Reconhecemos que esta indicação talvez não seja perfeita, mas na nossa opinião esta recomendação é mais prática e aplicável que o novo parâmetro %FDN fisicamente ajustado, sugerido pelo NASEM (2021), que exige que os estratos da peneira Penn State tenham seus teores de MS determinados e que estes resultados sejam incluídos num aplicativo de celular, para que finalmente possamos concluir se a dieta tem fibra adequada ou não.

As recomendações do NASEM (2021) são oriundas primordialmente de dois artigos de White et al. (2017a,b). Embora estes artigos sejam excelentes e de leitura obrigatória para quem deseja aprender mais sobre o assunto, eles partem da premissa que partículas mais longas são mais fisicamente efetivas do que partículas médias. Mais recentemente Piran Filho et al. (2023) demonstraram que a FDN da silagem de milho que fica acima da peneira de 19 mm é menos efetiva que a FDN da silagem de milho entre 8 e 19 mm, principalmente por conta da seleção contra partículas longas. Os autores estimaram fatores de efetividade física (fef) de 0,66 e 0,83 para partículas abaixo de 8 mm e acima de 19 mm, respectivamente, comparado com partículas entre 8 e 19 mm (fef = 1). Assim, deveríamos evitar formular dietas baseadas na proporção de partículas de silagem de milho que ficam retidas na peneira de 19 mm. Na verdade, atualmente, buscamos trabalhar com menores proporções de silagem na peneira superior de 19 mm, algo entre 3 a 5%.

No sul do Brasil, estas concentrações ideais de FDNfe são alcançadas pela inclusão da fibra da silagem de milho, da fibra de um segundo volumoso que pode ser um pré-secado ou silagem de gramínea (como aveia, azevém ou tifton), eventualmente a fibra de um feno ou de uma palha picados e ainda, dependendo da disponibilidade e da cotação deste ingrediente, da fibra contida no caroço de algodão.

Já no restante do Brasil e particularmente em MG e em GO, o desafio é a produção de um segundo volumoso e modestamente acreditamos que este é um dos maiores desafios no balanceamento de dietas de bovinos leiteiros nestas regiões.

Amido

É consenso que altas concentrações de amido dietético, acima de 30%MS, trazem desafios a produção e a porcentagem de gordura do leite. O amido é inclusive um claro exemplo de como os teores de gordura e proteína são nutricionalmente antagônicos; enquanto altas concentrações de amido dietético maximizam os teores de proteína do leite, estas mesmas altas concentrações dietéticas de amido podem trazer enormes desafios à manutenção dos teores de gordura do leite.

Além da concentração dietética de amido total ser importante, talvez tão ou mais relevante é a concentração de amido degradável no rúmen, visto que altas concentrações de

amido degradável (maiores que 19%MS) contribuem para a queda do pH ruminal e para eventos de acidose ruminal subclínica, conhecida como SARA.

Nas nossas dietas de vacas leiteiras há praticamente duas únicas fontes de amido; o amido da silagem de milho (de alta degradabilidade) e o amido contido no grão de milho seco ou em outros grãos de cereais (de variável degradabilidade). Se o milho grão for fornecido como milho grão seco moído (ou fubá de milho), a degradabilidade é baixa ou mediana dependendo da granulometria, e neste caso os desafios à manutenção do pH ruminal serão menores e por conseguinte também serão menores os riscos de DGL. Mas se o milho grão for fornecido como silagem de grão úmido de milho (mais comum no Sul) ou milho grão reidratado (mais comum em MG e em GO), estaremos combinando duas fontes de amido de alta degradabilidade, e neste caso os eventos de DGL serão quase que inevitáveis, principalmente se a inclusão de milho grão úmido ou reidratado for alta e/ou a inclusão de fibra efetiva for baixa.

Recentemente temos observado vários eventos de DGL em fazendas do PR e em MG, e muito frequentemente constatamos concentrações de amido degradável exageradas pela combinação de uma ótima silagem de milho, com elevado teor de MS e com alta proporção de grãos, e o grão úmido ou reidratado sendo incluído em grande quantidade. Neste caso, nossa sugestão inicial seria dividir a inclusão do milho grão úmido ou reidratado pela metade, incluindo no seu lugar, milho grão seco moído, o que irá reduzir a degradabilidade ruminal do amido dietético.

Assim, concordamos com a recomendação de estimar como parâmetro de saúde ruminal a relação entre %FDNfe e %Amido_DR, buscando dietas em que esta relação seja igual ou superior a 1,0. Neste caso haveria um equilíbrio entre as frações CNF provendo energia e FDN provendo fibra, respectivamente comparados de forma didática pelo Prof. Marcos Neves Pereira (UFLA), como “fogo” e “água”.

Gordura

Embora muitos produtores não compreendam como a suplementação de fontes de gordura na dieta podem prejudicar os teores de gordura do leite, geralmente é isto que ocorre. Mas a DGL de fato ocorre quando a suplementação lipídica é de ácidos graxos insaturados que podem ser parcialmente biohidrogenados no rúmen, levando a produção do ácido linoleico conjugado CLA *tran*-10, *cis*-12, potente inibidor das enzimas FAS e ACC, responsáveis pela síntese *de novo* de ácidos graxos na glândula mamária.

Mas quando a suplementação lipídica é de AG saturados e particularmente do AG palmítico (C16:0), os teores de gordura do leite nas vacas suplementadas podem se manter e até mesmo aumentar. Portanto o impacto da suplementação dietética de gordura vai depender do perfil e da natureza dos ácidos graxos suplementados, como já demonstrado pela meta-análise de Rabiee et al. (2012). Estes autores comprovaram efeitos heterogêneos no teor de gordura do leite de acordo com a fonte de gordura; a suplementação de sebo (quando permitido), oleaginosas e principalmente outros sais cálcicos de AG reduziram, enquanto que a suplementação de AG a base de palmítico aumentaram a porcentagem de gordura do leite.

É importante reconhecer que as fontes de gordura não são iguais e ao adquirir um produto comercial a base de gordura protegida ou hidrogenada deveríamos exigir do fornecedor uma análise completa do perfil de AG deste produto, idealmente por metodologia de cromatografia gasosa realizada em um laboratório reconhecido.

Aditivos

Há um grupo de aditivos que tipicamente apresentam um efeito positivo na fermentação ruminal, contribuindo para o aumento da fermentação ruminal, com destaque aos tamponantes (bicarbonato de sódio), leveduras, fontes minerais que promovam um aumento da diferença catiônica-aniônica da dieta (DCAD) no pós-parto, como o carbonato de potássio e o próprio bicarbonato de sódio, além das metioninas análogas como o HMTBi (por exemplo, no Brasil, o Metasmart® da Adisseo) e o HMTBa (por exemplo, no Brasil, o MFP® da Novus).

Por outro lado, a monensina que provavelmente é o aditivo mais bem estudado e avaliado na nutrição de bovinos leiteiros pode, quando fornecido em dosagens excessivas, facilitar a DGL. Na nossa experiência, recomendamos a inclusão de monensina em 100% das dietas de vacas lactantes, mas idealmente sem ultrapassar a suplementação de 300 mg/vaca/dia (13 ppm numa vaca ingerindo 23 kg MS por dia). Cuidados especiais quando temos a inclusão de 2 ingredientes na mesma dieta, por exemplo, ração comercial e sal mineral, ambos contendo monensina.

Predições da produção e porcentagem de gordura

Recentemente a ex-integrante do Grupo do Leite da UFPR Veridiana publicou no JDS (Daley et al., 2022) uma meta-análise com modelos para predizer a concentração (%) e a produção (kg/d) de gordura do leite em vacas lactantes. Os dados consistiam de 158 experimentos com 658 tratamentos, envolvendo 2.843 animais. A concentração de gordura do leite variou de 2,26 a 4,78%, enquanto que a produção de gordura do leite variou de 0,488 a 1,787 kg/d entre os estudos. As concentrações dietéticas de forragem, amido e AG totais (na MS) foram em média 50,8 ± 10,3%, 27,5 ± 7,0% e 3,4 ± 1,3%, respectivamente.

As melhores variáveis para predizer a concentração de gordura do leite foram dias em leite (DEL), consumo de MS livre de AG, %forragem, %amido, consumo de C18:2 (AG linoleico) digestível, consumo de C18:3 (AG linolênico) digestível, e gramas dos AA metionina, histidina e triptofano absorvíveis. Segue o modelo escolhido:

$$\text{Gordura (\%)} = 3{,}58 + 0{,}000591 \times \text{DEL} - 0{,}033 \times \text{CMS_livreAG} + 0{,}00522 \times \text{\%Forragem} - 0{,}00599 \times \text{\%Amido} - 0{,}000425 \times \text{Cons_C18:2_dig} + 0{,}00319 \times \text{Cons_C18:3_dig} - 0{,}00681 \times \text{Hist_Abs} + 0{,}00426 \times \text{Met_Abs} + 0{,}0196 \times \text{Trp_Abs}$$

Já as melhores variáveis preditoras para a produção de gordura do leite foram dias em leite (DEL), consumo de MS livre de AG, consumo de C16:0 (AG palmítico) digestível, consumo de C18:3 (AG linolênico) digestível, e gramas dos AA metionina e isoleucina absorvíveis.

$$\text{Gordura (kg/d)} = 452{,}9 - 1{,}42 \times \text{DEL} + 24{,}52 \times \text{CMS_livreAG} + 0{,}407 \times \text{Cons_C16:0_dig} + 1{,}804 \times \text{Cons_C18:3_dig} + 1{,}458 \times \text{Ile_Abs} + 1{,}341 \times \text{Met_Abs}$$

Perfil de ácidos graxos na gordura do leite

O perfil da gordura do leite bovino é bastante heterogêneo, englobando mais de 400 diferentes ácidos graxos (AG). É importante ressaltar que os AG, na sua quase totalidade, não estão livres, e sim ligados a uma molécula de glicerol. Assim, a gordura do leite é composta majoritariamente por triacilgliceróis (TAG ou TG); cerca de 95% a 98% (MacGibbon e Taylor, 2006). Os AG do leite podem ser originados da gordura consumida na dieta, da biohidrogenação ruminal, da síntese de gordura na glândula mamária e, em vacas no início da lactação, oriundos da lipomobilização do tecido adiposo.

Os AG podem ser sintetizados no intestino, fígado ou tecido adiposo e serem captados "prontos" da corrente sanguínea pela glândula mamária; nesse caso são classificados como AG pré-formados, constituídos por cadeias longas com mais de 16 carbonos. Já os AG classificados como *de novo*, são sintetizados pela via *de novo* na glândula mamária, utilizando como precursores ácidos graxos voláteis (AGV) como acetato e butirato, produzidos pela fermentação dos carboidratos no rúmen. Os AG *de novo* são compostos por cadeias curtas de até 16 carbonos. Já os AG com 16 carbonos podem tanto ser captados pela glândula mamária, quanto sintetizados por ela, e são usualmente classificados como AG mistos (Jensen, 2002).

Os AG podem também ser classificados como saturados e ou insaturados, a depender da existência ou não de insaturações na cadeia carbônica. A maior parte dos AG presentes no leite, cerca de 65 a 70% da gordura do leite integral são saturados, resultantes em grande parte da síntese *de novo*, e portanto, contendo 16 ou menos carbonos. Os AG insaturados são classificados como AG monoinsaturados, quando possuem apenas uma insaturação na cadeia carbônica, ou AG polinsaturados, quando apresentam duas ou mais insaturações na cadeia. Ácidos graxos monoinsaturados representam cerca de 25 a 28% da gordura do leite. Já os AG polinsaturados representam entre 5 e 7% da gordura do leite (Jenkins e McGuire, 2006).

O consumo de matéria seca, a dieta e o metabolismo das vacas leiteiras se modificam ao longo da lactação, alterando o perfil de AG encontrado no leite. Além de monitorar os AG agrupados em categorias, é possível monitorar alguns AG específicos. O ácido palmítico (C16:0), que representa cerca de 22 a 35 g/100g AG do leite, e têm relação direta com a suplementação lipídica com óleo de palma, é o AG de maior concentração no leite bovino. O ácido oleico (C18:1 *cis*-9), que representa cerca de 20 a 30 g/100g AG, e o ácido esteárico (C18:0), que representa cerca de 9 a 14 g/100g AG, também estão entre os principais AG no leite bovino (Jensen, 2002). Por serem tão relevantes na composição do perfil da gordura do leite, os AG C16:0, C18:1 *cis*-9 e o C18:0 são também os AG mais comumente encontrados em suplementos nutricionais lipídicos comercializados para bovinos leiteiros (De Souza et al., 2018), além do AG C18:2 (linoleico). A suplementação de AG na dieta pode resultar na alteração do perfil de AG no leite. No geral, a adição de gordura na dieta pode acarretar o aumento da concentração de AG pré-formados no leite, e elevar o teor de gordura no leite. No entanto, a utilização em excesso de AG insaturados na suplementação lipídica leva a redução da concentração de AG *de novo*.

Ácidos graxos *de novo*

Diversos fatores influenciam a concentração de AG *de novo* no leite; raça, fatores genéticos, dieta e o estado fisiológico dos animais. É comum que o perfil de AG mude ao longo da lactação, mas no geral o grupo de AG *de novo* representam entre 18,2 e 28,4% do total de AG no leite (Jensen, 2002). Os AG *de novo* são os que possuem maior correlação com o teor de gordura total no leite. Vacas em quadro de depressão da gordura do leite (DGL), por diversos

fatores que estejam prejudicando o funcionamento do rúmen, sofrem a queda do teor de gordura do leite, mas também apresentam uma queda notável da concentração de AG *de novo* (Griinari et al., 1998; Conte et al., 2018).

A proporção de AG *de novo* pode atuar como importante indicador da saúde ruminal das vacas leiteiras, já que é dependente de precursores formados no rúmen. A acidose ruminal, que acomete vacas que consomem dietas com altos teores de carboidratos de alta fermentabilidade e/ou pouca fibra fisicamente efetiva, pode resultar em mudanças no perfil de AG do leite. O quadro de acidose ruminal subclínica é caracterizado pela queda do pH do rúmen, valores abaixo de 5,8, por longos períodos, o que acarreta o aumento da síntese de CLA, falha na biohidrogenação da gordura da dieta e ocasiona a diminuição da síntese de AG *de novo* pelas células da glândula mamária. Concentrações menores que 0,8 g/100g de leite e menores que 23% da gordura do leite de AG *de novo* são indicadores de vacas com acidose ruminal subclínica.

Um estudo conduzido por Fukumori et al. (2021) com vacas da raça Holandesa canuladas demostrou a relação entre a queda na concentração de AG *de novo* no leite e a ocorrência de acidose ruminal subclínica. Determinou-se uma associação positiva entre o valor de pH ruminal e a concentração de AG *de novo* em g/100g de AG no leite. Ou seja, quanto menor o pH ruminal, menor a concentração de AG *de novo* no leite. Além disso, foi demonstrado que quanto maior o tempo em que o pH ruminal se mantinha abaixo de 5,8, mais intensa era a queda na concentração de AG *de novo* no leite.

Mas o perfil de AG pode não só indicar uma disfunção ruminal individual, mas pode também ser um indicativo de falhas no manejo de rebanhos. O perfil de AG de amostras de tanque demonstra essa relação de saúde ruminal e AG *de novo* de forma coletiva, indicando possíveis pontos de correção no manejo nutricional das vacas. Segundo Woolpert et al. (2017) fazendas que possuem baixos teores de AG *de novo* em amostras de tanque têm problemas de manejo como alta densidade animal nos lotes e pouco espaço de cocho, associado a menor frequência de alimentação. É possível dizer que rebanhos com maior concentração de AG *de novo* são aqueles que têm a preocupação de manter a saúde ruminal das vacas, e que adotam medidas de manejo alimentar que possibilitam tal cenário.

Corroborando tais resultados, em um trabalho de monitoramento conduzido pelo nosso Grupo do Leite da UFPR, 30 rebanhos leiteiros paranaenses (386 ± 272 vacas em lactação; mínimo de 95 e máximo de 1.424 vacas) foram visitados 4x no ano de 2021, uma visita por estação do ano (Silveira et al., 2023). O perfil de AG das amostras de leite dos tanques destes rebanhos foi analisado por cromatografia gasosa. Entre rebanhos, a produção de leite média foi de 36,62 ± 4,28 kg/d, com 3,68 ± 0.33% de gordura e 3,28 ± 0,11% de proteína. Cada uma das visitas aos rebanhos foi categorizada como alto *de novo* (26,82 ± 0,69 g/100 g AG; n = 40), médio *de novo* (25,48 ± 0,40 g/100 g AG; n = 39), ou baixo *de novo* (23,45 ± 1,73 g/100 g AG; n = 40). Não foram encontradas diferenças em produção de leite entre as três categorias *de novo*, mas o teor de gordura foi mais alto nas fazendas de alto *de novo*. Fazendas de baixo *de novo* apresentaram mais sobrepopulação de vacas, com menores valores de m^2/vaca. Os teores dietéticos de extrato etéreo foram menores e os de FDfe foram maiores nas fazendas como alto *de novo*.

A mensuração de AG *de novo* tem potencial para atuar como um indicador de saúde das vacas no período de transição. Segundo um estudo realizado por Bach et al. (2019) existe uma correlação entre a queda na concentração de AG *de novo* e a ocorrências de doenças nos primeiros 30 dias em lactação. Essa associação se dá majoritariamente pela queda de consumo de matéria seca. É comum que vacas que não tenham uma boa recuperação no pós-parto não

consumam o suficiente, levando a doenças, como deslocamento de abomaso e cetose, e concomitantemente à queda na síntese de AG *de novo*.

Ácidos graxos pré-formados

Se a concentração de AG *de novo* é um indicador de saúde ruminal, a concentração de AG pré-formados pode ser uma ferramenta de acompanhamento de vacas leiteiras no início de lactação. Durante o período de transição as vacas de alta produção passam por um estado de balanço energético negativo, que resulta na mobilização do tecido liposo e liberação de ácidos graxos não esterificados (AGNE) na corrente sanguínea. Com a elevação de AGNE no sangue aumenta a concentração de AG pré-formados no leite, isto é, AG com mais de 16 carbonos (Dorea e Armentano, 2017). Segundo identificado pelo nosso Grupo do Leite da UFPR, particularmente o AG C18:1 *cis*-9 (oleico) é indicativo de hipercetonemia ou cetose subclínica (Poncheki et al., 2018).

Boa parte das alterações nas proporções de AG pré-formados no leite pode ser explicada por alterações na dieta. A proporção entre volumosos e concentrados na dieta, assim como a qualidade e digestibilidade das forragens podem influenciar diretamente na síntese de AG pré-formados. Vacas alimentadas com silagem de milho como única fonte de forragem tendem a ter maiores concentrações de AG pré-formados no leite do que vacas alimentadas com feno ou silagem de gramíneas como fonte única de volumosos (Wang et al., 2023). Mudanças de forragens influenciam a síntese de AG pré-formados, já que fontes de forragens têm diferentes teores de gordura, resultando em diferentes perfis de AG no leite.

Perfil de ácidos graxos como ferramenta de monitoramento de rebanhos

Tendo em vista as correlações entre o perfil de ácidos graxos no leite, manejo alimentar, saúde ruminal e estado fisiológico nas vacas, a potencial utilização de análises de leite, seja por amostras de tanque ou amostras individuais, se torna uma valiosa nova ferramenta para monitoramento de rebanhos e vacas leiteiras. O método tido com padrão ouro para análises do perfil de AG no leite é a cromatografia gasosa, porém já existem outras técnicas que são mais práticas e aplicáveis a realidade de rebanhos leiteiros. O método de espectroscopia de infravermelho médio é uma alternativa, a técnica é mais barata e acessível, e diversos estudos já comprovaram que é eficiente (Dufour, 2009; Fleming et al., 2017; Soyeurt et al., 2006, 2011).

Para o desenvolvimento da cadeia produtiva de leite é essencial utilizar as ferramentas disponíveis visando aprimorar a atividade. Monitorar o perfil de ácidos graxos no leite ajustando possíveis erros de manejo, nutrição e prevenindo doenças, pode auxiliar os produtores na busca por rebanhos cada vez mais produtivos e animais cada vez mais saudáveis.

Atualizações e perspectivas futuras na suplementação de ácidos graxos

No passado, a suplementação lipídica costumava ser vista como uma simples forma de fornecer uma fonte de energia extra aos animais, baseada principalmente no teor de extrato etéreo. No entanto, atualmente, temos uma compreensão mais aprofundada dos perfis de ácidos graxos que compõem as gorduras, explorando cuidadosamente seu potencial individual. O novo NRC (NASEM, 2021) trouxe uma abordagem inovadora para o estudo de ácidos graxos (AG). Em vez de quantificar a gordura de um determinado alimento apenas como extrato etéreo total,

agora sabemos o perfil específico de ácidos graxos presente no alimento que compõe a dieta do rebanho (Daley et al., 2020). A relevância destas pesquisas se dá ao fato de que os ácidos graxos demonstram comportamentos metabólicos diversos, podendo ser vantajosos ou prejudiciais, dependendo dos objetivos de cada fazenda. Esses estudos desempenham um papel essencial na personalização da dieta para cada rebanho leiteiro, com o intuito de promover a longevidade e otimizar a eficiência produtiva.

Assim, como já mencionado, a suplementação lipídica para vacas leiteiras tem efeitos significativos na produção e composição do leite, dependendo do perfil de ácidos graxos das dietas suplementadas. A meta-análise de Gallardo e Teixeira (2023) teve como objetivo quantificar o impacto das dietas suplementadas com lipídios, com base em seus perfis de ácidos graxos, na produção e teor de gordura do leite. Dietas ricas em ácidos graxos saturados aumentaram a produção e o teor de gordura do leite, enquanto reduziram os ácidos graxos de cadeia curta e média no leite. Por outro lado, dietas ricas em ácidos graxos insaturados tendem a aumentar os ácidos graxos de cadeia longa no leite. Este estudo destacou a importância de categorizar as dietas suplementadas com lipídios com base em seus perfis de ácidos graxos para avaliar seu impacto na produção e teor de gordura do leite (Gallardo e Teixeira, 2023).

Através das pesquisas destinadas ao entendimento dos mecanismos dos ácidos graxos, identificou-se um desafio: embora alguns ácidos graxos demonstrem uma grande capacidade de melhorar o desempenho de vacas leiteiras, sua digestibilidade limitada não permite que alcancem o potencial esperado, como é o caso do ácido esteárico (C18:0; De Aguiar et al., 2022). Portanto, as pesquisas buscam aprimorar a digestibilidade de certos ácidos graxos por meio do uso de emulsificantes, misturas com ácidos graxos mais digestíveis e uma melhor compreensão dos processos de digestão. No estudo conduzido por Rico et al. (2020), a digestibilidade de ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) e ácidos graxos de cadeia média (C8:0 e C10:0) foi avaliada por meio de infusões abomasais. Nesse estudo, observou-se que o ácido esteárico (C18:0) apresentou uma digestibilidade 31% menor em comparação com os outros ácidos graxos, enquanto os ácidos graxos de cadeia média tiveram uma digestibilidade maior. Importante ressaltar que essa redução na digestibilidade não teve impacto na produção de leite, nem na transferência desses ácidos graxos para o leite. No entanto, foi demonstrado por Piantoni et al. (2015), que o ácido esteárico demonstra uma maior eficácia em animais de alta produção de leite e uma menor eficácia em vacas com produção de leite mais modesta.

Contudo, busca-se compreender em qual porção do trato gastrointestinal a absorção dos AG é mais favorecida, contando com o auxílio de emulsificantes e sais de cálcio. Para essa melhor compreensão, um grupo de pesquisadores de Michigan nos Estados Unidos, liderado pelo Prof. Adam Lock, está investigando esses mecanismos. Através de infusões de polissorbato-80 no rúmen ou abomaso, eles conseguiram observar que esse emulsificante específico aumentou a digestibilidade tanto do ácido palmítico quanto do esteárico, sem distinção significativa entre o rúmen e o abomaso (dos Santos Neto et al., 2023a). No entanto, em outra pesquisa realizada pelo mesmo grupo, foi examinado que a infusão do emulsificante químico polissorbato-80 ou a infusão do ácido oleico (C18:1 *cis*-9), um ácido graxo de maior digestibilidade, exibiram resultados semelhantes quanto à digestibilidade dos ácidos palmítico e esteárico, aumentando a produção do leite e o teor de gordura do leite (dos Santos Neto et al., 2023b).

Ao compreender os ácidos graxos presentes em determinados alimentos, suas funções e processos metabólicos, torna-se mais fácil adaptar as dietas do rebanho de forma personalizada. Isso envolve a inclusão dos ácidos graxos relevantes para atender às necessidades individuais de cada animal, especialmente em diferentes desafios fisiológicos; destacando fatores como idade, raça, estádio de lactação, *status* de saúde e fase do ciclo de vida do animal. Além disso,

os avanços nas pesquisas sobre ácidos graxos estão cada vez mais relacionados à saúde, inflamação e ao sistema imunológico dos animais. Um grupo de ácidos graxos altamente promissores com um impacto significativo nesse contexto são os ácidos graxos do grupo *ômega*-3, incluindo o ácido alfa-linolênico (ALA) encontrado em sementes de linhaça, bem como os ácidos graxos eicosapentaenoico (EPA) e docosahexaenoico (DHA), predominantemente presentes em algas marinhas e peixes. Esses ácidos graxos *ômega*-3 demonstram notável ação anti-inflamatória, além de terem a capacidade de melhorar a qualidade do leite, aumentando a concentração de ácidos graxos benéficos, como o CLA *cis*-9, *trans*-11, e reduzindo a de ácidos graxos saturados no leite. É importante destacar que as vacas leiteiras possuem alguma habilidade para transferir esses ácidos graxos *ômega*-3 para o leite, o que é benéfico para o consumo humano, já que resulta em um leite enriquecido com ácidos graxos anti-inflamatórios. Estudos evidenciam que os ácidos graxos *ômega*-3, em particular o ALA, são transferidos de maneira rápida e eficiente para o leite, enquanto o EPA e o DHA são prontamente incorporados na corrente sanguínea, entrando em diversos processos metabólicos. Essas descobertas destacam diferenças notáveis no tráfego e na distribuição dos ácidos graxos poli-insaturados *ômega*-3 (Urrutia et al., 2023). Além disso, já foi comprovado que esses ácidos graxos desempenham um papel fundamental na regulação de vias relacionadas a respostas inflamatórias e imunológicas, bem como na modulação da expressão de genes envolvidos nesses processos metabólicos, incluindo o sistema endocanabinóide e a via da cascata inflamatória TLR4/NF-κb (Receptor Toll-Like e Fator Nuclear Kappa B; Calder, 2015; Kra et al., 2022). Contudo, a suplementação com *ômega*-3 exige cuidados adicionais, pois trata-se de ácidos graxos poli-insaturados que podem diminuir o teor de gordura do leite, levando à DGL, e também podem ser suscetíveis à oxidação, o que pode resultar em odor e sabor rancificados da gordura, reduzindo o consumo dos animais. Portanto, é essencial destacar que a suplementação de *ômega*-3 está em constante desenvolvimento e possui potencial promissor tanto para a saúde animal quanto para a saúde humana. No entanto, seu uso deve ser cuidadosamente gerenciado e monitorado para garantir resultados positivos e evitar efeitos indesejados.

É fundamental ter em mente que as estratégias nutricionais demonstram eficácia quando se compreende a fisiologia do animal. Recentemente, estudos têm revelado que a gordura da dieta, assim como a lipólise do tecido adiposo, podem ser redirecionadas para a gordura do leite ou para a deposição de gordura, dependendo dos níveis circulantes de insulina e glicose na corrente sanguínea (Rico e Razzaghi, 2023). Esses níveis estão intimamente ligados ao estádio de lactação do animal. Por exemplo, no início da lactação, os níveis de insulina são notavelmente baixos, o que leva a um aumento na lipólise e na liberação de ácidos graxos livres. No entanto, à medida que a lactação avança, os níveis de ácidos graxos livres (ou não esterificados) na corrente sanguínea diminuem, enquanto que as concentrações de insulina e glicose já estão restabelecidas. Essa adaptação fisiológica durante o período de transição é benéfica até certo ponto. No entanto, a lipólise excessiva pode resultar em inflamação, estresse oxidativo e maior suscetibilidade a doenças, além de reduzir a produção de leite (De Koster e Opsomer, 2013). Portanto, estratégias nutricionais que envolvem o uso de lipídeos se tornam necessárias. Em um estudo recente, foi confirmado que a suplementação de ácido oleico durante o período de transição melhora a sensibilidade à insulina, otimizando a utilização da glicose circulante e reduzindo os níveis de ácidos graxos não esterificados no plasma. Isso resulta em uma redução da inflamação, sem interferir na produção e composição do leite (Abou-Rjeileh et al., 2023). Além disso, dietas ricas em ácidos graxos poli-insaturados têm a capacidade de gerar ácidos graxos intermediários, como o CLA *trans*-10, *cis*-12 e o C18:1 *trans*-10. Isso leva à diminuição do teor de gordura do leite, o que, por consequência, reduz a demanda de energia necessária para a produção de gordura do leite, favorecendo a recuperação do animal. O mesmo princípio se aplica a dietas ricas em amido, que aumentam a síntese ruminal de propionato. Isso resulta em um aumento da secreção de insulina e em uma maior disponibilidade de glicose para

a síntese de lactose, levando ao aumento na produção de leite (Kittivachra et al., 2007; Larsen e Kristensen, 2009). Essas descobertas enfatizam a importância do entendimento da fisiologia animal para desenvolver estratégias nutricionais eficazes que otimizem a saúde e a produção de leite das vacas leiteiras.

Outro campo de pesquisa em constante desenvolvimento é a exploração de novas fontes lipídicas para a suplementação animal, utilizando abordagens da lipidômica. Nesse contexto, a utilização de esfingomielinas como suplemento alimentar vêm se destacando. As esfingomielinas são um tipo de lipídeo que se encontra nas membranas celulares e tecidos de seres humanos, animais e plantas. Elas pertencem à categoria de lipídios denominada esfingolipídeos, sendo constituídas por uma esfingosina, um ácido graxo e um grupo fosfato ou fosfatidilcolina. Essas substâncias lipídicas estão presentes em alimentos como leite, carne e ovos, podendo ser extraídas por meio de diversos processos para se tornarem produtos utilizados como suplementos alimentares (McFadden e Rico, 2019). A pesquisa sobre esse composto lipídico tem ganhado relevância devido às suas características naturais e aos potenciais benefícios à saúde. Esses benefícios incluem propriedades anti-inflamatórias, antimicrobianas e até mesmo anticarcinogênicas, com melhorias na saúde e função intestinal (Parodi, 1997; Marzo et al., 2022). Até o momento, a investigação sobre o uso de esfingomielinas como suplemento alimentar é limitada, e não existem recomendações específicas de dosagem. Os estudos vêm sendo conduzidos principalmente em seres humanos e ratos, mas estão gradualmente expandindo-se para pesquisas em suínos, aves e bovinos leiteiros. À medida que a pesquisa avança e a compreensão sobre as esfingomielinas aumenta, é possível que suplementos específicos contendo esses lipídios estejam disponíveis no mercado no futuro. Essa abordagem representa uma oportunidade promissora para melhorar a nutrição e o desempenho dos animais de produção, além de oferecer potenciais benefícios à saúde dos consumidores de produtos de origem animal.

Seguindo na linha de lipidômica, outro produto que vêm ganhando interesse são os oxilipídeos, produtos resultantes da oxidação de ácidos graxos durante a digestão; estes desempenham um papel crucial na regulação de processos biológicos, como a inflamação e a resposta imune (Sordillo et al., 2018). A formação desses oxilipídeos é influenciada pelo perfil de ácidos graxos poli-insaturados na dieta e pelo processamento por vias oxidativas, que são afetadas pelo estado de saúde do animal. Durante a lactação, as mudanças no metabolismo lipídico podem afetar significativamente a composição e concentração de oxilipídeos na glândula mamária, desencadeando respostas bioquímicas e imunológicas. Estudos, como o de Kuhn et al. (2017), identificaram variações nos níveis de oxilipídeos no início da lactação, indicando um aumento de oxilipídeos pró-inflamatórios, associados aos desafios fisiológicos das vacas nesse período. Essa análise pode ser estendida a outros desafios de saúde, como mastite, problemas de casco e reprodução, tornando os oxilipídeos potenciais biomarcadores de saúde. Além disso, o entendimento dos oxilipídeos é relevante devido ao seu impacto no sistema imunológico e à sua capacidade de atuar como pró ou anti-inflamatórios, dependendo do perfil de ácidos graxos da dieta. Os oxilipídeos também podem ser produzidos artificialmente a partir de óleos ricos em ácidos graxos poli-insaturados, como óleo de peixe e linhaça, e utilizados na indústria de laticínios como estabilizadores para prolongar a vida útil dos produtos e fornecer valor nutricional.

Quando se trata de suplementação lipídica em vacas leiteiras e sua influência na qualidade dos produtos lácteos, também é essencial considerar o impacto direto sobre o produto final. A busca por aumentar o teor de gordura no leite visando melhorar a eficiência de produção e a qualidade dos lácteos é um aspecto relevante. No entanto, essa suplementação pode ter consequências na aceitação dos produtos pelos consumidores. Em países onde o consumo de manteiga é elevado, reclamações surgiram devido à textura mais rígida da manteiga, que

apresentava um ponto de fusão muito alto, em resultado da suplementação de ácido palmítico nas vacas leiteiras (Music et al., 2022). Já é reconhecido na América do Norte que a manteiga produzida a partir de leite produzido no verão, quando as vacas têm acesso à pastagem e consequentemente com um maior aporte de AG poli-insaturados, é "menos dura" ou mais "spreadable", ou seja, mais facilmente espalhável. Já no inverno, com as vacas confinadas pelas baixas temperaturas, sem acesso a pastagem mas com acesso a forragens conservadas e suplementos lipídicos a base de AG saturados como o palmítico, a manteiga é mais dura ou menos "spreadable", gerando reclamações dos consumidores.

Um estudo conduzido por Landry et al. (2023) examinou a qualidade da manteiga produzida a partir do leite de vacas que receberam diferentes tipos de suplementação lipídica, incluindo gordura hidrogenada, óleo de soja, óleo de palma e suplemento de ácido palmítico. Embora o ácido palmítico tenha aumentado a produção de leite e gordura do leite, a manteiga resultante foi significativamente mais rígida do que as outras amostras quando armazenada a 20°C. Isso demonstra que a suplementação lipídica pode ser benéfica em termos de produção, mas pode não ser bem aceita pelos consumidores devido às alterações na textura dos produtos lácteos.

Nos próximos anos, espera-se pesquisas crescentes sobre os ácidos graxos de cadeia média devido às suas múltiplas funções benéficas na produção leiteira. Esses ácidos graxos demonstraram a capacidade de reduzir a população de bactérias metanogênicas e protozoários no rúmen, diminuindo a produção de metano, o que é importante para a mitigação do impacto ambiental da produção de leite (Burdick et al., 2022). Em uma meta-análise (Yanza et al., 2020) foi observado que o óleo de coco puro teve maior efeito sobre a redução metanogênica, do que o ácido láurico (C12:0) e mirístico (C14:0). Além disso, eles mostraram resultados promissores como imuno estimuladores em situações de estresse oxidativo e imunossupressão, além de possuírem propriedades antibacterianas. Estudos também têm evidenciado que a inclusão de ácidos graxos de cadeia média, isolados ou em combinação com ácidos graxos de cadeia longa, pode aumentar o teor de gordura e sólidos totais do leite (Hristov et al., 2011). No entanto, é importante notar que a inclusão abrupta de grandes quantidades desses ácidos graxos pode levar a reduções nos sólidos totais e na produção de leite. Além disso, pesquisas apontam que a suplementação com ácidos graxos de cadeia média pode aumentar a presença de ácidos graxos monoinsaturados, poli-insaturados e CLA *cis*-9, *trans*-11 no leite (Kadegowda et al., 2008; Hristov et al., 2009). Em resumo, os ácidos graxos de cadeia média têm potencial para oferecer benefícios tanto na eficiência da produção leiteira quanto na qualidade do leite produzido, com um impacto ambiental mais favorável devido à sua capacidade de reduzir as emissões de metano.

A suplementação de ácidos graxos em vacas leiteiras está em constante evolução, e futuras pesquisas se concentrarão principalmente na melhor compreensão das vias fisiológicas, saúde e bem-estar dos animais, no impacto ambiental e no poder de transferência dos ácidos graxos dietéticos para os produtos lácteos, visando suprir a exigência dos consumidores de produtos enriquecidos com lipídios. O avanço das tecnologias de análise de perfil de ácidos graxos nos alimentos facilitará a personalização das estratégias nutricionais, utilizando-as com mais eficiência e assegurando a pureza dos ácidos graxos utilizados. Novas técnicas, como a espectrometria de infravermelho e modelos matemáticos de predição, agilizarão a análise do perfil de ácidos graxos do leite, simplificando todo o processo.

Referências

Abou-Rjeileh, U., dos Santos Neto, J., Chirivi, M., O'Boyle, N., Salcedo, D., Prom, C., Laguna, J., Pareles-Giron, J., Lock, A. L., Contreras, G. A. Oleic acid abomasal infusion limits lipolysis and improves insulin sensitivity in adipose tissue from periparturient dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.106, p.4306-4323, 2023.

Bach, K. D., Barbano, D. M., McArt, J. A. A. Association of mid-infrared-predicted milk and blood constituents with early-lactation disease, removal, and production outcomes in Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.102, p.10129-10139, 2019.

Burdick, M., Zhou, M., Guan, L. L., Oba, M. Effects of medium-chain fatty acid supplementation on performance and rumen fermentation of lactating Holstein dairy cows. **Animal**, v.16, p.100491, 2022.

Calder, P. C. n-3 fatty acids, inflammation and immunity: new mechanisms to explain old actions. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.72, p.326-336, 2013.

Conte, G., Dimauro, C., Serra, A., Macciotta, N. P. P., Mele, M. A canonical discriminant analysis to study the association between milk fatty acids of ruminal origin and milk fat depression in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.101, p.6497-6510, 2018.

Daley, V. L., Armentano, L. E., Kononoff, P. J., Hanigan, M. D. Modeling fatty acids for dairy cattle: Models to predict total fatty acid concentration and fatty acid digestion of feedstuffs. **Journal of Dairy Science**, v.103, p.6982-6999, 2020.

Daley, V. L., Armentano, L. E., Hanigan, M. D. Models to predict milk fat concentration and yield of lactating dairy cows: A meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v.105, p.8016-8035, 2022.

De Aguiar, G. C., Horstmann, R., Padilha, C. G., Ribeiro, C. V., De Oliveira, D. E. Stearic acid does not overcome conjugated linoleic acid trans-10, cis-12-induced milk fat depression in lactating ewes. **British Journal of Nutrition**, v.128, p.1667-1673, 2022.

De Koster, J. D., Opsomer, G. Insulin resistance in dairy cows. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v.29, p.299-322, 2013.

de Souza, J., Preseault, C. L., Lock, A. L. Altering the ratio of dietary palmitic, stearic, and oleic acids in diets with or without whole cottonseed affects nutrient digestibility, energy partitioning, and production responses of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.101, p.172-185, 2018.

Dorea, J. R. R., Armentano, L. E. Effects of common dietary fatty acids on milk yield and concentrations of fat and fatty acids in dairy cattle. **Animal Production Science**, v.57, p.2224-2236, 2017.

dos Santos Neto, J. M., Prom, C. M., Lock, A. L. Abomasal infusion of oleic acid and exogenous emulsifier alter fatty acid digestibility and production responses of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 2023b.

dos Santos Neto, J. M., Prom, C. M., Lock, A. L. Comparison of rumen and abomasal infusions of an exogenous emulsifier on fatty acid digestibility of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 2023a.

Dufour, É. Spectroscopic techniques (NMR, infrared and fluorescence) for the determination of lipid composition and structure in dairy products. **Advanced Dairy Chemistry**, v.2, p.697-707, 2009.

Fleming, A., Schenkel, F. S., Chen, J., et al. Prediction of milk fatty acid content with mid-infrared spectroscopy in Canadian dairy cattle using differently distributed model development sets. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.5073-5081, 2017.

Fukumori, R., Shi, W., Oikawa, S., Oba, M. Evaluation of relationship between ruminal pH and the proportion of de novo fatty acids in milk. **JDS Communications**, v.2, p.123-126, 2021.

Gallardo, W. B., Teixeira, I. A. Associations between dietary fatty acid profile and milk fat production and fatty acid composition in dairy cows: A meta-analysis. **Animals**, v.13, p.2063, 2023.

Griinari, J. M., Dwyer, D. A., McGuire, M. A., et al. Trans-octadecenoic acids and milk fat depression in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.81, p.1251-1261, 1998.

Hristov, A. N., Lee, C., Cassidy, T., Long, M., Heyler, K., Corl, B., Forster, R. Effects of lauric and myristic acids on ruminal fermentation, production, and milk fatty acid composition in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.382-395, 2011.

Hristov, A. N., Vander Pol, M., Agle, M., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P., Vaddela, V. K., Johnson, K., Karnati, S. K. R. Effect of lauric acid and coconut oil on ruminal fermentation, digestion, ammonia losses from manure, and milk fatty acid composition in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.5561-5582, 2009.

Jenkins, T. C., McGuire, M. A. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.1302-1310, 2006.

Jensen, R. G. The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. **Journal of Dairy Science**, v.85, p.295-350, 2002.

Kadegowda, A. K. G., Piperova, L. S., Delmonte, P., Erdman, R. A. Abomasal infusion of butterfat increases milk fat in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.91, p.2370-2379, 2008.

Kittivachra, R., Sanguandeekul, R., Sakulbumrungsil, R., Phongphanphanee, P. Factors affecting lactose quantity in raw milk. **Songklanakarin J. Sci. Technol.**, v.29, p.937-943, 2007.

Kra, G., Daddam, J. R., Moallem, U., Kamer, H., Kočvarová, R., Nemirovski, A., Contreras, G. A., Tam, J., Zachut, M. Effects of omega-3 supplementation on components of the endocannabinoid system and metabolic and inflammatory responses in adipose and liver of peripartum dairy cows. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.13, p.1-12, 2022.

Kuhn, M. J., Mavangira, V., Gandy, J. C., Zhang, C., Jones, A. D., Sordillo, L. M. Differences in the oxylipid profiles of bovine milk and plasma at different stages of lactation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.65, p.4980-4988, 2017.

Landry, M., Lebeuf, Y., Blouin, M., Huot, F., Chamberland, J., Brisson, G., Santschi, D. E., Paquet, E., Rico, D. E., Chouinard, P. Y., Gervais, R. Effects of lipid supplementation

on milk composition and butter properties. **Animal Nutrition Conference of Canada - ANCC**, p.61, 2023.

Larsen, M., Kristensen, N. B. Effect of abomasal glucose infusion on splanchnic and whole-body glucose metabolism in periparturient dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.92, p.1071-1083, 2009.

Marzo, F., Jauregui, P., Barrenetxe, J., Martínez-Peñuela, A., Ibañez, F. C., Milagro, F. I. Effect of a diet supplemented with sphingomyelin and probiotics on colon cancer development in mice. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v.14, p.407-414, 2022.

McFadden, J. W., Rico, J. E. Invited review: Sphingolipid biology in the dairy cow: The emerging role of ceramide. **Journal of Dairy Science**, v.102, p.7619-7639, 2019.

MacGibbon, A. K. H., Taylor, M. W. Composition and structure of bovine milk lipids. **Advanced Dairy Chemistry Lipids**. v.2, p.1-42, 2006. Boston, MA: Springer US.

Music, J., Charlebois, S., Marangoni, A. G., Ghazani, S. M., Burgess, J., Proulx, A., Somogyi, S., Patelli, Y. Data deficits and transparency: What led to Canada's 'buttergate'. **Trends in Food Science & Technology**, v.123, p.334-342, 2022.

NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC, 2021.

NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC, 2001.

Parodi, P. W. Cows' milk fat components as potential anticarcinogenic agents. **The Journal of Nutrition**, v.127, p.1055-1060, 1997.

Piantoni, P., Lock, A. L., Allen, M. S. Milk production responses to dietary stearic acid vary by production level in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.98, p.1938-1949, 2015.Piran Filho, F. A., Bragatto, J. M., Parra, C. S., Silva. S. M. S., Roco, P. J., Ferraretto, L. F., Pereira, M. N., Daniel, J. L. P. Physical effectiveness of corn silage fractions stratified with the Penn State Particle Separator of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.106, p.23063, 2023.

Piran Filho, F. A., Bragatto, J. M., Parra, C. S., Silva. S. M. S., Roco, P. J., Ferraretto, L. F., Pereira, M. N., Daniel, J. L. P. Physical effectiveness of corn silage fractions stratified with the Penn State Particle Separator of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.106, p.23063, 2023.

Poncheki, J. K., Souza, P. M., Locatelli-Dittrich, R., Santos, G. T., Lanna, D. P. D., Almeida, R. Using milk fatty acids profile to identify early ketosis in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.101, Suppl.2, p.38-39, 2018.

Rabiee, A. R., Breinhild, K., Scott, W., Golder, H. M., Block, E., Lean, I. J. Effect of fat additions to diets of dairy cattle on milk production and components: A meta-analysis and meta-regression. **Journal of Dairy Science**, v.95, p.3225-3247, 2012.

Rico, D. E., Razzaghi, A. Animal board invited review: The contribution of adipose stores to milk fat: Implications on optimal nutritional strategies to increase milk fat synthesis in dairy cows. **Animal**, p.100735, 2023.

Rico, D. E., Parales, J. E., Corl, B. A., Lengi, A., Chouinard, P. Y., Gervais, R. Abomasally infused SFA with varying chain length differently affect milk production and composition and alter hepatic and mammary gene expression in lactating cows. **British Journal of Nutrition**, v.124, p.386-395, 2020.

Silveira, T. S., Ribeiro, P. C., Lourenço, J. C. S., Siqueira, A. V., Lanna, D. P. D., Almeida, R. Associations between bulk tank milk de novo fatty acid concentration and management and nutrition parameters on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.106, Suppl.1, p.359-360, 2023.

Sordillo, L. M. Symposium review: Oxylipids and the regulation of bovine mammary inflammatory responses. **Journal of Dairy Science**, v.101, p.5629-5641, 2018.

Soyeurt, H., Dardenne, P., Dehareng, F., et al. Estimating fatty acid content in cow milk using mid-infrared spectrometry. **Journal of Dairy Science**, v.89, p.3690-3695, 2006.

Soyeurt, H., Dehareng, F., Gengler, N., et al. Mid-infrared prediction of bovine milk fatty acids across multiple breeds, production systems, and countries. **Journal of Dairy Science**, v.94, p.1657-1667, 2011.

Urrutia, N. L., Baldin, M., Egolf, S. R., Walker, R. E., Ying, Y., Green, M. H., Harvatine, K. J. Kinetics of omega-3 fatty acid transfer to milk differs between fatty acids and stage of lactation in dairy cows. **Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids**, v.192, p.102573, 2023.

Wang, E., Cha, M., Wang, S., et al. Feeding corn silage or grass hay as sole dietary forage sources: Overall mechanism of forages regulating health-promoting fatty acid status in milk of dairy cows. **Foods**, v.12, 2023.

White, R. R., Hall, M. B., Firkins, J. L., Kononoff, P. J. Physically adjusted neutral detergent fiber system for lactating dairy cow rations. I: Deriving equations that identify factors that influence effectiveness of fiber. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.9551-9568, 2017a.

White, R. R., Hall, M. B., Firkins, J. L., Kononoff, P. J. Physically adjusted neutral detergent fiber system for lactating dairy cow rations. II: Development of feeding recommendations. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.9569-9584, 2017b.

Woolpert, M. E., Dann, H. M., Cotanch, K. W., et al. Management practices, physically effective fiber, and ether extract are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on Holstein dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.100, p.5097-5106, 2017.

Yanza, Y. R., Szumacher-Strabel, M., Jayanegara, A., Kasenta, A. M., Gao, M., Huang, H., Patra, A. K., Warzych, E., Cieślak, A. The effects of dietary medium-chain fatty acids on ruminal methanogenesis and fermentation in vitro and in vivo: A meta-analysis. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.105, p.874-889, 2021.

Zebeli, Q., Aschenbach, J. R., Tafaj, M., Boguhn, J., Ametaj, B. N., Drochner, W. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.95, p.1041-1056, 2012.

Consequências da acidose ruminal subclínica em vacas leiteiras

Elias Jorge Facury Filho[1]

Introdução

A pecuária leiteira no Brasil experimenta uma intensificação dos sistemas de produção com adoção de novas tecnologias de instalações, gestão financeira e de pessoal, reprodução e de nutrição das vacas. Como consequência imediata, os índices de produtividade aumentaram significativamente, entretanto, os desafios sanitários se modificaram e se intensificaram. Entre eles podemos destacar as doenças infecciosas de rebanho (brucelose, tuberculose, leucose por exemplo), as afecções de casco, as doenças relacionadas ao período de transição, as indigestões e, entre elas, a acidose ruminal subclínica.

A acidose ruminal é definida como a diminuição do pH ruminal abaixo de valores fisiológicos (5,5-7,0) (FURLAN et al., 2006), ocasionando mudanças no ambiente ruminal e, consequentemente, na sua microbiota. Estas alterações impactam diretamente a saúde da vaca, sua produtividade e bem estar.

Os quadros de acidose ruminal são classificados em dois tipos distintos. O primeiro é a acidose ruminal aguda ou lática, que é mais grave, porém normalmente atinge pequeno número de animais, em situações bem específicas. Está associada a uma ingestão de grande quantidade de carboidratos de fermentação rápida ou a falta de adaptação do animal a estas dietas (Owens et al, 1998). Ela se inicia algumas horas após a ingestão da dieta e se caracteriza pelo predomínio de bactérias gram positivas no rumem, responsáveis por uma rápida produção de ácido lático com queda brusca de pH ruminal (pH<5,0), levando a hiperosmolaridade do conteúdo ruminal, diarreia, atonia ruminal, timpanismo primário, morte de bactérias gram negativas, predomínio de bactérias gram positivas (inicialmente *Streptococus bovis* e depois Lactobacilos), produção de grandes quantidades de ácido lático D e L e, consequentemente, acidose metabólica, endotoxemia e desidratação, responsáveis pela alta letalidade da enfermidade (Radostitis, 2007).

O segundo tipo, classificado como acidose ruminal subaguda (sigla SARA em inglês) ou subclínica, é caracterizada por uma queda menos intensa do pH ruminal devido ao acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGV's), por períodos prolongados. Esta condição atinge grande parte do rebanho ao mesmo tempo e traz várias consequências para a saúde e a produtividade dos animais, ocasionando importantes perdas econômicas.

A acidose subguda ocorre basicamente devido a três fatores: ingestão excessiva de carboidratos de rápida fermentação, falta de adaptação ruminal (crescimento de papilas e presença de bactérias utilizadoras de ácido lático) para dietas de alta fermentação e inadequado tamponamento ruminal devido a deficiência de fibra na dieta ou de fibra efetiva.

A inclusão de carboidratos rapidamente fermentáveis gera grandes quantidades de ácidos graxos voláteis, dentro de um curto espaço de tempo após a ingestão. Normalmente os AGVs formados no rumem irão desaparecer do órgão, através da absorção pelas papilas da parede do rumem ou serão tamponados (tampão bicarbonato e fosfato da saliva) ou ainda poderão ser eliminados do rumem pelo fluxo da digesta para o abomaso. Quando a produção

[1]Escola de Veterinária da UFMG.

de AGVs ultrapassa a capacidade absortiva, tamponante e de fluxo do rumem, o pH declina. (Aschenbach et al., 2011). Vale a pena destacar que a parede ruminal possui papel de barreira para proteger o organismo, porém ela exerce uma importante função de absorção dos ácidos graxos voláteis (AGVs). Vacas de alta produção produzem cerca de 100 mol de AGVs por dia, o que é equivalente a mais de 7kg de ácido puro por dia. O sistema tampão ruminal não é capaz de controlar toda esta acidez e os AGVs tem que ser prontamente absorvidos para prevenir um decréscimo do pH ruminal e para garantir o metabolismo energético da vaca (Aschenbach et al., 2019).

Não há um consenso sobre o ponto de corte do pH para definição de acidose ruminal subaguda, porém é geralmente aceito que ela ocorre quando o pH ruminal é inferior a 5,5-5,8 durante várias horas por dia, sugerindo que a duração abaixo de um determinado limite de pH é mais importante do que um valor de pH baixo como evento único a qualquer hora do dia. Estudos sugeriram que a duração dos episódios durante os quais o pH ruminal permanece abaixo de 5,6 (Gozho et al., 2005) ou 5,8 (Zebeli et al., 2008) por mais de 3 ou 5,4 horas/dia, respectivamente, são indicadores de acidose ruminal subaguda.

O diagnóstico de acidose ruminal sub aguda não deve se basear apenas na avaliação do pH ruminal. Um diagnóstico mais acurado requer uma combinação de exames clínicos das vacas, avaliação de parâmetros sanguíneos, do leite, urina e fezes, bem como as análises do manejo do rebanho e qualidade da alimentação, incluindo o conteúdo de FDN da dieta, amido e FDN fisicamente efetivo (Plaizier et al., 2018).

É importante destacar que nem sempre o fator de risco para acidose ruminal subaguda está na formulação da dieta oferecida para as vacas e pode estar associado a fatores de manejo tais como: erros no preparo e distribuição da dieta, espaço de cocho inadequado, capacidade de seleção das partículas de forragem pelas vacas, lotes de vacas heterogêneos em relação a DEL e ordem de parto, falhas de equipamentos, substituição de ingredientes da dieta, indivíduos com maior ingestão de matéria seca, etc...

As consequências da acidose ruminal subaguda (SARA) sobre a saúde das vacas se manifestam de diversas formas, na maioria subclínicas e crônicas. Entre as desordens metabólicas, a acidose ruminal subaguda é considerada o principal problema em rebanhos intensivos e está associada com a baixa eficiência alimentar e perda na produção, devido a decréscimo da fermentação no rúmem e pelas alterações de inflamação sistêmica e enfermidades associadas. Algumas alterações podem ser percebidas de forma discreta pelo produtor ou pelo técnico, como alterações no escore de fezes, ocorrência de alguns casos de timpanismo espumoso e consumo intermitente. Outras consequências ocorrem de forma subclínica e dependem de uma análise técnica detalhada para se estabelecer a relação entre a alimentação dos animais e determinados eventos que estão ocorrendo na propriedade. Neste texto vamos descrever as consequências da acidose ruminal subaguda em vacas de leite dividindo-as em dois grupos: alterações perceptíveis pelo produtor e consequências subclínicas.

Consequências diretas da acidose ruminal subaguda (SARA) perceptíveis pelo produtor

Padrão intermitente de consumo de alimentos:

A vaca apresenta episódios de redução do consumo de alimentos devido ao declínio do pH ruminal e aumento da osmolaridade do fluido ruminal causado pela alimentação anterior. O apetite é restaurado após o retorno do pH para valores fisiológicos (Enemark, 2008). O declínio

do pH ruminal estimula os quimiorreceptores da parede ruminal, inibindo a motilidade do órgão. (Smith, 2009).

As alterações da quantidade de alimento consumido podem resultar em menor aporte de energia para vacas no início da lactação, intensificando o balanço energético negativo (BEN) (Enemark, 2009). A restrição alimentar também contribui para alterações na parede ruminal, levando a menor absorção de ácidos graxos voláteis e ao aumento da permeabilidade da parede ruminal, favorecendo a absorção de endotoxinas e outras substâncias produzidas no rumem (Aschenbach et al., 2019).

Timpanismo ruminal:

Ocasionalmente algumas vacas do lote com acidose ruminal subaguda pode apresentar timpanismo ruminal do tipo primário ou espumoso devido a hipomotilidade e pela produção excessiva de mucopolissacarídeos pelas bactérias que resulta na formação de bolhas de gás estáveis na forma de espuma, impedindo a eructação (Enemark, 2008).

Alterações nas fezes:

As fezes se apresentam amolecidas, brilhantes, amareladas, com odor adocicado e apresentam bolhas de gás. Podem conter fibras não digeridas ou grãos. Eventualmente muco e fragmentos de fibrina tubulares podem estar presentes devido a resposta a inflamação do intestino grosso. O tamanho das partículas fecais pode estar aumentado, sendo de 1-2 cm ao invés do tamanho normal de 0,5cm (Hall, 2002). Parte das alterações encontradas nas fezes estão relacionadas com a fermentação cecal do excesso de amido, que passou sem fermentação pelo rumem (Enemark, 2009) e com a hiperosmolaridade do conteúdo em relação ao plasma sanguíneo, levando a entrada de água no rumem e intestinos. O pH fecal não está relacionado diretamente com o pH ruminal, entretanto pode ocorrer a diminuição do pH fecal devido a fermentação de amido e produção de ácidos no intestino grosso. As alterações de pH ruminal podem se refletir no pH fecal cerca de 12 a 18 horas após a alimentação da manhã (Luan et al. 2006)

Deslocamento de abomaso e dilatação cecal:

Nos quadros de acidose ruminal subaguda, o excesso de AGVs não absorvidos pelas papilas ruminais e também de metano e gás carbônico, pode chegar ao abomaso, causando atonia do órgão, seu enchimento com gás e deslocamento (Enemark, 2009).

Um diagnóstico diferencial importante do deslocamento de abomaso para a direita é a dilatação cecal. No ceco existe uma microbiota semelhante à do rumem, ou seja, fermentadora. Quando há um consumo de amido alto, parte desse amido pode passar pelo rumem sem fermentação e chegar ao ceco. A fermentação do amido no ceco vai gerar os AGVs, especialmente ácidos propiônico e butírico, que em excesso ocasionam atonia cecal e aumento da osmolaridade do conteúdo. Nestas situações o ceco se enche de gás e líquido e se dilata, levando a um quadro clínico semelhante ao do deslocamento de abomaso (Smith, 2009).

É interessante observar que vários fatores de risco estão relacionados com a incidência de deslocamento de abomaso como a hipocalcemia, cetose, endotoxemia e acidose ruminal. Estes eventos podem ocorrer em cascata quando o período pré parto não é adequado. Vacas com acidose ruminal subaguda apresentam maior risco de endotoxemia, com maior concentração de lipopolissacarideos circulantes devido a morte de bactérias gram negativas ruminais, têm maior predisposição à cetose devido ao consumo intermitente, levando a lipólise quando há diminuição da ingestão. Além disso, a hipocalcemia pode ocasionar retenção de placenta e metrite e, consequentemente, endotoxemia. A hipocalcemia, quando persistente nas

semanas seguintes ao parto, pode diminuir a motilidade ruminal, diminuir o fluxo da digesta ruminal para o abomaso e, consequentemente contribuir para o aumento da concentração de AGVs no rumem. Além disso, nesta situação, a atonia de abomaso também ocorre, favorecendo o deslocamento do órgão.

Consequências subclínicas da acidose ruminal subaguda (SARA)

Complexo ruminite – abscesso hepático, trombose de veia cava, hemoptise

A parede ruminal é recoberta por papilas com comprimento de 10-15mm, que aumentam sua área de absorção. O crescimento destas papilas é estimulado pela dieta. A ingestão de altos níveis de carboidratos aumenta o tamanho e a densidade das papilas através da regulação da produção de IGF1 pelo propionato e butirato.

O epitélio ruminal é do tipo escamoso estratificado queratinizado, formado por quatro camadas. A camada mais profunda é o estrato basal, onde ocorre constante divisão e multiplicação celular. As células do estrato basal vão sofrer diferenciações formando os estratos espinhoso, granuloso e córneo (Aschenbach et al., 2019).

Na camada basal ocorre geração de energia pelas mitocondrias (ATP), sua subsequente utilização pela Na+/K+-ATPase, gerando gradientes eletroquímicos para absorção e secreção. Entre as células do estrato granuloso existem proteínas (ocludina, CLDN-1, CLDN-4) responsáveis pela formação das "Tight junctions" (junções apertadas - TJ) que fazem parte da barreira epitelial do rumem. Esta barreira epitelial restringe a invasão de microorganismos e tem uma função crucial como uma barreira seletiva que previne a entrada de moléculas nocivas ao organismo (Graham e Simmons, 2005) como por exemplo, endotoxinas (LPS) e histamina (Aschenbach et al., 2000). Nos casos de SARA ocorre um aumento da permeabilidade do epitélio ruminal devido a diminuição das proteínas responsáveis pela formação das junções entre as células da camada granulosa (Aschenbach et al., 2019).

Bovinos com SARA têm uma alta frequência de ruminite. Nos casos de acidose aguda esta lesão é causada pela ação direta do ácido lático sobre o epitélio ruminal, de forma aguda, levando inicialmente a uma hiperemia da parede ruminal e até mesmo a formação de erosões e úlceras (Oetzel, 2007). Nos casos de SARA a ruminite têm curso crônico e está relacionada com a maior produção dos ácido propiônico e butírico, levando a um estímulo excessivo para a multiplicação e diferenciação das células epiteliais, causando paraqueratose. As papilas ruminais desenvolvem um epitélio excessivamente queratinizado e se aglomeram, diminuindo a capacidade de absorção de AGVs e aumentando a susceptibilidade para ocorrência de traumas e inflamação. As lesões da parede ruminal permitem a penetração de bactérias (*Fusobacterium necrophorum* e mais raramente *Trueperella pyogenes*) com disseminação para o fígado, via veia porta, o que leva a formação de abscessos hepáticos em uma alta proporção de animais afetados (Complexo ruminite – abscesso hepático). Os abscessos hepáticos geralmente não apresentam sinais patognomônicos. Animais afetados tendem a apresentar produtividade reduzida e podem apresentar sinais de inflamação crônica (Smith, 2009).

As consequências do complexo ruminite abscesso hepático são variadas. Alguns animais podem circunscrever o abscesso e sobrevivem por longos períodos sem manifestações clínicas enquanto outros apresentam baixo desempenho, emagrecimento progressivo, inflamação sistêmica e laminite. A partir da infecção hepática pode ocorrer bacteremia levando a infecções de outros órgãos, especialmente formando abscessos pulmonares, endocardite e infartos renais. Os abscessos hepáticos podem drenar material purulento para a veia cava

caudal, ocasionando a instalação de trombos (trombose de veia cava caudal) e metástase para o pulmão levando a ruptura de pequenas artérias pulmonares. Nestes casos, clinicamente o animal apresenta sangramento nasal bilateral, com aspecto espumoso e de coloração vermelho intenso. Estes quadros podem ser intermitentes, porém, na maioria das vezes a hemorragia é intensa e os casos são fatais (Enemark, 2009). Eventualmente ocorre a ruptura de abscessos e drenagem de grande quantidade de material purulento para a veia cava caudal desencadeando um quadro de choque séptico, com morte do animal de forma aguda.

Laminite

Laminite é definida como uma inflamação asséptica difusa das lâminas do casco e é responsável por lesões dolorosas que levam os animais a apresentarem claudicação. Nos bovinos o quadro de laminite aguda é raro, entretanto os quadros subclínicos e crônicos são muito frequentes. A laminite subclínica se caracteriza por lesões secundárias como úlcera de sola e doença de linha branca, enquanto nos casos crônicos observa-se deformação dos cascos, crescimento excessivo e estrias horizontais na muralha. A etiologia da laminite é muito discutida e de natureza multifatorial. As alterações nos mecanismos de crescimento dos cascos contribuem para formação de cascos mais susceptíveis aos desafios ambientais. Assim, pode-se inferir que a claudicação por laminite é um resultado entre a qualidade dos cascos e das condições ambientais. As alterações de laminite causadas pela SARA são, na sua maioria, de caráter crônico e muitas vezes o produtor e o técnico não relacionam os dois eventos, pois as lesões de laminite subclínica vão ocorrer e levar a vaca a claudicar, alguns meses depois dos episódios de SARA (Gozho et al., 2005).

A acidose ruminal subaguda é reconhecidamente um fator de risco para laminite (Nocek, 1997), embora alguns autores não reconheçam esta relação (Bicalho et al., 2009).

Nos quadros de acidose ruminal subclínica ocorre formação de grande quantidade de endotoxinas no rumem e sua absorção devido a alterações na barreira epitelial ruminal. Histamina, também é produzida no rumem e absorvida nesta situação (Aschenbach et al., 2000). As endotoxinas atuam sistemicamente levando a um quadro de inflamação. A endotoxemia e a histamina alteram a circulação no corium dos cascos levando a vasoconstrição, vasodilatação e formação de anastomoses arteriovenosas patológicas, resultando em alterações hemodinâmicas importantes (edema, hemorragia, hipoperfusão, trombose). Estas alterações causam perda da integridade vascular levando a hemorragias de sola e formação de tecido córneo de baixa qualidade, caracterizando os quadros de laminite subclínica (Nocek, 1997).

Outra hipótese para a relação de laminite com SARA é a formação de substancias tóxicas no rumem capazes de ativar metaloproteinases da matriz (MMPs) que degradam as fibras de colágeno do aparelho suspensor. O comprometimento do aparelho suspensor permite que a falange distal se mova excessivamente dentro da cápsula do casco, resultando em deslocamento e afundamento da falange distal, comprimindo os tecidos moles abaixo do *tuberculum flexorum* da terceira falange, levando a isquemia e hemorragias na região, possibilitando o desenvolvimento das úlceras de sola (Lischer et al., 2002).

Atualmente, em equinos é relatada a evidência de que a desregulação da insulina associada com ingestão de dietas ricas em carboidratos não fibrosos pode promover alterações histológicas na junção derme-epiderme do casco, favorecendo o enfraquecimento da conexão da falange distal com a capsula do casco, levando a quadros de laminite (Grenade, 2021). Esta condição é chamada de laminite endocrinopática e está associada com episódios de hiperinsulinemia. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins (2020) e Palhano (2022) em bovinos jovens submetidos a dieta rica em amido. Nestes animais a acidose ruminal subaguda foi comprovada através das análises de suco de rumem e lesões de ruminite na

histopatologia. Os animais do grupo de alto amido apresentaram hiperinsulinemia e desenvolveram resistência à insulina. As lesões histológicas dos cascos estão em análise.

Diminuição da concentração de gordura no leite

Vacas com SARA podem apresentar diminuição da concentração de gordura no leite, entretanto existem outros fatores a serem considerados que podem estar envolvidos como os dias em lactação (DEL), época do ano e raça (Jersey e Guernsey produzem mais sólidos totais). Vacas no pico de lactação (entre 30-70 DEL) apresentam menor concentração de gordura no leite, bem como períodos de stress térmico (devido a aumento da densidade da dieta) (Oetzel, 2015).

Em rebanhos com diminuição da gordura do leite deve-se estar atento a três principais causas: excesso de gorduras insaturadas na dieta, alimentação com monensina e SARA. Nestas três situações ocorre a absorção de excessivas quantidades de alguns ácidos graxos trans no intestino delgado (Oetzel, 2015).

A acidose ruminal causa depressão da gordura do leite, através da inibição parcial das bactérias responsáveis pela biohidrogenação de ácidos graxos no rúmen. No rumem de vacas com SARA as gorduras insaturadas da dieta são parcialmente biohidrogenadas, formando compostos intermediários (ácidos graxos trans 18:1). Estas formas intermediarias são absorvidas no intestino delgado e vão para a glândula mamária onde são inibidores potentes da síntese de gordura do leite, mesmo em baixas doses.

Endotoxemia, inflamação e imunosupressão.

Nos casos de acidose ruminal subclínica ocorre um aumento da quantidade de lipopolissacarideos (LPS) no conteúdo ruminal. Os LPS são liberados inicialmente pela grande multiplicação de bactérias gram negativas e pela morte e lise dessas bactérias. Plaizier et al (2012) demonstraram que a concentração de LPS no sangue, rumem, íleo, ceco e nas fezes de animais com SARA aumentou 20, 35, 27,5, 7 e 7,5 vezes respectivamente. Concomitante com o desenvolvimento de acidose ruminal subaguda (pH ruminal<5,6) e ao aumento de LPS ruminal ocorre o aumento de proteínas de fase aguda no plasma sanguíneo, haptoglobina e amiloide sérica A, demonstrando uma resposta inflamatória sistêmica decorrente da inflamação da parede e da absorção de LPS na mucosa ruminal, via sistema porta hepático (Gozho et al 2005), levando a um quadro de endotoxemia.

Foi observado também o aumento da produção de citocinas proinflamatórias no epitélio ruminal contribuindo para a instalação de ruminite (Zhao, 2018). Ocorre inflamação do epitélio ruminal, necrose de células epiteliais e ruptura das junções entre estas células, contribuindo para a quebra da barreira de proteção da parede ruminal, favorecendo a absorção de toxinas (LPS) e de bactérias (Liu et al., 2013). Pode ocorrer ainda a absorção de outros compostos formados em situações de stress nutricional como metilamina, dimetilamina, etanol, n-nitrosodimetilamina (Ametaj et al. 2010) e histamina (Aschenbach et al., 2000). Assim, vacas com SARA apresentam aumento de LPS no plasma, desencadeando o aumento das proteínas de fase aguda circulantes (haptoglobina, amilóide sérica A e da proteína de ligação ao LPS) levando os animais a um quadro de inflamação sistêmica.

A produção de LPS pode ser grande no rumem com SARA e, também, no intestino grosso devido a passagem de carboidratos não fermentados no rumem e fermentação cecal posterior. O intestino delgado apresenta pequena população microbiana, porém em situações de SARA, esta população pode aumentar e também produzir LPS. Assim, eventos tais como uma excessiva carga de nutrientes, malabsorção e alteração na motilidade do ID poderia

permitir o crescimento bacteriano excessivo no duodeno e jejuno e aumentar a translocação de LPS no ID (Plaizier, 2012).

A ativação de uma resposta de fase aguda é um processo de controle do sistema imune inato para neutralizar LPS e restabelecer a homeostase. Entretanto, em vacas com SARA, ocorre grande produção de endotoxinas por longos períodos de tempo, determinando um quadro de inflamação sistêmica que pode estar associado com consequências negativas para o animal. A inflamação sistêmica prolongada pode levar ao desenvolvimento de estados de imunossupressão, aumentando a susceptibilidade à várias doenças. Pode ainda, causar alterações significativas no metabolismo energético e lipídico em diferentes tecidos corporais aumentando as necessidades do animal em energia e nutrientes, diminuindo a eficiência alimentar (Zebeli et al, 2012).

A imunossupressão observada em animais com SARA pode ser agravada devido a alterações concomitantes como as do equilíbrio ácido base. Martins (2020) observou que novilhos alimentados com alta concentração de amido (37% na matéria seca) apresentaram um quadro de alcalose metabólica com aumento da pressão parcial de CO_2 e pH sanguíneo elevado. Este grupo de animais apresentou frequência respiratória duas vezes maior do que os animais do grupo controle (17% de amido na MS), possivelmente na tentativa de eliminar o excesso de CO_2. Estas alterações associadas com o quadro de inflamação sistêmica descrito acima, pode predispor os animais a doença respiratória bovina, particularmente frequente em confinamentos de terminação e em vacas leiteiras confinadas.

Considerações finais

A acidose ruminal subaguda possui um lugar de destaque entre os desafios sanitários das vacas de leite. A princípio dietas mais densas são necessárias para atender a demanda de nutrientes para produção de leite, principalmente para vacas que possuem uma boa seleção genética. Assim, a implantação de dietas com alta proporção de concentrados rapidamente garante uma grande produção de leite, porém, se a dieta e as condições de alimentação são propícias ao desenvolvimento de SARA, os efeitos são vistos apenas a médio prazo e atingem grande número de animais, uma vez que a maioria das consequências de SARA são subclínicas.

Atualmente com a intensificação da produção, melhores condições de bem estar e melhoramento genético temos assistido ao aumento da produção dos nossos rebanhos, exigindo maior detalhamento na formulação das dietas e do manejo alimentar. Aliado a isso, o uso disseminado de alimentos mais processados, com maior taxa de fermentação ruminal como o milho grão úmido e a silagem com grãos esmagados, e, em contrapartida, a menor disponibilidade de fibra fisicamente efetiva, são fatores que predispõe a maior taxa de fermentação ruminal do amido e produção abundante de AGVs em curto espaço de tempo.

Vale a pena destacar a necessidade de atendimento clínico dos animais enfermos e necropsias para manter um monitoramento constante do rebanho e conhecer as afecções que estão ocorrendo e seus fatores de risco. É necessário um trabalho conjunto com toda a equipe de consultores e colaboradores do sistema de produção para entender, monitorar e controlar as possibilidades da ocorrência de SARA e suas consequências.

Atualmente vários estudos têm sido desenvolvidos para melhor entendimento do microbioma do trato gastrointestinal dos ruminantes e das alterações que a acidose ruminal subaguda pode causar tanto na microbiota ruminal quanto do intestino delgado e grosso e, ainda, em outros sistemas do corpo como a glândula mamária e o pulmão. Além das consequências

bem consolidadas pela pesquisa, SARA pode, de alguma forma, estar envolvida como fator de risco para outras doenças como a Síndrome do jejuno hemorrágico, mamites, pneumonia e outras doenças infecciosas, quer seja através da produção e absorção de toxinas para o organismo, pela imunossupressão ou ainda pelas possíveis mudanças no microbioma de vários sistemas. É necessário um grande esforço da pesquisa para conhecer melhor esta síndrome, suas cconsequências e, principalmente seu controle, a fim de garantir altas produções com saúde e bem estar para as vacas.

Referências bibliográficas

AMETAJ, B.N.; ZEBELI, Q.; IQBAL,S. Nutrition, microbiota and endotoxin-related diseasesin Dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39 (suppl. 1), p.433-444. 2010.

ASCHENBACH, J.R.; OSWALD, R.; GAEBEL, G. Transport, catabolism and release of histamine in the ruminal epithelium of sheep. **Pflugers Archiv**. v.440, p.171-178. 2000.

ASCHENBACH, J. R., PENNER, G. B., STUMPFF, F., GÄBEL, G. Ruminant Nutrition Symposium: Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH**. Journal of Animal Science**, v.89, n.4, p.1092–1107. 2014.

ASCHENBACH, J.R.; ZEBELI, Q.; PATRA,A.K.;GRECO,G.; AMASHEH, S.;PENNER, B. Symposium review: The importance of the ruminal barrier for a healthy and productive cow. **Journal of Dairy Science**. v.102, p.1866-1882. 2019.

BICALHO, R.C.; OIKONOMOU, G. Control and prevention of lameness associated with claw lesions in Dairy cows**. Livestock Science**. v.156, n. 1-3, p.96-105. 2013.

BICALHO, R.C.; MACHADO, V.S.; CAIXETA, L.S. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. **Journal of Dairy Science**. v.92, p.3175–3184. 2009.

ENEMARK, J.M.D. The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. **The Veterinary Journal**. v.176, p.32-43. 2009.

FURLAN, R. L.; MACARI, M.; FARIA FILHO, D. E. *Anatomia e fisiologia do trato gastrintestinal:* Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, 2006. 583p.

GOZHO, G. N.; PLAIZIER,J. C.; KRAUSE, D.O.; KENNEDY, A. D.; Wittenberg,K. M. Subacute ruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide endotoxin release and triggers an inflammatory response. **Journal of Dairy Science**. v.88, p.1399–1403. 2005.

GRAHAM, C.; SIMMONS, N.L. Functional organization of the bovine rumen epithelium. **American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology**. v. 288, p.173-181. 2005.

HALL, M.B. Characteristics of manure. In: **Proceedings of the Tri-state Dairy Nutrition Conference**, Fort Wayne, Indiana, US. p.141– 147. 2002.

LISCHER, J., OSSENT, P.; RABER, M.; GEYER, H. Suspensory structures and supporting tissues of the third phalanx of cows and their relevance to the development of typical sole ulcers (Rusterholz ulcers). **Veterinary Record**. v.151, n.23, p.694–698. 2002.

LIU, J.; XU, T.; LIU, Y.; ZHU, W.; MAO, S.. A high-grain diet causes massive disruption of ruminal epithelial tight junctions in goats . **American Journal of Physiology Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**. v.305, p.232–241. 2013

LUAN, S.; COWLES, K.; MURPHY, M.R.; Effect of a grain challenge on ruminal, urine,and fecal pH, apparent total-tract starch digestibility, and milk composition of Holstein and Jersey cows. **Journal of Dairy Science**. v.99, n.3, p.2190–2200. 2006.

MARTINS, R.A. Perfil metabólico de bovinos confinados com dietas de diferentes densidades energéticas. 2020. 107p. Tese (Doutorado em Ciência Animal). Escola de Veterinária da UFMG. Belo Horizonte.

OWENS, F. N. et al. Acidosis in Cattle: A Review. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 1, p. 275–286, 1998.

PALHANO, R.L.A. Consequências do consumo de dieta acidogênica em novilhos e possível relação com laminite subclínica. 51p. 2022. Dissertação (Escola de Veterinária da UFMG). Belo Horizonte.

PLAIZIER, J.C., KRAUSE, D.A., GOZHO, G.N., MCBRIDE, B.W. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. **The Veterinary Journal**. v.176, n.1, p.21-31. 2009.

PLAIZIER, J.C., KHAFIPOUR, E.; GOZHO, G.N.; KRAUSE, D.A. Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. **Animal Feed Science and Technology**. v.172, p. 9-21. 2012.

PLAIZIER, J.C; DANESH MESGARAN, M.; DERAKHSHANI, H.; GOLDER, H.; KHAFIPOUR, E.; KLEEN, J.L.; LEAN. I.; LOOR, J.; PENNER, G.; ZEBELI, Q. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. **Animal**. v. 12, supplement 2, p.399-418. 2018.

RADOSTITS, O. et al. A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats: veterinary medicine. **Veterinary Medicine**, v. 10, p. 2045–2050, 2007.

SMITH, B.P. **Diseases of the Alimentary Tract. In Large Animal Internal Medicine**. Elsevier. 820p. 2009

ZEBELI, Q., DIJKSTRA, J., TAFAJ, M., STEINGASS, H., AMETAJ, B.N., DROCHNER, W. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. **Journal of Dairy Science**. v.91, p.2046–2066. 2008.

ZEBELI, Q., METZLER-ZEBELI, B.U. Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation in dairy cattle . **Research in Veterinary Science**. v. 93. p.1099-1108. 2012.

Indicadores-chave de desempenho em sistemas com ordenha robotizada

André Ostrensky[1]

Introdução

A cadeia produtiva leiteira vem sofrendo expressivas transformações no mundo todo ao longo dos últimos anos. No Brasil, a pecuária leiteira sempre esteve associada majoritariamente às propriedades de cunho familiar e pode-se citar como exemplo a produção média de 436 L/propriedade/dia, no levantamento dos principais laticínios do País, pelos dados do Anuário da Embrapa (Embrapa, 2023). O aumento dos custos relacionados à terra, à mão de obra e a diminuição da lucratividade nas últimas décadas motivaram os produtores de leite a aumentar a eficiência dos sistemas de produção (KONING et al, 2009). Também tem havido a necessidade de aumento da produção total, em razão da diluição de custos fixos. Além disso, o desejo de diminuir a contratação de colaboradores também foi considerado importante por produtores de leite nos Estados Unidos (ADCOCK et al., 2015). Segundo Susanto et al. (2010), naquele ano, a escassez de trabalho no campo também já era considerada preocupante por produtores de leite dos EUA. O contexto brasileiro atual busca a maior eficiência e por adaptação à escassez de mão de obra que, de forma direta, necessita de maior especialização de seus operadores. Se nas atividades industriais o principal motivo para a automatização se deu pela necessidade de aumentar a produtividade da mão de obra, no setor leiteiro os sistemas de ordenha robotizada surgiram para suprir a carência deste fator de produção, entre outros motivos.

A ordenha robotizada surgiu na Holanda na década de 1980 e o início de sua implantação em fazendas comerciais foi em 1992. Desde então, o número de fazendas vem crescendo continuamente em todo o mundo (SVENNERSTEN-SJAUNJA e PETTERSSON, 2008). Em 2012, a fornecedora de equipamentos de ordenha DeLaval inaugurou a primeira sala de ordenha robotizada da América do Sul, em Castro, PR. Estima-se que atualmente existem mais de 450 robôs em operação ou já vendidos no Brasil, sendo 90% na Região Sul, com projeção para 2024 de 600 unidades e, para 2025, 750 unidades. Das unidades já instaladas, também se estima que cerca de 50 a 55% sejam de fluxo guiado e o restante, de fluxo livre.

Nos Brasil, assim como em muitos países, os sistemas de ordenha robotizada (SOR) são implementados majoritariamente em fazendas consideradas pequenas, com uma ou duas unidades de ordenha robotizada (UOR) e, portanto, muito centradas em mão de obra familiar. Mas, há rebanhos com 8 e projetos de até 20 unidades no País. A maior fazenda com SOR no mundo aparentemente é a Ancali, em Los Angeles, no Chile, com previsão de 90 robôs até o final deste ano.

No SOR ou também denominado de sistema automático de ordenha (*automatic milking system* – AMS, em inglês), as vacas são mantidas principalmente em estábulos do tipo *free stall* ou *compost barn* e, mais raramente, em sistemas a pasto. Esta tecnologia permite a realização de todas as tarefas do processo da ordenha de forma autônoma, a partir de um box de ordenha e um braço mecânico. Neste sistema, podem ser executados processos de entrada e saída dos animais, disponibilização de concentrado durante a ordenha, pré-*dipping*, colocação e retirada das teteiras, registro de produção, diagnóstico de mastite e pós-*dipping* e todo o processo de

[1]Escola de Medicina e Ciências da Vida – EMCV, PUCPR.

limpeza do equipamento e até mesmo do piso, em alguns casos (CATTANEO et al., 1996; KONING et al, 2009).

É importante destacar que as vacas devem buscar o SOR voluntariamente, ou seja, sem o estímulo humano, para que o sistema seja bem-sucedido.

Os principais motivos para adoção de um SOR usualmente são listados como:

a Mão de obra: redução do número de pessoas envolvidas e dos custos; maior flexibilidade e redução do trabalho mais pesado de ordenha;

b Aumento da produção de leite, principalmente se houver aumento da frequência de ordenha;

c Possibilidade de melhores saúde e fertilidade dos animais;

d Maior eficiência: do sistema, como um todo, mas principalmente do uso da alimentação e, mais especificamente ainda, do alimento concentrado fornecido no robô;

e Maior rentabilidade, o que depende de muitos fatores;

f Maior longevidade dos animais.

Além destes, também há relatos na literatura de necessidade de aumento da frequência de ordenha, substituição de mão de obra e demanda por um novo equipamento de ordenha (CASTRO et al., 2012). Bijl et al. (2007) relataram que fazendas com SOR utilizaram 29% menos mão de obra do que fazendas com ordenhas convencionais. Salfer et al. (2017b) mencionaram outro estudo do próprio grupo, onde a escolha do robô era influenciada pela preocupação com a saúde das pessoas envolvidas diretamente com a ordenha.

Todos estes fatores dependem, entretanto, de várias outras características da fazenda, como número de vacas, número de trabalhadores envolvidos e sua qualificação, tipo de alojamento, densidade de animais, conforto térmico, tipo de piso, tipo e qualidade da cama, características da dieta e do manejo alimentar, entre muitos outros.

Para a implantação de um SOR, são necessários vários pontos também, que podem influenciar o sucesso ou não da atividade:

a Infraestrutura: instalações adequadas, fluxo das vacas, disponibilidade e qualidade da internet, disponibilidade de gerador e disponibilidade e qualidade da assistência técnica;

b Gestão: dedicação do produtor e equipe, profissionalismo, qualificação da equipe, capacidade financeira;

c Alimentação: qualidade dos alimentos, manejo, busca por desafio das vacas;

d Sanidade e reprodução: controle sanitário, performance reprodutiva, uso de biotecnologias da reprodução e incidência de mastite e de claudicação, entre outras enfermidades;

e Genética dos animais: produtividade, sensibilidade ao manejo (temperamento, por exemplo), conformação de úbere (principalmente profundidade de úbere, comprimento de tetos e colocação dos tetos) e características de ordenha (velocidade de ordenha, por exemplo).

Ou seja, de antemão, é possível entender que um SOR não pode ser indicado para qualquer propriedade leiteira. É um sistema muito exigente nos fatores mencionados acima e

pequenos problemas que normalmente são diagnosticados e abordados facilmente em sistemas de ordenha convencional podem se tornar grandes desafios em SOR.

As principais vantagens dos SOR são: disponibilidade de informações sobre o sistema e as vacas, o que permite rápida tomada de decisões; consistência na rotina de ordenha, regularidade no funcionamento, disponibilidade 24 h e 7 dias por semana para ordenhar os animais, independendo de escalas de finais de semana ou férias (SALFER et al., 2017a).

Os produtores têm usado o maior tempo livre para aumentar o rebanho em lactação, melhorar o manejo da fazenda, aumentar seu envolvimento em organizações ou comunidades ou mesmo mais tempo para assuntos familiares (SALFER et al., 2017b).

Outra vantagem do SOR é a maior facilidade dos produtores em ajustar a quantidade de concentrado individualmente a cada vaca. A flexibilidade da frequência de ordenha, e seu ajuste de acordo com a produtividade e fase da lactação, criam oportunidade para aumentar a frequência de ordenha no início da lactação e fornecer nesta fase uma quantidade mais ajustada de ração e, dependendo do sistema de alimentação, até mesmo determinados concentrados como, por exemplo, com a inclusão de aditivos direcionados a esta fase, visando maximizar o desempenho no pico de produção. Além disso, também permite a redução da frequência de ordenha ao final da lactação, reduzindo o estresse da secagem, sem a necessidade de interrupção brusca da ordenha (BERTULAT et al., 2013).

Os potenciais desafios são: retorno do investimento, obsolescência e custos de manutenção (SALFER et al., 2017a), para o cenário norte americano à época. No Brasil, pode-se adicionar o custo de aquisição vs disponibilidade de financiamento, disponibilidade de mão de obra de qualidade para operação do sistema e treinamento das primíparas, entre outros.

As principais metas em fazendas com SOR são maximizar a produção de leite por robô, otimizar a frequência de ordenha, minimizar o uso de mão de obra, manter as vacas o mais saudáveis e férteis possível e reduzir o número de vacas atrasadas.

O uso de SOR também permite o monitoramento individual da frequência de ordenha, assim como a produção por quarto mamário e sua qualidade, que são potenciais ferramentas para o diagnóstico de enfermidades (JACOBS E SIEGFORD, 2012).

O objetivo deste trabalho é apresentar alguns dos principais indicadores-chave de desempenho em SOR e demonstrar valores de literatura. Não serão objetos aqui os aspectos nutricionais relacionados aos robôs de ordenha ou seus aspectos sanitários.

Sistemas de fluxo das vacas

Para a abordagem dos indicadores-chave, é importante apresentar sucintamente os dois principais sistemas de fluxo das vacas em SOR: fluxo livre e fluxo guiado, sendo que este dispõe das variações *milk first* ou *feed first*. Mais recentemente, surgiu um sistema denominado de ordenha por lote, que não é propriamente um sistema de ordenha voluntária, pois as vacas são trazidas pelos colaboradores regularmente (2 ou 3 vezes ao dia) para a ordenha, mas que dispõe de unidades de sistemas de ordenha robotizada e, da sala de espera, as vacas procuram a ordenha. Após serem ordenhadas, as vacas são conduzidas novamente ao estábulo.

No fluxo livre, que no Brasil está mais frequentemente associado a confinamentos em *compost barn*, o animal tem acesso desimpedido ao robô, ou seja, não há portões que separam a pista de trato, a área de cama e a unidade de ordenha robotizada (UOR). Desta forma, a

avaliação de permissão de ordenha é feita pelo próprio robô, quando a vaca o acessa e, caso a vaca ainda não tenha permissão, ela não será ordenhada, não receberá ração e o portão se abre, para que ela saia.

No sistema de fluxo guiado, há portões que separam a pista de alimentação, a área de camas e a sala de espera da ordenha. Assim, o fluxo é unidirecional: a vaca que está na pista de trato e deseja ir para a área de camas passa por portões que permitem a passagem neste sentido. Se ela está na área de camas e quer ir para a ordenha ou mesmo para a pista de trato, ela terá que passar por um portão seletor, que analisará sua permissão de ordenha: se estiver liberada, será direcionada para a sala de espera e, em seguida, será ordenhada, mas se não tiver ainda permissão, irá para pista de trato. Esta descrição se aplica ao *milk first*. Para o sistema *feed first*, há também a opção de cabine de alimentação, onde a vaca pode receber ração somente, mas com as demais características do sistema guiado.

Deve-se analisar a fazenda como um todo, pois há rebanhos bem-sucedidos em qualquer sistema de fluxo das vacas, assim como fazendas que não se adaptaram ao SOR, seja ele qual for, e optaram por abandonar o sistema.

Recomendam-se os artigos de Tremblay et al. (2016) e Tse et al. (2018), para melhor compreensão da comparação entre os dois sistemas de fluxo.

Indicadores-chave de desempenho

Como mencionado, fazendas com SOR possuem uma ferramenta excelente de manejo, ao fornecer informações muito úteis para o gerenciamento do sistema. E, para tanto, é importante definir os principais indicadores-chave de desempenho.

Os parâmetros podem ser agrupados em:

a Parâmetros de desempenho: UOR/fazenda (n), produção de leite por robô (L/robô/dia), total de vacas ordenhadas, número de vacas por robô (vacas/robô), produtividade por vaca (L/vaca/dia), número médio de lactações, dias médios em lactação, composição do leite (teores de gordura e proteína) e contagem de células somáticas (CCS/mL);

b Parâmetros de ordenha propriamente: ordenhas por dia (n ordenhas/dia), frequência de ordenha por vaca/dia, em função dos dias em lactação (del) (n ordenhas/vaca/dia, com < 100 del, 101 – 200 del e > 200 del), intervalo entre ordenhas (h), fluxo de ordenha (g leite/min), ordenhas incompletas (% do total de ordenhas no dia), vacas atrasadas (n vacas atrasadas/dia), tempo ocioso (h/dia ou %);

c Outros parâmetros de gestão: sistema de fluxo de vacas, número de pessoas associadas à produção de leite por robô (pessoas/robô), produção de leite por pessoa (L/pessoa/dia), custo da mão de obra (R$/pessoa/mês), preço do leite (R$/L).

Parâmetros de desempenho

Uma das primeiras observações é o número de robôs disponíveis no rebanho. Tremblay et al. (2016) observaram que rebanhos com 2 ou 3 e mais robôs tinham média de produção diária/robô superior a rebanhos com apenas 1 e esta diferença aumentava quando a frequência de ordenha se reduzia abaixo da média geral.

Eles também demonstraram que fazendas que adaptaram estábulos antigos para o SOR produziram menos leite que estábulos construídos novos para a ordenha robotizada, mas somente nos 4 primeiros anos. Depois deste período, não houve diferença entre os tipos de instalações. Provavelmente, isto ocorreu devido à melhora do manejo em geral, mas também ao fato da maior facilidade de novilhas aprenderem a usar o SOR do que vacas e do provável descarte mais gradual de animais quando da adaptação de uma instalação mais antiga.

Em geral, estábulos novos, bem planejados e construídos, que favoreçam o conforto dos animais e facilitem o trabalho das pessoas, especialmente quanto a: fornecimento de trato, manutenção de camas (seja *compost* ou *free stall*), limpeza do robô, limpeza de piso e de corredores e buscar vacas atrasadas, tendem a ter maior investimento, mas resultam em menor ocupação da mão de obra. Também tendem a favorecer o fluxo das vacas, melhorando o desempenho do robô. Pequenas diferenças diárias de ocupação da mão de obra tendem a impactar significativamente o retorno econômico do robô ao longo do tempo.

É interessante notar que algumas fazendas no Brasil optaram por manter a ordenha convencional em funcionamento, direcionando grupos específicos de vacas para o SOR, geralmente as primíparas ou o lote de alta produção. Nestes casos, a comparação de desempenho deve considerar que as vacas ordenhadas voluntariamente não representam a média do rebanho.

A produção de leite por robô/dia é um dos principais parâmetros a serem mensurados, pois tem uma relação direta com a rentabilidade do sistema. Os principais pontos-chave para aumentar a produção de leite por robô são (SALFER et al., 2017a):

a Aumentar a produção por vaca: buscar mais frequentemente vacas recém-paridas atrasadas; balanceamento de dietas, especialmente as de transição; otimizar a eficiência reprodutiva; máximo conforto para as vacas; baixa CCS; minimizar escore de locomoção do rebanho;

b Minimizar o tempo de box por vaca: vacas que facilitem a colocação de teteiras; vacas que sejam ordenhadas rapidamente; planejar muito bem as permissões de ordenha (a cada 5 segundos a mais por ordenha = 1 vaca a menos sendo ordenhada); tosar os úberes; atenção com o comprimento e limpeza da cola das vacas;

c Minimizar tempo ocioso: otimizar a lotação do estábulo; reduzir o número de vacas atrasadas; ter tanque pulmão; otimizar o programa de tratamento de mastite com antibióticos.

A ótima utilização do robô é uma função do número de vacas ordenhadas, produção por vaca, frequência de ordenha, velocidade de ordenha, recusas de ordenha (no tráfego livre), insucessos de ordenha, tempo de limpeza e tempo de manutenção (RODENBURG, 2017).

A capacidade de um SOR pode ser expressa pela sua taxa de ocupação, definida como uma percentagem de horas que a UOR está ordenhando por dia. Não se utiliza o equipamento 24 h por dia, pois é necessário um tempo para a limpeza, manutenção e mesmo visitas das vacas sem ordenha, como as nulíparas, quando o produtor opta por esta decisão. Mas, dentro do tempo destinado para ordenha, é importante otimizar o funcionamento da UOR.

Há diferentes relatos de produção por robô/dia, na literatura. A produção anual foi de cerca de 550.000 kg/robô (ou equivalente a 1.507 kg leite/robô/dia), com grande variação entre as fazendas e algumas atingiram 1.918 kg leite/robô/dia, em 29 fazendas na Espanha (CASTRO et al., 2012). Em análise de 635 rebanhos na América do Norte, foi reportada média de 1.626,8 ± 397,0 kg de leite por robô/dia (TREMBLAY et al. 2016). Os fornecedores de equipamentos de ordenha sugerem valores entre 2.000 e 2.500 L/robô/dia ou até 3.000 L, preferencialmente.

Para se atingir estes resultados, é importante analisar outros, como o número de vacas. Tomando-se por exemplo um rebanho hipotético com 2.300 L/dia, se o rebanho for de 50 vacas, a produtividade média deveria ser de 46,0 L/vaca/dia. Mas, se o número de vacas ordenhadas for de 60 animais, a produtividade média necessária cairia para 38,3 L/vaca/dia.

Há uma correlação significativa entre a produtividade por vaca e a produção por robô: r = 0,83 (SALFER et al., 2017a). Ou seja, uma das estratégias já mencionadas para o aumento da produção do robô é o aumento da produtividade por vaca.

O outro ponto mencionado é o número de vacas/robô. Este valor dependerá do tipo de alojamento, se *compost barn*, *free stall* ou mesmo a pasto e da capacidade da instalação. Castro et al. (2012) observaram média de 52,7 vacas/robô, que produziram 10.410 kg/vaca/ano (equivalente a 28,5 kg/vaca/dia). Tremblay et al. (2016) relataram média de 50,5 ± 9,5 vacas/robô, produzindo 32,0 ± 4,9 kg leite/dia, na América do Norte. São comuns relatos no Brasil de produtividade média variando entre 32 e 42 L/vaca/dia, mas não se deve analisar estes números isoladamente.

Para a produtividade individual, é importante atentar para a performance reprodutiva do rebanho. Sabidamente, os melhores resultados são observados com vacas até meados da lactação, pela produtividade, pela frequência de ordenha e pela voluntariedade na busca da ordenha. Rebanhos com desempenho reprodutivo ruim terão proporção maior de vacas em meio e final de lactação, o que reduz a produtividade e aumenta o risco de vacas atrasadas. No levantamento de mais de 600 rebanhos em SOR na América do Norte, foi observado DEL médio de 177,7 ± 27,9 dias em lactação (TREMBLAY et al., 2016). A menor dedicação à operação da ordenha em si favorece a maior disponibilidade de tempo para manejo reprodutivo dos animais pelos gestores ou operadores da fazenda.

Outro ponto crítico é o número médio de lactações. Vacas de 3 e 4 lactações tendem a ter maior produtividade. Calamari e Stefanini (2007) observaram que vacas primíparas, quando compareceram voluntariamente à estação de ordenha, permaneceram mais tempo na mesma, visitaram mais vezes a pista de alimentação e visitaram o SOR com menos frequência em comparação com vacas multíparas durante o estágio inicial de lactação. King et al. (2017) relataram que vacas com menos lactações apresentaram maior frequência de recusas do que as demais. A frequência de recusas está negativamente associada ao número de vacas por SOR.

No início da primeira lactação, os animais precisam se adaptar a algumas mudanças em seu ambiente, como o sistema de ordenha desconhecido. O treinamento das novilhas é uma das atividades que mais exige algum nível de dedicação dos colaboradores da ordenha voluntária. Normalmente, ele visa adaptar os animais ainda nulíparos à rotina do sistema de tráfego das vacas, para que quando parirem facilitem o fluxo no acesso e saída do robô.

Estas recusas podem ocorrer pelo fato de os animais buscarem o robô antes da permissão de ordenha, de acordo com a configuração do sistema na fazenda. Mas, por outro lado, podem indicar que a sala de ordenha tem sido bastante atrativa para os animais. Embora estes fatos sejam mais pertinentes a sistemas de fluxo livre, a busca por maior giro e fluidez na passagem dos animais pelo robô ocorre em qualquer sistema, inclusive nos de tráfego guiado. Entretanto, as vacas necessitam de adaptação a este sistema de ordenha para minimizar perdas de produção e alterações comportamentais (CÓRDOVA et al., 2020). É importante destacar que muitas fazendas optam por não treinar previamente as nulíparas ao sistema de ordenha, muitas vezes por não ser possível operacionalmente.

Portanto, rebanhos que apresentam elevadas taxas de descarte de vacas multíparas tendem a ter menor número médio de lactações, o que pode comprometer a eficiência do sistema

como um todo. Maior proporção de primíparas também resulta em maior frequência de adaptação dos animais ao SOR, podendo reduzir o número de ordenhas diárias.

Quanto à composição do leite, SOR bem manejados não devem ter redução dos teores de gordura e proteína. Se isso ocorrer, pode indicar alguma falha no manejo alimentar dos animais.

Parâmetros de ordenha

O número de ordenhas/robô/dia e a frequência de ordenha ou número de ordenhas/vaca/dia são dos principais parâmetros a serem monitorados. Recomenda-se, geralmente, 140 ordenhas/robô/dia. Naquele exemplo anterior, as 140 ordenhas diárias, no cenário de 50 vacas, resultariam em 2,8 ordenhas/vaca/dia, enquanto no cenário com 60 vacas, 2,3 ordenhas/vaca/dia. O aumento da frequência de ordenha resultou em aumento da produção de leite (WAGNER-STORCH E PALMER, 2003; DE KONING E RODENBURG, 2004).

A curva de frequência de ordenha tende a acompanhar a curva de produtividade individual das vacas, ou seja, vacas em início de lactação vão aumentando gradativamente o número de ordenhas diárias até atingirem um pico e tendem a manter a frequência de ordenha enquanto a produtividade estiver alta. Conforme se aproximam do final da lactação, a frequência de ordenha também se reduz. Este fato reforça a importância da boa performance reprodutiva dos rebanhos, pois vacas em final de lactação, especialmente se com produtividade relativamente baixa, tendem a não buscar o robô.

Por outro lado, o intervalo entre ordenhas teve efeito significativo sobre produção de leite e taxa de fluxo de ordenha (HOGEVEEN et al., 2001). Portanto, não se deve atentar somente para a frequência de ordenha, mas também para a regularidade do intervalo entre ordenhas. Frequências aparentemente satisfatórias, mas com intervalos muito irregulares resultam em queda de produção de leite. As recomendações de manejo incluem estimular as vacas a buscarem robô, seja pelo manejo alimentar, seja pelo conforto dos animais, por estratégias como iluminação do SOR, colocação de bebedouros, cochos para suplementos minerais e até mesmo as escovas para as vacas se coçarem (*cow brush*) próximos ao portão de seleção em sistemas de fluxo guiado *milk first*. Em fazendas com muitas vacas atrasadas, a presença de um turno noturno de pessoas para trazerem estes animais é recomendável.

Se os intervalos entre ordenhas forem muito irregulares, rebanhos que estão migrando de 2 ordenhas convencionais/dia para um SOR precisam atingir pelo menos 2,3 a 2,4 ordenhas/dia para conseguirem a mesma média anterior de produção. Em razão do aumento da frequência de ordenha também resultar em intervalos mais regulares de ordenha, 3,1 a 3,2 ordenhas diárias em SOR equivaleram a 3 ordenhas diárias em sistema convencional, com intervalo fixo de 8 h (RODENBURG, 2017).

Para que o fluxo das vacas no robô seja adequado, a duração de ordenha tem que ficar dentro de limites toleráveis para cada rebanho. Tremblay et al. (2016) relataram tempo de box de 6,84 min/ordenha, com 2,91 ordenhas/vaca, 50,5 vacas/robô e 147 ordenhas/dia. Se houvesse redução de 1 min no tempo de ordenha, para 5,84 min/ordenha, os 147 min economizados seriam suficientes para se ordenhar mais 8,65 vacas, sem redução no tempo livre ou na frequência de ordenha. Para rebanhos com baixa frequência de ordenha, a velocidade de ordenha foi mais impactante sobre a produtividade das vacas que em rebanhos com elevada frequência de ordenha. Estes autores relataram 1,9 ± 1,4 recusas/dia e 5,5 ± 3,5 falhas de ordenha/dia. Falhas de ordenha ou ordenhas incompletas têm critérios diferentes de mensuração, mas significam que um ou mais tetos não foram ordenhados parcial ou totalmente.

O tempo de ordenha varia muito entre fazendas, principalmente devido ao sistema de fluxo das vacas (livre ou guiado), forma de mensuração (já que os provedores de equipamentos usam critérios diferentes para definir tempo de ordenha), produtividade das vacas, frequência de ordenha e fluxo de leite.

Salfer et al. (2017a) relataram média de 5,5 min/ordenha, com mínimo de 4,5 e máximo de 6,3 min; e fluxo de leite de 2,8 L/min, com mínimo de 2,3 e máximo de 4,7 L/min. Ou seja, quando se busca maior fluxo de leite, o resultado tende a ser ordenha mais rápida, permitindo-se aumentar a frequência de ordenha ou acomodar mais animais na mesma UOR.

Destas análises, infere-se a importância de outro parâmetro, que é a produção de leite por ordenha (kg leite/ordenha). Na prática, tem sido usado mais para monitoramento constante e dinâmico, não havendo valores explícitos de referência. Nos exemplos anteriores, se o rebanho com 2.300 L/dia e 140 ordenhas/dia, a produtividade por ordenha deveria ser de 16,43 L/ordenha, independente dos outros fatores. É um valor considerável, assumindo-se ser uma média.

Castro et al. (2012) avaliaram a eficiência de ordenha em rebanhos com SOR e observaram que o número de ordenhas por vaca e recusas de ordenha explicaram 87% da variação na produção de leite/robô/dia. As fazendas avaliadas poderiam ter um aumento de 16 ± 8,5 vacas por robô, sem prejuízo à performance animal, resultando em aumento da produtividade média por UOR, permitindo um retorno do investimento antecipadamente e melhorando a viabilidade dos rebanhos. O ponto ótimo de desempenho foi obtido entre 2,4 e 2,6 ordenhas por vaca/dia, naquele contexto.

Em estudo no Canadá (RODENBURG E HOUSE, 2007, citados por RODENBURG, 2017), os produtores relataram buscar 14,6 ± 10,4% das vacas pelo menos uma vez ao dia. Houve grande variação entre rebanhos, com 2,5% de vacas nos 5 melhores rebanhos, mas 41,6% nos 5 piores. O número de vacas que precisaram ser conduzidas até a ordenha foi estimado em 8% do rebanho ao dia, em fazendas canadenses (KING et al., 2016).

Toda a rotina do SOR visa atrair ao máximo as vacas à unidade de ordenha e evitar que tenham que ser buscadas. Vacas que falharam em ser ordenhadas, seja por falha do equipamento, seja por algum fator da própria vaca, produziram menos leite na ordenha seguinte e retornaram ao sistema antes, reduzindo a eficiência do robô. Buscar vacas atrasadas é uma tarefa que os produtores e colaboradores geralmente não gostam de fazer, pois tira-lhes o tempo de execução de outras atividades e gera desmotivação.

Um fator determinante para o sucesso do número de ordenhas diárias, da frequência de ordenha e, por consequência, da produtividade do robô é a incidência de mastite. Não se pretende aprofundar a discussão, mas mastite e, principalmente, o tratamento de vacas com antibióticos têm grande impacto no desempenho do robô, seja pela queda de produtividade das vacas, aumento do número de atrasadas, seja pela necessidade de limpeza do robô após a ordenha de vaca em tratamento. Se esta lavagem simples do robô comprometer 5 min, é quase o tempo da ordenha de uma vaca.

É imprescindível analisar as lesões de pernas e pés, que resultam em claudicação, o que está fortemente relacionada ao aumento de ordenhas involuntárias (vacas atrasadas). Sugere-se a leitura de Matson et al. (2022), para melhor compreensão. Se este fator estiver associado a menor produção de leite, por exemplo, por baixa persistência ou vaca que demorou muito para emprenhar, o resultado pode ser muito ruim.

Outro ponto a se atentar é o melhoramento genético das vacas, seja buscando-se vacas mais produtivas e de maior velocidade de ordenha, seja pela conformação de úbere. Vacas com conformação ruim de úbere tiveram menor velocidade de colocação das teteiras e maior incidência de falha de colocação e são 2 vezes mais propensas a se tornarem vacas atrasadas (JACOBS E SIEGFORD, 2012).

Outros parâmetros de gestão

Os sistemas de fluxo das vacas foram sucintamente comentados. É um dos itens a ser analisado quando se discute os indicadores-chave de SOR, pois tanto a mensuração quanto a interpretação de um resultado podem variar entre os dois sistemas.

Como alguns dos principais argumentos de adoção do SOR são os aspectos relacionados à mão de obra, é imprescindível que técnicos e produtores avaliem os parâmetros no planejamento para a ordenha voluntária. Dados de campo, no Brasil, relatam a mão de obra como segundo item no custo de produção de leite em sistemas intensivos, atrás apenas da alimentação dos animais. Entretanto, estratégias adotadas por fazendas com ordenha voluntária resultam em produtividade da mão de obra insatisfatória, especialmente quando a produtividade do robô for baixa ou as outras atividades da fazenda exigirem grandes operações manuais.

Bijl et al. (2007) relataram maior quantidade de vacas ordenhas por fazendas com SOR quando comparadas com fazendas similares com ordenha convencional, com maior produção de leite por mão de obra equivalente (*full-time employee* – FTE, ou equivalente a um funcionário em tempo integral). Este é um parâmetro recorrente em literatura internacional sobre o tema de mão de obra.

Quando os parâmetros foram ajustados para a mão de obra, as fazendas com ordenha robotizada apresentaram receitas totais maiores, maiores margens brutas e maior rentabilidade sobre o custo da mão de obra, mesmo com custos maiores para locação, depreciação e juros. Portanto, a quantidade e custo de mão de obra foram decisivos para a rentabilidade da atividade na Holanda à época, segundo os autores acima.

Em trabalho na Holanda, não foi observada diferença em número de vacas ou produção de leite por FTE (STEENEVELD et al, 2012), entre fazendas de ordenha convencional vs robotizada. Nos Estados Unidos, uma comparação de 52 fazendas com SOR vs 603 fazendas similares com ordenha convencional mostrou maior produtividade para a ordenha robotizada (2.741,6 vs 1.917,3 kg leite/FTE/dia, SALFER et al., 2017b).

Tse et al. (2018) relataram que fazendas, no Canadá, que adotaram SOR tiveram o número médio de funcionários reduzidos de 2,5 para 2,0, comparados ao tempo da ordenha convencional. Mas, as reduções não foram as mesmas para as diferentes classes de número de vacas: para fazendas com menos de 50 vacas em lactação, a redução foi de 1,8 para 1,4; fazendas com 86 a 116 vacas, de 2,7 para 2,2; e fazendas com mais de 117 vacas, de 3,4, para 2,6. Ou seja, para rebanhos maiores, a redução foi estatisticamente maior do que para os rebanhos menores, demonstrando um ganho em escala com uso de mais robôs na fazenda. O tempo de dedicação a atividades exclusivas de ordenha, no geral, reduziu-se de 5,2 para 2,0 h/dia. Os valores são bem menores do que muitas vezes observados no campo, no Brasil.

As análises financeiras são, de fato, as mais importantes para se analisar o desempenho de sistemas de ordenha voluntária. Entretanto, tanto em nível nacional, mas principalmente quanto aos dados de literatura internacional, são de difícil comparação, já que os contextos envolvidos são muito diferentes. O trabalho de Salfer et al. (2017b) é recomendado para a leitura a respeito. Entre muitas observações, os autores destacaram que o preço de aquisição ou

locação do robô (modalidade atualmente indisponível no Brasil) e sua vida útil tiveram impactos decisivos na rentabilidade da adoção do robô ou convencional.

Salfer et al. (2017b) demonstraram que quanto menor o tempo necessário de mão de obra por robô (min/dia) e quanto maior a durabilidade do robô, maior será o impacto financeiro favorável anual sobre o resultado do robô.

A operação do próprio robô exige mão de obra mais qualificada. Ainda que os principais fornecedores de equipamentos de ordenha tenham os softwares traduzidos para o português, a operação em si requer uma pessoa com maior nível de escolaridade e treinamento, o que pode significar maiores custos também. Entre os próprios técnicos que trabalham com os SOR, é comum observar situações de desconhecimento da interpretação das informações coletadas.

Ainda seguindo-se o exemplo dos cenários hipotéticos apresentados anteriormente, se a fazenda tiver 2.300 L/dia, com 4 pessoas dedicadas à produção de leite, a produtividade média será de 575 L/pessoa/dia. Ao passo que, com 3 pessoas, o resultado será de 767 L/pessoa/dia. Observa-se, no campo, fazendas com ordenha convencional, especialmente as de maior porte, com mais de 1.000 L/pessoa/dia. Mas, para os pequenos rebanhos, contexto principal dos SOR no Brasil, também são frequentes valores de 300 a 400 L/pessoa/dia.

E o último ponto crítico a ser comentado é o preço do leite. Como se trata de equipamento de alto investimento, cenários de preços baixos de leite aumentam drasticamente o desafio de viabilização do equipamento. Dentro das possibilidades do produtor, deve-se buscar todas as alternativas possíveis para melhora do preço, seja por aumento do volume diário, qualidade do leite (composição e CCS), associações ou negociação com a indústria. Na prática, é sabido que o produtor tem, em termos gerais, baixo poder de negociação.

Considerações finais

Para se avaliar o desempenho de um sistema de ordenha robotizada, vários indicadores-chave estão disponíveis. Dentre os inúmeros que os sistemas de gestão da ordenha robotizada fornece, destacam-se, quanto à produção: unidades de ordenha/fazenda, produção de leite por robô, total de vacas ordenhadas, número de vacas por robô, produtividade por vaca, entre outros. Quanto à ordenha em si, os principais são: ordenhas por dia, intervalo entre ordenhas, fluxo de ordenha, ordenhas incompletas e vacas atrasadas. Por fim, também são importantes: sistema de fluxo de vacas, número de pessoas associadas à produção de leite por robô, produção de leite por pessoa, custo da mão de obra e preço do leite. De maneira geral, o objetivo é a máxima produção por robô dia, com o número de vacas que comporte a frequência de ordenha compatível com o contexto da fazenda, mantendo-se as vacas saudáveis e férteis. Para isso, estratégias devem ser elaboradas e implementadas que facilitem a busca voluntária da ordenha, com o menor número possível de vacas atrasadas, permitindo ao produtor e equipe dedicar-se às demais atividades da fazenda e que possa desfrutar de melhor qualidade de vida.

Referências

ADCOCK, F.; ANDERSON, D.; ROSSON, P. The Economic Impacts of Immigrant Labor on US Dairy Farms: **USDA Outlook Conference**. Washington, DC: Center for North American Studies, 2015.

ARTMANN, R. System capacity of single box AMS and effect on the milk performance. In: **A Better Understanding of Automatic Milking**. MEIJERING, A.; HOGEVEEN, H.; DE KONING, C.J.A.M. ed. Wageningen Academic Publishers: Wageningen, Holanda, p.474–475, 2004.

BERTULAT, S.; FISCHER-TENHAGEN, C.; SUTHAR, V.; MÖSTL, E.; ISAKA, N.; HEUWIESER, W. Measurement of fecal glucocorticoid metabolites and evaluation of udder characteristics to estimate stress after sudden dry-off in dairy cows with different milk yields. **J. Dairy Sci.**, v.96, p. 3774-3787, 2013.

BIJL, R.; KOOISTRA, S.R.; HOGEVEEN, H. The profitability of automatic milking on Dutch dairy farms. **J. Dairy Sci**., v.90, p.239-248. 2007.

CALAMARI, Luigi; STEFANINI, Luigi. Metabolic conditions of lactating Friesian cows during the hot season in the Po valley. 1. Blood indicators of heat stress. **International journal of Biometeorology**, v. 52, n. 2, p. 87-96, 2007.

CASTRO, A.; PEREIRA, J.M.; AMIAMA, C.; BUENO, J. Estimating efficiency in automatic milking systems. **J. Dairy Sci**., v.95, p. 929-939, 2012.

CATTANEO, M., A. G. CAVALCHINI, AND G. L. ROGONOI. Design and construction of a robotic milking system. **Sixth International Conference on Computers in Agriculture**. Cancun, México. 1:155, 1996.

CÓRDOVA, H.A.; CARDOZO, L.L.; ALESSIO, D.R.M.; et al. Comportamento de vacas da raça Holandesa em ordenha robotizada (Behaviour of Holstein cows in robotic milking). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 1, p. 263–272, 2020.

DE KONING, K.; AND RODENBURG, J. Automatic milking: State of the art in Europe and North America. in: A. MEIJERING, H. HOGEVEEN, C.J.A.M. DE KONING (Eds**.) A Better Understanding of Automatic Milking**. Wageningen Academic Publishers, p.27–35, 2004.

EMBRAPA. **Anuário Leite 2023**, São Paulo: Texto Comunicação Corporativa, p.49. 2023.

HOGEVEEN, H.; OUWELTJES, W.; DE KONING, C.J.A.M.; STELWAGEN, D.K. Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. **Livest. Prod. Sci**., v.72, p. 157-167, 2001.

JACOBS, J.A.; SIEGFORD, J.M. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. **J. Dairy Sci**., v.95, p. 2227-2247, 2012.

KING, M.T.M.; PAJOR, E.A.; LEBLANC, S.L.; DEVRIES, T.J. Associations of herd-level housing, management, and lameness prevalence with productivity and cow behavior in herds with automated milking systems. **J. Dairy Sci**., v.99, p. 9069-9079, 2016.

KING, M. T. M., E. A. Pajor, S. J. LeBlanc, and T. J. DeVries. Cow-level associations of lameness, behavior, and milk yield of cows milked in automated systems. **J. Dairy Sci.** v. 100, p.4818–4828, 2017.

KONING K., SLAGHUIS B, VAN DER VORST Y. Robotic milking and milk quality:effects on bacterial counts, somatic cell counts, freezing point and free fatty acids. Italian **Journal of Animal Science**, v.2, p.291-299, 2009.

MATSON, R.D.; KING, M.T.M.; DUFFIELD, T.F.; SANTSCHI, D.E.; ORSEL, K.; PAJORAND, E.A. et al. Farm-level factors associated with lameness prevalence, productivity, and milk quality in farms with automated milking systems. **J. Dairy Sci**., v.105, p. 793-806, 2022.

RODENBURG, J. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on workflow. **J. Dairy Sci**., v.100, p. 7729-7738, 2017.

SALFER, J.A.; ENDRES, M.I.; LAZARUS, W. MINEGISHI, K.; BERNING, E.R. Finances and returns of robotic dairies. **University of Minnesota Extension**, 2017a. Acesso: 20.mar.2023. https://dairy.unl.edu/documents/Salfer_EconomicsinRobots.pdf.

SALFER, J.A.; MINEGISHI, K.; LAZARUS, W.; BERNING, E.R.; ENDRES, M.I. Finances and returns for robotic dairies. **J. Dairy Sci**., v.100, p. 7739-7749, 2017b.

STEENEVELD, W.; TAUER, L.W.; HOGEVEEN, H.; OUDE LANSINK, A.G.J.M. Comparing technical efficiency of farms with an automatic milking system and a conventional milking system. **J. Dairy Sci**., v. 95, p. 7391-7398, 2012.

SUSANTO, D.; ROSSON, C.P.; ANDERSON, D.P.; ADCOCK, F.J. Immigration policy, foreign agricultural labor, and exit intentions in the United States dairy industry. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 4, p. 1774 – 1781, 2010.

SVENNERSTEN-SJAUNJA, K. M.; PETTERSSON, G. Pros and cons of automatic milking in Europe. **J. Anim. Sci.**, v.86, p.37-46. 2008.

TREMBLAY, M.; HESS, J. P.; CHRISTENSON, B. M.; MCINTYRE, K. K.; SMINK, B.; VAN DER KAMP, A. J.; DE JONG, L. G.; DÖPFER, D. Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. **J. Dairy Sci**., v. 99, p. 3824-3837, 2016.

TSE, C.; BARKEMA, H. W.; DEVRIES, T. J.; RUSHEN, J.; PAJOR, E. A. Impact of automatic milking systems on dairy cattle producers' reports of milking labor management, milk production and milk quality. **Animal**., v. 12, n. 12, p. 2649-2656, 2018.

WAGNER-STORCH, A.M.; PALMER, R.W. Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system**. J. Dairy Sci**., v86, p.1494-1502. 2003.

Sistemas de ordenha robótica e nutrição

Marcos Neves Pereira[1]

Introdução

Após a primeira instalação em 1992 na Holanda, sistemas de ordenha automática individual, também conhecidos como sistemas de ordenha robótica ou de ordenha voluntária (VMS – Voluntary Milking Systems), têm sido adotados ao redor do mundo e no Brasil, principalmente por rebanhos menores (50 a 250 vacas), já que os ganhos em qualidade de vida são potencialmente maiores em pequenas fazendas familiares do que em grandes rebanhos. Estimou-se em 2017 que existiam menos de 80 rebanhos no mundo ordenhando mais que 500 vacas em sistema robótico individual (Rodenburg et al., 2017).

A adoção da ordenha robótica voluntária tem sido feita com múltiplos propósitos citados por produtores (Salfer et al., 2018): Reduzir a necessidade de mão-de-obra contratada não-familiar, reduzir trabalho pesado, aumentar a produção por vaca em rebanhos ordenhando 2 ×/d, melhorar o conforto animal e a longevidade por redução no estresse diário de movimentação dos animais e superpopulação no curral de espera em fazendas com ordenha convencional, reduzir o custo alimentar do rebanho, melhorar a qualidade de vida das pessoas envolvidas com a rotina da atividade leiteira por maior flexibilidade do trabalho, propiciar mais tempo livre, melhorar a saúde humana por menor risco de lesão por trabalho repetitivo durante a ordenha, ou propiciar o crescimento do rebanho sem a necessidade de mais mão-de-obra contratada. Apesar destas serem metas plausíveis para a adoção do sistema robotizado, todos estes objetivos nem sempre são atingidos.

O estábulo para ordenha robótica individual voluntária é composto por áreas de alimentação e de repouso com camas individuais (free-stall) ou cama coletiva (compost barn). Os robôs de ordenha voluntária individual podem ser implantados em qualquer tipo de confinamento com vacas alojadas em grupo e também em rebanhos criados a pasto (Rodenburg et al., 2017). Existe outra aplicação para robôs de ordenha que visa apenas eliminar a mão-de-obra em ordenhas convencionais por automação total da ordenha em grupos de vacas ordenhadas em horários fixos. Esta segunda aplicação não será discutida neste artigo. O objetivo deste artigo será discutir como a nutrição pode interagir com o sistema de ordenha (fluxo livre ou fluxo guiado) em ordenha robótica individual voluntária.

Indicadores de eficiência

Neste tipo de ordenha a meta é ordenhar voluntariamente de 45 a 65 vacas/box de ordenha e cada vaca por pelo menos 2,5 ×/d (rebanho com média ao redor de 3 ×/d), e com o mínimo de busca de vacas atrasadas (< 5 % das vacas). O intervalo desde a última ordenha definido pelo produtor determina se a vaca é elegível ou é recusada para a ordenha. O trabalho de buscar vacas atrasadas ocorre pelo menos 2 ×/d para a execução de ordenhas involuntárias, mas a frequência diária de conferência das ordenhas é uma decisão de manejo do produtor. Metas de frequência de ordenha por dia também podem ser definidas por estágio da lactação, como almejar > 3/d em vacas com menos de 100 dias em lactação (ou > 4/d), > 2,5 em vacas

[1]Universidade Federal de Lavras.

entre 100 e 200 dias em lactação e > 2 em vacas com mais de 200 dias em lactação, por exemplo. As vacas ficam de 6 a 8 min no box em cada ordenha e recebem alimento concentrado no momento da ordenha a uma taxa (kg/min) definida pelo nutricionista. Obter alta produção de leite por box de ordenha (> 2000 L/d com 50 a 60 vacas) parece ser uma meta plausível para obter alta lucratividade (Salfer et al., 2017). Um levantamento feito em 197 fazendas canadenses adotando ordenha robótica indicaram que o número médio de vacas por box de ordenha (88% fluxo livre) foi de 47,5 ± 14,9, variando de 24,3 a 63,6 (Matson et al., 2021), abaixo do usualmente preconizado pelos fabricantes de ordenhas robotizadas. Neste levantamento a produção de leite por vaca foi 37,7 ± 3,93 kg/d, variando de 26,4 a 48,3 e as fazendas tinham em média 2,4 boxes de ordenha. Estes dados sugerem que para rebanhos com produção por vaca ao redor de 40 kg/d ter 50 vacas/box é uma meta plausível. Em um levantamento de 29 rebanhos e 34 boxes de ordenha na Espanha, o número de vacas ordenhadas por box de ordenha foi 52,7 ± 9,0 /d, a frequência de ordenhas foi 2,69 ± 0,28 /d e o tempo de visita ao box de ordenha foi 7,41 ± 0,62 min, para vacas produzindo 28,5 ± 3,9 kg/d e 1506 kg/box de ordenha (Castro et al., 2012).

Nutrição na ordenha robótica

Quando se pergunta para produtores de leite listarem os fatores de sucesso no uso da ordenha robotizada o manejo alimentar e a qualidade do alimento são usualmente citados como prioritários (Rodenburg et al., 2017). A nutrição de vacas em ordenha robótica, além de buscar o atendimento da exigência nutricional da maneira mais precisa e econômica possível, também tem a meta de estimular visitas voluntárias das vacas ao box de ordenha de forma frequente e com intervalos uniformes ao longo do dia, para máximar a secreção de leite por vaca. Vacas em início da lactação muitas vezes são ordenhadas de 4 a 6 ×/d, o que pode ter efeito residual benéfico sobre a lactação total (Wilde & Knight, 1989).

Vários conceitos nutricionais recomendados para ordenhas robotizadas foram definidos pela prática de nutricionistas e produtores e são adotadas mesmo sem suporte da pesquisa. Seguem algumas recomendações gerais:

- A estratégia nutricional adotada depende do tipo do fluxo (livre ou guiado).
- Forragem de alta digestibilidade é importante para não causar enchimento excessivo do trato digestivo e propiciar retorno rápido da vaca ao box de ordenha.
- Concentrado palatável, peletizado e duro é mais atrativo para vaca do que concentrado farelado ou com textura grosseira. Pellets devem ser duros e duráveis para reduzir o acúmulo de finos no cocho do box de ordenha.
- Fabricantes de equipamentode ordenha robotizada normalmente recomendam muito concentrado no box de ordenha.
- Boa predição e monitoramento do consumo de matéria seca é importante na formulação das dietas.
- Dietas devem ser formuladas como se fossem TMR (Total Mixed Ration) e então se define como vai alocar alimentos no box de ordenha ou na PMR (Partial Mixed Ration). Dieta = Box + PMR.
- É importante ter PMR sempre disponível no cocho para evitar picos de consumo/atividade.

- Cada vaca define sua rotina de ordenha, alimentação e repouso. Requer manejo consistente do rebanho.
- Não se adota agrupamento do rebanho em lotes por demanda nutricional: Camas/box é fixo.
- Diferenciação nutricional pode ser feita na oferta de concentrado no box de ordenha.

Sistemas de ordenha robótica

Os sistemas de ordenha robótica individual voluntária diferem quanto ao tipo de tráfego das vacas, podendo ser de fluxo livre ou de fluxo guiado. É importante compreender o tipo de tráfego pois este é um dos determinantes do manejo nutricional a ser adotado. No fluxo livre o projeto da instalação permite que os animais tenham acesso irrestrito às áreas de alimentação, repouso e ao box de ordenha. Neste tipo de sistema de ordenha a seleção do animal a ser ordenhado ocorre dentro do box de ordenha e não se pode limitar a frequência de entradas das vacas no box, o que pode induzir maior frequência de recusas de ordenha.

No fluxo guiado o estábulo é normalmente equipado com portões com sensores para pré-seleção dos animais aptos à ordenha e portões de via única são posicionados no acesso entre as áreas de repouso e alimentação. Neste caso a seleção dos animais ordenhados é feita antes do box de ordenha, já que os animais trafegando entre a área de repouso e a de alimentação são obrigados a passar pelo portão de pré-seleção. Sistemas guiados normalmente utilizam um curral de espera antes do box de ordenha com acesso restrito aos animais pré-selecionados para ordenha, o que pode reduzir a ocorrência de falhas de ordenha, mas pode induzir aumento no tempo diário em pé sem acesso a cama ou alimento.

Os portões de pré-seleção são utilizados para manejar o tráfego dos animais para a ordenha ou para as áreas de alimentação e repouso. Os sistemas de fluxo guiado podem ser "milk-first" ou "feed-first". No sistema milk-first as vacas saindo da área de repouso passam por pelo portão de pré-seleção e são direcionadas para o curral de espera com acesso ao box de ordenha caso a vaca esteja elegível para ordenha, ou são direcionadas para a área de alimentação caso o animal não tenha permissão de ordenha ditada pelo tempo desde a ordenha anterior ou pela quantidade de leite predita na glândula mamária. Neste sistema a vaca pode entrar novamente na área de repouso com cama apenas por um portão de via única localizado entre a área de alimentação e a área de repouso. O fluxo de animais no sistema feed-first é o inverso, neste caso as vacas saindo da área de alimentação passam pelo portão de pré-seleção sendo então direcionadas para o curral de espera ou para a área de repouso (Endres & Salfer, 2017). Em fluxo guiado do tipo feed-first as vacas podem se saciar com PMR e ficar em pé ruminando no corredor de alimentação ou no curral de espera sem acessar o box de ordenha.

Comparações diretas entre sistemas de fluxo não são facilmente realizadas experimentalmente. Bach et al. (2009) avaliaram ordenha robotizada de fluxo livre ou guiado simultaneamente na mesma estação experimental. Vacas em fluxo guiado tiveram maior frequência de ordenhas (2,5 vs. 2,2 /d) e de ordenhas voluntárias (2,4 vs. 1,7 /d) e menor frequência de ordenhas involuntárias (0,1 vs. 0,5 /d). Os consumos de PMR (18,3 kg/d) e de concentrado no box de ordenha (2,5 kg/d) e a produção de leite (30,4 kg/d) não diferiram. Vacas em fluxo guiado tiveram menor frequência de refeições (6,6 vs. 10,1 /d) e maior tamanho (2,7 vs. 1,8 kg) e duração (20,4 vs, 15,7 min) das refeições. O teor de gordura no leite foi menor nas vacas em tráfego guiado (3,44% vs. 3.65%), sugestivo de maior prevalência de acidose ruminal, provavelmente induzido pela menor frequência de refeições em consumo total similar.

Algumas empresas utilizam apenas o sistema de fluxo livre (Ex: Lely) enquanto que outros equipamentos podem ser montados como fluxo livre ou guiado, segundo decisão do produtor. Sistemas de fluxo livre foram adotados em 88% de 197 fazendas usando ordenha robotizada no Canadá (Matson et al., 2021). Um levantamento realizado no Rio Grande do Sul em Julho de 2002 observou que dos 206 boxes de ordenha robótica ativos neste estado 140 eram da marca DeLaval, 45 eram Lely e 21 eram GEA, sendo 58% em sistema de fluxo gruiado e 42% em fluxo livre (Zadinello et al., 2023). Atualmente, a maior proporção de ordenhas em fluxo guiado do que fluxo livre parece ser uma particularidade da adoção de ordenha robótica no Brasil comparativamente a países do hemisfério norte.

Características de sistemas de fluxo livre ou guiado são:

a) Fluxo Livre

- Seleção da vaca no box de ordenha.
- Recusas de ordenha podem ser mais frequentes.
- Busca de vacas atrasadas para ordenhas involuntárias pode ser maior.
- Comportamento mais “natural” e desejável pelo consumidor.
- Menos tempo da vaca em pé.
- Vacas parecem aprendem mais facilmente o uso do equipamento.
- Diagnóstico mais rápido de vacas doentes.
- Concentrado no robô: 5 kg/d (1 a 11) (Endres & Salfer, 2017).
- PMR: 4,5 a 13,5 kg/d abaixo da média do rebanho (8 muito usado).
- Manejo ruim: Menor frequência de ordenhas voluntárias e mais buscas para ordenhas involuntárias.

b) Fluxo Guiado:

- Seleção no portão de pré-seleção.
- Meta: Mais nutrientes oriundos da PMR e menos no box de ordenha.
- Existe a opção de baixa oferta de pellet em quantidade fixa na ordenha: < 2,5 kg/d.
- Feed-first: vacas podem ficar em pé ruminando na pista de alimentação ou no curral de espera sem acessar o box de ordenha.
- Dominância social no curral de espera pode ser muito importante.
- Concentrado no robô: 3,5 kg/d (1 a 5) (Endres & Salfer, 2017).
- PMR: 4 a 9 kg/d abaixo da média do rebanho.
- Manejo ruim: Queda no consumo e espera mais longa para ser ordenhada.

Concentrado no box de ordenha

O alimento concentrado ofertado no box de ordenha é o principal atrativo para a entrada voluntária da vaca. O efeito do concentrado sobre o comportamento do animal depende da quantidade ofertada, dos alimentos utilizados e do processamento (peletizado, processamento grosseiro, moagem fina) e pode interagir com a composição da PMR ofertada no cocho. A composição do concentrato deve ser complementar à composição da PMR. A mensuração do consumo de PMR é importante para obter precisão na composição da dieta total consumida.

Um levantamento feito com nutricionistas norte-americanos observou que o consumo diário de concentrado no box de ordenha foi ao redor de 5 kg/d em fluxo livre (1 a 11 kg/d) (Endres & Salfer, 2017). Nos rebanhos em fluxo livre a PMR foi normalmente formulada para 4,5 a 13,5 kg/d abaixo da média de produção de leite do rebanho. Neste mesmo levantamento, o consumo de concentrado em sistemas de fluxo guiado foi ao redor de 3,5 kg/d (1 a 5 kg/d), sendo de 0,7 a 1,4 kg por ordenha. Em fluxo guiado as PMR foram balanceadas para 4 a 9 kg/d abaixo da média do rebanho. Um frequente argumento para a adoção de sistemas de fluxo guiado é o desejo do produtor de fornecer menos concentrado de alto custo no box de ordenha. Nos sistemas de fluxo guiado a quantidade de concentrado ofertada no robô pode ser baixa e suficiente apenas para atrair a vaca. Neste caso uma alta proporção do consumo diário de nutrientes vem da PMR. Neste sistema as vacas são guiadas ao box de ordenha pelo portão de pré-seleção e por isso são menos dependentes da composição da PMR e da composição e oferta de concentrado como fator de entrada no box de ordenha.

Em sistemas de fluxo guiado a dependência de concentrados alocados no box de ordenha pode ser menor. Alguns rebanhos ofertam uma quantidade fixa de concentrado no box de ordenha (< 2,5 kg/d) e uma PMR balanceada para nível de produção similar à média de produção do lote, mas outros rebanhos adotam a mesma estratégia alimentar dos sistemas de fluxo livre. Sistemas de fluxo guiado têm maior potencial de uso de subprodutos fibrosos e alimentos de baixa palatabilidade, concentrados produzidos na fazenda (como silagem de milho úmido) e menor dependência de concentrado peletizado no box de ordenha, podendo reduzir o custo alimentar do rebanho.

A peletização do concentrado pode resultar em alimento mais facilmente manipulável pelos silos e roscas de transporte ao box de ordenha e também pode afetar a taxa de ingestão durante a ordenha (g/min) e a sobra de cocho como proporção do ofertado. Kertz et al. (1981) observaram que a taxa de ingestão nos primeiros 4 minutos após a oferta foi o dobro para concentrado peletizado (500 g/min) que o mesmo concentrado moído fino (260 g/min), enquanto que o concentrado com textura grosseira por uso de milho laminado resultou em taxa de ingestão intermediária, mas próxima do peletizado (420 g/min). Ordem de resposta similar foi observada para a taxa de ingestão de 4 a 8 minutos após a oferta de concentrado, mas com menor diferença entre tratamentos. Concentrados peletizados são consumidos mais rapidamente que concentrado moído fino.

Um levantamento de 635 fazendas norte-americanas por 4 anos, adotando sistema majoritariamente de fluxo livre (93%), observou que o consumo de concentrado no box de ordenha ou em alimentador automático individual foi em média 15,86 kg para cada 100 kg de leite produzido em 2,91 visitas/d de 6,84 min/visita ao box de ordenha (Tremblay et al., 2016). Neste levantamento maior oferta de concentrado no robô foi associado a menor produção de leite por vaca, sugerindo que fornecer mais concentrado invidualmente no box de ordenha não é rota para obter maior produtividade por vaca ou por box de ordenha.

A ocorrência de sobra de concentrado no box de ordenha e o fato do consumo diário ser parcialmente definido pela frequencia diária de acessos da vaca ao box de ordenha tiram

precisão nutricional na ordenha robotizada (Henriksen et al., 2019). Existe um relacionamento não linear e positivo entre a quantidade de concentrado ofertado e a sobra de cocho no box de ordenha (Bach & Cabrera, 2017). Estes autores observaram que quando a quantidade de concentrado ofertado durante a ordenha é superior a 5 kg/d a quantidade de sobra de cocho pode aumentar demasiadamente. Quando a quantidade de concentrado ofertado no box de ordenha é alta ocorre maior variabilidade no consumo diário e na sobra de cocho entre dias e entre vacas (Henriksen et al., 2019). Mais ração no robô aumenta a variabilidade diária no consumo de concentrado e na composição da dieta total consumida (Paddick et al., 2019; Menajovsky et al., 2018; Schwanke et al., 2019).

O aumento na quantidade de concentrado durante a ordenha também pode reduzir a quantidade consumida de PMR e reduzir o consumo total de matéria seca e necessariamente não reduz a necessidade de busca de vacas e de entradas involuntárias no box de ordenha (Bach et al., 2007). Trabalhos avaliando a taxa de substituição (queda no consumo de PMR para cada 1 kg de aumento no consumo de concentrado no box de ordenha) não parecem ser consistentes. Em sistemas de fluxo guiado taxas de substituição em resposta a aumento no concentrado ofertado no box têm sido 0,81 (Menajovsky et al., 2018), ao redor de 1 (Paddick et al., 2019), 1,14 (Bach et al., 2007) e 1,58 (Hare et al., 2018). Em sistema de fluxo livre Schwanke et al. (2019) observaram taxa de substituição de 0,63 quando o consumo de matéria seca de concentrado no box aumentou de 3,1 para 6,3 kg/d. Taxas de substituição menores do que 1 resultam em aumento no consumo total de matéria seca (Box + PMR). Vários fatores podem afetar a taxa de substituição, como a quantidade de concentrado ofertada, o tipo da forragem e o tipo do concentrado (Faverdin et al., 1991). A variabilidade na taxa de substituição tira precisão nutricional na formulação de dietas para ordenha robótica.

O efeito da composição do concentrado sobre o número de visitas ao box de ordenha é um assunto frequentemente estudado. Manipulações são possíveis no teor de amido, tipo do grão ou subproduto fibroso utilizado, textura ou processamento, teor de proteína e lipídeos, uso de aditivos nutricionais, aromas e sabores, dentre outros. Um estudo sugere que uma mistura grãos de cevada e aveia foi preferida e aumentou o número de visitas ao box de ordenha relativamente a cevada, trigo, milho, gramínea desidratada ou concentrado rico em gordura (Madsen et al., 2010). A substituição de cevada peletizada por cevada floculada em baixo consumo de concentrado no robô (2,0 kg/d) não efetou o consumo de PMR e de matéria seca total e a produção de leite (43,7 kg/d), mas o concentrado peletizado aumentou a frequência de ordenhas (2,90 vs. 2,71 /d) e reduziu o tempo no curral de espera (81 vs. 140 min) em fluxo guiado, sugerindo que concentrado peletizado foi mais atrativo para as vacas do que processamento grosseiro (Johnson et al., 2022).

O uso de flavorizantes (aromas e sabores) no concentrado do robô aumentou a frequência diária de passagens pelo portão de pré-seleção em sistema de fluxo guiado (6,6 vs. 5,6 /d), mas não afetou a frequência diária de ordenhas (2,5 /d), o consumo de concentrado no box (2,5 kg/d) e a produção de leite (25,4 kg/d) (Migliorati et al., 2005). Em outro estudo (Migliorati et al., 2009), estes mesmos flavorizantes aumentaram a frequência de ordenhas (18,2 vs. 17,5 /semana) e a produção de leite por vaca (24,1 vs. 23.3 kg/d), sem afetar o consumo de concentrado no box (2,3 kg/d) e as visitas ao portão de pré-seleção (40/semana). Arromas e sabores têm potencial para atuar positivamente sobre a frequência de ordenhas, mas o efeito parece ser inconsistente.

Uma consideração na oferta de concentrado no box de ordenha é a taxa de oferta normalmente alocada entre 200 a 400 g/min para garantir o consumo de todo o alimento ofertado e não tenha sobra consumível pela próxima vaca ordenhada. Assumindo um tempo médio de permanência no box de ordenha de 7 min, 4 ordenhas/d e uma taxa de consumo de

concentrado peletizado de 400 g/min o consumo máximo de concentrado seria 11,2 kg/d. Para ração farelada a taxa de consumo seria ao redor de 250 g/min.

Efeito da quantidade de concentrado no box de ordenha

Hare et al. (1998) não observaram efeito da quantidade de concentrado ofertado no box de ordenha (5,0 vs. 0,5 kg/d) e da densidade energética da PMR (47,3 vs. 31,3 % de concentrado) sobre a produção de leite (36,0 kg/d) e de sólidos do leite de vacas ordenhadas por robô de fluxo guiado do tipo feed-first. A permissão de ordenha adotada foi 9 e 10 kg de leite predito na glândula mamária ou 4 e 5 h da última ordenha para primíparas e multíparas, respectivamente. O mesmo concentrado foi ofertado nos dois tratamentos e as dietas formuladas foram nutricionalmente idênticas. O consumo de PMR (25,7 vs. 18,6 kg/d) e o consumo total de MS (26,3 vs. 23,6 kg/d) foram maiores nas vacas consumindo a PMR de alta energia e pouco concentrado no robô. O maior consumo diário foi associado a maiores tempos de ingestão (183 vs. 154 min/d), taxa de ingestão da PMR (0,14 vs. 0,12 kg/min), e tamanho de refeição (3,3 vs. 2,3 kg/refeição) em uma mesma frequência de refeições (7,0 /d) da PMR. A frequência de ordenhas não diferiu (2,9 /d).

O efeito da quantidade de concentrado consumido no robô (2,6 vs. 6,8 kg de MS/d) foi avaliado por Bach et al. (2007). Houve tendência (P = 0,07) das vacas com baixo concentrado no robô de terem maior consumo de matéria seca (21,7 vs. 21,0 kg/d). O consumo de PMR foi 19,0 e 14,2 kg/d. A produção de leite (32,5 kg/d) e os teores de gordura (3,65 %) e proteína (3,26%) não diferiram. A oferta de concentrado não afetou a frequência de ordenhas involuntárias (0,7/d), de voluntárias (2,0/d) e o total de ordenhas (2,7/d). A oferta de mais concentrado no box de ordenha não reduziu a necessidade de busca de vacas atrasadas e reduziu o consumo de matéria seca.

Menajovsky et al. (2018) avaliaram 2 ou 6 kg de concentrado no robô em arranjo fatorial com dieta com forragem alta (64 % da MS) ou baixa (54 % da MS) em robô de fluxo guiado feed-first. Não houve efeito de tratamento sobre o consumo de matéria seca (27,3 kg/d). Maior consumo de concentrado no robô induziu queda proporcional no consumo de PMR. As recebendo mais ração no robô produziram mais leite (39,2 vs. 37,9 kg/d), mas o leite tinha menor teor de gordura (3,51 vs. 3,64 %). A frequência de ordenhas (3,63 /d) e a duração da ordenha (7,21 min) não diferiram.

Paddick et al. (2019) avaliaram o efeito de 0,5, 2,0, 3,5 e 5,0 kg/d de pellets no box de ordenha e redução equivalente de pellets na PMR tornando a substituição isocalórica em robô com fluxo guiado feed-first. A maior oferta de concentrado no robô resultou em queda proporcional no consumo de PMR e o consumo total de matéria seca não variou (25.3 kg/d). Maior oferta de concentrado aumentou a variação diária (desvio padrão) no consumo de concentrado de 0,06 para 0,85 kg/d. Não houve efeito da estratégia alimentar sobre a produção de leite (37,4 kg/d), os teores de gordura (3,89 %) e proteína (3,29 %), a frequência diária de ordenhas por vaca (3,22 /d) e o tempo no box de ordenha (7,05 min). Menor quantidade de concentrado no robô reduziu a variabilidade diária no consumo de nutrientes e não afetou a frequência de visitas e a produtividade leiteira.

O efeito da quantidade de concentrado ofertada no box de ordenha foi avaliada por Schwanke et al. (2019) em robô de fluxo livre. Vacas programadas para recer 6 kg/d no robô tiveram maior consumo de matéria seca total que vacas recebendo 3 kg/d. A produção de leite (39,9 kg/d) e o teor de gordura (3,35%) e a duração da ordenha (6,5 min) não diferiram. Vacas recebendo 6 kg de concentrado no box de ordenha tiveram maior frequência de ordenhas (3,53

vs. 3,03 /d) e menor necessidade de busca de vacas atrasadas (0,143 /d vs. 0,513 /d), sugerindo que a quantidade de concentrado afetou o manejo da ordenha em fluxo livre.

Acesso a alimento no cocho

O manejo alimentar em ordenha robótica não pode induzir concentração de atividades no rebanho. Em sistemas de ordenha robotizada é importante ter alimento disponível continuamente no cocho para evitar picos de ingestão de alimento e uso desuniforme do equipamento de ordenha pelos animais. Fazendas com maior frequência diária de empurradas de alimento no cocho (12,8 ± 8,3 ×/d em média ± DP, variando de 0 a 32) produziram + 0,35 kg/d de leite para cada 5 empurradas extras em um levantamento de 197 fazendas canadenses adotando ordenha robótica (Matson et al., 2021). O uso de robô para empurradas de alimento também foi associado a maior produção de leite que empurradas manuais, sugerindo que o trabalho da máquina foi mais consistente que humanos (Castro et al., 2022).

Vacas leiteiras requerem rotina nas práticas de manejo e isso pode ser mais importante em sistema de ordenha robótica. Em sistemas convencionais de ordenha o produtor define a rotina do animal em função dos horários de ordenha, alimentação, limpeza, reposição de camas, etc. Na ordenha robótica o contato humano com o animal é menor e menos determinante do comportamento animal que em sistemas convencionais de ordenha e cada animal precisa definir sua própria rotina diária, já que as ordenhas precisam ocorrer individualmente e em horários distintos ao longo do dia. Ter alimento disponível continuamente e constância no manejo do rebanho entre dias e trabalhadores pode ser importante para que cada animal defina mais facilmente sua própria rotina de alimentação, repouso e ordenha.

Em ordenha robotizada a hierarquia social do rebanho pode ser mais importante do que em ordenhas convencionais porque as vacas precisam competir pelo acesso ao box de ordenha. Animais dominantes podem ter mais entradas no box de ordenha que submissos. Separar animais por paridade ou tamanho é frequentemente adotado em grandes rebanhos com ordenha robótica. Mudança de grupo com o avançar da lactação não é prática comum ou recomendável. Também é comum ter uma área separada para vacas recém paridas com acesso ao box de ordenha.

Qualidade de forragens

É muito citado que forragens de alta digestibilidade são muito importantes em sistema de ordenha robótica, mas não existem trabalhos avaliando o efeito da qualidade da forragem em robôs de ordenha. Assume-se que forragens mais digestíveis seriam retidas por menos tempo no rúmen por terem maior taxa de degradação e passagem da fibra do que forragens de baixa digestibilidade. A dieta de menor enchimento ruminal poderia induzir maior número de refeições por dia e reduzir o tamanho médio da refeição (kg), o que seria desejável para obter boa saúde ruminal e maior uniformidade ao longo do dia no comportamento ingestivo e de ordenhas do rebanho.

Conclusões

Aumento na oferta de nutrientes no box de ordenha e menor aporte de nutrientes pela PMR reduz a precisão nutricional em ordenha robótica por induzir maior variabilidade no consumo e na sobra de concentrado. Levantamentos feitos em fazendas sugerem que sistemas em fluxo guiado usam menos ração no box de ordenha que sistemas em fluxo livre. Em fluxo guiado a frequência de ordenhas por vaca parece ser menos dependente da quantidade e qualidade da ração ofertada no robô. Sistemas em fluxo livre parecem ter maior potencial de resposta a variação no concentrado ofertado no robô do que sistemas em fluxo guiado.

Mais trabalhos precisam ser feitos para validar cientificamente recomendações de quantidade de concentrado que maximize a precisão nutricional e ao mesmo tempo mantenha frequência de ordenhas adequada, distribuídas ao longo do dia e com baixa proporção de ordenhas involuntárias em ordenha robótica individual voluntária. Parece ser correto assumir que a alocação de alimentos em ordenha robótica precisa considerar o sistema de fluxo adotado.

Referências

Bach, A., C. Iglesias, S. Calsamiglia, M. Devant. 2007. Effect of Amount of Concentrate Offered in Automatic Milking Systems on Milking Frequency, Feeding Behavior, and Milk Production of Dairy Cattle Consuming High Amounts of Corn Silage. J. Dairy Sci. 90:5409-5055.

Bach, A., M. Devant, C. Iglesias, A. Ferrer. 2009. Forced traffic in automatic milking systems effectively reduces the need to get cows, but alters eating behavior and does not improve milk yield of dairy cattle. J. Dairy Sci. 92:1272-1280.

Bach, A., V. Cabrera. 2017. Robotic milking: Feeding strategies and economic returns. J. Dairy Sci. 100:7720-7728.

Castro, A., J.M. Pereira, C. Amiama. J. Bueno. 2012. Estimating efficiency in automatic milking systems, J. Dairy Sci., 95:929-936.

Castro, M.M.D., R.D. Matson, D.E. Santschi, M.I. Marcondes, T.J. DeVries. 2021. Association of housing and management practices with milk yield, milk composition, and fatty acid profile, predicted using Fourier transform mid-infrared spectroscopy, in farms with automated milking systems, J. Dairy Sci., 105:5097-5108.

Endres, M. and J. Salfer. 2017. Feeding practices for dairy cows milked with robotic milking systems. Peer-reviewed eXtension article. DAIReXNET Feature Article Series. Accessed Oct. 01, 2023. https://dairy-cattle.extension.org/feeding-practices-for-dairy-cows-milked-with-robotic-milking-systems/

Faverdin P., J.P. Dulphy, J.B. Coulon, R. Vérité, J.P. Garel, J. Rouel, B. Marquis. 1991. Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. Livest. Prod. Sci., 27:137-156.

Hare, K., T.J. DeVries, K.S. Schwartkopf-Genswein, and G.B. Penner. 2018. Does the location of concentrate provision affect voluntary visits, and milk and milk component yield for cows in an automated milking system? Can. J. Anim. Sci., 98: 399-404.

Henriksen, J.C.S., M.R. Weisbjerg, P. Løvendahl, T. Kristensen, L. Munksgaard. 2019. Effects of an individual cow concentrate strategy on production and behavior. J. Dairy Sci., 102:2155-2172.

Johnson, J.A., K.S. Paddick, M. Gardner, G.B. Penner. 2022. Comparing steam-flaked and pelleted barley grain in a feed-first guided-flow automated milking system for Holstein cows. J. Dairy Sci., 105:221-230.

Kertz, A. F., B.K. Darcy, L.R. Prewitt. 1981. Eating rate of lactating cows fed four physical forms of the same grain ration. J. Dairy Sci. 64:2388–2391.

Madsen, J., M.R. Weisbjerg, T. Hvelplund. 2010. Concentrate composition for automatic milking systems-Effect on milking frequency. Livest. Sci. 127:45-50.

Matson, R.D., M.T.M. King, T.F. Duffield, D.E. Santschi, K. Orsel, E.A. Pajor, G.B. Penner, T. Mutsvangwa, T.J. DeVries. 2021. Benchmarking of farms with automated milking systems in Canada and associations with milk production and quality. J. Dairy Sci. 104:7971-7983.

Menajovsky, S.B., C.E. Walpole, T.J. DeVries, K.S. Schwartzkopf-Genswein, M.E. Walpole, G.B. Penner. 2018. The effect of the forage-to-concentrate ratio of the partial mixed ration and the quantity of concentrate in an automatic milking system for lactating Holstein cows. J. Dairy Sci., 101:9941-9953.

Migliorati, L., M. Speroni, C. Stelletta, G. Pirlo. 2009. Influence of feeding flavouring-appetizing substances on activity of cows in an automatic milking system. Ital. J. Anim. Sci., 8:417-419.

Migliorati, L., M. Speroni, S. Lolli, F. Calza. 2005. Effect of concentrate feeding on milking frequency and milk yield in an automatic milking system. Ital. J. Anim. Sci. 4(Suppl. 2):221–223.

Paddick, K.S., T.J. DeVries, K. Schwartzkopf-Genswein, M.A. Steele, M.E. Walpole, G.B. Penner. 2019. Effect of the amount of concentrate offered in an automated milking system on dry matter intake, milk yield, milk composition, ruminal digestion, and behav- ior of primiparous Holstein cows fed isocaloric diets. J. Dairy Sci. 102:2173-2187.

Rodenburg, J., N. Lyons, K. Kerrisk. 2017. Dairy systems with automatic milking (robots). Large Dairy Herd Management,127-142.

Salfer, J A., J.M. Siewert, M.I. Endres. 2018. Housing, management characteristics, and factors associated with lameness, hock lesion, and hygiene of lactating dairy cattle on Upper Midwest United States dairy farms using automatic milking systems. J. Dairy Sci., 101:8586-8594.

Salfer, J.A., K. Minegishi, W. Lazarus, E. Berning, M.I. Endres. 2017. Finances and returns for robotic dairies. J. Dairy Sci. 100:7739-7749.

Schwanke, A.J., K.M. Dancy, T. Didry, G.B. Penner, T.J. DeVries, 2019. Effects of concentrate location on the behavior and production of dairy cows milked in a free-traffic automated milking system. J. Dairy Sci., 102:9827-9841.

Tremblay, M., J.P. Hess, B.M. Christenson, K.K. Mcintyre, B. Smink, A.J. Van Der Kamp, L.G. De Jong, D. Döpfer. 2016. Factors associated with increased milk production for automatic milking systems. J. Dairy Sci., 99:3824-3837.

Wilde, C. J., C.H. Knight. 1989. Metabolic adaptations in mammary gland during the declining phase of lactation. J. Dairy Sci., 72:1679-1692.

Zadinello, L.G., J.E. Luza, M.N. Pereira, T. Bordin. 2023. Flow systems in robotic milking at Rio Grande do Sul State, Brazil. Peer Review. 5(23):76–84.