ALEXANDRE MENEZES DIAS
GERALDO TADEU DOS SANTOS
LUÍS CARLOS VINHAS ÍTAVO
GELSON DOS SANTOS DIFANTE
(ORGANIZADORES)

PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE E CARNE NO CERRADO

UFMS

Publicar Editora
2020

ALEXANDRE MENEZES DIAS
GERALDO TADEU DOS SANTOS
LUÍS CARLOS VINHAS ÍTAVO
GELSON DOS SANTOS DIFANTE
(ORGANIZADORES)

PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE E CARNE NO CERRADO

UFMS

Publicar Editora
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

Reitor

Marcelo Augusto Santos Turine

Vice-Reitora

Camila Celeste Brandão Ferreira Ítavo

Diretor da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Fabrício de Oliveira Frazílio

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

Luís Carlos Vinhas Ítavo

Publicar Editora
2020

2020 by Editora e-Publicar
Copyright © Editora e-Publicar
Copyright do Texto © 2020 Os autores
Copyright da Edição © 2020 Editora e-Publicar
Direitos para esta edição cedidos à Editora e-Publicar pelos autores.

Editora Chefe
Patrícia Gonçalves de Freitas
Editor
Roger Goulart Mello
Diagramação
Roger Goulart Mello
Projeto gráfico e Edição de Arte
Patrícia Gonçalves de Freitas
Revisão
Os Autores

Todo o conteúdo dos artigos, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais. A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial
Prof. Dr. Alexandre Menezes Dias – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul;
Prof. Dr. Geraldo Tadeu dos Santos – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul;
Prof. Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul;
Prof. Dr. João Virgínio Emerenciano Neto – Universidade Federal do Vale do São Francisco – Petrolina – PE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P466 Perspectivas e desafios para a produção de leite e carne no cerrado [recurso eletrônico] / Organizadores Alexandre Menezes Dias... [et al.]. – Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2020.
238 p.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobar Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-87207-57-5

1. Carne de boi – Produção. 2. Leite – Produção. I. Dias, Alexandre Menezes, 1979-. II. Santos, Geraldo Tadeu dos, 1950-. III. Ítavo, Luís Carlos Vinhas, 1970-. IV. Difante, Gelson Dos Santos, 1971-.

CDD 664.92

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Editora e-Publicar
Rio de Janeiro – RJ – Brasil
contato@editorapublicar.com.br
www.editorapublicar.com.br

PREFÁCIO

O livro Perspectivas e Desafios para a produção de leite e carne no Cerrado, para um futuro sustentável foi escrito com objetivo levar aos leitores tecnologias e informações consolidadas e que visa agregar conhecimentos aos Técnicos, Produtores e Pós-Graduandos da área de Ciências Agrárias destas duas importantes cadeias de produção do Estado de Mato Grosso do Sul.

No tocante a Cadeia Produtiva do Leite no MS, constata-se que o Estado é ainda pouco expressivo, mas que tem um potencial enorme para crescimento e diante de um cenário de intensas e constantes mudanças sanitárias e tecnológicas faz-se necessário agir com muita cautela e profissionalismo. Há necessidades dos Sistemas de Produção de Leite (SPL) existentes e ao mesmo tempo, ao se estabelecer novos SPL, adequá-los as instruções normativas (IN) determinadas pelo MAPA através das IN-76 e IN-77, 26 de novembro de 2018, bem como dotá-los de tecnologias competitivas e sustentáveis. Os assuntos abordados para esta cadeia estão ligados a qualidade do leite, nutrição e alimentação (silagens, nitrato, etc...), Estratégias de alimentação de vacas leiteiras confinadas em sistemas *Free-stall* e *Compost barn*, antioxidantes e gordura na dieta de vacas leiteiras: O exemplo da linhaça e reprodução das vacas.

Com relação a Cadeia Produtiva da Carne o MS se destaca como um dos estados mais expressivo do país. Embora, o Estado do MS tenha nessa cadeia produtiva mais expressão do que na cadeia produtiva do leite, existem ainda muitos gargalos a serem sanados. O MS tem nesse segmento um dos mais importante das cadeias produtivas do agronegócio. Os temas relativos a este campo foram todos voltados a nutrição e alimentação de animais confinados, dieta de alto grão, exigências de fibra para animais confinados, presente e futuro de inoculantes microbianos em silagens.

Alguns temas foram abrangentes para ambas as cadeias de produção: Estratégias de manejo do pastejo para redução de impactos ambientais e Estratégias na suplementação de bovinos em pastagens tropiciais.

Desta forma, este Livro aporta conhecimentos para preencher as lacunas existentes, tanto científicas, como práticas tecnológicas em duas Cadeias Produtivas que são de importância chave para o desenvolvimento do Estado de MS. Precisamos centrar focos em promover articulação entre os pecuaristas, cooperativas, associações, sindicatos, Senar-MS e instituições parceiras como as Universidades tendo o Governo do Estado como idealizador e promotor deste desenvolvimento.

Os Organizadores

SUMÁRIO

PREFÁCIO.....05

CAPÍTULO 1 – DESAFIOS E OPORTUNIDADES DO USO DE DIETAS DE ALTO GRÃO PARA BOVINOS CONFINADOS.....09

Daniel de Paula Sousa
Luciano da Silva Cabral
Pedro Ivo José Lopes da Rosa e Silva
Yasmin Rodrigues Vilas Boas e Silva
Henrique Castrillon Leiva Rolim
Waldir de Castro Dias Júnior

CAPÍTULO 2 – EXIGÊNCIA DE FIBRA PARA BOVINOS DE CORTE EM TERMINAÇÃO.....40

João L. P. Daniel
Antonio V. I. Bueno
Francisco A. Piran Filho
Sillas M. S. Silva
Clóves C. Jobim

CAPÍTULO 3 – THE PRESENT AND FUTURE OF MICROBIAL INOCULANTS FOR SILAGES 67

Lucas Mari
Pascal Drouin
Renato Schmidt

CAPÍTULO 4 – ESTRATÉGIAS DE MANEJO DO PASTEJO PAR REDUÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....95

Marília Barbosa Chiavegato
Guilhermo Francklin de Souza Congio
Sila Carneiro da Silva

CAPÍTULO 5 – ESTRATÉGIAS NA SUPLEMENTAÇÃO DE BOVINOS EM PASTAGENS TROPICAIS.....117

Fabiano Ferreira da Silva
Jacqueline Firmino de Sá
Luís Carlos Vinhas Ítavo
Alexandre Menezes Dias
Fernando Rossa

CAPÍTULO 6 – ESTRATÉGIAS DE ALIMENTAÇÃO DE VACAS LEITERAS CONFINADAS EM SISTEMAS FREE-STALL E COMPOST BARN……148

Polyana Pizzi Rotta
Carlos Henrique Paiva Camisa Nova
Vinicius de Sena Sales Silva
Felipe de Paiva Provazi

CAPÍTULO 7 – ANTIOXIDANTES AND FAT FOR THE DAIRY COW: THE EXAMPLE OF FLAX……162

Hélène V. Petit

CAPÍTULO 8 – LEITE BOVINO: COMPOSIÇÃO QUÍMICA BÁSICA, ÁCIDOS GRAXOS, ANTIOXIDANTES, CÉLULAS SOMÁTICAS E IODO…….....175

Jakeline Fernandes Cabral
Francilaine Eloise De Marchi
Ferenc Istvan Bánkuti
Jesus Alberto Cardoso Osório
Micheli Regiani Sippert
Jean Carlos Steinmacher Lourenço
Marcel Moreira de Brito
Luís Carlos Vinhas Ítavo
Geraldo Tadeu dos Santos

CAPÍTULO 9 – EFEITO DO NITRATO E DO NITRITO NA PRODUÇÃO DE LEITE E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE ANIMAL E HUMANA…….....201

Monique Figueiredo
Kleves Vieira de Almeida
Francilaine Eloise De Marchi
Ranulfo Combuca da Silva Júnior
Magali Soares dos Santos Pozza
Gelson dos Santos Difante
Geraldo Tadeu dos Santos

CAPÍTULO 10 – A DISTOCIA E SEU IMPACTO SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO E REPRODUTIVO DE BOVINOS LEITEIROS……219

Jean Carlos Steinmacher Lourenço
Alexandre Menezes Dias
Karoline Guimarães Yamada
Geraldo Tadeu dos Santos

SOBRE OS ORGANIZADORES……235

Capítulo 1

Desafios e oportunidades do uso de dietas de alto grão para bovinos confinados

Daniel de Paula Sousa
Luciano da Silva Cabral
Pedro Ivo José Lopes da Rosa e Silva
Yasmin Rodrigues Vilas Boas e Silva
Henrique Castrillon Leiva Rolim
Waldir de Castro dias Junior

Universidade Federal de Mato Grosso
Faculdade de Medicina Veterinária

Resumo
Volumosos são fornecidos para ruminantes para manter saúde ruminal, entretanto, os menores valores de energia líquida reduzem sua inclusão na terminação. É crescente a demanda por dietas chamadas de alto grão, apesar dos desafios envolvidos nesta técnica. Maiores proporções de amido intensivamente processados diminuem o consumo de matéria seca. O amido aumenta a absorção de propionato que age como sinalizador no fígado para interromper refeições. A inclusão de fibras de forragens ou não forragem como polpa cítrica, casca de soja ou resíduos da indústria de etanol dilui o amido e reduz as taxas de fermentação, reduzindo a produção de propionato, com efeitos benéficos sobre aumento de consumo e desempenho dos animais. Outro modo de reduzir volumosos é fornecer o milho sem processar. O milho inteiro tem taxas lentas e menor digestibilidade ruminal do amido, o que reduz distúrbios digestivos. Estas e outras metodologias serão discutidas, na busca por fornecer dados confiáveis para, de forma eficaz, reduzir a probabilidade de erros no uso dietas com alta concentração de carboidratos não fibrosos.

Introdução

A utilização do confinamento vem se destacando como um sistema de fundamental importância na produção de bovinos de corte, em especial na fase de terminação, isso se deve a diminuição da idade ao abate, maximização do uso da área, aumento das taxas de ganho, melhoria das características de carcaça e qualidade da carne, e maior giro de capital na propriedade.

Grande parte dos custos da engorda em confinamento são referentes à alimentação. Dessa forma, a busca pela máxima eficiência durante a terminação de bovinos confinados é de

extrema importância. De maneira geral, grãos de cereais representam a principal fonte de energia em rações de bovinos de corte terminados em confinamento. Dietas com teores mais altos de grãos propiciam maiores taxas de ganho de peso, melhor conversão alimentar, carcaças com melhor acabamento e de maior rendimento e menores custos operacionais no confinamento, contribuindo por tornar a atividade mais rentável (ARRIGONI et al., 2013).

Deve ser destacado o aumento na utilização de co-produtos da indústria alimentícia, o que possibilita uma infinidade de opções na escolha dos ingredientes de determinada dieta. Somando-se a questões de sustentabilidade, em que sua utilização colabora como um dreno de potenciais poluentes ao meio ambiente, também diminui a competição com alimentos utilizados na alimentação humana, o que reduz os custos de produção.

De acordo com Oliveira e Millen (2014), a inclusão de volumosos nas dietas de bovinos confinados vem reduzindo durante os anos. Os volumosos são comumente fornecidos para animais ruminantes para manter a saúde ruminal, no entanto, devido a menores valores de energia líquida para ganho e digestibilidade (MERTENS, 1997), sua inclusão vem sendo reduzida ao mínimo possível na fase de terminação.

Outro motivo para redução do uso de volumosos nos confinamentos brasileiros refere-se ao grande emprego de mão-de-obra e necessidade da aquisição de um número expressivo de equipamentos. Normalmente, as fontes volumosas em confinamento necessitam da reserva de área para plantio, da aquisição de plantadeiras e colheitadeiras e o emprego de métodos de conservação de alimentos. Além disso, os maiores teores de umidade dos alimentos volumosos, quando comparado as fontes de grãos, obrigam o aumento nos custos do transporte dos alimentos ao cocho e de toda a dieta.

Nesse sentido é crescente a demanda por dietas chamadas de alto grão, que reduzam o quanto possível a utilização de fontes volumosas em sua composição, apesar dos grandes desafios envolvidos na utilização destas técnicas.

A alimentação prolongada de dietas de alta densidade energéica (altas concentrações de amido), extensivamente processadas (pequeno tamanho de partícula) e de alta fermentação ruminal, aumenta o risco de distúrbios digestivos e do desempenho dos animais em arraçoamento. Este efeito é marcante em animais das raças zebuínas, de maior incidência de disturbios digestivos (OLBRICH Jr., 1996) e menores digestibilidades de amido comparado a raças taurinas (MOORE et al., 1975).

Disturbios digestivos comprometem a manutenção do ambiente ruminal “sadio” e a manutenção do pH ruminal acima de 5,8, a maximização da digestão da fibra e dos demais nutrientes da dieta. A reduzida proporção de fibra efetiva combinada a grande concentração de carboidratos altamente fermentáveis no rúmen, aumentam o risco de acidose sub-aguda (SARA), caracterizada por quedas repetitivas no pH a valores menores do que 5,8.

O objetivo deste texto é discutir os desafios e oportunidades de reduzir a utilização de volumosos na dieta de animais confinados e prover novas informações para a formulações de dietas e manejo alimentar.

Acidose ruminal em bovinos

O rúmen é um ambiente anaeróbico, com pH entre 5,5 e 7,0, em que a microbiota coexiste a partir da digestão de carboidratos e proteínas ingeridos pelo animal (NIEDERMAN et al., 1990). A temperatura do rúmen é mantida em média a 39°C e o potencial redox entre 250 e 450 mV, o que indica um ambiente reduzido e com ausência de oxigênio. A produção de ácidos graxos voláteis e o intenso fluxo de saliva normalmente garantem tamponamento do ambiente ruminal (HOOVER; MILLER, 1991) e valores de pH mais próximos da neutralidade.

O controle da homeostase do pH ruminal determina não apenas a diversidade do ecossistema ruminal, como também a saúde ruminal (ASCHENBACH, 2011). Disturbios alcalinos podem ocorrer pelo excesso do fornecimento de proteína (LOSTE et al., 2005), enquanto desvios acidóticos são extensivamente reportados, relacionados a sistemas correntes intensivos de produção, baseados na ingestão de grandes quantidades de concentrados.

Dietas com maiores níveis de concentrado, quando fornecidas para animais não adaptados, propiciam o aparecimento da acidose sub-clínica ou clínica (KLEEN et al., 2003). A acidose aguda está relacionada a alta produção e baixa absorção de ácido lático, enquanto que, a acidose subclínica ocorre quando a produção de ácidos graxos voláteis (AGV) pela fermentação ruminal, excede a capacidade de tamponamento da saliva e de absorção pelo rúmen, reduzindo o pH ruminal abaixo de níveis considerados normais por períodos variados (BEAUCHEMIN, 2005).

Diversos autores têm utilizados valores de pH ruminal para definir acidose sub-aguda (excesso de ácidos graxos de cadeia curta – AGCC). Os valores considerados são 5,5 (COOPER; KLOPFENSTEIN, 1996), 5,8 (KOEING et al., 2002) ou até mesmo 6,0 (BAUER et al., 1995). Estes valores estão relacionados a vulnerabilidade do ecossistema ruminal e do epitélio ruminal. Está estabelecido que o fornecimento de amido e a redução prolongada do pH abaixo de 6,0 facilita grandemente o crescimento de bactérias amilolíticas (MACKIE; GILCHRIST, 1979) enquanto que, bactérias celulolícas e a digestibilidade da FDN são reduzidos (RUSSELL; WILSON, 1996). Adicionalmente, há a proliferaçao exarcebada de bactérias utilizadoras de lactato em pH de 5,8 (MACKIE; GILCHRIST, 1979).

Estes eventos estão ligados a enormes mudanças no padrão de fermentaçao e incrementos na proporção de propionato e as vezes de butirato (BANNINK et al., 2008). Baseados na mudança microbiana e em sua atividade, o primeiro limiar, em que se define acidose sub-aguda está ao redor de 5,8. Este limiar coincide com a primeira vulnerabilidade, relacionado ao epitélio ruminal, devido as inflamações que ocorrem quando o pH está abaixo de 5,6 por mais de 1 hora (GOZHO et al., 2005).

O segundo limiar ocorre quando pH decresce a valores menores do que 5,0. Está relacionado a morte de protozoários ruminais e a liberação de enormes quantidades de ácido lático, que parece estar atribuído ao crescimento descontrolado de *Streptococcus bovis* (GILL et al., 2000). Este segundo limiar é coincidente com outra vulnerabilidade apresentada pelo epitélio ruminal, com imediato e persistente comprometimento do transporte e funções de proteção do epitélio que ocorrem quando o pH ruminal atinge 5,1 (ASCHENBACH; GÄBEL, 2000).

Valores de pH ruminal de 5,2 ou 5,8 como limiares para acidose aguda ou sub-aguda somente devem ser levados em consideração quando períodos prologandos ou repetitivos ocorrem. Como o consumo e a fermentação variam durante o dia, o pH tambem vária grandemente, e pode diferir entre animais e em dias consecutivos. Assim, apenas medidas contínuas de pH em períodos extensos podem evidenciar de forma adequada o balanço ácido-base.

Regulação do pH

A produção dos ácidos graxos de cadeia curta

O controle do pH tem um papel primordial na manutenção de uma fermentação ruminal equilibrada. A manutenção do pH ruminal dependente de quatro fatores, da produção de AGV no rúmen, da capacidade de tamponamento do meio, da absorção pelo epitélio ruminal ou saída do rúmen pelo fluxo através do trato gastro intestinal (CALSAMIGLIA; FERRET, 2002).

A composição da dieta e o nível de ingestão, particularmente o consumo de matéria orgânica fermentável no rúmen, afeta a proporção e quantidade produzida de AGCC no rúmen (LONCKE et al., 2009). A maior proporção de AGCC são acético, propiônico e butírico, com proporção molar entre 45 a 70%, 15 a 40% e 5 a 20%, respectivamente (PENNER et al., 2009). Estes 3 compostos geralmente representam >95% de todos os ácidos da fermentação, com concentrações totais entre 60 a 150 mmol/L no fluido ruminal (BERGMAN, 1990).

Baseados em métodos de isótopos diluídos, as taxas de produção de AGCC em vacas de leite, com relações concentrado:feno de 50:40 e 90:10 foram entre 79,8 e 90 mol/ dia (SUTTON et al., 2003). Loncke et al. (2009), baseado em uma méta-análise de aparecimento líquido de ácidos orgânicos no sistema porta hepático, observou aumento na produção de AGCC em 5,93 mmol/ g de máteria orgânica fermentável no rúmen.

Os AGCC são absorvidos passiva ou ativamente pela parede ruminal. A taxa de absorção depende da concentração, do pK_a e do tamanho da molécula (HOOVER; MILLER, 1991). Quando na forma ionizada os AGCC são absorvidos ativamente, requerendo a utilização de energia e a secreção de bicarbonato no fluido ruminal, por outro lado, quando não ionizados os AGCC são absorvidos por difusão passiva.

O pK_a dos AGCC é aproximadamente 4,8 e, à medida que o pH do rúmen se aproxima deste valor, aumenta a proporção de AGCC na forma não ionizada, absorvida por difusão passiva a taxas maiores. A proporção de AGCC absorvidos na forma livre é de aproximadamente 0,6%, 6% e 39% a um pH ruminal de 7, 6 e 5, respectivamente, (ENEMARK et al., 2004)..

Dentro da variação fisiológica normal do pH ruminal, a produção de 1 mol de AGCC está associado a liberação de 1 mol de H^+. Embora cada AGCC possa dissociar para gerar 1 H^+, o tipo de AGCC e a quantidade de ácidos produzidos pode variar por hexose fermentada. A produção de ácido butírico pode resultar em menor quantidade de ácido produzido comparado a acético e propiônico. Estratégias para quantificar a produção individual de cada

AGCC é necessária para quantificar a liberação de H^+ e o entendimento do balanço ácido-base no rúmen (ASCHENBACH et al., 2011).

A produção de grandes quantidades de ácidos orgânicos, especialmente AGCC, sob dietas contendo alta densidade energética é um resultado nutricionalmente desejável. No entanto, podem surgir problemas devido às grandes quantidades de prótons que esses ácidos fracos liberam quando dissociados no ambiente ruminal (GÄBEL; ASCHENBACH, 2007). O equilíbrio da dissociação é característico do valor de pK_a [onde pK_a é $-\log(K_a)$ e K_a é a constante de dissociação ácida. Ao considerar pK_a= 4,8 para os AGCC, é calculado que, a partir da equação de Henderson-Hasselbalch, 1, 10, 50, 90 e 99% dos AGCC estão na forma ionizada com liberação de prótons H^+ em pH de 2,8, 3,8. 4,8. 5,8 e 6,8, respectivamente.

A partir do cálculo acima, de acordo com Henderson-Hasselbalch, também é evidente que a maior parte da capacidade de tamponamento (ou seja, 80%) reside na faixa de pH de $pK_a \pm 1$. No entanto, o sistema tampão dos ácidos orgânicos traz como problema a estabilização efetiva do pH ruminal em torno de 4,8. Este é o cenário típico de acidose aguda em que as concentrações de AGCC e lactato aumentam (KRAUSE; OETZEL, 2006). Concentrações de AGCC frequentemente aumentam acima de 150 mmol / L com uma relação negativa entre a concentração ruminal de AGCC e o pH ruminal em situações de acidose sub-aguda (KOLVER; De VETH, 2002).

Situações desafiadoras ocorrem quando dietas com altos teores de concentrados são fornecidas e a mudança da fermentação ruminal pode de forma gradual substituir os AGCC por lactato. O lactato tem um valor de pK_a de 3,86 (Tabela 1) e, portanto, estabiliza o pH cerca de 1 unidade a menos que o sistema de tamponamento dos AGCC (STONE, 2004). Ao contrário dos AGCC, o lactato é absorvido muito lentamente pelo rúmen e não requer aumento nas taxas de produção para que haja aumento das concentrações intraruminais. Foi sugerido acúmulos maiores ou iguais a 5 mmol / L de lactato como limiar para predispor à acidose ruminal aguda (NOCEK, 1997).

Como os ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação inevitavelmente tamponam o conteúdo ruminal a baixos valores de pH, deve ser fornecido bases tampões adicionais ao rúmen para aumentar o pH em uma faixa compatível com a vida microbiana e do hospedeiro.

Tamponamento via saliva

Um bovino adulto secreta cerca de 100 a 200 litros de saliva por dia. A saliva dos ruminantes possui pH de aproximadamente 8,2 e contém 20 a 30 mmol/ L de fosfato e 120 a 160 mmol/ L bicarbonato que lhe conferem a capacidade tamponante, além de mucinas que garantem a viscosidade do fluido rumenal mantendo a tensão superficial normal, impedindo a formação de bolhas.

O total de fosfato secretado no rúmen em vacas lactantes é de aproximadamente 6 mol/ dia, em picos de secreção salivar de aproximadamente 250 L/dia. Cerca de 70% do líquido ruminal é proveniente da secreção salivar (MAEKAWA et al., 2002).

O tampão $HPO_4^{2-}/H2PO_4^-$ tem pK_a de 7,21, o que significa que 80% da capacidade tampão reside em uma variação de pH entre 6,21 a 8,21 ($pK_a \pm 1$). Como o pH da saliva se

encontra próximo a 8,2 ou menos, ≥80% da capacidade de tamponamento do fosfato é utilizada quando há a mistura da saliva ao conteúdo ruminal.

A maior capacidade de tamponamento salivar está relacionado ao HCO_3^-, aproximadamente 120 mmol/ L ou 30 mol/ dia. A capacidade de tamponamento não está simplismente relacionado ao equilíbrio HCO_3^-/H_2CO_3 (pK_a = 3.8; Tabela 1) porque faz parte do que chamamos de sistema "double-open" no rúmen.

Neste sistema há o aumento da eficiência de tamponamento do HCO_3^- pela conversão do H_2CO_3 em H_2O e CO_2 e do equilibrio com o CO_2 dissolvido no líquido ruminal. Como apenas 0,5% do CO_2 dissolvido combina com água para formar H_2CO_3 e grande parte do CO_2 escapa por eructação ou é absorvido, há grande eficiência de tamponamento pela saliva. O pK_a' efetivo resultante do equilibrio entre HCO_3^- e o CO_2 dissolvido é de 6,1 (Tabela 1). Uma estimativa grosseira indica que 90% do HCO_3^- é convertido a CO_2 neste sistema "double-open" no rúmen. Assim, aproximadamente 27 mol/ dia de prótons são tamponados ou os tampões fosfato e bicarbonato correspondem ao tamponamento de 40% dos prótons (ALLEN, 1997).

Tabela 1. Sistemas de tamponamento do rúmen[1]

Sistema tampão	pk_a
$H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$ (sistema fechado – ausência de água)	3,80
$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$ (sistema aberto em solução aquosa)	$pk_a' = 6,1$
$H_2PO_4- \leftrightarrow HPO_4^{2-} + H^+$	7,21
H-Acetate ↔ Acetate + H^+	4,75
H-Propionate ↔ Propionate + H^+	4,87
H-Butyrate ↔ Butyrate + H^+	4,82
H-Lactate ↔ Lactate + H^+	3,86
$NH_3 + H^+ \leftrightarrow NH_4+$	9,21

[1] Fonte: Adaptado de Aschenbach (2009).

A taxa de alimentação é importante na determinação da capacidade tamponante, pois a secreção de saliva é estimulada pela mastigação e ruminação. O tempo gasto para mastigação e ruminação dos alimentos concentrados, com baixos teores de fibra, é menor comparado aos alimentos volumosos, o que contribui para uma menor secreção de saliva (VAN SOEST, 1994). O estímulo à ruminação, exercido pelo roçar de fibras longas contidas no alimento na parede do rúmen, é de extrema importância para regulação do pH ruminal pois, durante este processo, ocorre uma secreção de saliva 2 a 3 vezes maior do que durante a ingestão ou repouso do animal (DIRKSEN, 1981) e permite a manutenção do ambiente ruminal em pH maior do que 5,8.

A capacidade total de tamponamento do rúmen não depende unicamente da saliva, mas também das propriedades do alimento. A fermentabilidade ruminal do alimento, o manejo alimentar, bem como, utilização de proteínas, uréia e nitrogênio não- protéico (NNP)

contido nas forragens, contribuem para o tamponamento do rúmen juntamente com a saliva (VAN SOEST, 1994). Alimentos como silagens contendo grande quantidade de ácido lático e butírico, podem afetar significativamente a acidez do conteúdo ruminal (ENEMARK et al., 2004).

Em média, ruminantes passam cerca de 4,7 horas por dia em alimentação, variando de 2,3 a 8,5 horas (BEAUCHEMIN, 2018). O tempo gasto com a alimentação é altamente variável, pois é afetado pelo manejo alimentar, composição da dieta e variabilidade inerente entre os animais. Entretanto, os principais fatores que afetam o tempo de alimentação são o tamanho de partícula da ração e manejo alimentar. Partículas longas, definidas como partículas retidas na peneira de 19 mm do Penn State Particle Separator (PSPS), diminuem a taxa de ingestão. O teor de amido e proteína bruta (constituintes dos alimentos concentrados) diminui o tempo de ingestão, pelo aumento na taxa de ingestão, comparado as forragens. A maior atividade de alimentação ocorre tipicamente após o fornecimento, portanto, a entrega frequente de ração tende a promover a atividade alimentar e uma distribuição mais uniforme do alimento ao longo do dia, o que ajuda a estabilizar o pH do rúmen.

O tempo de ruminação também é altamente variável, média de 7,2 horas por dia, com variação entre 3,9 a 10,2 horas (BEAUCHEMIN, 2018). O tempo de ruminação é influenciado principalmente pelo consumo de matéria seca, pela ingestão de NDF de forragem e pelo tamanho de partícula da dieta (partículas retidas em peneiras de 8 e 19 mm) e, em menor grau, pela fragilidade (dureza) do alimento que confere resistência à mastigação e digestibilidade da fibra.

O aumento do fluxo de bicarbonato no rúmen é observado através do aumento do tempo de mastigação que promove maior secreção da saliva (Figura 1). Embora o aumento do tempo de mastigação ajude a aumentar o fluxo de bicarbonato no rúmen, manter o rúmen saudável precisa considerar o aumento do tamponamento total do rúmen e a produção e a absorção de AGCC pelo epitélio ruminal.

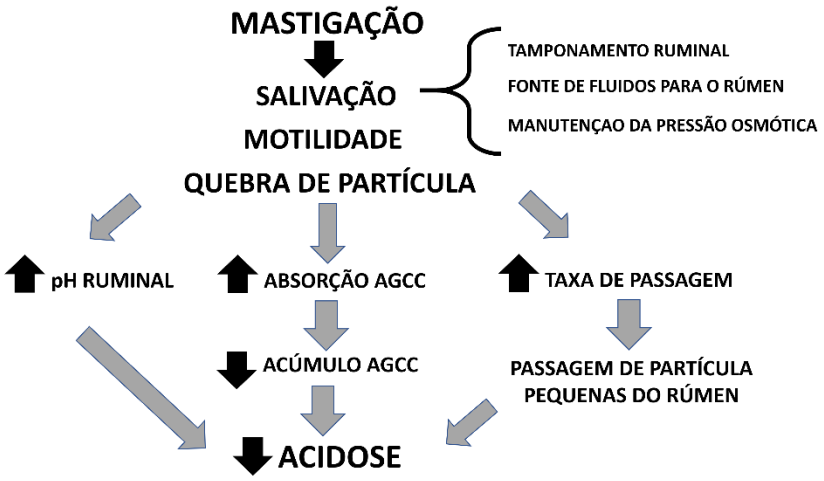


Figura 1. Papel do consumo e da ruminação no controle da acidose

Tamponamento pela remoção de prótons

Deve ser destacado a importância do epitélio ruminal como agente tamponante do conteúdo ruminal, neste caso, a ação foi reconhecida muito posteriormente a importância da saliva. O epitélio ruminal secreta grandes quantidades de HCO_3^- e remove bases tampão protonadas com um baixo pK_a (AGVs na forma ionizada). 50% a 85% de todos os AGCC produzidos no rúmen são absorvidos diretamente na parede do rúmen-retículo. E apenas 10% a 15% na parte distal. Não há relação linear entre energia ingerida ou taxas de produção de AGCC e taxa de passagem de AGCC para fora do rúmen. O aumento de ácidos no rúmen é contrabalanceado pelo aumento da taxa de absorção de ácidos a valores menores de pH e menor taxa de passagem (DIJKSTRA et al., 1993). No entanto o consumo de dietas com muita energia pode aumentar a taxa de passagem de ácidos para o omaso devido a redução da motilidade ruminal, consequência do menor pH ruminal (ALLEN et al., 2006).

A taxa de passagem de AGCC não é igual a passagem de prótons para os compartimentos distais. Allen (1997) estima que a remoção de prótons via AGCC na forma não ionizada e de tampões ($H_2PO_4^-$, NH_4^+) é de aproximadamente 15%. Como o tamponamento pela saliva é de aproximadamente 40%, isto mostra a grande importância da absorção pelo epitélio em manter o pH ruminal.

Trabalhos iniciais já mostraram a importância e os fatores relacionados a absorção de AGCC pelo epitélio ruminal como o comprimento da cadeia (DANIELLI et al., 1945) e a dependência da absorção pelo pH, o metabolismo parcial dos AGCC durante a absorção (butirato> propionato>acetato; Masson e Phillipson, 1951), a contribuição da absorção de AGCC para a estabilização do pH ruminal e o aparecimento de bicarbonato no rúmen quando os AGCC são absorvidos (ASH; DOBSON, 1963).

Como resultado, percebemos hoje que a absorção de AGCC e lactato do rúmen não é puramente determinada pela entrada de energia, dinâmica microbiana e fatores físico-químicos. O epitélio ruminal em si é um elemento-chave dinâmico, com uma grande contribuição para a diminuição da carga de ácido e prótons no rúmen (Figura 2).

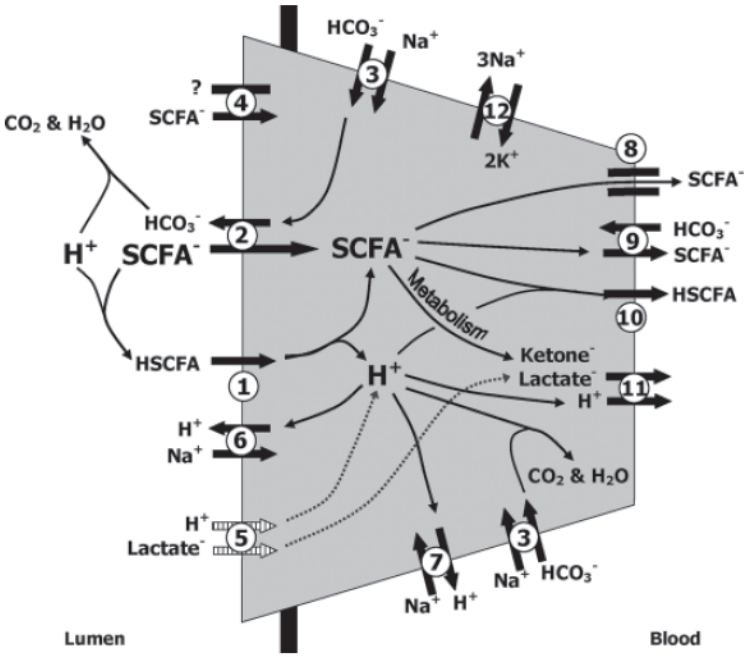


Figura 2. Sistemas de transporte de ácidos através do epitélio ruminal
FONTE: Aschenbach (2010).

A figura 2 apresenta o Modelo de transporte de ácidos orgânicos em células epiteliais ruminais. Na membrana apical direcionada ao lúmen, a difusão lipofílica de ácidos graxos de cadeia curta não dissociados (1), transportam de maneira eficiente ácidos com alta lipofilicidade (especialmente ácido butírico) para a célula. Esses ácidos liberam rapidamente seus prótons uma vez dentro da célula.

Adicionalmente todos os três ácidos graxos de cadeia curta usam adicionalmente proteínas de transporte, através da troca destes ânions ($SCFA^-$) por HCO_3^- para captação apical (2). A troca $AGCC^-$ / HCO_3^- é especialmente importante para ácidos com menor lipofilicidade, como o acetato, e é amplamente impulsionada pelo HCO_3^- importado do sangue via co-transporte entre Na^+ / HCO_3^-(3). O HCO_3^- apicalmente exportado neutraliza 1 próton no rúmen; portanto, a difusão lipofílica e a troca $AGCC^-$ / HCO_3^- têm ampla contribuição comparável à remoção de prótons do rúmen.

O ânion acetato também pode usar uma proteína transportadora apical pouco caracterizada, com papel indefinido para a homeostase do pH ruminal (4). Os ânions lactato podem entrar na célula em co-transporte com seus prótons (5). No entanto, o co-transportador monocarboxilato (MCT4) tem uma atividade funcional extremamente baixa. Por ter sido caracterizado em dietas de ovinos adaptados com maiores proporções de volumosos, sua importância quantitativa ainda permanece sem ser determinada.

Os prótons absorvidos pelos ácidos não ionizados ou ácido lático podem ser neutralizados pelo HCO_3^- através do co-transporte basolateral de Na^+ / HCO_3^- (3) ou expulso pela troca de Na^+ / H^+ através da membrana apical (6) ou basolateral (7). As vias de saída basolateral do AGCC não foram avaliadas em detalhes, mas provavelmente incluem um canal aniônico permeável a ânions grandes (8), troca AGCC / HCO_3^- (9) e difusão lipofílica (10). Dessas, a troca de AGCC / HCO_3^- e a difusão lipofílica contribuem para a remoção líquida de prótons da célula epitelial para o sangue.

O butirato é metabolizado extensivamente em corpos cetônicos (isto é, β-hidroxibutirato, acetoacetato) e o propionato é metabolizado parcialmente a lactato dentro das células. Esses produtos metabólicos e, possivelmente, o lactato por transporte apical são, junto com seus prótons transportados através da membrana basolateral via transportador de monocarboxilato 1 (MCT1) (11). Todos os mecanismos de transporte por Na^+ utilizam o sistema Na^+ / K^+ ATPase com gasto de energia (12) na membrana basolateral. O efluxo de Na^+ através do sistema requer um efluxo de ânions através do canal aniônico basolateral (8). O pool de HCO_3^- e H^+ dentro do epitélio ruminal é parcialmente reabastecido por CO_2 através da reação de anidrase carbônica (GÄBEL et al., 2002), o que não é mostrado no modelo.

Estimativas quantitativas feitas em ovinos indicam que até 50% dos AGCC podem ser absorvidos de maneira dependente de HCO_3^- (ASH; DOBSON, 1963; PENNER et al., 2009a). Extrapolar essas quantidades para vacas leiteiras ou bovinos confinados de alto desempenho significaria que o epitélio ruminal fornece uma quantidade de HCO_3^- aproximadamente equivalente à secreção salivar (ou seja, 20 a 30 mol / d) (OWENS et al., 1998).

Desve ser destacado que a área média da superfície das papilas ruminais cresce de 10 mm² para até 60 mm², quando em contato com rações contendo muito concentrado, processo que demanda cerca de 6 semanas (NORDLUND, 2003). Animais eficiêntes em absorver AGCC utilizam de forma eficiênte o transporte de AGCC através de proteínas

transportadoras, independente da liberação de HCO_3^-. Portanto, não é de surpreender que a suscetibilidade individual de animais à acidose sub-aguda esteja negativamente correlacionada com sua capacidade ruminal de captação apical de AGCC (PENNER et al., 2009; Gráfico 1).

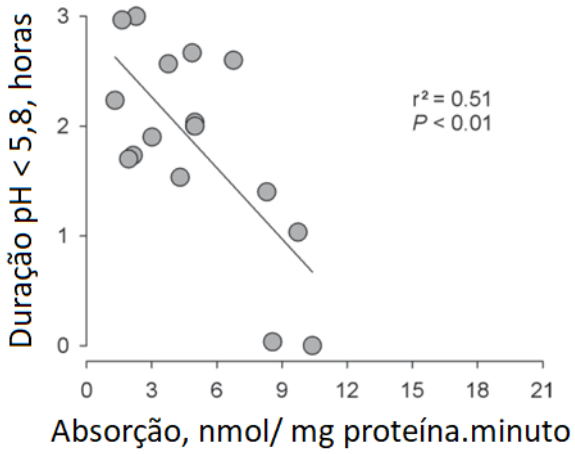


Gráfico 1. Relação entre absorção de AGCC por proteínas transportadoras da membrana apical e tempo em pH ruminal ≤ 5,8 em horas

As quantidades de HCO_3^- introduzidas pela saliva e pelo epitélio podem quase ser equivalentes à produção total de ácido, e espera-se que > 90% do HCO_3^- tampone prótons devido ao sistema "double-open" no rúmen.

A maior parte da secreção epitelial de HCO_3^- está diretamente acoplada à absorção de $AGCC^-$. Como o epitélio ruminal absorve adicionalmente o AGCC não ionizados por difusão lipofílica e o $AGCC^-$ por um mecanismo ainda não identificado, este é um ponto chave sobre o equilíbrio ácido-base ruminal e sobre a suscetibilidade de animais à acidose.

Ao estimar a carga de prótons no rúmen, é necessário considerar que uma fração significativa do H^+ já removido é reciclada de volta ao lúmen via sistema de co-transporte apical de Na^+/H^+. A reciclagem de H^+ é estimulada tanto pela absorção epitelial de AGCC quanto pela secreção salivar de Na^+. Para entender melhor o status ácido-base do rúmen, será vital avaliar as quantidades de H^+ reciclado em diferentes níveis de pH ruminal no futuro. Com base em nossa definição atual de acidose ruminal, a reciclagem de H^+ via sistema co-transportador de Na^+/H^+ deve ser considerada como um mecanismo acidogênico. De fato, porém, serve para estabilizar a integridade epitelial e, portanto, pode ser vital para proteger o animal contra as consequências negativas da acidose.

Outro fator que deve ser melhor investigado é a taxa de absorção de AGCC em diferentes dietas. Esperava-se que dietas com maiores níveis de concentrado e matéria orgânica fermentável no rúmen, aumentasse a taxa fracional de absorção dos diferentes ácidos e a expressão de genes relacionados a proteínas co-transportadoras e do metabolismo dos AGCC nos tecidos. No entanto, Penner et al. (2009) não observaram em vacas não lactantes nenhum incremento nos mecanismos de redução da concentração de ácidos no rúmen, apesar das dietas com maiores concentrações de concentrado apresentarem menor média de pH ruminal (6,03 vs 6,48) e maior tempo em pH menor do que 5,8 (376 vs 10 min/dia)

Tamponamento via absorção de amônia ruminal

A amônia ruminal (expressão referente a soma de NH3 e $NH4^+$) é uma fonte essencial de nitrogênio para o crescimento microbiano. As concentrações de amônia podem aumentar em 2 h após uma refeição para 20 ou 30 mmol/ L, dependendo da ingestão de N degradável no rúmen (REYNOLDS; KRISTENSEN, 2008). No entanto, a concentração de amônia ruminal pode diminuir rapidamente a partir da utilização por bactérias ruminais (35 a 65% da diminuição), efluxo para o omaso (aproximadamente 10% da diminuição) ou absorção através da parede ruminal (SIDDONS et al., 1985).

O fluxo portal de amônia pode atingir aproximadamente 100 mmol / kg de $PC^{,75}$ por dia (PARKER et al., 1995). No fígado, a amônia é desintoxicada para formar uréia, que recicla grande parte da uréia que retorna ao rúmen por secreção no epitélio ruminal ou pela salivar (MARINI; VAN AMBURGH, 2003). No rúmen, a uréia é reconvertida pela urease bacteriana para liberar 2 mol de NH_3 por mol de ureia (Figura 6). Em vacas leiteiras, a absorção de amônia pode atingir 25 mol / d, enquanto a secreção de até 10 mol / d de ureia foram observadas (DELGADO-ELORDUY et al., 2002).

A menos que a ingestão dietética de N seja baixa, a secreção de ureia no rúmen geralmente excede em muito as necessidades de síntese protéica microbiana. No entanto, a ureia secretada em excesso às necessidades microbianas aumenta o NH_3 ruminal, que é um pontente tampão. Devido ao seu alto valor de pK_a (9,21; Tabela 1), o NH_3 se liga imediatamente ao H^+ em quantidades equimolares para formar $NH4^+$ no conteúdo ruminal.

O influxo de ureia no rúmen e o efluxo de amônia influenciam a quantidade de nitrogênio disponível para a síntese de proteínas microbianas. O excesso de amônia é absorvido como NH_4^+ através dos canais catiônicos apicais (1) e como NH_3 (2). Em pH> 7, predomina a captação de NH_3. Dentro do citosol, o NH_3 é protonado para formar NH_4^+, reduzindo assim a necessidade de extrusão apical de prótons via sistema de co-transporte Na^+ / H^+ (NHE);

Na figura 3 é apresentado o modelo de transporte de nitrogênio e sua interação com AGCC para sobre os estatus ácido-base do rúmen.

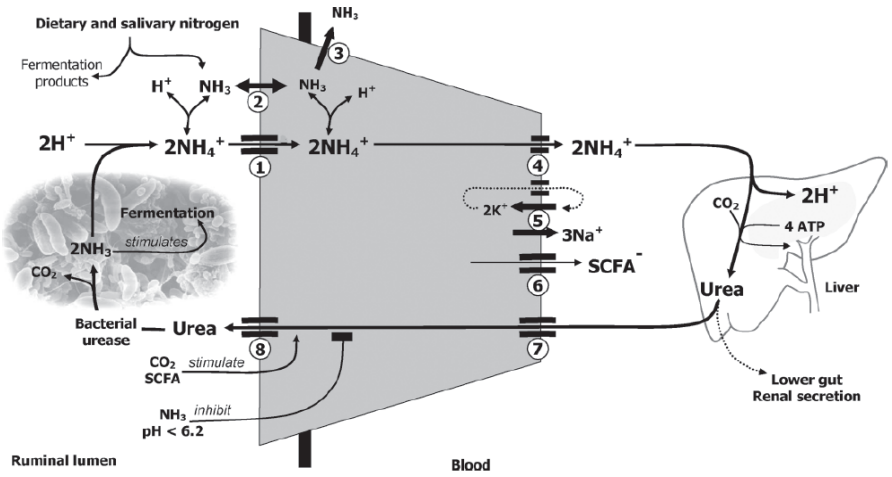


Figura 3. Sistemas de transporte da amônia através do epitélio ruminal
Fonte: Aschenbach (2010).

Em pH <6,8, a captação ocorre principalmente na forma de NH_4^+, removendo diretamente um próton do rúmen. O aumento das concentrações citosólicas de NH_3 dentro do pH neutro do citosol pode resultar em reciclagem apical de amônia (2), levando a uma captação adicional de prótons com ação de acidificação do citosol se ocorrer efluxo basolateral como NH_3 (3) .

No entanto, evidências in vitro sugerem que grandes quantidades de prótons podem deixar o tecido basolateralmente na forma de NH_4^+ através dos canais necessários para a recirculação de K^+ (4) do sistema ATPase Na^+ / K^+ (5). O efluxo de ânions $AGCC^-$ através de um canal aniônico basolateral (6) facilita o efluxo basolateral de NH_4^+ através dos canais K^+ (4) via acoplamento de carga.

No fígado, o NH_4^+ é utilizado para formar uréia, liberando o H^+. A passagem de volta ao rúmen provavelmente ocorre por transportadores seriais de uréia nas membranas basolateral e apical (7, 8) e é regulada de acordo com os requisitos da fermentação. Em pH moderadamente ácido, o influxo de ureia no rúmen aumenta com a produção de AGCC e CO_2 fornecendo nitrogênio para o crescimento microbiano. Quando o pH ruminal diminui demais ou as concentrações de amônia aumentam demais, a permeabilidade da parede ruminal à ureia diminui e o nitrogênio da ureia é redirecionado para excreção no intestino inferior ou no rim.

A interação dos AGCC com a secreção de ureia e a absorção de amônia parece ser uma importante adaptação evolutiva dos ruminantes para regular ativamente o processo de fermentação. Quando os ruminantes estão em dietas pobres em proteínas, o nitrogênio secretado endogenamente é um marcapasso da fermentação microbiana. O efeito positivo dos AGCC na secreção de ureia permite que os animais capitalizem os carboidratos disponíveis, enquanto que o excesso de amônia é usado para tamponar e transferir prótons para fora do rúmen.

Por outro lado, a taxa de fermentação também pode ser reduzida para evitar fermentação excessiva, desde que a ingestão de nitrogênio seja moderada. Quando o pH diminui demais e o AGCC se acumula, o influxo de ureia diminui (ABDOUN et al., 2010), o que deve diminuir o crescimento microbiano e a taxa de fermentação. Infelizmente, pode-se esperar que a última via regulatória seja anulada principalmente em bovinos de alta produção,

devido ao excesso de alimentação proteica. Como pode ser visto, as interações entre AGCC, absorção de amônia e secreção de ureia são de grande importância para o entendimento da regulação da dinâmica microbiana e da regulação do pH ruminal.

Outra área importante para pesquisas futuras é a interação entre absorção de AGCC, secreção de ureia e absorção de $NH4^{+}$. Quanto melhor entendermos a estratégia evolutiva dos ruminantes para coordenar a conversão de energia, a assimilação de proteínas e a regulação do pH no rúmen, mais bem-sucedidos podemos utilizar esses processos com o devido reconhecimento das necessidades e bem-estar dos animais, além de preocupações ambientais.

Desafios do uso de dietas sem forragem

A inclusão de forragens e FDN de forragens em dietas de ruminantes, assim como o aumento no tamanho de partículas aumenta a taxa de passagem de líquidos do rúmen, devido o aumento da salivação e motilidade ruminal associados a mastigação.

Aumento nas taxas de passagem de líquidos, aumentam o fluxo de partículas de grãos para fora do rúmen, reduzindo a digestão ruminal e a produção de AGCC. Assim, o aumento do teor de NDF da forragem na dieta e, em menor medida, o aumento do tamanho das partículas das dietas, altera o local da digestão do amido, de modo que menos amido seja digerido no rúmen e uma maior proporção de amido seja digerida no intestino.

A continuação da fermentação da digesta nos intestinos, devido ao massivo fluxo de carboidratos proveniente do rúmen e o aumento da osmolaridade, podem promover extravasamento de líquidos para a luz intestinal. Com o aumento da taxa de passagem, as fezes dos animais com acidose sub-aguda, muitas vezes apresentam-se pastosas, amareladas, com odor adocicado e com a presença de partículas grandes de fibra e grãos inteiros (KLEEN et al., 2003).

A mudança no local da digestão do amido é um dos principais fatores que contribuem para reduzir o risco de acidose sub-aguda, e está relacionado ao aumento da ingestão de fibra fisicamente efetiva. Além de alterar o local de digestão do amido, o aumento do teor de FDN de forragem normalmente diminui o teor de amido da dieta por diluição. Como resultado, a produção de AGCC no rúmen também diminui, o que ajuda a minimizar a queda pós-prandial no pH.

Mertens (1997) propôs o termo fibra fisicamente efetiva (FDN_{fe}) para relacionar os efeitos do conteúdo de FDN e do comprimento das partículas sobre o potencial da dieta em estimular a mastigação. O tamanho de partícula de determinada dieta ou alimento pode ser avaliado utilizando o sistema de peneiras Penn State Particle Separator - PSPS. Um fator de efetividade física (ef, variando de 0 a 1) é então calculado como a proporção de ração ou da dieta total (com base na matéria seca) retida em peneiras ≥ 1,18 mm (ef 1,18) ou peneiras ≥ 8 mm (ef 8). O ef é então multiplicado pelo conteúdo de FDN para determinar o conteúdo de FDN_{fe} (FDN_{fe} ≥1,18mm e FDN_{fe} ≥8mm). Portanto, o FDN_{fe} refere-se à mastigação, mas não explica a fermentabilidade ruminal dos alimentos.

Com base na metanálise de White et al. (2017a), superfícies de resposta para variáveis que afetam o pH médio do rúmen foram desenvolvidas (While et al., 2017b). As superfícies de resposta examinam as interações entre o tamanho das partículas (medidas como partículas

retidas nas peneiras de 8 e 19 mm do PSPS) da dieta total, o teor de amido e teor de FDN da forragem da dieta.

Eles propuseram o conceito de fibra fisicamente ajustada (FDN_{fa}). Foram desenvolvidas equações para prever o tempo de alimentação, o tempo de ruminação e o pH médio do rúmen, usando fatores individuais como consumo de matéria seca, teor de forragem na dieta, teor de FDN, teor de FDN da forragem, partículas retidas em várias peneiras do PSPS, teor de amido e assim por diante. As saídas desses modelos foram usadas para desenvolver recomendações para o conteúdo de FDN, o teor de FDN da forragem e o tamanho de partícula para dietas que diferem em fermentabilidade (White et al., 2017b).

Nesta meta-análise à medida que o conteúdo de amido, ou o teor de partícula >8mm ou >19 mm reduz, aumenta a necessidade de FDN forragem para manutenção do pH em valores próximos a 6,1. Como exemplo, dietas com concentrações de amido acima de 30% e proporções de partículas acima de 8 mm menores do que 30%, exigem no mínimo 27% de FDN da forragem para manutençao do pH acima de 6,1. Por outro lado, dietas com apenas 20% de amido e acima de 50% de partículas acima de 8 mm, exigem apenas 17% de FDN de forragem.

Este exemplo ilustra a dificuldade de se evitar acidose sub-aguda quando da utilização de dietas com altas concentrações de amido, altamente processados, e de grande dificuldade em suprir o requerimento mínimo de FDN forragem. Em dietas com altas concentrações de grãos e nas que não utilizam volumosos, o tamanho de partícula, o teor e o processamento de fontes de amido, o uso de tamponantes e aditivos, bem como estratégias de alimentação devem ser bem planejados buscando evitar distúrbios digestíveis e metabólicos, bem como, evitar baixos consumos de matéria seca e desempenhos.

Como é cada vez mais utilizado, dietas de alto grão e menores concentrações possíveis ou ausência de volumosos, a regulação da ingestão de alimentos ocorre principalmente por sinais metabólicos, em vez de distensão ruminal, e a fermentabilidade da dieta pode influenciar claramente o consumo de matéria seca de bovinos confinados. Em uma metanálise, Galyean e Defoor (2003) descobriram que a diminuição da concentração de amido na dieta pela inclusão de volumosos (intervalo: 0 a 30% do MS) nas dietas em confinamento, aumenta consistentemente o consumo em 11 estudos. Os efeitos da forragem adicional não foram explicados por mudanças relativas e menor ingestão de energia líquida para ganho da dieta. Portanto, os efeitos da inclusão de volumosos não podem ser atribuídos exclusivamente a um efeito de diluição de energia (GALYEAN; DEFOOR, 2003). Segundo os autores, pequenos incrementos nos teores de FDN forragem podem estimular a secreção salivar e a cinética e função ruminal. Assim, pequenas inclusões de FDN não afetam o consumo de energia (Gráfico 2)

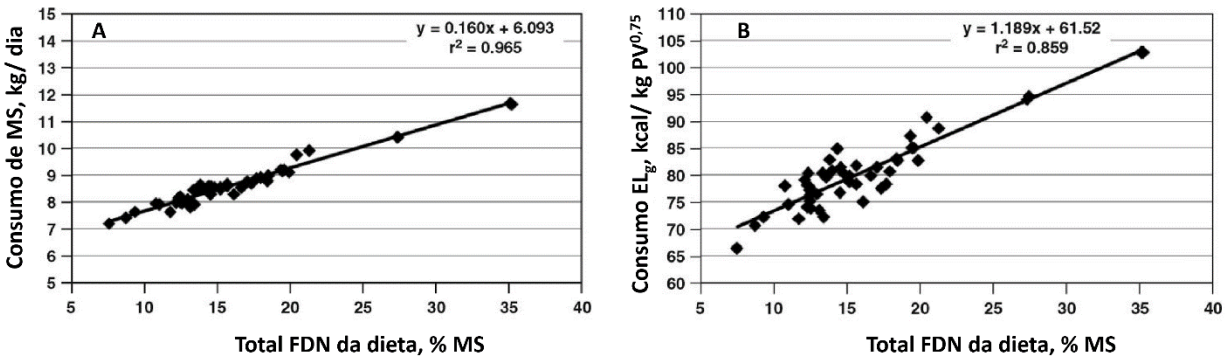


Gráfico 2. Relação entre total de FDN da diet em % da MS e consumo de matéria seca (A), ou consumo de Energia Líquida para ganho (B).
Fonte: Galyean e Defoor (2003).

Outro ponto que deve ser da mesma forma observado é o aumento do consumo de matéria seca pela diminuição da concentração de amido da dieta. Em trabalho apresentado Parsons et al. (2007) a substituição de até 40% do milho floculado por glúten de milho úmido em confinamento, aumentou o consumo de matéria seca em até 9%, resultando em maior ganho médio diário, apesar da diminuição da eficiência alimentar.

As taxas de digestão e passagem do amido ruminal variam muito entre os grãos fornecidos a animais ruminantes e dependem do tipo de cereal, método de conservação e processamento (NRC, 2001). Alterações na fermentabilidade do amido também têm efeitos consistentes no consumo. A cevada (BENGOCHEA et al., 2005) deprime o consumo em comparação com o milho, como o milho diminui o consumo de matéria seca em comparação com o sorgo. Isto demonstra que as respostas estão inversamente relacionadas à disponibilidade relativa de amido nos tipos de grãos (HUNTINGTON, 1997).

Aumentos na digestibilidade do amido devido ao processamento mais extensivo dos grãos (OWENS et al., 1997) também diminuem o consumo de matéria seca. Além de aumentar a quantidade de AGCC produzidas por quilograma de matéria orgânica consumida, o aumento da fermentação ruminal do amido também aumenta o propionato e sua proporção dos AGCC absorvidos.

A maior produção e absorção de propionato em dietas com altos teores de amido agem como sinais para interromper refeições (ALLEN, 2000). Durante refeições em dietas de alto amido, o fluxo e metabolismo de propionato para o fígado aumenta (Benson et al., 2002) e pode estimular a oxidação hepática.

No modelo proposto por Allen et al. (2009) chamado de teoria da oxidação hepática (TOH), o controle do consumo de alimentos está relacionado a sinais hepáticos para o sistema nervoso central, estimulado pela oxidação de uma variedade de metabólitos. Neste modelo, a oxidação hepática aumenta durante as refeições juntamente com o estatus energético dos hepatócitos, reduzindo impulsos elétricos dos nervos vagos aferentes causando saciedade.

Embora parte do propionato seja utilizado para a gliconeogênese, é rapidamente absorvido pelo fígado nas refeições e é convertido em intermediários do ciclo do ácido tricarboxilico nas mitocôndrias. A oxidação do propionato dentro de uma refeição aumenta o estado energético dos hepatócitos, gerando um sinal de saciedade para terminar a refeição (Figura 4).

A oxidação hepática da ácidos graxos (AGNE) não esterificados, no entanto, é limitada durante as refeições, devido ao aumento da liberação de insulina que inibe a lipólise no tecido adiposo e a captação de AGNE pelo fígado. Além disso, o propionato inibe a β-oxidação dos ácidos graxos, diminuindo o transporte destes para as mitocôndrias e a atividade da acil-CoA desidrogenase (JESSE et al., 1986)

Os ácidos graxos são oxidados nas mitocôndrias pela β-oxidação em acetil-CoA, que pode ser posteriormente oxidados em CO_2 no ciclo do ácido tricarboxílico ou exportada como cetonas. Oxidar o pool de acetil-CoA em vez de exportá-lo aumenta drasticamente a produção de ATP.

Para cada ciclo de β-oxidação de um ácido graxo, uma molécula de acetil CoA, $FADH_2$ e NADH é produzida, e caso o acetil for oxidado no ciclo do ácido tricarboxílico produzirá 14 ATP. Porém, irá produzir apenas 3 ATP se o acetil-CoA for convertido a β-hidroxibutirato. Como o propionato inibe a cetogênese no fígado dos ruminantes, diminuindo a atividade da HMG-CoA sintase (Lowe e Tubbs, 1985), portanto, a oxidação hepática da ácidos graxos provavelmente contribui para maior geração de ATP e saciedade (Figura 4).

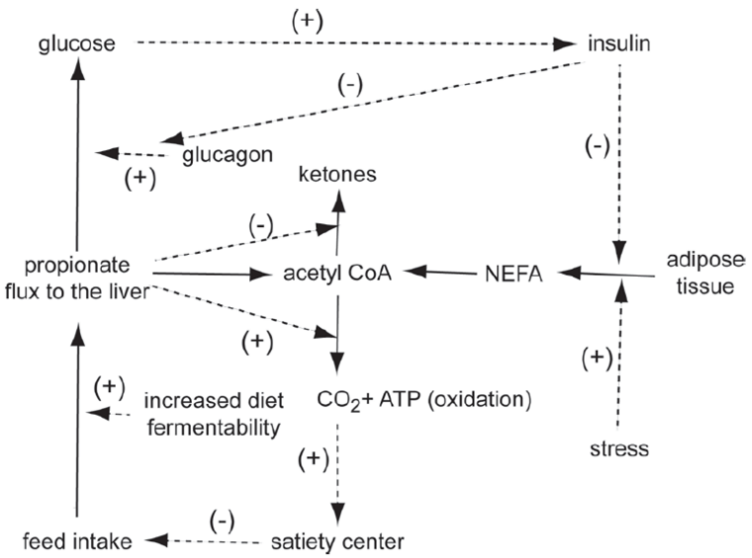


Figura 4. Modelo pelo qual a ingestão de ração pode ser regulada de acordo com a teoria da oxidação hepática. Linhas sólidas mostram o fluxo de carbono, enquanto linhas tracejadas mostram estimulação / inibição do fluxo. A captação de propionato pelo fígado pode ser usada para a gliconeogênese, utilizando ATP ou oxidada no ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) através do acetil CoA, produzindo ATP e estimulando a saciedade. O acetil-CoA produzido a partir da oxidação β de ácidos graxos e outros combustíveis cetogênicos é oxidado no ciclo TCA ou exportado como cetonas. Diminuição da concentração de insulina, aumento da resistência à insulina e estresse aumentam a lipólise, aumentando assim o pool de acetil-CoA através da β-oxidação dos ácidos graxos não esterificados - NEFA. A absorção de propionato durante as refeições estimula a oxidação do acetil CoA em CO_2, gerando rapidamente ATP e estimulando a saciedade.

Técnicas e estratégias utilizadas em dietas de alto grão

Uso do milho grão inteiro

O processamento de grãos geralmente envolve danos e redução no tamanho das partículas com ou sem adição de água ou vapor. Moer ou laminar para formar grãos moídos a seco, ocasionalmente com adição de umidade (laminado úmido), é o método mais comum de processamento de grãos. Os grãos quebrados por moagem a alta velocidade, geralmente resultam em uma ampla gama de tamanhos de partículas, enquanto que a ação de esmagamento envolvida na laminação do grão, resulta em uma faixa muito mais estreita no tamanho das partículas.

Grãos não processados podem ser fornecidos em dietas de confinamento, sendo extensivamente avaliados (KAISER,1999) e demonstrado suas vantagens e limitações econômicas. Grãos de menor vítreosidade (aveia, cevada, triticale, arroz, trigo), e em dietas com níveis muito baixos de forragem ou FDN de forragem, apresentam extensão da digestão do amido geralmente alta para grãos não processados.

Surpreendentemente, em alguns ensaios com bovinos confinados, a digestibilidade do amido e o valor energético líquido para ganho são maiores para dietas com uso de grãos inteiros do que para grãos laminados (OWENS et al., 1997) e, pode ser atribuído ao maior tempo de retenção ruminal para o milho inteiro do que o laminado.

Assim, um modo de reduzir ou eliminar a utilização de volumosos em dietas de confinamento é fornecer o milho sem processar, na forma de milho inteiro. Por não ser processado, o milho inteiro tem taxas mais lentas e menor extensão da digestão do amido ruminal, quando comparado ao milho moído, floculado ou de alta umidade (BRITTON; STOCK, 1986). O uso do milho inteiro ajuda a evitar distúrbios digestivos, regula a fermentação ruminal do amido e reduz o acúmulo de ácidos orgânicos no rúmen.

O fator primário que limita a extensão da digestão no rúmen ou no intestino é a área superfícial do alimento, exposta a ataques microbianos ou enzimáticos (por exemplo, o tamanho das partículas). Assim, inicialmente, havia a idéia de baixo aproveitamento do milho, menor digestibilidade dos componentes da dieta e grande perda de amido fecal ao utilizar dietas com o milho inteiro.

No entanto, revisões demonstram que há grande capacidade de mastigação dos grão de milho durante o ato de ingestão, o que permite a fragmentação e dano aos grãos, permitindo que enzimas e microrganismo acessem os granulos de amido e proporcionem aumento da digestão e reduçao na perda de milho inteiro e amido nas fezes (BEAUCHEMIN et al., 1994). Além disso, a menor digestibilidade ruminal é contrabalanceada pelo aumento da digestibilidade intestinal (Tabela 2).

Tabela 2. Infuência do processamento do milho no local e extensão da digestão

Item	Processamento de milho dentado				EPM
	Inteiro	Laminado	Ensilado úmido	Floculado	
Digest. Ruminal, %	68,34[b]	63,80[b]	86,55[a]	84,05[a]	3,38
Digest. Int. Delgado, %	64,64[b]	58,83[b]	94,86[a]	92,48[a]	22,38
Digest. Int. Grosso, %	32,09[ab]	56,32[a]	24,80[b]	20,47[b]	22,25
Digest. T. D. Total, %	87,08[c]	91,03[b]	99,25[a]	99,09[a]	1,12

EPM = Erro Padrão da Média
Médias com letras diferentes na linha são diferentes estatisticamente ($p < 0,05$)
Fonte: Owens e Soderlund (2006).

Os efeitos de dietas de terminação sem uso de volumosos, contendo milho inteiro foram avaliados por TURGEON et al. (2010). Neste trabalho os tratamentos consistiram em uma dieta típica de terminação com várias fontes de grãos e forragem e duas dietas de terminação contendo milho inteiro (7,9 a 15,6% do MS da dieta), sem forragem.

Não foi observado, menor consumo, ganho de peso vivo e de carcaça, bem como, eficiência alimentar. Os resultados indicam que dietas contendo milho inteiro, melhoram a eficiência e a energia líquida para ganho da dieta (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Composição da dieta e dos ingredientes

ITENS	CONTROLE	7,5% MI	15% MI
Ingredientes (%)			
Milho grão úmido	32,4	31,0	23,4
Milho inteiro	-	7,9	15,6
Milho floculado	51,2	51,2	51,2
Feno de alfafa	7,8	-	-
Sebo bovino	3,8	3,8	3,8
Suplemento	4,8	6,1	6,0
Composição da dieta (% da Matéria Seca)			
Matéria seca	81,4	80,9	81,9
Proteína bruta	12,4	12,3	12,3
FDN	5,7	3,6	3,6

Fonte: Turgeon et al. (2010).

Tabela 4. Efeito retirada do volumoso e inclusão de grão inteiro sobre desempenho e características de carcaça

Itens	TRATAMENTOS			EPM	*p*
	CONTROLE	7,5% MI	15% MI		
PV inicial, kg	287,6	287,6	288,9	0,92	0,54
PV final, kg[1]	513,2	506,3	507,3	2,8	0,08
Consumo, kg/ dia[1]	7,84	7,46	7,54	0,046	0,002
GMD, kg/ dia[1]	1,35	1,31	1,31	0,017	0,11
GMD: CMS	0,172	0,176	0,173	0,0015	0,25
Carcaça Quente, kg[1]	333,6	329,6	329,7	2,05	0,19
GMDc, kg/dia[1,2]	1,05	1,03	1,02	0,013	0,22
GMDc: CMS[1,2]	0,134	0,138	0,136	0,0011	0,09

Médias com letras diferentes na linha são diferentes estatisticamente ($p < 0,05$)
[1]Dietas volumosas vs. milho integral ($P < 0,10$).
[2]Desempenho de carcaça (PV inicial × 55%; MacDonald et al., 2007) e Peso Carcaça Quente
EPM = Erro Padrão da Média
Fonte: Turgeon et al. (2010)

Tradicionalmente, dietas de milho grão inteiro, sem uso de volumosos, contem os minerais e fontes proteicas fornecidas em ração peletizada são frequentemente utilizadas. Assim, não há segregação e maior homogenidade na ingestão dos componentes da dieta. Carvalho et al. (2016) comparou uma dieta convencional, contendo silagem de milho (30% da MS) e grão de milho moído contra uma dieta de grão de milho inteiro na proporção de 85% de milho e 15% de núcleo proteico peletizado para tourinhos Nelore e ½ Angus – Nelore.

Apesar da redução do consumo e, consequentemente no ganho médio diário em peso vivo ou carcaça, principalmente observado nos animais da raça Nelore, houve aumento da eficiência alimentar calculado em peso vivo ou carcaça (Tabela 5). A redução do consumo em dietas com milho grão inteiro aliado a aumento na eficiência alimentar e energia líquida para ganho é também observada em outros estudos (TURGEON et al., 2010). Presume-se que um maior conteúdo de ELg nas dietas de milho inteiro, sem forragem se manifeste através de um aumento na oferta de carboidratos não estruturais para o crescimento.

Tabela 5. Efeito da dieta convencional em comparação a dieta grão inteiro sobre desempenho e características de carcaça

ITEM	CONVENCIONAL		GRÃO INTEIRO		EPM	*P*[1]
	NELORE	ANGUS	NELORE	ANGUS		
CMS, Kg/d	10,4	13,7	6,9	10,2	0,414	<0,01
CMS, % PC/d	2,48	2,93	1,68	2,09	0,071	<0,01
GMD, Kg/d	1,36	1,96	0,93	1,82	0,160	0,07
GMDc, Kg/d	0,97	1,33	0,74	1,26	0,104	0,28
G:C, g/g	0,132	0,144	0,137	0,179	0,013	<0,01
G:Cc, g/g	0,092	0,096	0,107	0,123	0,009	<0,01
RC, %	59,7	57,6	59,9	57,9	0,55	<0,01
PCF, Kg	274	310	253	310	10,9	<0,01
AOL, cm²	72,1	84,8	67,6	79,3	5,13	0,32
AOL, cm²/100Kg CQ	26,1	27,3	26,5	25,5	1,23	0,54
EGS, mm	4,5	6,9	3,5	6,6	0,57	0,19
Rend. ganho, %	71,7	67,8	78,1	69,2	1,76	0,04

[1]Apenas comparação entre as dietas e não entre ração. EPM = Erro Padrão da Média.
Fonte: Carvalho et al. (2016).

Em experimento em andamento no Instituto Federal de Rondônia (SILVA, 2019; dados não publicados), na cidade de Colorado do Oeste, está sendo avaliadas dietas de grão inteiro sem o uso de forragens. O objetivo neste caso, é verificar o efeito da utilização de fontes de fibra não forragem em dietas de milho grão inteiro, inseridas de forma separada do núcleo peletizado. Em comparação ao tratamento controle, contendo 15% de núcleo mineral proteico peletizado e 85% de milho grão inteiro, é avaliada a inclusão do caroço de algodão, com redução na inclusão e no teor de proteína do pelete mineral proteico (Tabela 6). Apesar dos dados ainda não estarem totalmente planilhados, não foi observado redução no desempenho e eficiência, pela inclusão de caroço de algodão nas dietas de milho grão inteiro, apesar de reduçao dos custos de produção (Tabela 7).

Tabela 6. Efeito da dieta convencional em comparação a dieta grão inteiro com caroço de algodão sobre desempenho e características de carcaça

ITENS	TRATAMENTOS	
	TRADICIONAL	CAROÇO DE ALGODÃO
Peso inicial	372	366
Peso final	523	513
GMD	1,49	1,48
Peso de carcaça, @	18,13	18,48
Rendimento de carcaça	53,4%	54,2%
GMD carcaça	0,94	0,96
EGS, mm	9,38	12,94
Consumo	7,50	8,47

FONTE: *Silva (2019) – Dados não publicados

Tabela 7. Efeito da dieta convencional em comparação a dieta grão inteiro com caroço de algodão sobre lucratividade.

ITENS	TRATAMENTOS	
	TRADICIONAL	CAROÇO DE ALGODÃO
Custo do kg de ração	0,89	0,76
Diária nutricional	6,64	6,42
Operacional	1,00	1,00
Lucro por boi	489,58	538,23

FONTE: *Silva (2019) – Dados não publicados

Redução nos teores de amido das dietas

O propionato é um produto final primário da fermentação do amido, e as taxas de produção variam muito entre as dietas fornecidas aos ruminantes, devido as grandes diferenças na concentração e fermentabilidade do amido (ALLEN, 2000).

A taxa de produção de propionato pode ser diminuída pela redução da concentração e fermentabilidade do amido e pelo aumento da eficiência da produção de proteínas microbianas a partir da fermentação da matéria orgânica (ALLEN et al., 2006). A diminuição da produção e absorção de propionato provavelmente aumenta o tamanho das refeições e possivelmente a ingestão de alimentos, porque o propionato é o combustível primário que estimula a oxidação hepática nas refeições.

Portanto, a taxa de produção e absorção de propionato nas refeições deve ser manipulada pela formulação da dieta, na busca de aumentar a ingestão em dietas de alto grão. Para isso, reduzir a concentração de amido nas dietas pode ser feito, pela inclusão de fibras de forragens ou não forragem (FFNS), como polpa de citrus ou casca de soja e, no estado do

Mato Grosso, principalmente por resíduos de milho da indústria de etanol. Isto dilui o amido e reduz as taxas de fermentação, o que reduz a produção de propionato, com efeitos beneficos sobre a saúde ruminal e desempenho dos animais, mesmo com a redução da eficiência alimentar (ALLEN, 2006).

A estratégia ideal depende do custo relativo dos ingredientes, da eficiência de utilização de alimentos e da resposta em produção animal. Partículas de fibra mais longas de forragem em comparação com FFNS podem aumentar a digestibilidade da fibra e o aumento do pH ruminal, estimulado pela maior ruminação e aumento da retenção ruminal de fibras (ALLEN, 1997). No entanto, como a distenção ruminal reduz o consumo de matéria seca, o uso de forragens pode limitar a ingestão de alimentos em comparação com a FFNS (ALLEN, 2000). Portanto, quando a distensão ruminal contribui para o controle do consumo, o uso de FFNS em substituição a forragem pode ser uma melhor escolha.

Grande número de estudos desde a década de 80 procurou obter o valor nutricional do resíduo úmido (WDG) e do resíduo seco (DDG) de destilarias de etanol que utilizam o milho como ingrediente (Firkins et al. 1985).

O conteúdo energético do DDGS, quando em substituição ao milho ou o farelo de soja foi, da mesma forma, amplamente avaliado como trabalho recente de BIRKELO et al. (2004). O estudo sugeriu valores de energia líquida de 0,56 Mcal/kg, 10 a 15% superior ao valor atual do NRC (NRC, 2001), bem como mostrou as vantagens como alimento para ruminantes, devido a ausência de amido e grande porção de fibra de digestilidade razoável.

Firkins et al. (1985) estudaram o aumento do nível de resíduo úmido de destilaria (WDG) em dietas de novilhos. Os animais alimentados com dietas entre 25 e 50% de WDG tiveram maior ganho diário e foram mais eficientes do que os animais em dietas de alto grão. Nesse estudo o valor energético das dietas foi de 3 a 25% maiores, quando comparadas as dietas com milho. Aines et al. (1986) sumarizando 5 diferentes experimentos demonstraram que, em média, resíduos de destilaria possuem 9% a mais da energia metabolizada do que o milho em dietas para novilhos. Em um dos estudos, a combinação de resíduos de destilaria e uréia forneceu os nutrientes necessários para engorda de novilhos, sendo considerada a dieta de menor custo por unidade de proteína, quando comparado ao farelo de soja.

Em trabalho recente realizado por Ramos-aviña et al. (2018) objetivaram comparar dietas com concentrações de carboidratos não estruturais distintas (64% a 51% da matéria seca). Novilhos da raça holandesa foram terminados em confinamento de longo prazo com dietas contendo 0% ou 15% de DDGS em substituição ao milho floculado, sendo avaliados o desempenho e características da carcaça (Tabela 8).

Tabela 8. Composição das dietas

Item	Carboidratos não estruturais (%)	
	51% Alta Fibra	64% Baixa fibra
Ingredientes, %		
Feno de alfafa	14	6
Feno de sundangrass	6	6
Milho floculado	54,65	76,23
DDGS	15	-
Gordura	2	2
Melaço de cana	6	6
Ureia	0,5	1,3
Núcleo mineral	1,85	2,47
Composição química, % MS		
PB	14,6	12,9
FDN	21,7	13,3

Fonte: Ramos-avinã et al. (2018).

No trabalho (Tabela 9) fica evidente que a redução dos carboidratos não estruturais pode efetivamente melhorar o desempenho de bovinos da raça holandesa terminados em confinamento. A inclusão de resíduos secos da destilaria de etanol, aumentou o ganho de peso e eficiência alimentar, principalmente nos primeiros 112 dias de confinamento, quando os bovinos eram bem leves. Deve ser destacado a tendência de aumento no rendimento e no peso da carcaça com a substituição dos carboidratos não estruturais e redução dos teores de amido da dieta.

Em experimento realizado na Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá (Silva, 2018; dados não publicados) foi avaliada a inclusão de DDG em substituição ao milho moído para bovinos de corte terminados em confinamento com dietas sem o uso de volumoso. No trabalho os parâmetros analisados foram o consumo, desempenho e caracteristicas de carcaça de sessenta e quatro bovinos Nelore não castrados, distribuídos em 16 baias.

Foram fornecidas dietas à base de milho grão seco moído, contendo DDG em substituição ao milho nos níveis de 0%, 10%, 20% e 30%. Os animais foram pesados no dia inicial e final (135 dias de alimentação), quando foi realizado o abate para avaliação das características de carcaça.

Os animais alimentados com DDG obtiveram melhor consumo de matéria seca na primeitra fase de alimentação (1 a 35 dias), e apresentaram resposta quadrátrica sobre o desempenho. A inclusão de DDG, com redução nos teores de amido das dietas melhorou o consumo de matéria seca na fase de adaptação e promoveu melhorias no desempenho de bovinos confinados se uso de volumoso (Tabela 10).

Tabela 9. Efeitos da concentração de carboidratos não estruturais na dieta, no desempenho e eficiência alimentar de novilhos da raça Holandesa em alimentação prolongada

Item	Carboidratos não estruturais (%)		EPM	*P*
	51% Alta fibra	64% Baixa fibra		
Peso corporal, kg				
Inicial	127,5	131,2	0,99	0,06
112 dias	280	270,3	2,89	0,08
224 dias	511,6	497,4	3,65	0,06
Final	591,9	573,8	5,89	0,09
GMD, kg/ dia				
1-112 dias	1,36	1,24	0,02	0,03
112-224 dias	1,68	1,63	0,32	0,38
224-308 dias	1,46	1,42	0,01	0,16
1-308 dias	1,5	1,43	0,01	0,06
CMS, kg				
1-112 dias	5,66	5,62	0,09	0,81
112-224 dias	9,72	9,18	0,23	0,19
224-308 dias	11,89	11,34	0,32	0,30
1-308 dias	8,83	8,48	0,16	0,20
GMD: CMS				
1-112 dias	0,240	0,220	0,003	0,01
112-224 dias	0,173	0,178	0,002	0,24
224-308 dias	0,123	0,126	0,002	0,54
1-308 dias	0,170	0,169	0,002	0,69
Energia Líquida 0 – 112 dias				
ELm Mcal/kg	1,93	1,83	0,02	0,02
Elg Mcal/kg	1,29	1,20	0,01	0,02

EPM = Erro Padrão da Média
Fonte: Ramos-Avinã et al. (2018).

Tabela 10. Efeitos da concentração de carboidratos não estruturais (DDGS) na dieta, sobre desempenho e eficiência alimentar de novilhos Nelore

Item	Treatments				SEM	P-value		
	0	10	20	30		L	Q	C
Desempenho								
PV inicial, kg	265,56	268,75	272,06	262,52	-	-	-	-
PV final, kg	444,86	462,47	473,41	445,64	6,68	0,66	<0,01	0,30
GMD, kg	1,34	1,45	1,50	1,37	0,06	0,59	0,06	0,62
GMD:Consumo	0,22	0,24	0,22	0,22	<0,01	0,73	0,18	0,31
Carcaça								
Peso final, kg	237,59	247,00	252,84	238,01	3,57	0,66	<0,01	0,31
GMDc, kg	0,78	0,84	0,87	0,79	0,03	0,61	0,05	0,51
Rendimento, %	0,53	0,55	0,53	0,53	0,65	0,75	0,18	0,06
Gordura cobertura, 12ª costela, mm	6,00	8,50	7,31	6,85	0,65	0,64	0,04	0,15

FONTE: Silva (2018; dados não publicados).

Considerações finais

A utilização de dietas com baixa inclusão de forragem e volumosos convencionais tendem a aumentar. Teor de fibra efetiva dos alimentos, teor de amido da dieta, tamanho de partícula, digestibilidade da fibra e sua associação com tamponantes e aditivos tem grande impacto no consumo e desempenho. Temos muito a evoluir nas técnicas em confinamento, para que possamos utilizar dietas com retirada total de fontes de fibra forragem. Ainda sabemos pouco sobre a caixa preta do rúmen.

Referências

ABDOUN, K.; STUMPFF, F.; RABBANI, I.; MARTENS, H., 2010. Modulation of urea transport across sheep rumen epithelium in vitro by SCFA and CO_2. American Journal of Physiology Gastrointestinal Liver Physiology, v.298, p.G190–G202.

ALLEN, M.S., 1997. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber, Journal of Dairy Science,80: 1447–1462.

ALLEN, M.S., 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. Journal of Dairy Science, v.83, p.1598–1624.

ALLEN, M.S.; BRADFORD, B.J.; OBA, M. BOARD-INVITED REVIEW, 2009: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. Journal of Animal Science, v.87, 3317–3334.

ALLEN, M.S.; Voelker, J.A.; Oba. M., 2006. Physically effective fiber and regulation of ruminal pH: More than just chewing. In: Production Diseases in Farm Animals. N.P. Joshi and T.H. Herdt, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands. p.270–278.

ARRIGONI, M.B.; MARTINS, C.L.; SARTI, L.M.N.; BARDUCCI, R.S.; FRANZÓI, M.C.S.; VIEIRA JÚNIOR, L.C.; PERDIGÃO, A.; RIBEIRO, F.A.; FACTORI, M.A., 2013. Níveis elevados de concentrado na dieta de bovinos em confinamento. Veterinária e Zootecnia, v.20, p.539–551.

ASCHENBACH, J.R., GÄBEL, G., 2000. Effect and absorption of histamine in sheep rumen: significance of acidotic epithelial damage. Journal of Animal Science, v.78, p.464–470.

ASCHENBACH, J.R.; PENNER, G. B.; STUMPFF, F.; GÄBEL, G., 2011. RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM: Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH, Journal of Animal Science, v.89, p.1092-1107.

ASH, R.W.; DOBSON, A., 1963. The effect of absorption on the acidity of rumen contents. Journal of Physiology, v.169, p.39–61.

BANNINK, A.; FRANCE, J.; LOPEZ, S.; GERRITS, W.J.J.; KEBREAB, E.; TAMMINGA, S.; DIJKSTRA. J., 2008. Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. Animal Feed Science and Technology, v.143, p.3–26.

BAUER, M.L.; HEROLD, D.W.; BRITTON, R.A.; KLOPFENSTEIN T.J.; YATES D.A., 1995. Efficacy of laidlomycin propionate to reduce ruminal acidosis in cattle. Journal Animal Science, v.73, p.3445-3454.

BEAUCHEMIN, K.A. New Physically Effective Fiber Recommendations for High Producing Dairy Cows, In: Proceedings of the VI international symposium on forage and quality conservation, ed. FEALQ, p. 201-223, 2018.

BEAUCHEMIN, K.A.; YANG, W.Z., 2005. Effects of Physically Effective Fiber on Intake, Chewing Activity, and Ruminal Acidosis for Dairy Cows Fed Diets Based on Corn Silage, Journal of Dairy Science, v.88, p.2117-2129.

BENGOCHEA, W.L.; LARDY, G.P.; BAUER, M.L.; SOTO-NAVARRO, S.A., 2005. Effect of grain processing degree on intake, digestion, ruminal fermentation, and performance characteristics of steers fed medium-concentrate growing diets. Journal of Animal Science, v.83, p.2815–2825.

BERGMAN, E.N., 1990. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. Physiology Revious, v.70, p.567–590.

BIRKELO, C.P.; BROUK, M.J.; SCHINGOETHE, D.J., 2004. The Energy Content of Wet Corn Distillers Grains for Lactating Dairy Cows, Journal of Dairy Science, v.87, p.1815-1819.

BRITTON, R.A., STOCK, R.A. Acidosis, rate of starch digestion and intake. Oklahoma Agricultural. Experiment. Station MP-121, p.125–137, 1986.

CALSAMIGLIA, S.; FERRET, A. Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. XVIII Curso de es pecializacion FEDNA. p.97-115, 2002.

CARVALHO, J.R.R.; CHIZZOTTI, M.L.; SCHOONMAKER, J.P.; TEIXEIRA, P.D.; LOPES, R.C.; OLIVEIRA, C.V.R.; LADEIRA, M.M. Performance, carcass characteristics, and ruminal pH of Nellore and Angus young bulls fed a whole shelled corn diet, Journal of Animal Science, v.94, p.2451–2459, 2016.

COOPER, R., KLOPFENSTEIN, T.,1996. Effect of Rumensin and feed intake variation on ruminal pH. Update on Rumensin/Tylan/Micotil for the Professional Feedlot Consultant.

DANIELLI, J.F., HITCHCOCK, M.W.S.; MARSHALL, R.A.; PHILLIPSON, A.T., 1945. The mechanism of absorption from the rumen as exemplified by the behavior of acetic, propionic, and butyric acids. Journal of Experimental of Biology, v.22, p.75–84.

DELGADO-ELORDUY, A.; THEURER, C.B.; HUBER, J.T.; ALIO, A.; LOZANO, O.; SADIK, M.; CUNEOT, P.; DE YOUNG, H.D.; SIMAS, I.J.; SANTOS, J.E.; NUSSIO, L.G.; NUSSIO, C.; WEBB JR., K.E.; TAGARI, H., 2002. Splanchnic and mammary nitrogen metabolism by dairy cows fed steam-rolled or steam-flaked corn. Journal of Dairy Science, v.85, p.160–168.

DIJKSTRA, J.; BOER, H.; VAN BRUCHEM, J.; BRUINING, M.; TAMMINGA, 1993. S. Absorption of volatile fatty acids from the rumen of lactating dairy cows as influenced by volatile fatty acid concentration, pH, and rumen liquid volume. British Journal of Nutrition, v.69, p.385–396. Doi: 10.1079/bjn19930041

DIRKSEN, G. Indigestiones en el bovino. München: Schnet ztor-Verlag GmbH Konstanz. 1981. p.73.

ENEMARK, J.M.D.; JORGENSEN, R.J.; KRISTENSEN, N.B., 2004. An evaluation of parameters for the detection of subclinical rumen acidosis in dairy herds. Veterinary Research Communications, v.28, p.687-709.

FIRKINS, J.L.; BERGER, L.L.; FAHEY JR., G.C., 1985. Evaluation of wet and dry distillers grains and wet and dry corn gluten feeds for ruminants. Journal of Animal Science, v.60, p.847-860.

GÄBEL, G.; ASCHENBACH, J.R.; MÜLLER, F., 2002. Transfer of energy substrates across the ruminal epithelium: Implications and limitations. Animal Health Research Review, v.3, p.15–30.

GÄBEL, G.; ASCHENBACH, J.R. SCFA, protons and ruminal epithelium: The good, the bad, the barrier. Production Diseases in Farm Animals. M. Fürll, ed. Universität Leipzig, Leipzig, Germany. 2007, 291p.

GALYEAN, M.L.; DEFOOR, P.J., 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle, Journal of Animal Science, v.81, p.E8–E16.

GILL, H.S.; SHU, Q.; LENG, R.A., 2000. Immunization with Streptococcus bovis protects against lactic acidosis in sheep. Vaccine, v.18, p.2541–2548.

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

HOOVER, W. H.; MILLER, T. K., 1991. Rúmen digestive physiology and microbial ecology. Veterinary. Clinics of North America: Food Animal Pratice, v.7, p.311-234. Doi: 10.1016/s0749-0720(15)30801-x.

HUNTINGTON, G.B., 1997. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. Journal of Animal Science, v.75, p.852–867.

JESSE, B.W.; EMERY, R.S.; THOMAS, J.W., 1986. Control of bovine hepatic fatty acid oxidation. Journal of Dairy Science, v.69, p.2290–2297.

KAISER, A.G., 1999. Increasing the utilization of grains when fed whole to ruminants. Australian Journal of Agricultural Research, v.50, p.737-756.

KLEEN, J. L.; HOOIJER, G.A.; REHAGE, J.; NOORDHUIZEN, J.P.T.M., 2003. Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. Journal of Veterinary Medicine Series A, v.50, p.406-414. https://doi.org/10.1046/j.1439-0442.2003.00569.x

KOENIG, K.M.; BEAUCHEMIN, K.A.; RODE, L.M., 2003. Effect of grain processing and silage on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in beef cattle fed barley-based diets Journal of Animal Science, v.81, p.1057-1067.

KOLVER, E.S., de VETH, M.J., 2003. Prediction of ruminal pH from pasture-based diets, Journal of Dairy Science, v.85, p.1255–1266.

KRAUSE, M.K.; OETZEL, G.R., 2006. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. Animal Feed Science and Technology, v.126, p.215–236.

LONCKE, C.; ORTIGUES-MARTY, I.; VERNET, J.; LAPIERRE, H.; SAUVANT, D.; NOZIÈR, P., 2009. Empirical prediction of net portal appearance of volatile fatty acids,

glucose, and their secondary metabolites (β-hydroxybutyrate, lactate) from dietary characteristics in ruminants: A meta-analysis approach, Journal of Animal Science, v.87, p.253–268.

LOSTE, A.; RAMOS, J.J.; GARCÍA, L.; FERRER, L.M.; VERDE. M.T., 2005. High prevalence of ulcerative posthitis in Rasa Aragonesa rams associated with a legume rich diet. Journal of Veterinary Medicine A, Physiology Pathology and Clinical Medicine, v.52, p.176–179. DOI: 10.1111/j.1439-0442.2005.00709.x.

LOWE, D.M., TUBBS, P.K., 1985. Succinylation and inactivation of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA synthase by succinyl-CoA and its possible relevance to the control of ketogenesis. Biochemical Journal, v.232, p.37–42. Doi: 10.1042/bj2320037.

MACKIE, R.I.; GILCHRIST, F.M.C., 1979. Changes in lactate-producing and lactate-utilizing bacteria in relation to pH in the rúmen of sheep during stepwise adaptation to a high-concentrate diet. Applied and Environmental Microbiology, v.38, p.422-430.

MAEKAWA, M.; BEAUCHEMIN, K.A.; CHRISTENSEN, D.A., 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows, Journal of Dairy Science, v.85, p.1165–1175.

MARINI, J.C.; VAN AMBURGH, M.E., 2003. Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. Journal of Animal Science, v.81, p.545–552.

MERTENS, D.R., 1997. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows, Journal of Dairy Science, v.80, p.1463-1481.

MOORE, R.L.; ESSIG, H.W.; SMITHSON, L.J., 1975. Influence of breeds of beef cattle on ration utilization. Journal of Animal Science, v.41, p.203-207.

NIEDERMAN, C. N.; THATCHER, C.D.; WELKER, B., 1990. Nutritional factors in bovine gastrointestinal disease. Veterinary Clinics North American: Food Animal Pratice, 6: 265-306.

NOCEK, J.E. Bovine acidosis: Implications on laminitis, Journal of Dairy Science, v.80, p.1005–1028, 1997.

NORDLUND, K. Factors that contribute to subacute ruminal acidosis. Am. Assoc. Bov. Pract., 36th Annual Conference. 15-17 set. 2003. Disponível em: http://www.vetmed.wisc.edu/dms/fapm/ fapmtools/2nutr/sarafacters. pdf Acesso em: 15 fev. 2005.

OLBRICH JR., J.F. The effect of corn particle size and corn silage level on the performance of Angus (Bos taurus) and Brahman (Bos indicus) steers. 1996. 181 p. Thesis (PhD – Animal Science) - University of Florida, Gainesville, 1996.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN, D.D., 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil, Animal Feed Science and Technology, v.197, p.64-75.

PARKER, D.S.; LOMAX, M. A.; SEAL, C.J.; WILTON, J.C., 1995. Metabolic implications of ammonia production in the ruminant. Proceeding of Nutrition Societyy, v.54, p.549–563.

PARSONS, C.H.; VASCONCELOS, J.T.; SWINGLE, R.S.; DEFOOR, P.J.; NUNNERY, G.A.; SALYER, G.B.; GALYEAN, M.L., 2007. Effects of wet corn gluten feed and roughage levels on performance, carcass characteristics, and feeding behavior of feedlot cattle. Journal of Animal Science, v.85, p.3079–3089.

PENNER, G.B.; TANIGUCHI, M.; GUAN, L.L.; BEAUCHEMIN, K.A.; OBA, M., 2009. The dietary forage to concentrate ratio does not affect the rate of volatile fatty acid absorption but alters the expression of genes regulating energy metabolism in rumen tissue. Journal of Dairy Science, v.92, p.2767–2781.

RAMOS-AVIÑA, D.; PLASCENCIA, A.; ZINN, R., 2018. Influence of dietary nonstructural carbohydrate concentration on growth performance and carcass characteristics of Holstein steers. Asian-Australasian Journal of Animal Science, v.31, p.859–863.

REYNOLDS, C.K.; KRISTENSEN, N.B., 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: Anasynchronous symbiosis. Journal of Animal Science, 86: E293–E305.

SIDDONS, R.C.; NOLAN, J.V.; BEEVER, D.E.; MACRAE, J.C., 1985. Nitrogen digestion and metabolism in sheep consuming diets containing contrasting forms and levels of N. British Journal of Nutrition, v.4, p.175–187.

STONE, W.C., 2004. Nutritional approaches to minimize subacute ruminal acidosis and laminitis in dairy cattle, Journal of Dairy Science, v.87(E. Suppl.), p.E13–E26.

SUTTON, J.D.; DHANOA, M.S.; MORANT, S.V.; FRANCE, J.; NAPPER, D.J.; SCHULLER, E., 2003. Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets, Journal of Dairy Science, v.86, p.3620–3633.

TURGEON, O.A.; S ZASZ, J.I.; KOERS, W.C.; DAVIS, M.S.; VANDER POL, K.J.,2010. Manipulating grain processing method and roughage level to improve feed efficiency in feedlot cattle, Journal of animal, v.88, p.284-295. Doi: 10.2527/jas.2009-1859.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed. Ithaca: Cornell University

WHITE R.R.; HALL, M.B.; FIRKINS, J.L.; KONONOFF, P.J., 2017b. 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.

WHITE, R.R.; HALL, M.B.; FIRKINS, J.L.; KONONOFF, P.J., 2017a. 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.

Capítulo 2

Exigência de fibra para bovinos de corte em terminação

João L. P. Daniel
Antonio V. I. Bueno
Francisco A. Piran Filho
Sillas M. S. Silva
Clóves C. Jobim

Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR
***E-mail: jlpdaniel@uem.br**

Resumo

A terminação de animais em confinamento é uma prática crescente no Brasil. Simultaneamente, a proporção de ingredientes concentrados em rações de confinamento aumentou significativamente nas últimas décadas, sendo comum a inclusão de níveis mínimos de volumosos com a finalidade de reduzir a incidência de distúrbios digestivos e melhorar o desempenho dos animais. Nesta revisão, abordamos as principais fontes e níveis de volumosos usados nos confinamentos brasileiros, o papel da fibra fisicamente efetiva na ocorrência de acidose ruminal e no desempenho animal, os critérios para substituição de fontes de volumosos, as interações entre processamento de grãos, uso de subprodutos e níveis de fibra fisicamente efetiva, e o uso de dietas sem volumosos.

Palavras-chave: acidose, alto grão, confinamento, fibra fisicamente efetiva

Introdução

Antes da segunda guerra mundial, os bovinos destinados a produção de carne eram terminados quase que exclusivamente em pastagens. Contudo, atualmente, nos Estados Unidos, por exemplo, 95% da carne que chega ao mercado é proveniente de animais terminados em confinamento e, durante esta etapa da criação, os animais recebem dietas com alto teor energético (alta concentração de grãos), e por consequência, baixa concentração de alimentos volumosos. No continente europeu, por outro lado, vem-se buscando elevar a quantidade de animais terminado em sistemas pastoris, havendo muitas vezes subsídios para que os produtores adotem tais práticas. No Brasil, aproximadamente 17% dos animais abatidos são terminados em confinamento.

O teor e a fonte de fibra na dieta afetam o desempenho dos animais e o lucro na fase de terminação. Portanto, alimentos volumosos são normalmente incluídos em concentrações mínimas nas dietas de terminação contendo alta proporção de alimentos concentrados com a finalidade de reduzir a incidência de distúrbios digestivos e melhorar o desempenho dos

animais. Em dietas contendo 100% de alimentos concentrados (sem fonte de volumoso), inclusão pequena de fibra fisicamente efetiva (FDNfe) aumenta o consumo de matéria seca (CMS) e de energia líquida para ganho (ELg) e, por consequência, o ganho médio diário (GMD).

Normalmente, o custo da MS de volumosos é menor que da MS oriunda de grãos. Então, o custo da ração geralmente é menor quando a dieta contém maior proporção de volumoso (ração mais barata, R$/kg de MS). Entretanto, como o custo da ELg é frequentemente mais baixo para grãos do que para forrageiras, dietas com alto teor de grãos geralmente levam ao ganho de peso menos dispendioso (R$/@).

Em confinamentos, dietas ricas em energia (e outros nutrientes) são preferidas por várias razões. Primeiramente, quando comparadas com dietas ricas em forragens, as dietas com alto teor de grãos são mais digestíveis e resultam em menor incremento calórico, menor produção de metano/kg de MS consumida e maior eficiência alimentar (GMD/CMS), fornecendo assim ELg a um custo menor. Em segundo lugar, devido ao maior GMD, a energia particionada para mantença, como proporção da energia consumida ao longo do ciclo de vida é menor para animais que recebem dietas ricas em grãos. Em terceiro, a taxa de crescimento mais rápida para dietas ricas em grãos reduz o tempo de confinamento e, por sua vez, o custo do capital investido em animais e outros custos fixos. Em quarto, a deposição de gordura e o marmoreio são mais facilmente alcançados com pesos de carcaça mais baixos, quando fornecidas dietas com alto concentrado. Em quinto, além da menor digestibilidade, os alimentos fibrosos são menos consistentes em termos de composição química, e com processamento mais grosseiro ocupam maior volume durante o armazenamento, na confecção e no transporte da dieta; portanto, grãos e dietas com alto teor de grãos são mais facilmente transportados, armazenados, processados e manipulados (levando a um menor custo operacional), gerando menor quantidade de resíduos indigestíveis liberados para o meio ambiente quando comparados com dietas à base de forragem. Finalmente, comparando-se a produção de grãos para comercialização, a produção de forragem dentro da fazenda requer mais mão-de-obra e área cultivável. Embora dietas para ruminantes com níveis mais elevados de volumoso tenham sido consideradas mais sustentáveis ambientalmente, o GMD mais baixo associado ao maior CMS (menor eficiência alimentar), o período de alimentação mais longo, a maior porcentagem da energia líquida particionada para mantença ao longo do ciclo de vida (devido ao menor GMD) e uma maior produção de metano/kg de carne produzida devem ao menos comprometer parcialmente as vantagens dos sistemas de 'alta forragem'.

Fontes e níveis de volumoso nos confinamentos brasileiros

Geralmente, os nutricionistas devem considerar quatro fatores principais ao escolher as fontes de volumoso. O primeiro é a disponibilidade do volumoso, o segundo é o custo final em relação ao seu valor nutritivo, o terceiro é o seu “valor como volumoso" (nível de FDNfe) e o quarto é a capacidade de mistura do volumoso com outros componentes da dieta a fim de reduzir a segregação de partículas (Owens, 2008).

Atualmente no Brasil, as operações de confinamento estão mais próximas das regiões agrícolas, o que torna os alimentos concentrados (grãos e subprodutos) mais baratos. Em uma

primeira pesquisa com nutricionistas brasileiros, Millen et al. (2009) relataram que o conteúdo médio de concentrado na dieta de terminação de bovinos foi de 71,2% em comparação com 79,0% em uma segunda pesquisa (OLIVEIRA; MILLEN, 2014) e 79,4% no cenário mais recente (Pinto e Millen, 2016). Portanto, a proporção de concentrado continua em ascensão nos confinamentos brasileiros. Interessantemente, enquanto o nível de volumoso está diminuindo, o processamento de grãos está aumentando em dietas de confinamento, pois a silagem de grãos úmidos de milho bem como o milho floculado constaram na última pesquisa. A silagem de milho é de longe a principal fonte de volumoso nas dietas de terminação, mas outras fontes foram declaradas em uso [por exemplo, oriundas da cana-de-açúcar (bagaço, silagem), silagem de sorgo, silagem de capim] (OLIVEIRA; MILLEN, 2014; PINTO; MILLEN, 2016). Para fins de comparação, em confinamentos nos EUA, a silagem de milho e a palhada de milho foram recentemente relatados como as principais fontes de volumosos nas dietas para terminação e, na maioria dos casos, representavam de 8 a 10% da MS da dieta (SAMUELSON et al., 2016).

A propósito, em épocas de altos preços dos grãos (comparativamente ao preço da carne), três principais estratégias nutricionais podem ser utilizadas nos confinamentos: i) substituir parcialmente os grãos por subprodutos (por exemplo, resíduos de destilaria, casca de soja, polpa cítrica, farelo de glúten de milho); ii) melhorar o processamento dos grãos para aumentar a digestibilidade dos grãos (por exemplo, ensilagem de grãos úmidos ou reidratados, floculação a vapor), para que o custo final da ELg dos grãos diminua e iii) produzir forragens de "alta qualidade" (por exemplo, silagem de milho com alta proporção de grãos), consequentemente, a dieta pode conter um nível mais alto dessa forragem de “alta qualidade”, sem comprometer o desempenho do animal. A combinação dessas estratégias pode ajudar os confinamentos a prosperar sob altos preços dos grãos.

Fibra, acidose ruminal e desempenho animal

A acidose ruminal (subaguda ou aguda) é o acúmulo excessivo de ácidos no rúmen (primariamente ácidos graxos voláteis), que ocorre quando a taxa de produção excede a taxa de remoção de ácidos (absorção + passagem). Experimentalmente, a acidose ruminal tem sido caracterizada quando o pH cai abaixo de um certo nível (por exemplo, < 5,8) durante um determinado período de tempo (por exemplo, > 3 h/d) (OWENS et al., 1998; BEAUCHEMIN et al., 2001; CASTILLO-LOPEZ et al., 2014). Esse distúrbio digestivo está associado à depressão e aumento na variação de CMS, alteração da microbiota ruminal, redução da digestibilidade de fibra, diminuição da motilidade ruminal, timpanismo, lesão no epitélio ruminal, diminuição da absorção de AGV, ruminite, abscesso hepático e claudicação (NRC, 2016). Portanto, as forragens são incluídas nas dietas de confinamento com alto concentrado para reduzir o risco de distúrbios metabólicos, melhorar o desempenho dos animais e o lucro das operações de confinamento.

Quanto maior a inclusão de volumosos na dieta, maior será o teor de FDN e, consequentemente, menor será o teor de carboidratos não fibrosos (CNF), o qual é composto principalmente de amido. Logo, as alterações na concentração de FDN estão sempre associadas a alteração oposta na concentração de CNF, e vice-versa. A fração FDN de

forragem é digerida mais lentamente que a fração CNF. Portanto, o principal efeito da inclusão de volumoso na dieta é reduzir a taxa de digestão de carboidratos, o que resulta em diminuição da taxa de produção de ácidos no rúmen. Além do mais, a efetividade física da FDN de forragem (FDNfe) é capaz de estimular a mastigação e a secreção de saliva, a consistência do 'mat' ruminal, a motilidade do rúmen e a taxa de passagem, o que aumenta a entrada de tampões e a remoção de ácidos. Ainda, o aumento da oferta de volumoso tende a diminuir a taxa de ingestão de alimentos (kg de MS/min) e, devido à maior taxa de passagem, pode transferir parte da digestão do amido do rúmen para o intestino, diminuindo a taxa de produção de ácidos no rúmen (YANG; BEAUCHEMIN, 2006). Além de incluir uma proporção mínima de FDNfe na dieta, outras estratégias de manejo, como adaptação à dieta e manejo de cocho, são imprescindíveis para prevenir a ocorrência de acidose ruminal (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores que afetam o pH ruminal de bovinos confinados

Fator	Aumento do pH	Redução do pH
Forragens	Maior proporção, partículas mais longas	Proporção mais baixa, partículas mais curtas
Grãos	Milho, sorgo	Cevada, trigo
Processamento de grãos	Inteiro, laminação grosseira	Moagem fina, floculação a vapor com baixa densidade de flocos, ensilagem de grãos úmidos
Aditivos	Ionóforos, tamponantes	
Manejo da alimentação	Horário de trato consistente	Horário de trato consistente
Frequência de alimentação	Mais de uma vez por dia	Uma vez por dia
Duração da alimentação	Menor tempo de alimentação	Maior tempo de alimentação
Transição de dietas	Transição gradual, maior adaptação às dietas	Transição abrupta, breve adaptação à dieta

Fonte: NRC (2016).

Embora as duas últimas edições do NRC Gado de Corte (1996 e 2016) tragam uma tabela indicando as exigências de FDNfe (Tabela 2), na prática ela tem recebido pouca atenção. Nos EUA e no Canadá, as dietas comerciais para terminação em confinamento costumam apresentam FDNfe abaixo dessas recomendações (VASCONCELOS; GALYEAN, 2007; KOENIG; BEAUCHEMIN, 2011; SAMUELSON et al., 2016). De fato, a oitava (atual) edição do NRC Gado de Corte (NRC, 2016) reconhece que a FDNfe descrita como a porcentagem de FDN retida em peneira de 1,18 mm ($FDNfe_{>1,18}$) é limitada como preditor único de pH ruminal, particularmente em dietas para bovinos de corte confinaods, pois esse conceito não contempla a fermentabilidade da dieta ou a produção de AGV do rúmen. Owens et al. (1997) relataram que os efeitos do $FDNfe_{>1,18}$ no CMS e de energia metabolizável (EM) de grãos não são consistentes. Na verdade, o teor de $FDNfe_{>1,18}$ da dieta reponde por pouca variação do pH ruminal em bovinos de corte (SARHAN; BEAUCHEMIN, 2015). Interessantemente, uma análise de dados recente mostrou que uma equação baseada no nível de forragem na dieta era mais precisa para prever o pH ruminal do que o teor de $FDNfe_{>1,18}$ para bovinos de corte (NRC, 2016), sugerindo que o FDNfe com base nas respostas dos animais (ou seja, mastigação) medida por ensaios biológicos pode ser mais realista do que o

FDNfe$_{>1,18}$ (medido com uma peneira), especialmente quando o objetivo é substituir fontes de forragens tradicionais por fontes não convencionais (GOULART, 2010).

Tabela 2. Exigências estimadas de FDNfe$_{>1,18}$ (peneira de 1,18 mm)

Tipo de dieta	Exigência mínima de FDNfe$_{>1,18}$ (% da MS)
Dieta com alto teor de concentrados para maximizar a eficiência alimentar, alimentação com ração completa, bom manejo de cocho e uso de ionóforos	5 a 8
Alimentação com ração completa, manejo de cocho variável ou dieta sem ionóforos	20
Dieta com alto teor de concentrados para maximizar o uso de CNF e a síntese de proteína microbiana[a]	20

[a] Para manter o pH ruminal acima de 6,2 e assim maximizar a digestão de fibra e a síntese de proteína microbiana.
Fonte: NRC (1996, 2016).

Na versão anterior do NRC (1996), o compartimento empírico do modelo (Nível 1) incluía um desconto para ajustar a produção de proteína microbiana para dietas com baixo teor de FDNfe$_{>1,18}$ (<20% de FDNfe$_{>1,18}$). A validade desta correção não foi avaliada extensivamente com experimentos nem validada com dados independentes. Além disso, o ajuste do FDNfe$_{>1,18}$ foi baseado em um conjunto de dados limitado (NRC, 2016). Então, o comitê da edição atual abandonou esse ajuste com base em FDNfe$_{>1,18}$ e, para o nível empírico de solução, adotou novas equações para prever a síntese de proteína microbiana com base na ingestão de NDT (para dietas com <3,9% de extrato etéreo) ou NDT livre de gordura (para dietas com ≥3,9% do extrato etéreo) (GALYEAN; TEDESCHI, 2014; NRC, 2016).

Nos últimos anos, várias revisões foram conduzidas para verificar os efeitos do nível de forragem/fibra no desempenho de bovinos confinados na fase de terminação (GALYEAN; DEFOOR, 2003; ARELOVICH et al., 2008; GALYEAN; HUBBERT, 2014). Em resumo, as revisões indicaram que o aumento dos níveis de FDN de forragem nas dietas de confinamento contendo altos teores de concentrados diminuiu linearmente a eficiência alimentar e aumentou o consumo de MS e ELg (Figura 1).

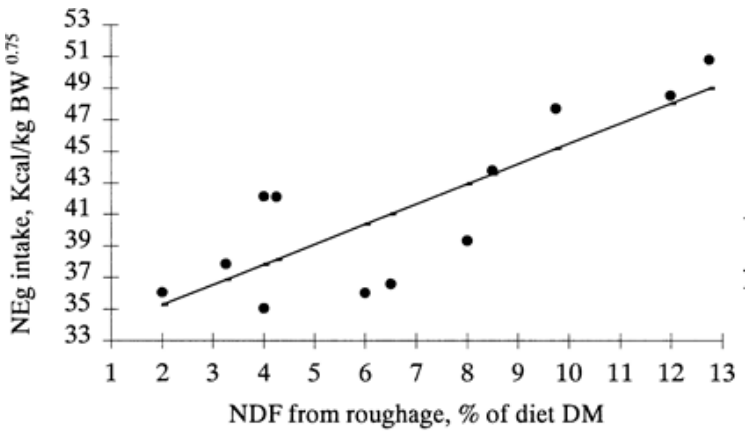


Figura 1. Influência do nível de FDN de forragem no consumo de energia líquida para ganho
Fonte: Defoor et al. (2002).

Recentemente, Swanson et al. (2017) relataram tendência quadrática para o CMS e redução linear no GMD e na eficiência alimentar com aumento no teor de FDN de forragem da dieta. O nível de FDN de forragem variando de 3,8% a 11,4% teve mínima influência no consumo de ração, mas incluir mais de 11,4% induziu uma redução mais acentuada no CMS (Tabela 3).

Tabela 3. Influência do nível de forragem no comportamento alimentar e desempenho de novilhos em terminação alimentados com dietas à base de milho laminado a seco

	FDN de forragem[1], % MS				
Item	3,8%	7,6%	11,4%	15,2%	*P*[2]
Refeições diárias	8,35	8,56	8,45	8,96	L
Taxa de ingestão, g/min	124	142	114	100	Q
CMS por refeição, kg	1,44	1,40	1,37	1,15	Q
CMS, kg/d	11,6	11,5	11,2	9,8	Q
GMD, kg/d	2,31	2,18	2,09	1,81	L
Eficiência alimentar	0,197	0,187	0,184	0,178	L

[1]FDN de forragem: 50% de feno de *Bromus tectorum* + 50% de silagem de milho,
[2]L: efeito linear, Q: efeito quadrático do nível de FDN de forragem.
Fonte: Swanson et al. (2017).

Em dietas formuladas com fonte de fibra proveniente da cana-de-açúcar (cana fresca, silagem de cana ou bagaço de cana), o nível ótimo de FDN de forragem esperado seria menor, devido à maior efetividade física da FDN da cana-de-açúcar (consulte o próximo tópico "Trocando as fontes de volumoso"). Santos et al. (2013) realizaram uma meta-análise com dados de experimentos de terminação onde níveis de fontes de fibra da cana-de-açúcar (bagaço e silagem) foram utilizados na alimentação de bovinos Nelore (Figuras 2, 3 e 4). Conforme relatado na meta-análise dos EUA, a eficiência alimentar foi reduzida linearmente com o aumento dos níveis de FDN de forragem. No entanto, o CMS e o GMD apresentaram tendências quadráticas, com pontos máximos em 13,4% e 12,0% de FDN de forragem, respectivamente. Os autores declararam que a tendência quadrática do CMS pode ter ocorrido devido ao menor valor nutritivo da fibra da cana-de-açúcar, em comparação com as fontes tradicionais de forragens utilizadas nos EUA (por exemplo, silagem de milho, feno de alfafa).

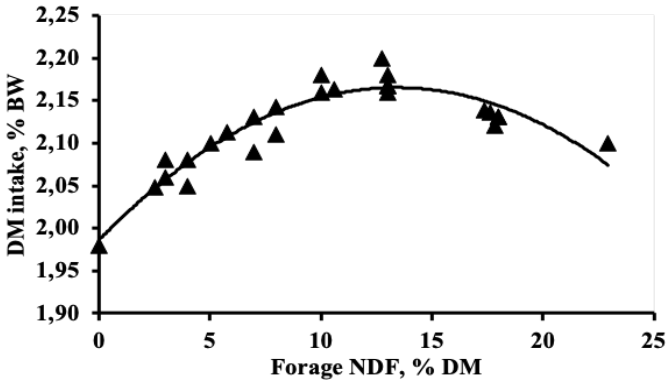


Figura 2. Efeito do nível de fibra da cana-de-açúcar no CMS (porcentagem do peso corporal) em bovinos Nelore em terminação. Ponto máximo (vértice) = 13,4% de FDN de forragem
Fonte: Santos et al. (2013).

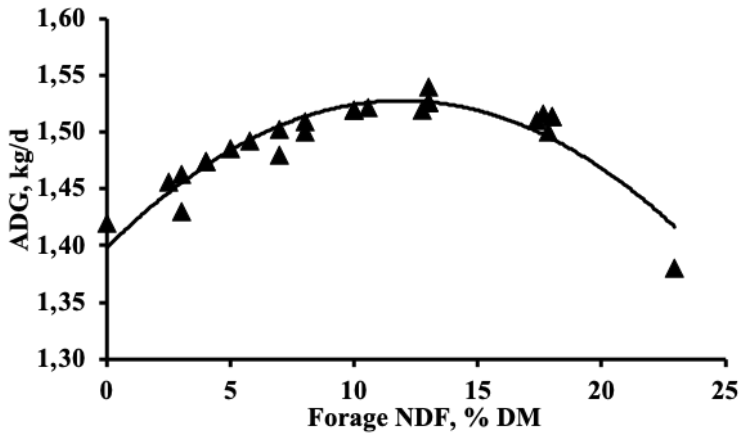


Figura 3. Efeito do nível de fibra da cana-de-açúcar no GMD de bovinos Nelore na terminação. Ponto máximo (vértice) = 12,0% de FDN de forragem
Fonte: Santos et al. (2013).

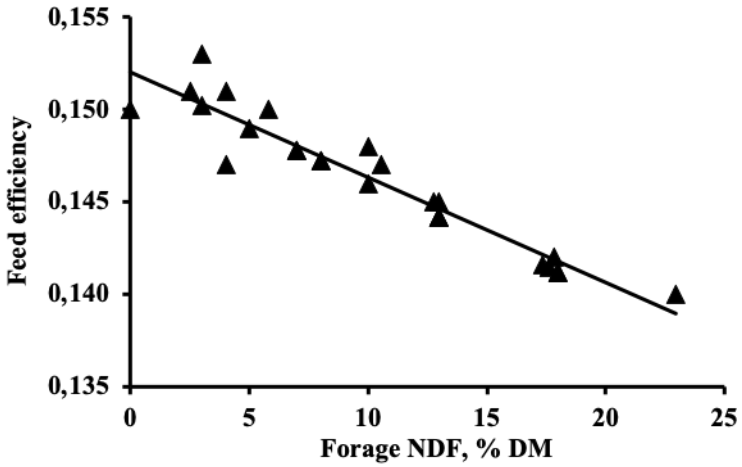


Figura 4. Efeito do nível de fibra da cana-de-açúcar na eficiência alimentar de bovinos Nelore na terminação
Fonte: Santos et al. (2013).

Trocando as fontes de volumosos

Historicamente, a exigência de fibra ou volumoso pode ser expressa de várias maneiras. Inicialmente, o nível de volumoso foi a primeira tentativa de atingir as exigências de fibra. No entanto, devido às grandes diferenças no conteúdo de FDN entre as fontes de volumoso, o mesmo nível de forragem (na base da MS) pode levar a diferentes cenários. Por exemplo, pode-se notar facilmente esta falta trocando-se silagem de milho por bagaço da cana (exemplo extremo).

Posteriormente, o FDN de forragem apareceu como uma medida mais adequada do valor do alimento como volumoso e, de fato, foi adotado com sucesso para trocar as fontes de volumosos tradicionais (Galyean e Defoor, 2003). No entanto, as fontes de volumosos podem diferir em tamanho das partículas e, por sua vez, no seu “valor de volumoso" (efetividade

física). Portanto, Mertens (1997) propôs um método laboratorial para prever a efetividade física com base na porcentagem de FDN remanescente em uma peneira com crivos de 1,18 mm (amostra seca). No entanto, vários estudos concluíram que alterar o tamanho das partículas de forragem pode fornecer benefícios limitados na melhoria do desempenho na fase de terminação (Tabelas 4, 5 e 6). Além disso, foi claramente demonstrado por Campos (2015) que o processamento grosseiro de forragem estimulou seleção de partículas longas no cocho, comprometendo assim o valor teórico de efetividade física das partículas longas (Tabela 6). Portanto, outros fatores, como facilidade de manuseio e custo de processamento, devem ser considerados ao processar forragens.

Tabela 4. Influência do nível de forragem e do tamanho de partícula no desempenho de bovinos alimentados com dietas à base de milho floculado

Nível de forragem	16%		8%	
Tamanho de partícula[1]	2,5 cm	7,6 cm	2,5 cm	7,6 cm
CMS, kg/d	7,00	7,28	6,94	6,80
GMD, kg/d	1,20[b]	1,15[b]	1,41[a]	1,41[a]
CMS/GMD	6,13[x]	6,49[x]	4,94[y]	4,82[y]
pH ruminal	5,84[x]	5,93[x]	5,61[y]	5,68[y]
Butirato ruminal (mol/100 mol)	9,2[y]	8,1[y]	11,5[x]	12,9[x]

[1] O feno de capim-sudão foi triturado para passar em peneira com crivos de 2,5 ou 7,6 cm de diâmetro.
[a,b] Efeito do nível de forragem ($P < 0,05$); [x,y] Efeito do nível de forragem ($P < 0,10$).
Fonte: Calderon-Cortes e Zinn (1996).

Tabela 5. Efeito do tamanho de partículas no desempenho de bovinos em terminação

	Experimento 1			Experimento 2	
Tamanho de partícula	0,95 cm	7,6 cm	12,7 cm	0,95 cm	7,6 cm
CMS, kg/d	11,7	11,8	11,4	10,6	10,8
GMD, kg/d	1,70	1,69	1,63	1,65	1,68
Eficiência alimentar	0,146	0,143	0,143	0,156	0,156
Escore de abscesso hepático (0-4)	0,09	0,03	0,05	-	-

Experimento 1: Resultados médios de dietas à base de milho laminadas a seco contendo 10% de feno de alfafa ou 5,2% de palha de trigo. Experimento 2: Dieta à base de milho, laminada a seco, contendo 10% de feno de alfafa.
Fonte: Shain et al. (1999).

Tabela 6. Influência do tamanho de partícula da silagem de cana-de-açúcar no desempenho de bovinos Nelore em terminação

	Tamanho médio de partícula (mm)				*P*[1]	
Item	6,1	11,0	15,7	17,2	L	Q
CMS, kg/d	10,8	9,91	10,3	10,4	0,22	0,03
GMD, kg/d	1,56	1,44	1,50	1,46	0,21	0,37
Eficiência alimentar	0,145	0,145	0,147	0,141	0,67	0,40
Digestibilidade da MS, %	53,6	51,8	53,4	53,6	0,79	0,44
Tempo de mastigação, min/d	543	615	606	603	0,03	0,08
Fator de efetividade física (pef)	1,08	1,20	1,21	1,22	-	-

[1]L: efeito linear, Q: efeito quadrático do tamanho médio das partículas.
Fonte: Campos (2015).

A natureza da FDN pode diferir entre as fontes de forragem. As peculiaridades da composição química, as ligações cruzadas de polímeros da parede celular e a organização dos tecidos vegetais são possivelmente responsáveis pelas diferenças observadas na digestibilidade, na fragilidade (taxa de comunuição) e na efetividade física (WILSON, 1993; SÁ NETO et al., 2014). Investigando níveis e fontes de volumosos (feno de alfafa ou casca de sementes de algodão), Bartle et al. (1994) relataram interações entre o nível e a fonte de forragem sobre o desempenho de bovinos de corte na terminação, provavelmente causados por diferenças na natureza da FDN. O aumento da inclusão de feno de alfafa de 10% para 20% não alterou o GMD, enquanto o aumento do nível de cascas de semente de algodão de 10% para 30% deprimiu o GMD linearmente.

Armentano e Pereira (1997) propuseram um método para determinar o 'fator de efetividade' dos alimentos com base nas respostas dos animais (ensaios biológicos) que integram as características físicas e não físicas dos ingredientes da dieta. Como o tempo total de mastigação (ingestão + ruminação) está positivamente relacionado ao conteúdo de fibra e ao tamanho das partículas, o tempo de mastigação foi escolhido como uma excelente variável resposta ao FDNfe (FDN fisicamente efetivo). Utilizando o ensaio biológico proposto por Armentano e Pereira (1997), Goulart (2010) determinou o fator de efetividade física (fef) para fontes de fibra de forragem e de fontes não forragem em novilhos Nelore.

Como esperado, o autor relatou que o FDN da cana-de-açúcar (picada fresca ou bagaço de cana) apresentava fef (com base na resposta animal) pelo menos 20% superior ao fef da FDN da silagem de milho (uma fonte tradicional de forragem). Embora a silagem de milho utilizada no experimento tivesse partículas mais longas, a fibra da cana-de-açúcar foi mais efetiva em promover mastigação, aumentar a consistência do "mat" ruminal e o pH ruminal. No mesmo estudo, o autor comparou o fef obtido por respostas de animais com o $fef_{>1,18}$ medido com peneira de 1,18 mm (método laboratorial). Notavelmente, fef e $fef_{>1,18}$ não foram correlacionados positivamente. De fato, quando os autores plotaram os valores de $fef_{>1,18}$ versus fef obtido pelo tempo de mastigação (min/kg MS) foi observada correlação negativa com significância estatística (Tabela 7). Então, fef e $fef_{>1,18}$ podem levar a cenários distintos, especialmente se as forragens tradicionais forem trocadas por fontes não convencionais de forragem (Tabela 8).

Tabela 7. Correlação de Pearson entre fatores de efetividade física (fef) medidos por ensaio biológico ou peneira de 1,18 mm ($fef_{>1,18}$) (Goulart, 2010)

	$fef_{(mastigação, min/d)}$	$fef_{(mastigação, min/kg MS)}$	$fef_{('mat' ruminal)}$	$ef_{(pH ruminal)}$
$fef_{>1,18}$	r = 0,18 (*P*=0,28)	r = -0,38 (*P*=0,02)	r = 0,13 (*P*=0,44)	r = -0,14 (*P*=0,40)

Tabela 8. Desvios entre [1]$FDNfe_{>1,18}$ e [2]FDNfe em fontes de forragens

Fonte	FDN, %MS	$fef_{>1,18}$ (peneira)	$FDNfe_{>1,18}$, %MS	Nível de forragem para atingir 8% de $FDNfe_{>1,18}$	Nível de forragem para atingir 10% de $FDNfe_{>1,18}$	Nível de forragem para atingir 12% de $FDNfe_{>1,18}$
Silagem de milho	50	0,81[3]	40,5	19,8	24,7	29,6
Feno de alfafa	45	0,92[3]	41,4	19,3	24,2	29,0
Feno de grama bermuda	67	0,98[3]	65,7	12,2	15,2	18,3
Silagem de cana-de-açúcar	60	0,60[4]	36,0	22,2	27,8	33,3
Bagaço de cana-de-açúcar	82	0,59[5]	48,4	16,5	20,7	24,8
Fonte	**FDN, %MS**	**fef (animal)**	**FDNfe, %MS**	**Nível de forragem para atingir 8% de FDNfe**	**Nível de forragem para atingir 10% de FDNfe**	**Nível de forragem para atingir 12% de FDNfe**
Silagem de milho	50	1,00[5]	50,0	16,0	20,0	24,0
Feno de alfafa	45	1,00[5]	45,0	17,8	22,2	26,7
Feno de grama bermuda	67	1,00[5]	67,0	11,9	14,9	17,9
Silagem de cana-de-açúcar	60	1,20[5]	72,0	11,1	13,9	16,7
Bagaço de cana-de-açúcar	82	1,20[5]	98,4	8,2	10,2	12,2
Fonte				**Diferenças entre $FDNfe_{>1,18}$ e FDNfe**		
Silagem de milho				+23%		
Feno de alfafa				+9%		
Feno de grama bermuda				+2%		
Silagem de cana-de-açúcar				+100%		
Bagaço de cana-de-açúcar				+103%		

[1]$FDNfe_{>1,18}$ = FDN × $fef_{>1,18}$ (com base em peneira de 1,18 mm). [2]FDNfe = FDN × fef (com base na resposta animal).
Fonte: [3]NRC (2016); [4]Campos (2015); [5]Goulart (2010).

Com base nos estudos acima mencionados e respeitando-se um comprimento mínimo de partículas na colheita ou corte de forragens (por exemplo, > 10 mm), as fontes de forragem podem ser trocadas com base em FDNfe (determinado por ensaio biológico), em vez de FDN

ou FDNfe$_{>1,18}$.

Fibra vs. processamento de grãos e uso de subprodutos

O processamento dos grãos, bem como o uso de subprodutos de grãos podem, hipoteticamente, alterar o nível ideal de volumoso em dietas de terminação com alto teor de concentrado. Gill et al. (1981) avaliaram cinco níveis de volumosos (8%, 12%, 16%, 20% e 24% da MS) com três formas de processamento do milho [silagem de grãos úmidos (SGU), milho floculado (MF) ou uma mistura 50:50 de SGU e MF). A fonte de volumoso foi uma mistura de 1/3 de feno de alfafa moído e 2/3 de silagem de milho (com base na MS). Para a silagem de milho, apenas a fração forragem (colmo, folhas, brácteas e sabugo) foi assumida como volumoso. Considerando o GMD, os níveis ideais de volumoso foram: 8% para MF, 12% para a mistura 50:50 e 16% para SGU, enquanto, para a eficiência alimentar, os níveis ótimos de forragem foram: 8% para MF, 8% para a mistura 50:50 e 16 % para SGU. Stock et al. (1990) compararam dietas à base de SGU ou grão de sorgo laminado a seco com 0%, 3%, 6% ou 9% de volumoso. O volumoso era uma mistura 50:50 de silagem de milho e feno de alfafa. Os bovinos alimentados com SGU apresentaram menor CMS e foram mais eficientes que os bovinos alimentados com grão de sorgo laminado a seco. Não houve interações entre as fontes de grãos e volumosos.

Caetano et al. (2015) avaliaram os efeitos de vários níveis de FDN de bagaço de cana sobre o desempenho de bovinos da raça Nelore alimentados com dietas contendo milho moído seco (MMS) ou SGU. Houve efeito quadrático para o teor de FDN de bagaço de cana sobre o GMD, com nível ótimo de FDN do bagaço em 13,3%. Foi observada interação entre o processamento do milho e o nível de FDN do volumoso para o CMS, com o pico de CMS ocorrendo para as inclusões de 11,3% e 13,7% de FDN do bagaço da cana para o MMS e SGU, respectivamente (Figura 5). Os bovinos alimentados com SGU tiveram eficiência alimentar 13,9% maior em comparação com os alimentados com MMS. Também foi observada interação entre o processamento e o nível de bagaço de cana para a concentração de amido fecal. Para os animais alimentados com MMS, o teor de amido fecal diminuiu linearmente à medida que a concentração de FDN de bagaço aumentou, enquanto o amido fecal sempre foi baixo nos animais alimentados com SGU. Consistentemente com outros estudos (SILVA et al., 2007; HENRIQUE et al. 2007; SILVA, 2016), a SGU deprimiu o CMS. Embora a maior degradabilidade ruminal da SGU possa ter aumentado o risco de acidose ruminal, a ingestão de energia metabolizável foi menor nos animais alimentados com SGU em comparação ao MMS (CAETANO et al., 2015), certamente pelo maior fluxo portal hepático de propionato (ALLEN et al., 2009), provavelmente independente da acidose. O aumento da anaplerose do ciclo do ácido tricarboxílico nos hepatócitos, causado pela maior absorção do ácido propiônico no rúmen, tem sido associado à diminuição do tamanho das refeições, do CMS e da ingestão de energia metabolizável nos ruminantes (GUALDRÓN-DUARTE; ALLEN, 2017). A substituição parcial da SGU (por exemplo, 1/3) por subprodutos de milho ou grãos secos pode ser adotada em condições práticas para aliviar a depressão de CMS e aumentar a ingestão de ELg em dietas formuladas com alta inclusão de SGU.

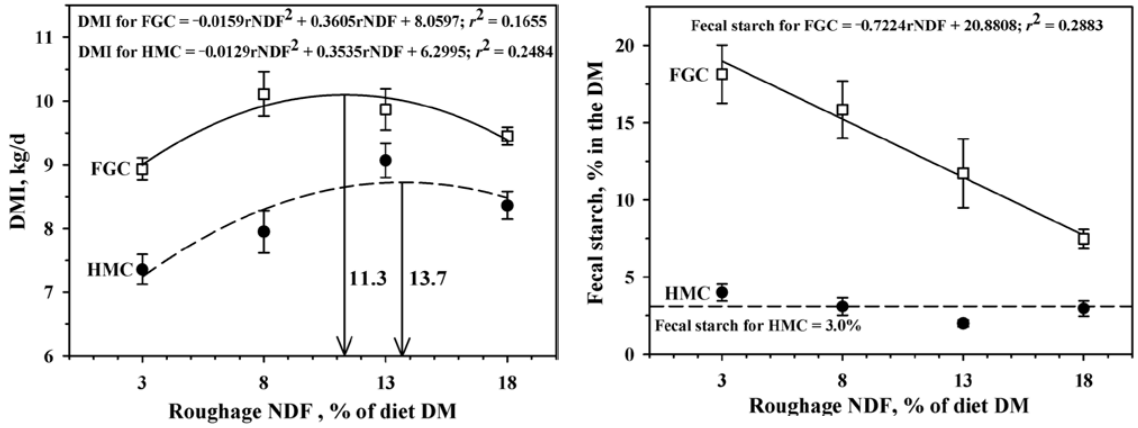


Figura 5. Influência do processamento de grãos de milho [milho seco moído finamente (FGC) ou silagem de grãos úmidos (HMC)] e nível de FDN da silagem de cana-de-açúcar no consumo de matéria seca (DMI) e amido fecal (Fecal starch) em tourinhos Nelore em terminação
FONTE: Caetano et al. (2015).

Melo (2015) e Sitta (2016) avaliaram se o método de processamento de grãos de milho com endosperma duro (flint) interage com os níveis de FDN de bagaço de cana e de silagem de milho no desempenho de tourinhos Nelore (Tabelas 9 e 10, respectivamente). Em ambos os ensaios, o MF aumentou a digestibilidade do amido (reduzindo o amido fecal), a eficiência alimentar o peso da carcaça quente e a espessura de gordura de cobertura em comparação com o MMS. Interessantemente, o CMS aumentou linearmente para os animais alimentados com silagem de milho, enquanto em dietas contendo bagaço de cana-de-açúcar, o CMS seguiu tendência quadrática, com máximo de 11,3% de FDN de bagaço de cana. O incremento na concentração de FDN de forragem aumentou linearmente o GMD nas dietas com silagem de milho, mas não nas dietas com bagaço de cana. Nos dois ensaios (bagaço de cana e silagem de milho), não houve interação entre o processamento do milho (MMS e MF) e o nível de FDN de forragem.

Tabela 9. Influência do processamento de milho e nível de FDN de bagaço de cana no desempenho de tourinhos Nelore

	Milho moído (MMS)				Milho floculado a vapor (MF)				*P*-valor		
	4	7	10	13	4	7	10	13	Processamento	Nível FDN[1]	Interação
CMS[2], kg/d	8,73	9,59	9,36	9,58	8,02	8,68	8,69	8,91	<0,01	Q	0,88
GMD, kg/d	1,15	1,29	1,23	1,23	1,35	1,40	1,32	1,42	<0,01	0,13	0,53
Eficiência alimentar	0,132	0,135	0,131	0,129	0,168	0,161	0,152	0,159	<0,01	0,12	0,29
Peso carcaça quente, kg	272	276	272	272	281	283	274	283	<0,01	0,07	0,37
Rendimento de carcaça, %	55,8	55,4	55,1	55,0	55,4	55,3	54,4	55,0	0,12	L	0,36
Gordura subcutânea, mm	3,93	3,68	4,00	3,60	4,10	4,37	3,80	3,90	0,10	0,45	0,23
Amido fecal, % MS	16,3	14,7	12,3	11,7	4,4	3,2	3,9	3,6	<0,01	0,15	0,28
Digestibilidade de amido, %	90,4	91,5	93,1	93,6	97,9	98,5	98,1	98,3	<0,01	0,20	0,29

[1]L: efeito linear, Q: efeito quadrático do nível de forragem.
[2]Máximo CMS (ponto de vértice) alcançado quando utilizados 11,3% de FDN do bagaço de cana.
FONTE: Melo (2015).

Tabela 10. Influência do processamento de milho e nívelde FDN da silagem de milho no desempenho de tourinhos Nelore

	Milho moído (MMS)				Milho floculado a vapor (MF)				*P*-valor		
	4	7	10	13	4	7	10	13	Processamento	Nível FDN[1]	Interação
CMS[2], kg/d	8,55	8,85	9,45	9,50	8,48	8,75	8,80	9,68	0,51	L	0,68
GMD, kg/d	1,44	1,49	1,57	1,48	1,51	1,48	1,51	1,64	0,21	L	0,15
Eficiência alimentar	0,168	0,169	0,166	0,157	0,181	0,172	0,172	0,169	0,07	0,38	0,84
Peso carcaça quente, kg	280	284	288	293	289	291	293	304	0,06	L	0,09
Rendimento de carcaça, %	54,8	55,0	54,8	56,8	55,8	56,3	56,3	56,5	0,23	0,56	0,83
Gordura subcutânea, mm	3,83	3,93	4,56	4,41	4,53	4,99	4,49	4,67	0,06	0,73	0,42
Amido fecal, % MS	14,5	22,2	21,4	14,0	10,4	10,0	6,40	8,10	<0,01	Q	0,13
Digestibilidade de amido, %	91,4	85,3	86,1	91,8	94,3	94,6	96,9	95,8	<0,01	Q	0,11

[1]L: efeito linear, Q: efeito quadrático do nível de forragem.
FONTE: Sitta (2016).

A inclusão de subprodutos fibrosos em dietas de terminação pode alterar a exigência de fibra. Nutricionistas de confinamentos que utilizam subprodutos com fibra de alta digestibilidade geralmente determinam níveis ótimos de volumoso nestas dietas na maior parte das vezes por "tentativa e erro" (GALYEAN; HUBBERT, 2014).

Miller et al. (2009) compararam níveis crescentes de feno de alfafa (3%, 6%, 9%, 12% e 15% de MS da dieta) em dietas a base de milho floculado a vapor contendo 25% de grãos secos de destilaria para novilhas em terminação. A inclusão do feno de alfafa aumentou o CMS de forma quadrática (12% de feno). O GMD aumentou em 7,7% para a inclusão de 12% em comparação com 3% de feno, enquanto a eficiência alimentar não foi afetada pela inclusão de forragem.

Em dietas à base de milho laminado a seco (MLS) contendo 25% de grãos de destilaria úmidos com solúveis, Hales et al. (2013) estudaram a influência dos níveis de feno de alfafa (2%, 6%, 10% ou 14% de MS da dieta) no desempenho de novilhos durante a terminação. O aumento na inclusão do feno de alfafa de 2% para 6% elevou o CMS e o GMD, enquanto que o aumento adicional da inclusão do volumoso (10% e 14% do feno) diminuiu o GMD. Como esperado, a eficiência alimentar diminuiu linearmente com o aumento da inclusão de alfafa.

Burken et al. (2013) avaliaram a inclusão níveis elevados de silagem de milho em dietas de terminação contendo grãos de destilaria (Tabela 11). A medida que a inclusão de silagem de milho aumentou (a partir de 15%), houve diminuição linear no CMS, no GMD e na eficiência alimentar, o que contraria a tendência relatada na meta-análise anterior de experimentos em que nenhum conteúdo de FDN foi fornecido a partir de subprodutos com alta concentração de fibras digestíveis (GALYEAN; DEFOOR, 2003; ARELOVICH et al., 2008).

Tabela 11. Efeito do nível de silagem de milho no desempenho de novilhos em terminação alimentados com dieta contendo 40% de grãos de destilaria com solúveis

	Nível de silagem de milho[1], % MS dieta				
Item	15	30	45	55	*P*[2]
CMS, kg/d	10,5	10,3	10,3	9,9	L
GMD, kg/d	1,83	1,78	1,71	1,60	L
Eficiência alimentar	0,175	0,172	0,166	0,161	L
Rendimento de carcaça, %	63,3	62,6	61,9	61,1	L
Peso carcaça quente, kg	408	401	393	381	L

[1]A silagem de milho substituiu uma mistura de 50:50 de MLS:SGU.

[2]L: efeito linear do nível de silagem de milho.

Fonte: Burken et al. (2013).

May et al. (2011) compararam três níveis de feno de alfafa (7,5%, 10% ou 12,5%) em dietas à base de milho floculado a vapor com dois níveis de grãos de destilaria (15 ou 30%). Houve tendência linear de aumento de CMS à medida que o nível de alfafa aumentou, sem indícios de interação entre os níveis de grãos de destilaria e volumoso.

Embora os subprodutos tipicamente contenham grandes quantidades de fibra, o uso de subprodutos de grãos como substituto da fibra das forragens tradicionais não é recomendado (NRC, 2016). Galyean e Hubbert (2014) recomendaram que pouco ou nenhum "valor de volumoso" fosse atribuído ao FDN de subprodutos de grãos, como por exemplo o farelo de glúten de milho e os grãos de destilaria. Isto também deve ser aplicado à outros subprodutos de alta digestibilidade, tais como polpa cítrica e casca de soja.

Atualmente, o nível ótimo de FDN de forragem não está bem definido, devido a ampla gama de ingredientes e condições de manejo de cocho encontrados nas condições práticas em confinamentos. A interação teoricamente esperada entre níveis de volumoso, processamento de grãos e uso de subprodutos não é consistente em dietas de terminação. Nas dietas ricas em grãos, parece ser possível uma pequena redução no nível de volumoso quando os subprodutos com alta digestibilidade são incluídos na dieta (devido à redução do teor de amido degradável no rúmen), mas esta redução no teor de volumoso não deve ser substancial.

Dietas sem volumoso

O interesse em alimentar ruminantes sem forragem não é novo (DAVENPORT, 1897; MCCANDLISH, 1923; GEURIN et al., 1956). Dietas contendo somente alimentos concentrados (sem volumosos/forragens) demonstraram ser tecnicamente viáveis para terminação de bovinos de corte há mais de meio século (PRESTON; WILLIS, 1974). Em

algumas circunstâncias específicas, as operações de confinamento poderiam se beneficiar em aspectos de manejo se o volumoso pudesse ser eliminado do sistema.

Uma característica comum às dietas sem volumoso é o baixo CMS e o modesto GMD, porém com boa eficiência alimentar (PRESTON; WILLIS, 1974). Na década de 1960, Preston e Willis (1974) compilaram diversos trabalhos realizados nos EUA e mostraram que a eficiência alimentar de animais recebendo dietas sem volumoso foi em média de 0,164, mas o GMD foi somente 1,117 kg/d.

Quando dietas baseadas em grãos processados são fornecidas para bovinos em terminação (por exemplo, moído, floculado, silagem de grãos úmidos), é necessária inclusão mínima de forragens para otimizar a saúde e o desempenho dos animais (vide tópicos anteriores). Carareto (2011) avaliou três níveis de feno (0%, 5% e 10%) em dietas contendo milho moído fino comparativamente ao uso do milho moído grosseiro. A inclusão de no mínimo 5% de feno aumentou o CMS em +16%, bem como o GMD em +13,5% comparativamente aos animais que não receberam feno, independentemente do grau de moagem do milho.

Por outro lado, a inclusão de níveis substanciais de volumoso em dietas baseadas em milho grão inteiro (MGI) geralmente aumenta o CMS (como em dietas com grãos processados) e a taxa de passagem ruminal, resultando em menor digestibilidade dos grãos, menor desempenho animal e menor eficiência alimentar (VANCE et al., 1972; COLE et al., 1976; MILTON et al., 1994; TRAXLER et al., 1995). Em dietas à base de MGI, menos de um terço do amido que entra no abomaso desaparece após passar pelo rúmen (OWENS, 2005). Nesse caso, em dietas compostas por MGI não é recomendado a inclusão de níveis elevados de forragem, permitindo assim que os grãos sejam retidos, ruminados e fermentados no rúmen. Nos confinamentos americanos, o nível de volumoso raramente excede 5% da MS da dieta quando o MGI é utilizado (OWENS et al., 1997).

Em uma série de ensaios avaliando o uso do MGI do tipo duro em dietas de animais em confinamento, nós observamos digestibilidade da MS de 83% em média (variando entre 77% e 90%) e digestibilidade de amido no trato digestório entre 85% e 97% (média de 92%) (Tabela 12). É válido notar que em dietas de MGI (sem volumoso) o teor de amido fecal é alto (17% e 32% da MS das fezes), apesar da digestibilidade satisfatória do amido, e portanto, este parâmetro (amido fecal) deve ser utilizado com cautela para este tipo de dieta.

Tabela 12. Digestibilidade de MS e amido e teor de amido fecal em bovinos alimentados com milho grão inteiro

Referência	Amido Fecal, %	Digestibilidade do amido, %	Digestibilidade da MS, %
Gorocica-Buenfil e Loerch (2005) (exp 1)	18	93	77
Gorocica-Buenfil e Loerch (2005) (exp 3)	17	95	82
Cole et al. (1976)		96	84
Utley e McCormik (1975)		91	87
Utley e McCormik (1980)		86	80
Vance et al. (1972)		95	84
Média	17	93	82
Godoi (2017)	18	97	90
Marques et al. (2016)	32		
Neumann et al. (2016)			75
Katsuki (2009)		85	84
Média	25	91	83
Média Geral	21	92	83

Nas últimas décadas, o interesse por dietas de MGI aumentou no Brasil. Uma série de ensaios foram realizados para comparar as dietas à base de MGI com as rações "tradicionais" que continham volumoso e grãos processados (Tabela 13). Em comparação as dietas à base de milho moído, as dietas sem volumoso contendo MGI diminuíram o CMS em 30%, o GMD em 16%, enquanto aumentar a eficiência alimentar em 11%, sem afetar o rendimento de carcaça. Em dois experimentos, dietas contendo 85% de MGI + 15% de núcleo peletizado induziram menor CMS (-21%), GMD (-31%) e eficiência alimentar (-11%) do que as dietas à base de MF. Portanto, dependendo do processamento dos grãos de milho (disponibilidade e custo), disponibilidade de forragem (e preço), preço da carne e custos operacionais do confinamento, a adoção de dietas concentradas com base em MGI pode ou não ser vantajoso.

O alto preço do milho é um forte incentivo que faz com que produtores de bovinos de corte procurem alimentos mais baratos que possam substituir o milho sem reduzir substancialmente o GMD e a eficiência alimentar. Katsuki (2009) avaliou a substituição parcial MGI por casca de soja (0%, 15%, 30% e 45%) no desempenho de bovinos em terminação. A troca de 15% a 30% de MGI pela casca de soja otimizou o desempenho dos animais, elevando significativamente o CMS e aumentando numericamente o GMD e a eficiência alimentar. A substituição de até 30% de MGI por casca de soja (ZARPELON et al., 2015) ou grãos de aveia inteiros (BORGES et al., 2011) também mostrou benefícios para a terminação de cordeiros. No entanto, a substituição total do MGI por grãos de aveia ou de arroz diminuiu significativamente o GMD (1,30, 1,07 e 0,71 kg/d, respectivamente) e a eficiência alimentar (0,165; 0,125 e 0,089) de bovinos de corte (ARGENTA, 2015).

Tabela 13. Desempenho de bovinos de corte alimentados com dieta tradicional (forragem + grãos processados) ou dietas à base de milho grão inteiro (MGI)

Referência	Dieta	CMS, kg/d	Δ[1]	GMD, kg/d	Δ[1]	Eficiência alimentar	Δ[1]	Rendimento de carcaça, %	Δ[1]
		Dietas baseadas em milho moído seco vs. dietas baseadas em MGI							
Mandarino et al. (2013)	85% MGI + 15% núcleo peletizado	8,52		1,25		0,147		58,8	
	25% silagem de milho + 75% concentrado baseado em MM e casca de soja	9,84	-15%	1,55	-24%	0,158	-7%	58,7	0%
Neumann et al. (2015)	80% MGI + 20% núcleo	6,84		1,35		0,197			
	45% silagem de milho + 55% concentrado	7,61	-11%	1,278	5%	0,168	15%	-	0%
	45% feno aveia + 55% concentrado	8,17	-19%	1,226	9%	0,150	24%	-	0%
Maia Filho et al. (2016)	85% MGI + 15% núcleo peletizado	6,83		1,22		0,179		52,8	
	25% silagem capim + 75% concentrado a base de polpa cítrica	9,4	-38%	1,41	-16%	0,150	16%	52,7	0%
	31% silagem capim + 69% concentrado a base de MM	9,5	-39%	1,57	-29%	0,165	7%	52,7	0%
Carvalho et al. (2016) - Nellore	85% MGI + 15% núcleo peletizado	6,9		0,93		0,135		59,9	
	30% silagem milho + 70% concentrado a base de MM	10,4	-51%	1,36	-46%	0,131	3%	59,7	0%
Carvalho et al. (2016) - Angus	85% MGI + 15% núcleo peletizado	10,2		1,82		0,178		57,9	
	30% silagem milho + 70% concentrado baseado em MM	13,7	-34%	1,96	-8%	0,143	20%	57,6	1%
	Média (min. ao max.)	-30% (-51% a -11%)		-16% (-46% a +9%)		11% (-7% a +24%)		0% (0% a +1%)	

		Dietas à base de milho floculado em comparação a dietas concentradas com MGI							
Maia Filho et al. (2016)	85% MGI + 15% núcleo peletizado	6,83		1,22		0,179		52,8	
	38% silagem capim + 62% concentrado baseado em MF	9,73	-42%	1,64	-34%	0,169	6%	51,5	2%
Marques et al. (2016)	85% MGI + 15% núcleo peletizado	8,4		1,21		0,144		57,9	
	6% bagaço de cana + 94% concentrado baseado em MF	8,4	0%	1,55	-28%	0,185	-28%	57,5	1%
	Média (min, max.)	-21% (-42% a 0%)		-31% (-34% a -28%)		-11% (-28% a +6%)		2% (+1% a +2%)	

[1]Δ = (Dieta MGI – Dieta tradicional)/Dieta MGI.

Recentemente, três ensaios compararam os efeitos do nível de volumoso no desempenho de bovinos de corte alimentados com MGI (Tabela 14). Marques et al. (2016) e Neumann et al. (2016) avaliaram três níveis de bagaço de cana no desempenho de bovinos Nelore e Brangus, respectivamente. Contadini et al. (2017) avaliaram o desempenho de tourinhos Nelore alimentados com MGI com três níveis de feno de gramínea. Uma avaliação conjunta sugere que a adição de volumoso às dietas baseadas em MGI aumentou o CMS e o GMD de forma quadrática, sem afetar o rendimento de carcaça. No entanto, os níveis mais altos de forragem (ou seja, > 7%) diminuíram a eficiência alimentar de 7 a 18% (NEUMANN et al., 2016; CONTADINI et al., 2017). Portanto, quando o volumoso está disponível, ele pode ser incluído em níveis baixos (isto é, 3 a 5% do MS) em dietas a base de MGI.

Tabela 14. Influência do nível de volumoso no desempenho de bovinos de corte alimentados com dietas à base de milho grão inteiro (MGI)

Referência	Fonte de forragem	Nível de forragem (% MS)	CMS (kg/d)	GMD (kg/d)	Eficiência alimentar	Rendimento de carcaça (%)
Marques et al. (2016)	Bagaço de cana	0	8,4	1,21	0,144	57,9
		3	10,5	1,58	0,150	57,1
		6	10,1	1,57	0,155	57,4
Neumann et al. (2016)	Bagaço de cana peletizado	0	8,4	1,43	0,170	56,3
		7	9,4	1,62	0,173	55,2
		14	9,6	1,54	0,161	55,0
Contadini et al. (2017)	Feno de capim	0	6,5	0,77	0,118	55,3
		5	8,2	1,41	0,172	54,5
		12	9,4	1,33	0,141	54,2

Considerando os possíveis benefícios de incluir baixos níveis de volumoso e substituir parcialmente o MGI pela casca de soja, Monteiro et al. (2017) compararam o desempenho de tourinhos F1 British White × Nelore alimentados com dietas contendo MGI, casca de soja, núcleo peletizado, com ou sem bagaço de cana (2,5% da MS) (Tabela 15). Assim como nos estudos anteriores usando milho grão inteiro dentado (Milton et al., 1994; Traxler et al., 1995) ou milho grão inteiro duro (Marques, 2016), baixa inclusão de forragem aumentou o CMS e o GMD, sem afetar a eficiência alimentar. A dieta contendo 2,5% de bagaço de cana resultou em período de terminação mais curto e aumentou a lucratividade do sistema, por reduzir os custos fixos da operação.

Em resumo, a inclusão de fontes de fibra fisicamente efetiva pode elevar o GMD em animais confinados recebendo dietas contendo MGI, contudo a melhoria no GMD está condicionada a uma inclusão máxima entre 3 e 4% de FDNfe na MS da dieta. Em termos práticos, isso significaria por exemplo a adição de aproximadamente 3% de bagaço de cana-de-açúcar, 6% de silagem de milho ou 4,5% de feno de gramíneas.

Tabela 15. Desempenho de tourinhos super precoces alimentados com dietas à base de milho grão inteiro e casca de soja, sem (CON) ou com bagaço de cana (BAG, 2,5% da MS)

	Tratamentos		
Item	CON	BAG	Δ[1]
Bagaço de cana, % MS	-	2,5	
Milho grão inteiro, % MS	56,5	54,0	
Casca de soja, % MS	30,0	30,0	
Núcleo peletizado, % MS	13,5	13,5	
CMS, kg/d	7,78	8,36	+7,5%
GMD, kg/d	1,35	1,49	+10,4%
Eficiência alimentar	0,174	0,178	Ns
Peso final em jejum[2], kg	486	490	Ns
Peso carcaça quente, kg	272	274	Ns
Rendimento de carcaça, %	54,8	54,6	Ns
Marmoreio	3,76	3,88	Ns
ELm dieta, Mcal/kg MS	1,96	1,95	Ns
ELg dieta, Mcal/kg MS	1,31	1,30	ns
Período de confinamento, d	108	100	-8%

[1]Δ = (BAG – CON)/dieta CON; ns: não significativo.
[2]Os animais foram abatidos ao atingir o peso final desejado (~ 490 kg).
Fonte: Monteiro et al. (2017).

Considerações finais

O nível e a fonte de fibra têm potencial para impactar o desempenho dos animais e o lucro do confinamento. A adoção do FDNfe (medido por ensaio biológico) para formular dietas de terminação em confinamento é mais adequado do que substituir a fonte de fibra com base somente na MS ou FDN, especialmente quando utilizadas fontes de fibra não tradicionais.

Atualmente, o nível ideal de forragem (ou FDNfe) não está bem definido para a ampla gama de ingredientes e condições de manejo encontrados em situações de campo. A literatura avaliada sugere valores entre 7 a 13% do FDNfe (ou FDN de volumoso) para otimizar a ingestão de ELg e o GMD em dietas "tradicionais" (contendo grãos processados), enquanto a eficiência alimentar diminui com a elevação dos níveis de volumoso, em quase todos os casos. As interações entre o nível de volumoso, o processamento de grãos e uso de subprodutos não são consistentes nas dietas de terminação. Em dietas ricas em grãos, parece ser possível haver uma pequena (não substancial) diminuição nos níveis de forragem da dieta quando subprodutos de alta digestibilidade são incluídos na dieta. Portanto, os nutricionistas também devem considerar sua experiência na formulação de dietas com alto teor de concentrados para animais em confinamento.

Dietas à base de milho grão inteiro geralmente resultam em menor CMS e GMD, enquanto apresentam boa eficiência alimentar quando comparadas com as dietas "tradicionais" baseadas em milho moído seco. No entanto, quando as dietas de milho inteiro

são comparadas com as dietas à base de milho floculado, o cenário é favorável à dieta com grãos floculados.

Em dietas à base de milho grão inteiro, até 30% do milho pode ser substituído por casca de soja. A inclusão de baixos níveis de volumoso (3 a 5%) melhora o desempenho dos animais em terminação alimentados com dietas a base de milho grão inteiro. Estas duas estratégias podem ser adotadas em conjunto para melhorar o desempenho dos animais e otimizar a lucratividade dos confinamentos que utilizam grão de milho inteiro.

Referências

ALLEN, M.S.; BRADFORD, B.J.; OBA, M., 2009. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. Journal of Animal Science, v.87, p.3317–3334.

ARELOVICH, H.M.; ABNEY, C.S.; VIZCARRA, J.A.; GALYEAN, M.L., 2008. Effects of dietary neutral detergent fiber on intakes of dry matter and net energy by dairy and beef cattle: Analysis of published data. The Professional Animal Science, v.24, p.5375–5383.

ARGENTA, F.M. 2015. Grãos inteiros de milho, aveia branca ou arroz com casca na terminação de bovinos confinados – Desempenho e comportamento ingestivo. PhD Diss. Federal University of Santa Maria, Santa Maria-RS, Brazil. 96 p. [in Portuguese].

ARMENTANO, L., PEREIRA, M., 1997. Measuring the effectiveness of fiber by animal response trials. Journal of Dairy Science, v.80, p.1416–1425.

BARTLE, S.J.; PRESTON, R.L.; MILLER, M.F., 1994. Dietary energy source and density: Effects of roughage source, roughage equivalent, tallow level, and steer type on feedlot performance and carcass characteristics. Journal of Animal Science, v.72, p.1943-1953.

BEAUCHEMIN, K.A.; YANG, W.Z.; RODE, L.M., 2001. Effects of barley-grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. Journal of Animal Science, v.79, p.1925-1936.

BORGES, C.A.A.; RIBEIRO, E.L.A.; MIZUBUTI, I.Y.; DA SILVA, L.D.F.; PEREIRA, E.S.; ZARPELON, T.G.; CONSTANTINO, C.; FAVERO, R., 2011. Substituição de milho grão inteiro por aveia preta grão no desempenho de cordeiros confinados recebendo dietas com alto grão. Semina: Ciências Agrárias, v.32, p.2011-2020.

BURKEN, D.B.; NUTTELMAN, B.L.; KLOPFENSTEIN, T.J.; ERICKSON, G.E., 2013. Feeding elevated levels of corn silage in finishing diets containing MDGS. Pages 74-75 in: Nebraska Beef Cattle Report 2013. University of Nebraska, Lincoln, NE, USA.

CAETANO, M., R. S. GOULART, S. L. SILVA, J. S. DROUILLARD, P. R. LEME, D. P. D. LANNA., 2015. Effect of flint corn processing method and roughage level on finishing performance of Nellore-based cattle. Journal of Animal Science, v.93, p.4023–4033.

CALDERON-CORTES, J.F.; ZINN, R.A.L., 1996. Influence of dietary forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers. Journal of Animal Science, v.74. p.2310–2316.

CAMPOS, A. F. 2015. Efeito do tamanho de partícula na ensilabilidade e no valor nutritivo de silagens de cana-de-açúcar para bovinos de corte. PhD Diss. São Paulo State University, Jaboticabal, Brazil, 87 p. [in Portuguese].

CARVALHO, J. R. R., CHIZZOTTI, M.L.; SCHOONMAKER, J.P.; TEIXEIRA, P.D.; LOPES, R.C.; OLIVEIRA, C.V.R.; LADEIRA, M.M., 2016. Performance, carcass characteristics, and ruminal pH of Nellore and Angus young bulls fed a whole shelled corn diet. Journal of Animimal Science, v.94, p.2451–2459.

CASTILLO-LOPEZ, E.; WIESE, B.I. ; HENDRICK, S. ; MCKINNON, J.J.; MCALLISTER, T.A.; BEAUCHEMIN, K.A.; PENNER, G.B., 2014. Incidence, prevalence, severity, and risk factors for ruminal acidosis in feedlot steers during backgrounding, diet transition, and finishing. Journal of Animal Science, v.92, p.3053-3063.

COLE, N.A., JOHNSON, R.R.; OWENS, F.N., 1976. Influence of roughage level on the site and extent of digestion of whole shelled corn by beef steers. Journal of Animal Science, v.43, p.483–489.

CONTADINI, M.A.; FERREIRA, F.A.; CORTE, R.R.S.; ANTONELO, D.S.; GÓMEZ, J.F.M.; SILVA, S.L., 2017. Roughage levels impact on performance and carcass traits of finishing Nellore cattle fed whole corn grain diets. Tropical Animal and Health Production, v.49, p.1709-1713.

DAVENPORT, E. 1897. On the importance of the physiological requirements of the animal body; Results of an attempt to grow cattle without coarse feed. Pages 362-371 in: Bulletin No. 46 Agricultural Experiment Station, University of Illinois, Urbana, USA.

DEFOOR, P.J.; GALYEAN, M.L.; SALYER, G.B.; NUNNERY, G.A.; PARSONS, C.H., 2002. Effects of roughage source and concentration on intake and performance by finishing heifers. Journal of Animal Science, v.80, p.1395-1404.

GALYEAN, M.L.; DEFOOR, P.J.., 2003. Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. Journal of Animal Science, v.81, p.E8–E16.

GALYEAN, M.L.; HUBBERT, M.E., 2014. Traditional and alternative sources of fiber-Roughage values, effectiveness, and levels in starting and finishing diets. Professional Animal Scientist, v.30, p.571–584.

GALYEAN M.L., TEDESCHI, L.O. 2014. Predicting microbial protein synthesis in beef cattle: relationship to intakes of total digestible nutrients and crude protein. Journal of Animal Science, v.92, p.5099-5111.

GEURIN, H.B., THOMPSON, J.C., WILCKE, H.L.; BETHKE, R.M., 1956. Oats as a cattle fattening feed. Journal of Animal Science, v.15, p.1251 (abstract).

GILL, D.R.; OWENS, F.N.; MARTIN, J.J.; WILLIAMS, D.E.; ZINN, R.A.; HILLIER, R.J., 1981. Roughage levels in feedlot rations. Oklahoma Agric. Exp. Stn., Stillwater, Res. Rep. MP-v.108, p.141–146.

GOULART, R.S., 2010. Avaliação da fibra fisicamente efetiva em rações para bovinos de corte. PhD Diss. University of São Paulo, ESALQ, Piracicaba, Brazil. 200 p. [in Portuguese]

GUALDRÓN-DUARTE, L.B.; ALLEN, , M.S., 2017. Increased anaplerosis of the tricarboxylic acid cycle decreased meal size and energy intake of cows in the postpartum period. Journal of Dairy Science, v.100, p.4425-4434.

HALES, K.E.; FREETLY, H.C.; SHACKELFORD, S.D.; KING, D.A., 2013. Effects of roughage concentration in dry-rolled corn-based diets containing wet distillers grains with solubles on performance and carcass characteristics of finishing beef steers. Journal of Animal Science, v.91, p.3315–3321.

HENRIQUE, W.; BELTRAME FILHO, J.A.; LEME, P.R.; LANNA, D.P.D.; ALLEONI, G.F.; COUTINHO FILHO, J.L.V.; SAMPAIO, A.A.M., 2007. Avaliação da silagem de grãos de milho úmido com diferentes volumosos para tourinhos em terminação. Desempenho e características de carcaça. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, p.183-190 [in Portuguese].

KATSUKI, P.A. 2009. Avaliação nutricional, desempenho e qualidade da carne de bovinos alimentados com rações sem forragem, com diferentes níveis de substituição do milho inteiro por casca de soja. PhD Diss. State University of Londrina, Londrina-PR, Brazil. 55 p. [in Portuguese].

KOENIG, K.M.,. BEAUCHEMIN, K.A. 2011. Optimum extent of barley grain processing and barley silage proportion in feedlot cattle diets: Growth, feed efficiency and fecal characteristics. Canadian Journal of Animal Science, v.91, p.411-422.

MAIA FILHO, G.H.B.; BARBOSA, F.A.; EMERICK, L.L.; SOUZA, R.C.; FIGUEIREDO, T.C.; AZEVEDO, H.O.; CAVALCANTI, L.F.L.; MANDARINO, R.A., 2016. Carcass and meat traits of feedlot Nellore bulls fed different dietary energy sources. Revista Brasileira de Zootecnia, v.45, p.265-272.

MANDARINO, R.A.; BARBOSA, F.A.; CABRAL FILHO, S.L.S.; LOBO, L.F.; SILVA, I.S.; OLIVEIRA, R.V.; DIOGO, J.M.S.; GUIMARÃES JR, R., 2013. Desempenho produtivo e econômico do confinamento de bovinos zebuínos alimentados com três dietas de alto grão. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.65, p.1463-1471.

MARQUES, R.S.; CHAGAS, L.J.; OWENS, F.N.; SANTOS, F.A.P., 2016. Effects of various. 383 roughage levels with whole flint corn grain on performance of finishing cattle. Journal of Animal Science, v.94, p.339–348.

MAY, M.L.; QUINN, M.J.; DILORENZO, N.; SMITH, D.R.; GALYEAN, M.L., 2011. Effects of roughage concentration in steam flaked corn-based diets containing wet distiller's grains with solubles on feedlot cattle performance, carcass characteristics, and in vitro fermentation. Journal of Animal Science, v.89, p.549–559.

McCANDLISH, A. C. 1923. Milk as the sole diet of ruminants. Research Bulletin No. 48 Agricultural Experiment Station, Iowa State College of Agriculture and Mechanic Arts, Ames, IA, USA.

MELO, A.H.F., 2015. Processamento de grãos de milho e concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) do bagaço de cana in natura em dietas para bovinos em terminação. PhD Diss. University of São Paulo, ESALQ, Piracicaba, Brasil. 157 p. [in Portuguese]

MERTENS, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. Journal of Dairy Science, v.80, p.1463–1481.

MILLEN, D.D.; PACHECO, R.D.L.; ARRIGONI, M.D.B.; GALYEAN, M.L.; VASCONCELOS, J.T., 2009. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. Journal of Animal Science, v.87, p. 3427–3439.

MILLER, K.A.; SHELOR, M.K.; PARSONS, G.L.; DROUILLARD, J.S., 2009. Optimal roughage level in finishing diets containing combinations of flaked corn and dried distiller's grains with solubles. Journal of Animal Science, v.87(E-Suppl.), p.191 (abstract).

MILTON, C.T.; BRANDT JR., R.T.; SHUEY, S.A., 1994. Roughage levels and comparison of mixed rations vs. self-feeders in whole shelled corn finishing programs. Pages 21–23 in: Cattlemen's Association, Kansas State University, Manhattan, KS, USA.

MONTEIRO, M.; MACHADO, J.; POPPI, A.C.O.; JOBIM, C.C.; DANIEL, J.L.P., 2017. Performance of finishing young bulls fed diets based on whole corn grain, without or with sugarcane bagasse. in: Proc. 54 Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science (SBZ), Foz do Iguaçu-PR, Brazil (abstract).

NEUMANN, M.; FIGUEIRA, D.N.; UENO, R.K.; LEÃO, G.F.M.; HEKER JR, J.C., 2015. Desempenho, digestibilidade da matéria seca e comportamento ingestivo de novilhos holandeses alimentados com diferentes dietas em confinamento. Semina: Ciências Agrárias, v.36, p.1623-1632.

NEUMANN, M.; UENO, R.K.; PERUSSOLO, L.F.; GHELLER, L.F.M.; POCZYNEK, M.; BARCELLOS, J.O.J. ; BUMBIERIS JR., V.H., 2016. Inclusão de bagaço de cana-de-açúcar peletizado em dietas desprovidas de fibra longa para tourinhos terminados em confinamento. Semina: Ciências Agrárias, v.37, p.3305-3316.

NRC., 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.

NRC., 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.

OLIVEIRA, C.A.; MILLEN, D.D., 2014. Survey of nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. Animal Feed Science and Technology, v.197, p.64–75.

OWENS, F.N.; SECRIST, D.S.; HILL, W.J.; GILL, D.R., 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: A review. Journal of Animal Science, v.75, p.868–879.

Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill, D. R. Gill. 1998. Acidosis in cattle: A review. Journal of Animal Science, v.76, p.275–286.

OWENS, F., 2005. Corn grain processing and digestion. Pages 1–21 in Proc. Minn. Nutr. Conf., St. Paul, MN. DuPont Pioneer, John-ston, IA, USA.

OWENS, F., 2008. Optimization of feedlot diets with high density of energy and nutrients. Pages 95-120 in: II Simpósio internacional de produção de gado de corte. Federal University of Viçosa, Viçosa-MG, Brazil.

PINTO, A.C.J.; MILLEN, D.D., 2016. Situação atual da engorda de bovinos em confinamento e modelos nutricionais em uso. Pages 103-120 in: X Simpósio de Produção de Gado de Corte (Simcorte). Federal University of Viçosa, Viçosa-MG, Brazil [in Portuguese].

PRESTON, T.R.; WILLIS, M.B., 1974. Intensive beef production. 2nd edition. Pergamon Press, Oxford, England.

SÁ NETO, A.; BISPO, A.W.; JUNGES, D.; BERCHT, A.K.; ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G., 2014. Exchanging physically effective neutral detergent fiber does not affect chewing activity and performance of late-lactation dairy cows fed corn and sugarcane silages. Journal of Dairy Science, v.97, p.7012–7020.

SAMUELSON, K.L.; HUBBERT, M.E.; GALYEAN, M.L.; LOEST, C.A., 2016. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2015 New Mexico State and Texas Tech University survey. Journal of Animal Science, v.94, p.2648–2663.

SANTOS, F.A.P.; DE SOUZA, J.; BATISTEL, F.; COSTA, D.F.A., 2013. Modalidades de confinamento sem o uso de volumosos: realidade e limitações. Pages 261-291 in: 8º Encontro de confinamento: gestão técnica e econômica - COAN, Jaboticabal-SP, Brazil [in Portuguese].

SARHAN, M.A.; BEAUCHEMIN, K.A., 2015. Ruminal pH predictions for beef cattle: Comparative evaluation of current models. Journal of Animal Science, 93: 1741-1759.

SHAIN, D.H.; STOCK, R.A.; KLOPFENSTEIN, T.J.; HEROLD, D.W., 1999. The effect of forage source and particle size on finishing yearling steer performance and ruminal metabolism. Journal of Animal Science, v.77, p.1082–1092.

SILVA, S.L.; LEME, P.R.; PUTRINO, S.M.; VALINOTE, A.C.; NOGUEIRA FILHO, J.C.M.; LANNA, D.P.D., 2007. Milho grão seco ou úmido com sais de cálcio de ácidos graxos para novilhos Nelore em confinamento. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, p.1426–1434 [in Portuguese].

SILVA, N.C., 2016. Características das silagens de grãos de milho influenciadas pela reidratação e pela inoculação com *L. buchneri* sobre o desempenho de bovinos de corte confinados. PhD Diss. São Paulo State University, Jaboticabal, Brazil. 114 p. [in Portuguese].

SITTA, C., 2016. Aditivos (ionóforo e não ionóforo), processamento de grãos de milho e concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) de silagem de milho em dietas para bovinos em terminação. PhD Diss. University of São Paulo, ESALQ, Piracicaba, Brazil. 120 p. [in Portuguese]

STOCK, R.A.; SINDT, M.H.; PARROTT, J.C.; GOEDEKEN, F.K., 1990. Effects of grain type, roughage level and monensin level on finishing cattle performance. Journal of Animal Science, v.68, p.3441–3455.

SWANSON K.C.; CARLSON, Z.E.; RUCH, M.C.; GILBERY, T.C.; UNDERDAHL, S.R.; KEOMANIVONG, F.E. BAUER, M.L.; ISLAS, A., 2017. Influence of forage source and forage inclusion level on growth performance, feeding behavior, and carcass characteristics in finishing steers. Journal of Animal Science, v.95, p.1325–1334.

TRAXLER, M.J.; FOX, D.G.; PERRY, T.C; DICKERSON, R.L.; WILLIAMS, D.L., 1995. Influence of roughage and grain processing in high-concentrate diets on the performance of long-fed Holstein steers. Journal of Animal Science, v.73, p.1888–1900.

VANCE, R.D.; PRESTON, R.L.; KLOSTERMAN, E.W.; CAHILL, V.R., 1972. Utilization of whole shelled and crimped corn grain with varying proportions of corn silage by growing-finishing steers. Journal of Animal Science, v.35, p.598–605.

VASCONCELOS, J.T.; GALYEAN, M.L., 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. Journal of Animal Science, v.85, p.2772–2781.

WILSON, J.R., 1993. Organization of forage plant tissues. Pages 1–32 in Forage Cell Wall Structure and Digestibility. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph, ed. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

YANG, W.Z.; BEAUCHEMIN, K.A., 2006. Increasing the physically effective fiber content of dairy cows diets may lower efficiency of feed use. Journal of Dairy Science, v.89, p.2694-2704.

ZARPELON, T.G.; MIZUBUTI, I.Y.; RIBEIRO, E.L.A.; PEREIRA, E.S.; SILVA, L.D.F.; CALIXTO, O.P.P.; TARSITANO, M.A.; FÁVERO, R.; PIRES, K.A.; BORGES, C.A.A., 2015. Desempenho, características de carcaça e avaliação econômica da substituição do milho grão inteiro por casca de soja peletizada na alimentação de cordeiros em confinamento. Semina: Ciências Agrárias, v.36, p.1111-1122.

Capítulo 3

The present and future of microbial inoculants for silages

Lucas Mari
Pascal Drouin
Renato Schmidt

Lallemand Animal Nutrition

Abstract
Silage making is not a novel technique. However, the agricultural industry has made great strides in improving our understanding of — and efficiency in — producing high-quality silage for livestock. Silage microbiology research has been using the newest molecular techniques to study microbial diversity and metabolic changes. This chapter reviews important research that has laid the foundation for field-based utilization of silage inoculants. We also outline areas of current, and future, research that will improve global livestock production through the use of silage.
Keywords: additives, forage, inoculants, silage.

Introduction

Fermentation of forage is harder to control when compared to other fermentation processes such as industrial fermentation of food, for example. Whole plants cannot be manipulated to remove contaminating microorganisms, and this can lead to important variations in the quality of the forage. Harvesting machinery can also contribute to the inclusion of soil or manure particles as contaminants. Other factors have an impact on silage quality include harvesting management, packing rate, weather events during harvest, selection of the ensiling structure, and selection of a microbial or chemical additive to preserve the crops. Figure 1 provides an overview of the interactions between the main parameters involved in the production of high-quality silage.

This chapter will evaluate the recent published literature and will expand on the current knowledge in the study of the microbiota, search for silage inoculants, issues with aerobic instability, and understanding non-users of forage inoculants. We will also review important research areas for microbial inoculants: fiber digestibility, analyzing "big data" functional studies, co-ensiling with by-products or food-processing wastes, and how lactic acid bacteria (LAB) used as forage additives influence animal performance.

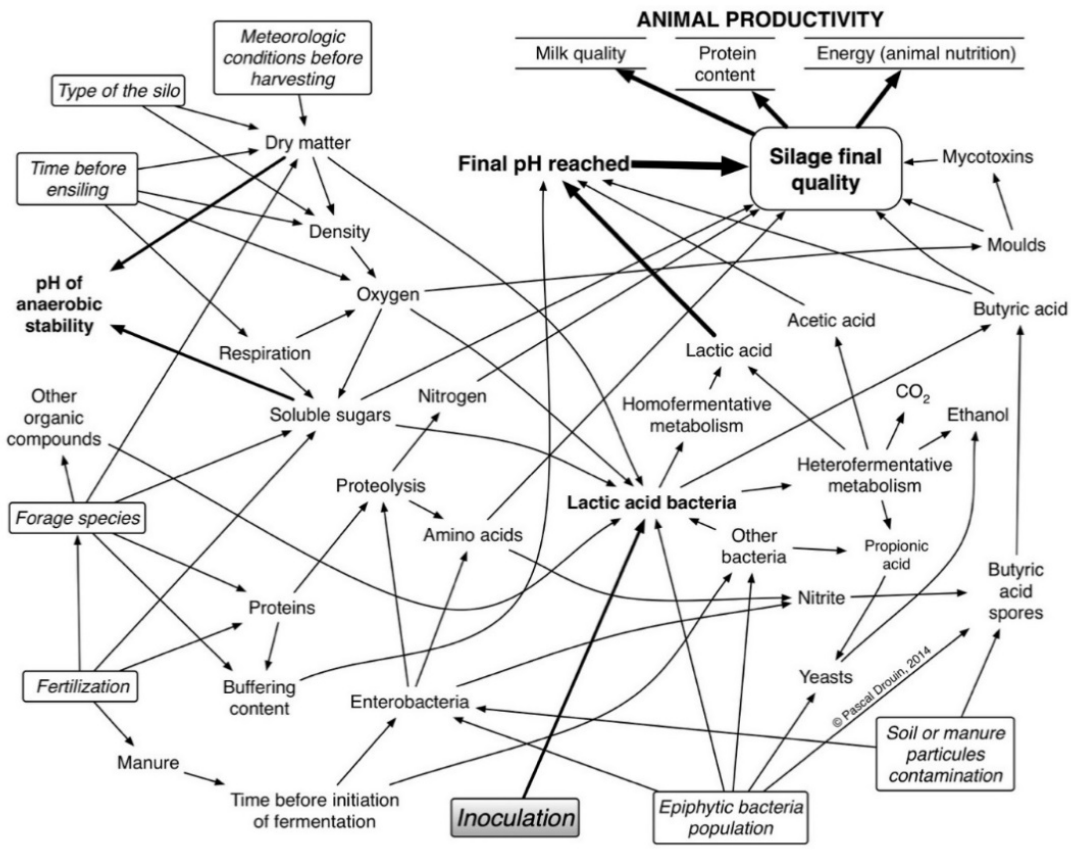


Figure 1. Ensiling involves several biochemical and microbiological descriptors that are influencing silage quality and could be control by different management criteria (boxed elements) which are directly influencing the main fermentation parameters of forage as well as animal productivity.

Microbiota diversity during ensiling

Characterization of the different microbial species observed throughout the different phases of the ensiling process was traditionally performed using culture-dependent methods, following isolation of strains and determination of their taxonomic classification. The use of selective media has several shortcomings, including limited knowledge on how composition of the different defined culture media influences the growth of organisms within the targeted species range. Dormant or inactive cells (viable but nonculturable) may not have been accurately measured (PINTO et al., 2015).

New techniques based on DNA profiling have helped the industry's understanding of the microbial diversity of silage within specific families or genera (MUCK, 2013). These techniques were diverse and included denaturating gel electrophoresis (JULIEN et al., 2008) or metabolic fingerprinting by Fourier Transform infrared spectroscopy (JOHNSON et al., 2004).

Next generation sequencing (NGS) technologies provide more complete details on microbiota diversity. The first application of NGS in silage was performed on ensiled grass to help understand how inoculation would influence the microbial communities (EIKMEYER et al., 2013). Three years passed before a second paper would be published using NGS studying

spatial and temporal microbial variations in commercial bunkers (KRAUT-COHEN et al., 2016). Several more papers or communications were performed afterwards (see Table 1).

One of the complexities facing ensiling of forage is that several factors will influence the size and diversity of the microbial community on the forage at harvest. Microbial diversity will change according to the plant species, weather during growth and prior to harvesting, fertilization management, physiological state of the forage, etc. As an example of the potential variation, important differences in the composition of the epiphytic bacterial population were observed from different organs of whole plant corn in the weeks prior harvesting (Figure 2). Leaves, silk, and tassels harbored different proportions of the main epiphytic bacterial families even though the variation in microbiota composition was small between sampling periods. *Cytophagaceae* and *Methylobacteriaceae* were mainly observed on the leaves, while *Enterobacteriacaea* and *Pseudomonadaceae* were observed on silk, cob, and tassel (DROUIN et al., 2019).

Published results of microbiome analysis were performed from varied forages, including pure strands of legumes or grasses and mixed forages. The forages were from temperate as well as tropical regions. Several studies performed time-based samplings to describe changes in the microbial communities in relation to the fermentation periods (KESHRI et., 2018; DROUIN et al., 2019) (Table 1). Generally, the relationship between the time of fermentation and the microbial composition was similar to the general succession pattern previously reported by culture-dependent microbiological techniques. For example, with corn silage inoculated with either *Lactobacillus plantarum* or *Lactobacillus buchneri* and/or *Lactobacillus hilgardii*, it was possible to observe that the succession to *Firmicutes* was rapid, in a matter of hours after sealing the experimental mini-silos. A second observation was that *Leuconostocaceae* (mainly *Weissella* sp.) was the dominant operational taxonomic unit (OTU) during early fermentation. In both studies, important changes in bacteria richness during the fermentation, with values below 50 OTUs after incubation of 30 days (KESHRI et al. (2018) or decreasing throughout fermentation to a similar level of OTUs (GERLACH; SÜDEKUM, 2018). In both studies, fungal richness dropped throughout fermentation.

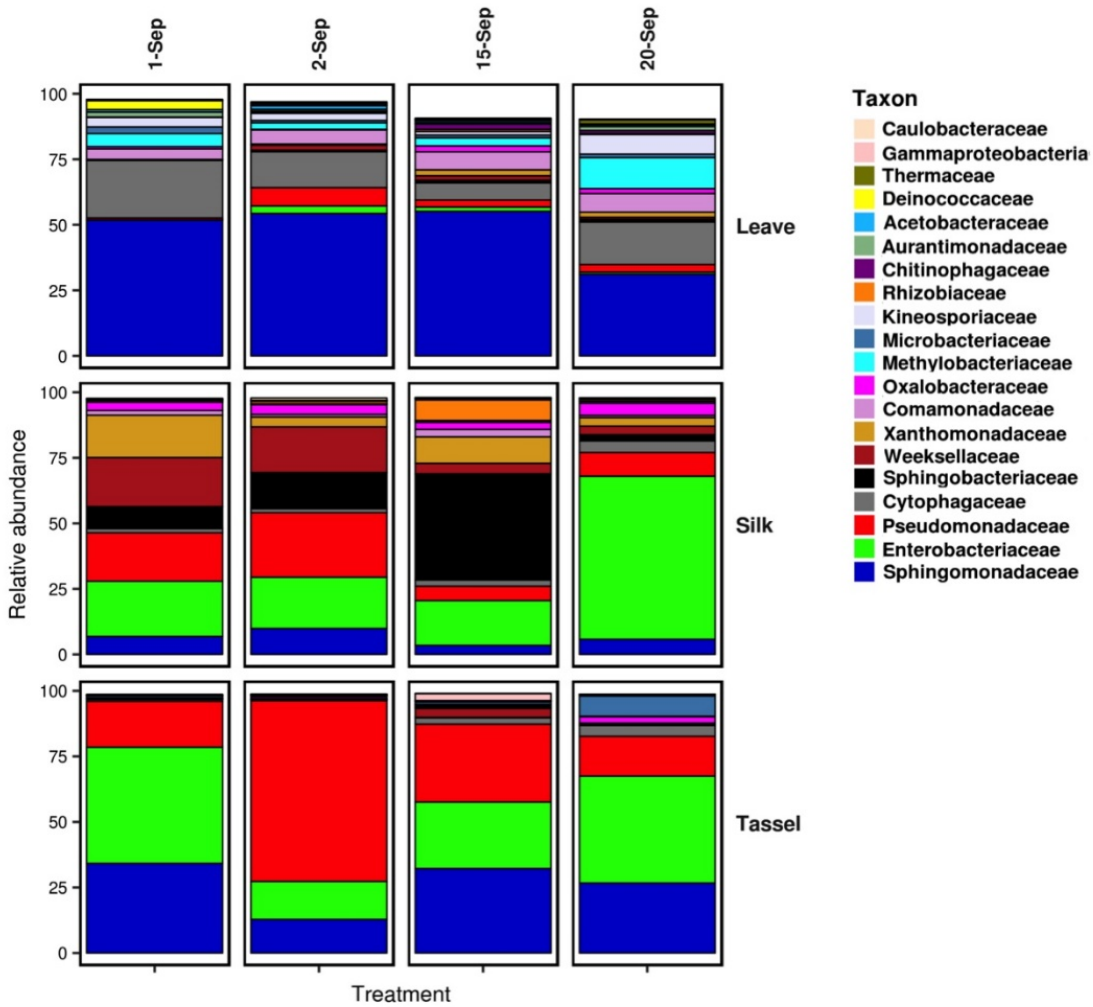


Figure 2. Bacterial microbiome from different corn organs (leave, silk, tassel) at four time points prior harvesting (unpublished results).

These changes in microbial population were also observed in samples collected on farms. Under commercial conditions, comparing silage made from the same forage between sites is difficult since differences in dry matter (DM), packing density, and other physical parameters will influence efficiency of the fermentation and the microflora. Associating those parameters to NGS studies could improve the understanding of this process. It will then be possible to understand how other physical variables may contribute, e.g. the impact of high or low temperature on microbial succession, the impact of length of storage, length of time at a high temperature, and the impact of DM variations within the same forage.

To date, most of the data collected from experimental silos was performed with incubation periods shorter than 100 days and at a temperature around 20 to 25 °C. These conditions offer an initial set of parameters but must be expanded to simulate real-life conditions in silos, which could include variances of more than 20 °C above ambient during fermentation and long fermentation periods (ROMERO et al., 2017).

Most of the published studies included a comparison between control and a microbial silage additive or between different strains of LAB. The general trend on microbial diversity is that inoculation with LAB reduces the microbial diversity, but the impact differs in relation

with the forage and the species of LAB. As observed by Wang et al. (2019), microbial diversity was influenced by the inoculation of *Moringa oleifera* independently from each of the four species used as well as from the temperature of incubation.

Comparisons between studies tend toward similar changes in microbial composition. To facilitate comparisons, it will be necessary to standardize DNA isolation and preparation of the amplicons prior to sequencing. By summarizing the main methodology information from different trials (Table 1), it was observed that some studies did not include fungal diversity, and the

amplified DNA region differed. Most bacterial studies were performed following amplification of the V3-V4 region, but there was a trend toward using the V4 or V4-V5 region, which offers potential for longer DNA strand and improving comparison scores against the database. Using a good quality database is a critical step that is often overlooked during analysis (McALLISTER et al., 2018). The drawback of the current methodology for amplicons based meta sequencing is that the amplified region is short and does not provide enough coverage of the complete 16S rRNA gene. Two published studies were able to gather near complete fragments by sequencing the 16S rRNA gene on a PacBio sequencer instead of the Illumina model (GUO et al., 2018; McALLISTER et al., 2018). This expanded the analysis of diversity to the species, or even subspecies, level.

Table 1. Characteristics of the silage and experimental design from publications using amplicon based metasequencing to study the microbiome.

Forage	DM (g kg)	Time of fermentation	Temperature	Inoculation and rate	Abundance of *Lactobacillus* (max)	16S rDNA amplicons	ITS amplicons	Reference
Time related dynamic								
Alfalfa-grass	395	7 periods, up to 64 days	20 °C	*L. buchneri* and *L. hilgardii* (4 x 10^5 CFU g FM)	61%	V3-V4	ITS1-4	(Drouin ent al., 2019)
Alfalfa	421	4 periods, up to 90 days	22 - 25 °C	*L. plantarum* or *L. buchneri* (1 x 10^6 CFU g FM)	93%	Full 16S - PacBio	No	(Guo et al., 2018)
Corn	381	9 periods, up to 90 days	n.a.	*L. plantarum* MTD1 (10^6 CFU g FM)	97%	V3-V4	ITS1-2	(Keshri et al., 2018)
Corn	352	8 periods, up to 64 days	20 °C	*L. buchneri* and *L. hilgardii* (4 x 10^5 CFU g FM)	95%	V3-V4	ITS1-4	(Drouin ent al., 2019)
Manyflower	410	6 periods, up to 30 days	Ambient	No	75%	V4-V5	No	(Lianhua et al., 2015)
Oat	456	6 periods, up to 90 days	n.a.	*L. plantarum* (1 x 10^6 CFU g FM)	97%	V4-V5	No	(Kreshri et al., 2019)
Commercial silos								
Corn (bunker)	n.a.	Vary	n.a.	n.a.	96%	V1-V3	No	(Gharechahi et al., 2017)
Corn (bunker)	212 to 373	60 days	n.a.	n.a.	8 to 90%	V4	No	(Guan et al., 2018)
Corn-Sorghum (bunker)	320 to 510	Vary	n.a.	n.a.	> 90%	V4	No	(Kraut-Cohen et al., 2016)

Corn (bag silo)	383	150	n.a.	*L. buchneri* and *L. hilgardii* (3 x 10^5 CFU g FM)		V3-V4	ITS1-4	unpublished
Corn (bunker)	360	150	n.a.	*L. hilgardii* (1.5 x 10^5 CFU g FM)		V3-V4	ITS1-4	unpublished
Experimental silos								
Alfalfa and sweet corn	187 to 222	65 days	25 °C	No	91 to 96%	V3-V4	No	(Wang e Wang, 209)
Corn (whole)	380	100 days	23 °C	*L. buchneri* 40788 (4 x 10^5 CFU g FM) and *P. pentosaceus* (1 x 10^5 CFU g FM)	34 (con) to 99%	V4	ITS1	(Romero et al., 2018)
Corn	234	90 days	22 – 25 °C	*L. plantarum* or *L. buchneri* (1 x 10^6 CFU g FM)	> 98%	Full 16S – PacBio	No	(Xu et al., 2019)
Grass (not further defined)	368	14 and 58 days	n.a.	*L. buchneri* CD034 (10^6 CFU g FM)	35 to 67% (inoculated)	V3-V4	No	(Eikmeyer et al., 2013)
High moisture corn		10, 30 and 90 days	20 – 22 °C	*L. buchneri* and/or *L. hilgardii* (4 x 10^5 CFU g FM)	95%	V3-V4	ITS1-4	unpublished
Moringa oleifera	n.a.	60 days	15 and 30 °C	4 species of LAB (individual) (10^5 CFU g FM)	61 to 97%	V3-V4	No	(Wang et al., 2019)
Moringa oleifera	233	60 days	25 to 32 °C	No (vaccum bags)	86%	V3-V4	No	(Wang et al., 2019)
Purple prairie clover	300	76 days	22 °C	No	30 %	V3-V4	V4-V5	(Peng et al., 2018)
Small grain (mix)	385	90 days	22 °C	No	82%	V3-V4	V4-V5	(Dunière et al., 2017)
Oat	45	217 days	23 °C	*L. buchneri*	57%	V4	ITS1	Romero

	0			40788 (4 x 10^5 CFU g FM) and *P. pentosaceus* (1 x 10^5 CFU g FM)				et al., 2017)
Soybean + corn	340	60 days	15 to 30 °C	No	60 to 80%	V3-V4	No	(Ni et al., 2018)
Sugar cane	n.a.	90 days	20 to 35 °C	No	50%	V4	No	(Ren et al., 2019)

Currently, no study has tried to mix the potential offered by polymerase chain reaction (PCR)-based profiling technology — like PCR-DGGE — with NGS sequencing capacities. Instead of amplifying with universal primers, primers targeting regions of lower variations could provide more precise results allowing higher similarity scores at the species level.

Microbial communities continuously evolve during the storage period, even during the anaerobic stable phase. By improving our knowledge on the succession between communities, genus, species, and even strains, it will be possible to refine how strains are selected as microbial silage additives. This could easily allow selection of strains for particular forages species or climatic conditions.

Searching for new forage inoculants in temperate and tropical forages

The fermentation capability — or the acidification potential — depends directly on the DM content, the level of water-soluble carbohydrates (WSC) and, inversely, on the buffering capacity of a given forage (FAO, 2000). Due to their compositions, the ensiling potential is completely different among the different families of forages: tropical (C4), temperate (C3) grasses, and legumes.

Studies conducted by Wilkinson (1990) with C3 grasses have concluded the minimal concentration of the WSC should be at least 2.5 to 3.0% of the fresh forage. Below 2% of WSC of fresh crop weight, forages are prone to undesirable fermentations. The average level of WSC found by Zopollatto et al. (2009) in a review of microbial additives in Brazil for tropical grasses was only 1.6%, far from the minimum for a good fermentation.

Tropical grasses provide large quantities of DM, which can reach up to 30 tons of DM per hectare. This great yield, however, comes, at the better stage of maturity in terms of nutrients, with other types of challenges: wilting is an issue and the excess moisture can lead to important losses of nutrients through effluent production (FERRARI; LAVEZZO, 2001); additionally its nutritive value sharply declines as maturity advances.

The microflora existing on the vegetative parts of plants consists mainly of microorganisms considered undesirable from the point of view of the fermentation process. These include anaerobic bacilli of the genus Clostridium; aerobic bacteria of the genus *Bacillus*; coliform bacilli, including *Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Citrobacter* spp., and *Klebsiella* spp.; as well as bacteria of the genus *Listeria*, *Salmonella*, *Enterococcus* (*E. faecium*, *E. faecalis*, *E. mundtii*, *E. casseliflavus*, *E. avium*, and *E. hirae*); and the occurrence of actinomycetes. Species of *Clostridium* are responsible for large losses because they

produce CO_2 and butyric acid instead of lactic acid. Yeast and molds also form a large group (O'BRIEN et al., 2007).

Concerning the presence of LAB, Pahlow et al. (2003) found in grasses that *L. plantarum*, *L. casei*, *E. faecium*, and *Pediococcus acidilactici* were the most frequently observed species. However, with the development and the use of DNA sequencing profile techniques, it is possible to identify hundreds of species as mentioned earlier. Most of the studies done by scientific groups were based on the efforts to find any microorganisms, especially bacteria, able to drive a good fermentation and inhibit undesirable and detrimental microorganisms.

Zielińska et al. (2015) demonstrated that microbial inoculants altered many parameters of silages, but the strength of the effects on fermentation depends on specific characteristic of an individual strain. Several research teams have been searching for new strains able to perform better than the ones currently on the market. For example, Agarussi et al. (2019) searched for new promising strains for alfalfa silage inoculants and isolated *Lactobacillus pentosus* 14.7SE, *L. plantarum* 3.7E, *Pediococcus pentosaceus* 14.15SE and a mixture of *L. plantarum* 3.7E, and *P. pentosaceus* 14.15SE. The authors concluded all of the tested strains had a positive effect on at least one chemical feature of the silage during the fermentation process, although the most promising strain found in that trial was the *P. pentosaceus* 14.15SE.

Moreover, Saarisalo et al. (2007) searched for LAB capable of lowering the pH of grass silages with low proteolytic activity. The researchers found a potential strain of *L. plantarum*, which was effective in reducing the deamination in silages.

Besides aiming to enhance silage fermentation, aerobic stability has been an important topic in the last 20 years. During silage feedout, accelerated growth of spoilage organisms (yeasts) results in high temperatures and nutrients and DM losses, leading to increased silage deterioration (BERNARDES et al., 2018). According to McDonald et al. (1991) even though yeasts can grow from 5 to 50 °C, the optimum growth of most species occurs at 30 °C. Other spoiling microorganisms, like molds and *Clostridium* bacteria, grow between 25 and 37 °C, respectively. Considering the specific temperature and humidity ranges of different microbes for growth, it is possible to see that tropical climates are more prone to spoilage than temperate ones.

Improving aerobic stability using forage inoculants

Silage feedout is the final phase of the ensiling process. At that moment, oxygen can slowly diffuse inside the silage mass. Diffusion speed will be influenced by different factors, including the level of humidity, porosity, and temperature of the silage (WILKINSON; DAVIES, 2013).

The process of aerobic deterioration of silage involves a shift to aerobic metabolism in some microorganisms and the reactivation of strict aerobes that were dormant. Oxidation of the fermentation products and residual carbohydrates will reduce nutritional value due to oxidation of carbohydrates, amino acids, and lipids to H_2O, CO_2 and heat. Simultaneously, the higher metabolic activity will increase the silage temperature, accelerating microbial growth.

Several microorganisms are involved, but yeast and acetic acid bacteria are adapted to tolerate the initially low pH conditions, thus able to exploit this niche before pH increases following the catabolism of the organic acids. Crops with higher levels of easily accessible carbohydrates are more prone to aerobic deterioration, i.e. corn, sorghum, and sugarcane, since these sugars can be readily fermented by spoilage microorganisms in the presence of oxygen.

Following the isolation of a *L. buchneri* strain, researchers Driehuis et al. (1999) described its unique metabolic pathway, which consisted of converting moderate amounts of lactate under low pH to equal parts of acetate and 1,2-propanediol (OUDE et al.,2001). The latter chemical is an intermediate in the potential synthesis of propionic acid. *L. buchneri* does not have the gene to complete the reaction, so another species of LAB has to be involved to convert 1,2-propanediol to an equimolar amount of 1-propanol and propionic acid (SRIRAMULU et al, 2008). This conversion was initially observed in silage by *Lactobacillus diolivorans* (KROONEMAN et al., 2002), but other members of the buchneri group also possess the genetic system (ZIELINSKA et al., 2017), like *Lactobacillus reuteri* (SRIRAMULIU et al., 2008).

Compared to lactic acid, the key feature of acetic and propionic acids in improving aerobic stability of silage is based on the difference in pK_a between these weak acids and lactic acid, which is a stronger acid, with a pK_a of 3,86. At higher pK_a, 4,76 for acetic acid and 4,86 for propionic acid, these weak organic acids will have a low dissociation level under most ensiling conditions, thus allowing for passive diffusion inside the yeast or other microorganisms cytoplasm. Once inside the cytoplasm, propionic acid will dissociate to the corresponding salt since internal pH is above pK_a value. The same process is also possible for acetic acid. Constant pumping of the protons released inside the cytoplasm causes physiological stresses impacting several metabolic pathways in yeast cells (LOURENCO et el., 2011).

Length of fermentation and establishment of heterofermentative LAB population are now considered critical toward the establishment of a good aerobic stability level. The facultative, or obligate heterofermentative, strains of LAB have lower growth rates than homofermentative strains, including rods like *L. plantarum* or coccids of the genera *Leuconostoc*, *Enterococcus*, or *Lactococcus*. The growth conditions after several days of ensiling are also more restrictive for physiological activities considering the low pH usually encountered. The strains succeeding the earlier colonizer need to be more tolerant to both acidity and osmotic stresses, simultaneously. Observation of the succession of different species of LAB during the anaerobic stability phase often lead to high abundance of LAB belonging to the *L. buchneri* taxonomical group (XU et al., 2019), leading to specific adaptation to this ecological niche by these strains. Although few physiological studies on *L. buchneri* strains had been published, Heinl and Grabherr recently published a complete analysis of the genetic potential of the strain CD034 compared to other genomes from public databases (EIKMEYER et al., 2015). One of the comparisons performed aimed to describe how the genetic system of this species could cope with high concentration of organic acids, including lactic acid. The anaerobic conversion system of lactic acid to 1,2-propanediol (to acetic acid and CO_2 under aerobic condition) represents one of those properties. It is possible

to extend these observations to the results gathered from transcripts analysis on the strain *L. buchneri* CD034 (EIKMEYER et al., 2015) following aeration of culture grown under anaerobic conditions. The team described the functions of 283 genes induced by the presence of oxygen. They also observed physiological adaptation related to changing oxygen concentration. Genes required by lactic acid fermentation systems were hardly affected.

Co-inoculation with different heterofermentative strains has recently been tested in the field or in commercialized conditions. This was the case for *L. buchneri* and *L. diolivorans*, tested on the fermentation of sourdough (ZHANG et al., 2010). The authors showed an increase in the accumulation of propionic acid following inoculation with both strains together. Co-inoculation of *L. buchneri* and *L. hilgardii* was tested in different ensiling trials (REIS et al., 2018; FERRERO et al., 2019) inducing better fermentation and higher aerobic stability level. *L. hilgardii*, an obligate heterofermentative strain, was previously observed as a contaminant of wine but also represents one of the dominant LAB strains in water kefir (WALDHERR et al., 2010). Strains of this species are often observed in sugar cane silage (ÁVILA et al., 2014; CARVALHO et al., 2014) and provide increased aerobic stability levels for this challenging crop. Improvement in fermentation and aerobic stability of sugarcane silage allowed increasing DM intake and milk yield (SANTOS et al., 2017).

Two recent meta-analysis (BLAJAMN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2017) provided a complete overview of the impact of inoculation of LAB and described the importance of fermentation and aerobic stability in relation to the specificities of the forages and the activity of homofermentative, facultative heterofermentative, and obligate heterofermentative strains. In particular, the meta-analysis of Blajman et al. (2018) analyzed the role of inoculation on reducing the amount of yeast in silage.

Improving aerobic stability to reduce overall losses during the storage and feed-out is one of the main reasons to apply microbial inoculants on the forage at the time of ensiling. The value of silage inoculants is important, but optimal management of silos at all steps of the ensiling process is critical.

Improving adoption of forage inoculant use by increasing awareness of the economic value of forage inoculants

According to the 2017 National Agricultural Statistics Survey census report, approximately 120,000,000 tons of whole-plant corn alone was harvested for silage in the United States (SERVICE USDANAS, 2019). Even with this huge quantity of silage, there is little reliable survey data about the use of forage inoculants.

Based on an independent market survey of U.S. beef and dairy producers, two thirds of respondents indicated that forage additives used on their operations are microbial based. The main reason for their use is to minimize mold and spoilage in silage. Other reasons cited include preventing heat damage and increasing herd productivity (KUNG et al., 2018). Most inoculant users plan on continuing using and investing in this technology each year (VANCE PUBLISHING, 2015).

Product performance, ease of use, and cost are the main influencers on the purchasing decision of inoculants. In addition, nutritionists and consultants are important sources for

providing information on forage inoculants and the most involved outside sources in the purchase decision year (VANCE PUBLISHING, 2015).

Most producers do not have a detailed understanding of the different types of inoculant products but recognize the value and return on investment (ROI) that these technologies can bring to their operation. Value-added services and education offered by inoculant companies are also reasons to purchase, especially for larger producers.

Producers may often choose not to purchase forage inoculants due to the cost of the products. Other top reasons that influence purchase decisions are (1) not believing inoculants work, (2) lack of knowledge, or (3) lack of specific equipment for inoculating the forage. With all these factors in mind, there is a strong need for proper education on the application and showing the cost-to-benefit calculation of these forage additives (WEINBERG et al., 2003).

Even though some producers are non-users, they believe inoculants have the potential to improve consistency of silage quality, enhance ration quality, and increase feedout stability. In the same question, just 40% answered that improving ROI is one of the most important benefits of purchasing inoculants. Even though some producers do not associate inoculants with contributing to overall herd ROI and profitability, the word "fresh" is shown to have a positive association with good smell and palatability (G&S BUSINESS COMMUNICATIONS, 2019).

During typical field and harvest management conditions, silage losses are easily reported between 15 to 20%. If inoculant use can reduce DM losses by a 5 percentile points, there would be savings of $2,000 (US$) per thousand tons of silage, assuming the silage is valued at $40.00 (US$) per ton FM. Moreover, silage with high degree of deterioration not only has less overall tonnage to be fed, but the feed is also of lower nutritional quality.

Optimizing fiber and carbohydrate digestibility

The main metabolic activity of LAB during the ensiling process consists of reducing soluble carbohydrates to organic acids to acidify and preserve the forage for long-time storage. It has been observed that animal performance has been increased following use of microbial inoculants, even if no or small changes in silage fermentation parameters were observed (MUCK, 2013). Future research is needed to explain why these improvements are observed. Yet, past research has made several important advancements.

As discussed previously, inoculation with LAB contributes to important modifications of the silage microbiota, for both the bacterial and the fungal communities. Some of these modifications could partly explain the contribution of the inoculant to one or more nutritional characteristics of silage. This also could support the theory of an indirect positive impact of these nutritional characteristics to the rumen microbial population and functions.

The rumen environment may also be affected by LAB forage inoculants. Some strains of LAB used as inoculants were shown to survive in the rumen fluid (WEINBERG et al., 2003) and shift gas production toward other products or microbial cells (MUCK et al., 2007). Weinberg et al. (2007) observed that LAB inoculants applied at ensiling, or into the rumen, had the potential to increase DM and fiber digestibility.

Studies using different inoculants showed increases in animal performance and milk production (CONTRERAS-GOVEA et al., 2011). Mohammed et al. was also able to quantify elevated levels of *L. plantarum* in the rumen of cows eating the treated silage (MOHAMMED et al., 2012).

To help explain this improved animal performance, results from studies of LAB used as a human probiotic may offer some clues. In a review of the metabolism of oligosaccharides and starch by lactobacilli, Gänzle and Follador (2012) described limitations of the conversion of oligosaccharides since most related enzymes in LAB are active intracellularly and their substrates must be transported inside the cells to hydrolyze (Figure 3). By studying the genome of several LAB species, they report that most lactobacilli could generally metabolize α-glucans. They would require contribution of a trans-membrane transporter in order to hydrolyze small oligosaccharides. Like some other lactobacilli, *L. plantarum*, has gene encoding for an extracellular amylase with endoamylases activity. Presence of this amylase in the genome is strain specific as reported by Hattingh et al. (2015) for a strains of *L. plantarum* isolated from barley.

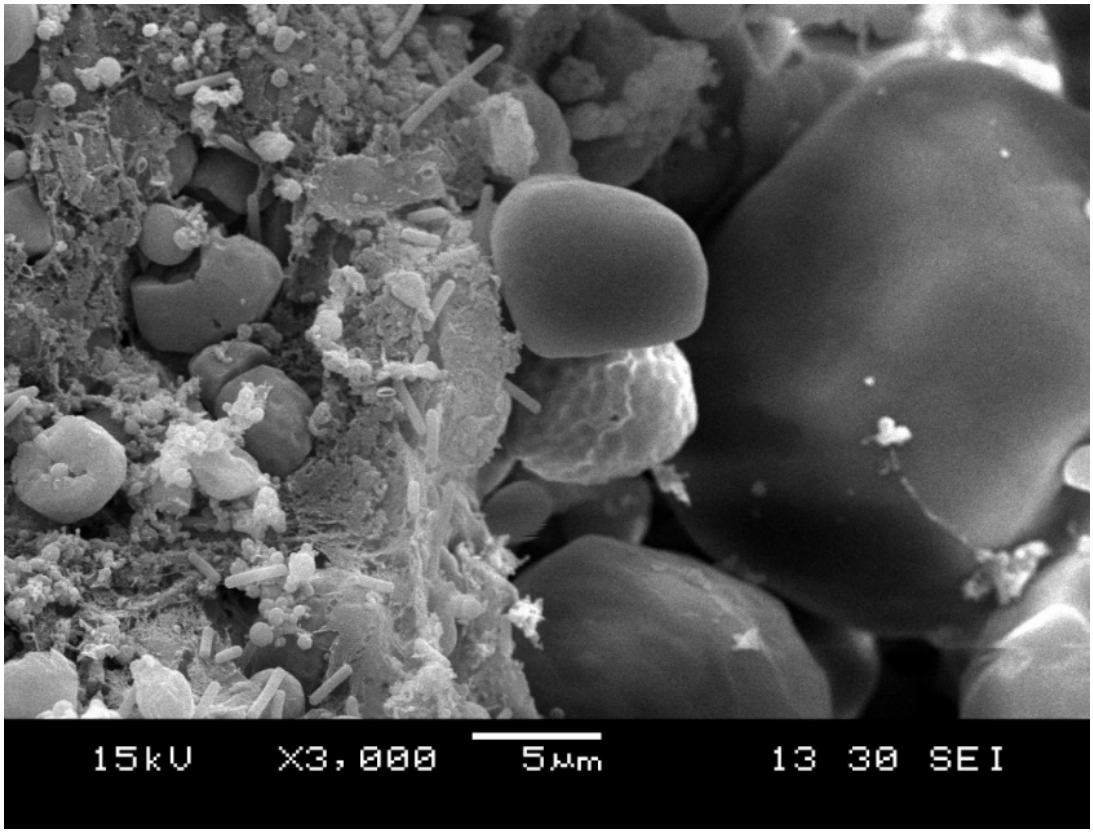


Figure 3. Starch granules of corn after several months of ensiling. Rod shape bacteria, putatively LAB, were thriving on fibers particles surrounding the starch granule but not on the granules. Micrograph provided by Lallemand Specialities Inc.

Selecting strains with a functional trait, for example fiber- or starch-degrading functions, represents the initial step in the development of a new inoculant. The strain has to cope with the different stresses of silage and also compete against epiphytic LAB and other microorganisms. The function also has to be expressed under the targeted microbial niche.

The extracellular enzymes then have to be optimized for the acidic conditions and cope with the specific nature of polysaccharide substrates.

Access by fibrolytic enzymes to cellulose due to steric hindrance of the lignin-hemicellulose matrix was the target in isolating a LAB strain producing ferulate esterase (NSEREKO et al., 2008). This enzyme releases ferulic acid from arabinoxylans, improving access to other fibrolytic enzymes of the lignin-cellulose layer within cell walls. Initial *in situ* ruminal incubations were able to show interesting potential of these strains, but further testing was not conclusive (JIN et al., 2015), showing the positive effect of the lactobacilli on fermentation, but the enzymatic function did not seem to contribute to improvement of the nutritional properties as would have been expected.

More research is needed in this area. The complexity and dynamic of the microbial communities following inoculation provide an important challenge in understanding the impact and role of the key players involved in this beneficial effect of microbial silage additive.

Improving animal performance with LAB forage inoculants

The expected effects of using a LAB forage additive are improved fermentation and enhanced feedout stability, which, in turn, leads to better recovery of nutrients and DM. However, expectations from producers are often beyond better silage characteristics, such as improvements in feed efficiency and, subsequently, animal performance.

Scientific evidence shows the use of microbial inoculants for ensiling increases animal performance and production, in addition to enhancing the fermentation. However, these improvements are difficult to quantify.

Some of the existing theories are the effects of these beneficial bacteria may have positive influence in the rumen environment including: altering the fermentation profile and interacting with the animal's existing digestive microbiota (WEINBERG et al., 2003), and inhibiting undesirable microorganisms, which subsequently help reduce the potential for toxin production (ELLIS et al., 2016).

Oliveira et al. (2017) analyzed 31 studies — including animal performance results. This meta-analysis showed that microbial inoculation at a rate of at least 10^5 colony-forming units (CFU) of LAB per gram of forage significantly increased milk production by 0.37 kg/d, increased DM intake, and had no effect on feed efficiency and total tract DM digestibility. Furthermore, the contents of milk fat and milk protein tended to be higher for cows fed inoculated silage. The effects on increased milk production due to LAB inoculation happened regardless of the type of forage and diet, inoculant bacterial species and application rate (10^5 vs. 10^6 CFU/g of forage), and level of milk production.

Among the animal performance trials, there are cases when the inoculant had no effect on the silage fermentation compared to untreated silage, although animal productivity was increased (DANIEL et al., 2015). Therefore, this indicates that some LAB strains are positively affecting the rumen microbial community and the digestive tract environment, resulting in improved effects on animal performance.

Recent research has described these effects by evaluating the impact of inoculated silages in the populations of the rumen microbial community, but no significant changes were observed (GANZLE and FOLLADOR, 2012). However, nitrogen efficiency seemed to be improved due to lower levels of milk urea nitrogen in cows fed inoculated silage and greater ruminal DM digestibility on the inoculated silage ration (KUOPPALA et al., 2012). Since LAB were shown to attach to the fiber inside the rumen (YANG et al., 2018), isolation methodology needs to be adapted to target the correct ecological niche.

Changes in nitrogen compounds during ensiling are expected. For example, over half of the true protein in alfalfa is degraded to soluble non-protein compounds initially by the plant's own proteases, and then later by microbial activity within the cow, resulting in inefficient nitrogen use to the cow (MUCK et al., 2018).

Specifically, in the corn kernel or other cereal grain, a protein matrix (prolamins) around the starch granules partially prevents ruminal starch digestion. It has been reported that a slow and continuous breakdown of the prolamins during the storage phase, makes the starch more digestible with longer storage time (HOFFMAN et al., 2011). The authors explained that this effect is due to natural proteolytic mechanisms. This event, however, requires months of storage for optimum level of starch digestibility in the rumen, which it is not always feasible in commercial operations. One alternative solution would be to shorten the time necessary for storage to help enhance starch digestibility by inoculation with bacteria that possess high proteolytic activity but to date, limited research has been reported and results are inconsistent.

Improvement of fiber digestibility has to be considered in relation to the activity of silage inoculants. Some strains of LAB have been reported to produce the enzyme ferulic acid esterase, which breaks the esterase bond between lignin and the hemicellulose fraction, leading to more digestible fiber portions for the rumen microorganisms (LYNCH et al., 2014). However, data from animal performance or production studies did not show consistencies in the improvements (LYNCH et al., 2014; LYNCH et al., 2015). While *in vitro* and *in situ* effects may be conceivable, the expression of this phenomenon within *in vivo* environments needs additional research to be better understood.

There is still a need to better understand how the microbial additives for ensiling positively affect animal performance, so this should be used as criteria for a new generation of this type of additive.

Understanding the impact of ensiling on a global scale

Silage represents an important part of animal diets. Challenges in production, reducing losses, and the impact on agricultural practices are often overlooked compared to other nutritive benefits provided. Microbial activity during fermentation produce several compounds besides the desirable organic acids; some of those compounds were identified as negatively influencing air quality around farms. They are classified as alcohols, esters, and aldehydes (HAFNER et al., 2013; WEISS, 2017). Production and volatilization of these compounds contributes to a reduction in quality of the stored feed, inducing ground-level

ozone, and influences emission of greenhouse gases by the agricultural sector (ABY et al., 2019).

Forage characteristics and yield potential are influenced by several factors, including geographic and meteorological conditions. New analytical technologies and statistical methodologies now allow more comprehensive understanding of ensiling techniques and analyze productivity and nutritional quality on a broader scale.

Comparison between farms is always challenging, even between neighboring farms, since they could differ on animal husbandry, genetics of the herd, field management, harvesting periods, type and size of silos, management of the silos, etc. On a broader geographic area, these differences will be minimized by the inclusion of higher numbers of farms, up to a point that patterns of variations could be analyzed. This type of analysis was performed by Gallo et al. (2015) in two recent studies (ABY et al., 2019; GALLO et al., 2015). The team used a multivariate analysis technique, Principal Component Analysis (PCA), to evaluate ensiling of corn silage on 68 dairy farms (GALLO et al., 2015) and generated a fermentation quality index to rank the silage GALLO et al. (2015). Using 36 variables measured on every individual samples, they were able to group the silage according to quality parameters in relation to silo management techniques to discriminate between well-preserved and poorly preserved forages.

At the farm level, quality parameters from silage and feed analysis reports could be analyzed to identify trends in animal health and performance. Different types of data could be collected and analyzed to understand the main variations in milk quality and yield on a yearly or multi-year basis. Linking milk quality parameters to farm management practices was performed following the analysis of milk constituent using Fourier transformed mid-infrared spectroscopy results gathered from 33 farms. (WOOLPERT et al., 2017). The difference between observed high and low de novo fatty acid composition of milk allowed characterizing differences in feeding management (one or two feeding periods - fresher silage) and higher animal management scores (free-stall stocking - lower housing density).

Up to now, few data analysis included data specific to silage fermentation beside the main fermentation acids. This is truer for other parameters related to silage production and management, including yield from the field, management of the silos, losses during fermentation, or type of silage additive used. This is to be addressed considering important changes to the microbiota following inoculation discussed previously and to differentiate in other fermentation chemicals or their relationship with the nature of the additives applied, as observed by Daniel et al. (2013).

Increasing understanding of the fermentation process

Compared to other research domains in agricultural and environmental sciences, using new sequencing technologies to understand the dynamics of the microbial communities in silage is recent. McAllister et al. 2018) published a review providing a technological and methodological overview. Currently, the number of trials performed using this technique is small enough that repetitions between geographical regions or over time are non-existent.

Amplicons-based metasequencing represents the entry level of the -omics techniques. For silage research, the industry could also consider metagenomic, proteomic, transcriptomic, or epigenomic as a potential area of study. A review of the possibilities offered by metabolomics in agriculture was recently published (DO PRADO et al., 2018).

Since ensiling is based on the fermentation of forage crops, knowledge of the metabolic activity of the forage prior to ensiling would be useful. A review by Rasmussen et al. (2012) provides insight of how plants are coping with physiological changes due to breeding strategies, associations with endophytes or rhizobia, responses to nutrients, and, more interestingly, on the metabolic responses to the osmotic stress. Harvesting and wilting will directly influence plant cell activities and nutrient cycling. The authors reported amino acids, fatty acids, and phytosterols generally decrease following water stress, while sugars and organic acids increased. Since the fermentation process requires fermentable sugars for optimal acidification of the forage, wilted plants may respond positively toward ensiling. We need to consider the speed of those changes in concentration of metabolites during wilting compared to propose a model of the response to an osmotic stress. Ould-Ahmed et al. (2015) provided some knowledge on this response to wilting while studying changes in fructan, sucrose, and some associated hydrolytic enzymes, concluding there is a positive effect toward ensiling requirements from the different metabolites.

Metabolomic profiling of silage was performed in a study aiming to understand the role of inoculation with *L. plantarum* or *L. buchneri* in alfalfa silage against a non-inoculated control (GUO et al., 2018). The authors were able to distinguish all three inoculation treatments by a PCA of the 102 metabolites surveyed. The major metabolites observed were related to amino acids, organic acids, polyhydric alcohols, and some derivatives. One of the main observations was an increase in free amino acids and 4-aminobutyric acid following inoculation with *L. buchneri* and a decrease in cadaverine and succinic acid following inoculation with *L. plantarum*.

Testing the same two LAB strains on whole plant corn silage instead of alfalfa, Xu et al. (2019) observed a total of 979 chemical substances, from which 316 were identified and quantified. The PCA allowed separating the three inoculation treatments along the first axis, representing nearly 80% of the variations between samples. The second axis was able to further distinguish how inoculation with *L. buchneri* influenced the fermentation. Inoculation with either *L. plantarum* or *L. buchneri* contributes to increase the concentration of amino acids and phenolic acids, 4-hydroxycinnamic acid, 3,4-dihydroxycinnamic acid, glycolic acids, and other organic acids. Inoculation with *L. buchneri* also induces higher concentration of 2-hydroxybutanoic acid, saccharic acid, mannose, and alpha-D-glucosamine-1-phosphate, among others. Other substances were increased by ensiling without specific impact of the inoculants, like catechol and ferulic acid that could have antioxidant functions.

Metabolomic studies can also be used in defining a metabolomic signature specific of different forage and silage on feed efficiency of ruminants. With the aim of identifying feed efficiency traits in beef cattle, Novais et al. (2019) investigated how serum metabolomic profiles could be used to predict feed intake and catabolism. They identified different molecules having feed efficiency role. Two molecules from the retinol pathway, vitamin A

synthesis, were significantly associated with feed efficiency (higher concentration of retinal and lower concentration of retinoate).

Beside the studies of Guo et al. (2018) and Xu et al. (2019), one other study combined different -omic techniques in understanding ensiling process. The first glimpse of that study was presented at the International Silage Conference in 2018 (GERLACH and SÜDEKUM, 2018) with data on microbiota dynamic between 1 and 64 days of fermentation of corn silage. Multi-omics analysis of the amplicon-based metagenomic, metagenomic, and metabolomic data set is currently underway.

The potential of transcriptomic was also shortly covered by the *in vitro* trial of Eikmeyer et al. (2015), which aimed to understand induction of genes in *L. buchneri* CD034 under different incubation settings. It is expected that additional studies performed directly under ensiling conditions may be published in the next few years.

Metabolomic data have shown how inoculation of LAB strains induces changes to the ensiled forage that goes beyond the simple production of lactic and acetic acid from the fermentation of sugars under anaerobic conditions. Increases in a whole array of molecules were observed, but the change also extends to the fibers and is either a direct or an indirect effect of the inoculant. Inoculation of alfalfa by *L. plantarum* or *Pediococcus pentosaceus* strains increased the release of different hemicellulose polysaccharides, including homogalacturonan, rhamnogalacturonan, and arabinogalactan from the cell walls (DROUIN et al., 2018).

These new technologies will allow greater understanding of the impact of bacterial inoculants on improvements of the silage and their contribution in induction of specific genes and proteins by other members of the microbial community at different stages of the ensiling process.

Co-ensiling forage with food processing waste and TMR conservation

Food processing residues represent high-energy organic material already used in some way that could include food-processing residues either from food industries or distiller's grains from the ethanol production. These residues could easily be used by farms closely located to the production site, but their relatively high humidity content renders them prone to a rapid deterioration. New ensiling techniques allow mixing them with low moisture forage or grain in order to perform a fermentation that in enclosed into a kind of total mixed ration (TMR) acidic conservation.

Aiming to use a bakery co-product waste, Rezende et al. (2016) tested possibilities of re-hydration, treating it with acid whey or water and levels of urea. The authors found that the resulting silages had reduced populations of molds and yeast by acidification process. However, the initial population of these microorganisms were high, mainly accounting of *Penicillium* and *Aspergillus* spp. Inoculating with a bacteria that could produce antifungal chemicals, including acetic and propionic acids might be considered for this kind of co-product.

TMR silage is an important source of ruminant feed. This practice has been more common in some places where companies or producers mix wet co-products with dry feeds to

prepare TMR that are then preserved as silage. Based on conventional criteria, aerobic deterioration could occur easily in TMR silage, because lactic acid prevails during fermentation and any sugars remaining unfermented can serve as substrates for the growth of yeasts. However, some trials (NISHINO et al., 2003; WANG et al., 2008) have been shown that when added concentrate, the brewer's grains or soybean curd residue, main co-products used in TMR preserved, do not show heating in the TMR. For the trial with brewers' grain-based TMR the main bacteria found in the stable silages where *L. buchneri*, but for the soybean curd-based TMR, the main LAB found were *P. acidilactici* and *L. brevis* (LI et al., 2016) showing potential association of those bacteria to preserve TMR silages. A similar trial was performed by Ferraretto et al. (2018) to test how the process influenced ruminal *in vitro* starch digestibility. They used dry ground corn to adjust the humidity level of wet brewers' grain and observed an increased in digestibility of the starch from the combined feed.

Nishino and Hattori (2007) evaluated two bacterium-based additives in wet brewer's grains stored as a TMR in laboratory silos with alfalfa hay, cracked corn, sugar beet pulp, soya bean meal, and molasses. The additives tested were the homofermentative LAB, *L. casei*, and the heterofermentative LAB *L. buchneri*. This last one was responsible for controlling yeast growth and the homolactic one helped in the fermentative profile of the ensiled TMR.

Final comments

General microbiology techniques have helped to better understand the basic dynamic of microbial communities, the diversity of species, the biochemical pathways involved at each phase of the fermentation process and the metabolic functions of the main spoiling agents involved in degrading the nutritional quality of the silage. NGS helped observe microbial communities and metabolic profiling do not cease to evolve. This fact directly influences the nutritional characteristics of the silage.

In this text, the authors reviewed the main research activities that helped the agricultural industry understand silage as it is known today and also pointed to experimental techniques that will continue to improve the understanding of metabolic pathways and functional aspects of the ensiling process. It is clear these techniques will allow the scientific community to discover new inoculants that will combine our knowledge of silage fermentation, nutritional quality, improve rumen function, and contribute to better animal health. We look forward to the third generation of forage inoculants and seeing their positive impact.

Acronyms and Abbreviations

aerobic stability (AS)
colony-forming units (CFU)
dry matter (DM)
lactic acid bacteria (LAB)
next generation sequencing (NGS)
operational taxonomic unit (OTU)

polymerase chain reaction (PCR)
principal component analysis (PCA)
total mixed ration (TMR)
water-soluble carbohydrate (WSC)

References

ÅBY, B.A.; RANDBY, Å.T.; BONESMO, H.; AASS L., 2019. Impact of grass silage quality on greenhouse gas emissions from dairy and beef production. Grass and Forage Science, v.74: https://doi.org/10.1111/gfs.12433.

AGARUSSI M.C.N.; PEREIRA O.G.; DA SILVA V.P.; LEANDRO E.S.; RIBEIRO K.G.; SANTOS S.A., 2019. Fermentative profile and lactic acid bacterial dynamics in non-wilted and wilted alfalfa silage in tropical conditions. Molecular Biology Reports, v.46, p.451-460.

Ávila, C.L.S.; Carvalho, B.F.; Pinto, J.C.; Duarte, W.F.; Schwan, R.F., 2014. The use of *Lactobacillus* species as starter cultures for enhancing the quality of sugar cane silage. Journal of Dairy Science, v.97, p.940-951.

BERNARDES T.F.; DANIEL J.L.P.; ADESOGAN A.T.; MCALLISTER, T.A.; DROUIN, P.; NUSSIO, L.G., HUHTANEN, P.; TREMBLAY, G.F.; BÉLANGER, G.; CAI, Y., 2018. Silage Review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. Journal of Dairy Science, v.101, p.4001-4019. DOI: 10.3168/jds.2017-13703

BLAJMAN, J.E.; PÁEZ, R.B.; VINDEROLA, C.G.; LINGUA, M.S.; SIGNORINI, M.L., 2018. A meta-analysis on the effectiveness of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria for corn silage. Journal of Applied Microbiology, v.125, p.1655-1669. DOI: 10.1111/jam.14084

CARVALHO, B.F.; ÁVILA, C.L.S.; MIGUEL, M.G.C.P.; PINTO, J.C.; SANTOS, M.C.; SCHWAN, R.F., 2014. Aerobic stability of sugar-cane silage inoculated with tropical strains of lactic acid bacteria. Grass and Forage Science, v.70, p.308-323. https://doi.org/10.1111/gfs.12117.

Contreras-Govea, F.E.; Muck, R.E.; Mertens, D.R.; Weimer, P.J., 2011. Microbial inoculant effects on silage and *in vitro* ruminal fermentation, and microbial biomass estimation for alfalfa, BMR corn, and corn silages. Animal Feed Science and Technology, v.163, p.2-10. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.09.015 .

DANIEL, J.L.P.; MORAIS, G.; JUNGES, D.; NUSSIO, L.G. editors. Silage additives: Where are we going? 2015; Piracicaba, Brazil: University of Sao Paulo; 2015.

DANIEL, J.L.P.; WEIß, K.; CUSTÓDIO, L.; NETO, A.S.; SANTOS, M.C.; ZOPOLLATO, M.; NUSSIO, L.G., 2013. Occurence of volatile organic compounds in sugarcane silages. *Animal Feed Science and Technology,*185:101-105. http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.011.

DO PRADO, R.M.; PORTO, C.; NUNES, E.; DE AGUIAR, C.L.; PILAU, E.J., 2018. Metabolomics and agriculture: what can be done. mSystems, v.3, p.e00156-17. Doi: 10.1128/mSystems.00156-17.

DRIEHUIS F.; ELFERINK S.J.W.H.O.; SPOELSTRA SF., 1999. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. Journal of Applied Microbiology, v.87, p.583-594. DOI: 10.1046/j.1365-2672.1999.00856.x

DROUIN, P.; ORDAZ, S.; VERRASTRO, L.; SIVAKUMAR, P. Impacts of silage bacterial additives on forage neutral detergent-soluble fiber. 2018; American Dairy Science Association Annual Meeting, Knoxville, TN.

DROUIN, P.; TREMBLAY, J.; CHAUCHEYRAS-DURAND, F., 2019. Dynamic succession of microbiota during ensiling of whole plant corn following inoculation with *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus hilgardii* alone or in combination. Microorganisms, v.21, p.595. DOI: 10.3390/microorganisms7120595.

DUNIERE, L.; XU, S.; LONG, J.; ELEKWACHI, C.; WANG, Y.;TURKINGTON, K.; FORSTER, R.; MCALLISTER, T.A., 2017. Bacterial and fungal core microbiomes associated with small grain silages during ensiling and aerobic spoilage. BMC Microbiology, v.17, p.50. DOI 10.1186/s12866-017-0947-0

EIKMEYER F.; KÖFINGER P.; POSCHENEL A.; JÜNEMANN, S.; ZAKRZEWSKI, M.; HEINI,S.; MAYRHUBER, E.; GRABHERR, R.; PÜHLER, A.; SCHWAB, H.; SCHULÜTER, A., 2013. Metagenome analyses reveal the influence of the inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 on the microbial community involved in grass ensiling. Journal of Biotechnology, v.167, p.334-343. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2013.07.021

EIKMEYER, F.G.; HEINL, S.; MARX, H.; PÜHLER, A.; GRABHERR, R.; SCHLÜTER, A., 2015. Identification of oxygen-responsive transcripts in the silage inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 by RNA sequencing. PLOS ONE, v.10, p.e0134149. DOI: 10.1371/journal.pone.0134149

ELLIS, J.L.; HINDRICHSEN, I.K.; KLOP, G.; KINLEY, R.D.; MILORA, K.D.; BANNINK, A.; DIYKSTRA, J., 2016. Effects of lactic acid bacteria silage inoculation on methane emission and productivity of Holstein Friesian dairy cattle. Journal of Dairy Science, v.99, p.7159-7174. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10754Get rights and content.

FAO. Silage fermentation processes and their manipulation, 2000; Rome.

FERRARETTO L.F.; SILVA FILHO W.I.; FERNANDES T.; KIM D.H.; SULTANA H., 2018. Effect of ensiling time on fermentation profile and ruminal *in vitro* starch digestiblity in rehydrated corn with or without varied concentrations of wet brewers grains. Journal of Dairy Science, v.101, p.4643-4649.

FERRARI E.J.; LAVEZZO W., 2001. Qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) emurchecido ou acrescido e de farelo de mandioca. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, p.1424-1431.

FERRERO, F.; PIANO, S.; TABACCO, E.; BORREANI, G., 2019. Effects of conservation period and *Lactobacillus hilgardii* inoculum on the fermentation profile and aerobic stability of whole corn and sorghum silages. Journal Science Food Agricultural, v.99, p.2530-2540.

G&S Business Communications. 2019. Forage inoculants portfolio research: United States. page 83.

JOHNSON, H.E.; BROADHURST, D.; KELL, D.B.; THEODOROU, M.K., 2004. High-Throughput Metabolic Fingerprinting of Legume Silage Fermentations via Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics, Applied and Environmental Microbiology, v.70, p.1583–1592. Doi: 10.1128/AEM.70.3.1583–1592.2004.

GALLO, A.; BERTUZZI, T.; GIUBERTI, G.; MOSCHINI, M.; BRUSCHI, S.; CERIOLI, C.; MASOERO, F. 2015. New assessment based on the use of principal factor analysis to investigate corn silage quality from nutritional traits, fermentation end products and mycotoxins. Journal Science Food Agricultural, v.96, p.437-48. Doi: 10.1002/jsfa.7109.

GALLO, A.; GIUBERTI, G.; BRUSCHI, S.; FORTUNATI , P.; MASOERO, F., 2015. Use of principal factor analysis to generate a corn silage fermentative quality index to rank well- or poorly preserved forages. Journal Science Food Agricultural, v.96, p.1686-1696.

GÄNZLE, M.G.; FOLLADOR, R., 2012. Metabolism of oligosaccharides and starch in lactobacilli: a review. Frontiers in Microbiology, v.3, p.1-15. Doi: 10.3389/fmicb.2012.00340.

GERLACH, K.; SÜDEKUM, K-H. editors. How do time of fermentation and lactic acid bacteria inoculation influence microbial succession during ensiling? 2018; Bonn, Germany: University of Bonn; 2018.

GHARECHAHI, J.; KHARAZIAN, Z.A.; SARIKHAN S.; JOUZANI, G.S.; AGHDASI, M.; SALEKDEH, G.H., 2017. The dynamics of the bacterial communities developed in maize silage. Microbial Biotechnology, v.10, p.1663-1676.

GUAN, H.; YAN, Y.; LI, X.; LI, X.; SHUAI, Y.; FENG, G.; RAN, Q.; CAI, Y.; LI, Y.; ZHANG, X., 2018. Microbial communities and natural fermentation of corn silages prepared with farm bunker-silo in Southwest China. Bioresource Technology, v.265, p.282-290. Doi: 10.1016/j.biortech.2018.06.018.

GUO, X.S.; KE, W.C.; DING, W.R.; DING, L.M.; XU, D.M. ; WANG, W.W.; ZHANG, P.;YANG, F.Y., 2018. Profiling of metabolome and bacterial community dynamics in ensiled *Medicago sativa* inoculated without or with *Lactobacillus plantarum* or *Lactobacillus buchneri*. Nature Scientific Reports, v.8, p.357. Doi: 10.1016/j.biortech.2018.06.018.

HAFNER, S.D.; HOWARDB, C.; MUCKC, R.E.; FRANCOD, R.B.; MONTESA, F.; GREENE, P.G.; MITLOEHNERD, F.; TRABUEF, S.L.; ROTZ, C.A., 2013. Emission of volatile organic compounds from silage: Compounds, sources, and implications. Atmospheric Environment, v.77, p.827-839.

HATTINGH, M.; ALEXANDER, A.; MEIJERING, I.; VAN REENEN, C.A.; DICKS, L.M.T., 2015. Amylolytic strains of *Lactobacillus plantarum* isolated from barley. African Journal of Biotechnology, v.14, p.310-318.

HEINL, S.; GRABHERR, R., 2017. Systems biology of robustness and flexibility: *Lactobacillus buchneri* - A show case. Journal of Biotechnology, v.257, p.61-69.

HOFFMAN, P.C.; ESSER, N.M.; SHAVER, R.D.; COBLENTZ, W.K.; SCOTT, M.P; BODNAR, A.L.; SCHMIDT, R. J.; CHARLEY, R.C., 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. Journal of Dairy Science, v.94, p.2465-2474. Doi:10.3168/jds.2010-3562.

JIN, L.; DUNIÈRE, L.; LYNCH, J.P.; MCALLISTER, T.A,; BAAH, J.; WANG, Y., 2015. Impact of ferulic acid esterase producing lactobacilli and fibrolytic enzymes on conservation characteristics, aerobic stability and fiber degradability of barley silage. Animal Feed Science and Technology, v.207, p.62-74.

JOHNSON, H.E.; BROADHURST, D.; KELL, D.B.; THEODOROU, M.K., 2004. High-Throughput Metabolic Fingerprinting of Legume Silage Fermentations via Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Chemometrics. Applied and Environmental Microbiology, v.70, p.1583–1592. Doi: 10.1128/AEM.70.3.1583–1592.2004.

JULIEN M.C.; DION P.; LAFRENIÈRE C.; ANTOUN H.; DROUIN P., 2008. Sources of Clostridia in raw milk on farms. Applied Environmental Microbiology, v.74, p.6348-6357.

KESHRI J.; CHEN Y.; PINTO R.; KROUPITSKI Y.; WEINBERG Z.G.; SELA S., 2018. Microbiome dynamics during ensiling of corn with and without *Lactobacillus plantarum* inoculant. Applied Microbiology and Biotechnology, v.102, p.4025-4037.

Kraut-Cohen J.; Tripathi V.; Chen, Y.; Gatica, J.; Volchinski, V.; Sela, S.; Weinberg, Z; Cytryn, E., 2016. Temporal and spatial assessment of microbial communities in commercial silages from bunker silos. Applied Microbiology and Biotechnology, v.100, p.6827-6835. Doi: 10.1007/s00253-016-7512-x.

KRESHRI J.; CHEN Y.; PINTO R.; KROUPITSKI Y.; WEINBERG Z.G.; SALDINGER S.S., 2019. Bacterial dynamics of wheat silage. Frontiers Microbiology, v.10, p.1532.

KROONEMAN J.; FABER F.; ALDERKAMP A.C; OUDE ELFERINK, S.J.H.W.; DRIEHUIS, F.; CLEENWERCK, I.; SWINGS, J.; GOTTSCHAL, J.C.; VANCANNEYT, M., 2002. *Lactobacillus diolivorans* sp. nov., a 1,2-propanediol-degrading bacterium isolated from aerobically stable maize silage. International Journal of Systematic Evolutionary Microbiology, v.52, p.639-646.

KUNG, L.J.; SHAVER, R.D.; GRANT, R.J.; SCHMIDT, R.J., 2018. Silage Review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. Journal of Dairy Science, v.101, p.4020-4033.

KUOPPALA, K.; RINNE, M.; VANHATALO, A., editors. Lactating cow response to lucerne silage inoculated with *Lactobacillus plantarum*. 2012; Hameenlinna, Finland: MTT Agrifood Research Finland, University of Helsinki, Helsinki, Finland; 2012.

LI Y.; WANG, F.; NISHINO, N., 2016. Lactic acid bacteria in total mixed ration silage containing soybean curd residue: their isolation, identification and ability to inhibit aerobic deterioration. Asian Australasia Journal of Animal Science, v.29, p.516-522.

LI, L.; SUN, Y.; YUAN, Z.; KONG, X.; WAO, Y.; YANG, L.; ZHANG, Y.; LI, D., 2015. Effect of microalgae supplementation on the silage quality and anaerobic digestion performance of Manyflower silvergrass. Bioresource Technology, v.189, p.334-340. Doi: 10.1016/j.biortech.2015.04.029.

LOURENCO, A.B.; ASCENSO, J.R.; SÁ-CORREIA, I., 2011. Metabolic insights into the yeast response to propionic acid based on high resolution 1H NMR spectroscopy. Metabolomics, v.7, p.457-468.

LYNCH, J.P.; BAAH, J; BEAUCHEMIN, K.A., 2015. Conservation, fiber digestiblity, and nutritive value of corn harvested at 2 cutting heights and ensiled with fibrolytic enzymes, either alone or with a ferulic acid esterase-producing inoculant. Journal of Dairy Science, v.98, p.1214-1224.

LYNCH, J.P.; JIN, L.; LARA, E.C.; BAAH, J.; BEAUCHEMIN, K.A. The effect of exogenous fibrolytic enzymes and a ferulic acid esterase-producing inoculant on the fibre degradability, chemical composition and conservation characteristics of alfalfa silage. Animal Feed Science and Technology, v.2014, p.193:21-31.

MCALLISTER, T.A.; DUNIERE, L.; DROUIN, P.; XU, S.; WANG, Y.; MUNNS, K.; ZAHEER, R., 2018. Silage Review: Using molecular approaches to define the microbial ecology of silage. Journal of Dairy Science, v.101, p.4060-4074. Doi: 10.3168/jds.2017-13704.

McDonald, P.; Henderson, N.; Heron, S., 1991.The biochemistry of silage. Marlow Bottom: Chalcombe Publications, 340p.

MOHAMMED, R.; STEVENSON, D.M.; BEAUCHEMIN, K.A.; MUCK, R.E.; WEIMER, P.J., 2012. Changes in ruminal bacterial community composition following feeding of alfalfa ensiled with a lactic acid bacterial inoculant. Journal of Dairy Science, v.95, p.328-339.

MUCK, R.E.; FILYA, I.; CONTRERAS-GOVEA, F.E., 2007. Inoculant effects on alfalfa silage: *In vitro* gas and volatile fatty acid production. Journal of Dairy Science, v.90, p.5115-5125.

MUCK, R.E.; NADEAU, E.M.G.; MCALLISTER, T.A.; CONTRERAS-GOVEA, F.E.; SANTOS, M.C.; KUNG, L.J., 2018. Silage Review: Recent advances and future uses of silage additives. Journal of Dairy Science, v.101, p.3980-4000.

MUCK RE., 2013. Recent advances in silage microbiology. Agricultural and Food Science, v.22, p.3-15. https://doi.org/10.23986/afsci.6718.

NI, K.; ZHAO, J.; ZHU, B.; SU, R.; PAN, Y.; MA, J.; ZHOU, G.; TAO, Y.; LIU, X.; ZHONG, J., 2018. Assessing the fermentation quality and microbial community of the mixed silage of forage soybean with crop corn or sorghum. Bioresource Technology, v.265, p.563-567. Doi: 10.1016/j.biortech.2018.05.097.

NISHINO, N.; HARADA, H.; SAKAGUCHI, E., 2003. Evaluation of fermentation and aerobic stability of wet brewers' grains ensiled alone or in combination of various feeds as a total mixed ration. Journal of Science, Food Agricultural, v.83, p.557-563.

NISHINO, N.; HATTORI, N., 2007. Resistance to aerobic deterioration of total mixed ration silage inoculated with and without homofermentative or heterofermentative lactic acid bacteria. Journal of Science, Food Agricultural, v.87, p.2420-2426.

NOVAIS, F.J.; PIRES, P.R.L.; ALEXANDRE, P.A.; DROMMS, R.A.; IGLESIAS, A.H.; FERRAZ, J.B.; STYCZYNSKI, M.P.W.; FUKUMASU, H., 2019. Identification of a metabolomic signature associated with feed efficiency in beef cattle. BMC Genomics, v.20, p.8. https://doi.org/10.1186/s12864-018-5406-2

NSEREKO, V.L.; SMILEY, B.K.; RUTHERFORD, W.M., SPIELBAUER, A.; FORESTER, K.J.; HETTINGER, G.H., 2008. Influence of inoculating forage with lactic acid bacterial strains that produce ferulate esterase on ensilage and ruminal degradation of fiber. Animal Feed Science and Technology, v.145, p.122-135.

O'BRIEN M.; O'KIELY P.; FORRISTAL P.D.; FULLER H.T., 2007. Quantification and identification of fungal propagules in well-managed baled grass silage and in normal on-farm produced bales. Animal Feed Science and Technology, v.132, p.283-297.

OLIVEIRA, A.S.; WEINBERG, Z.G.; OGUNADE, I.M.; CERVANTES, A.A.P.; ARRIOLA, K.G.; JIAND, Y.; KIM, D.; LI, X.; GONÇALVES, M.C.M.; VYAS, D.; ADESOGAN, A.T., 2017. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science,* v.100, p.4587-4603. Doi: 10.3168/jds.2016-11815.

OUDE ELFERINK S.J.W.H.; KROONEMAN J.; GOTTSCHAL J.C.; SPOELSTRA S.F.; FABER F.; DRIEHUIS F., 2001. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. Applied Environmental Microbiology, v.67, p.125-132.

OULD-AHMED, M.; DECAU, M-L.; BERTRAND, A.; PRUD'HOMME M-P.; LAFRENIÈRE, C.; DROUIN, P., 2015. Fructan, sucrose and related enzyme activities are preserved in timothy (*Phleum pratense* L.) during wilting. Grass Forage Science, v.72, p.64-79.

PAHLOW G.; MUCK RE.; DRIEHUIS F.; OUDE ELFERINK S.J.W.H.; SPOELSTRA S.F., 2003. Microbiology of ensiling. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH, editors. Silage science and technology. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, p.31-93.

PENG, K.; JIN, L.; NIU, Y.D.; HUANG, Q; MCALLISTER, T.A.; YANG, H.E.; DENISE, H.; XU, Z.; ACHARYA, S.; WANG, S.; WANG, Y., 2018. Condensed tannins affect bacterial and fungal microbiomes and mycotoxin production during ensiling and upon aerobic exposure. Applied Environmental Microbiology, v.84:e02274-17. Doi: 10.1128/AEM.02274-17

PINTO, D.; SANTOS, M.A.; CHAMBEL, L., 2015. Thirty years of viable but nonculturable state research: Unsolved molecular mechanisms. Critical Reviews in Microbiology, v.41, p.61-76. Doi: 10.3109/1040841X.2013.794127

RASMUSSEN, S.; PARSONS, A.J.; JONES, C.S., 2012. Metabolomics of forage plants: a review. Annals of Botany, v.110, p.1281-1290.

REIS, C.B.; DE OLIVEIRA DOS SANTOS, A.; CARVALHO, B.F.; SCHWAN, R.F.; DA SILVA ÁVILA, C.L., 2018. Wild *Lactobacillus hilgardii* (CCMA 0170) strain modifies the fermentation profile and aerobic stability of corn silage. Journal of Applied Animal Research, v.46, p.632-638. https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1371609.

REN, F.; HE, R.; ZHOU, X.; GU, Q.; XIA, Z.; LIANG, M.; ZHOU, J.; LIN, B.; ZOU, C., 2019. Dynamic changes in fermentation profiles and bacterial community composition during sugarcane top silage fermentation: A preliminary study. Bioresource Technology, v.285, p.121315. Doi: 10.1016/j.biortech.2019.121315.

Rezende, A.V.D.; Rabelo, C.H.S.; Sampaio, L.D.M.; Harter, C.J.; Florentiono, L.A.; Paula,D.W.; BRAGA, T.C., 2016. Ensiling a dry bakery by-product: effect of hydration using acid whey or water associated or not at urea. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.17, p.626-641.

ROMERO J.J.; ZHAO Y.; BALSECA-PAREDES M.A.; TIEZZI F.; GUTIERREZ-RODRIGUES, E.; CASTILLO, M.S, 2017. Laboratory silo type and inoculation effects on nutritional composition, fermentation, and bacterial and fungal communities of oat silage. Journal of Dairy Science, v.100,1p.812-1822. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11642.

ROMERO J.J.; JOO, Y.; PARK, J.; TIEZZI, F.; GUTIERREZ-RODRIGUES, E.; CASTILLO, M.S., 2018. Bacterial and fungal communities, fermentation, and aerobic stability of conventionnal hybrids and brown midrib hybrids ensiled at low moisture with or without a homo- and heterofermentative inoculant. Journal of Dairy Science, v.101, p.3057-3076. Doi: 10.3168/jds.2017-13754.

SAARISALO E.; SKYTTÄ E.; HAIKARA A.; JALAVA T.; JAAKKOLA S. 2007. Screening and selection of lactic acid bacteria strains suitable for ensiling grass. Journal Applied Microbiology, p.102, p.327-336.

SANTOS, W.P.; ÁVILA, C..LS.; PEREIRA, M.N.; SCHWAN, R.F.; LOPES, N.M.; PINTO, J.C., 2017. Effect of the inoculation of sugarcane silage with *Lactobacillus hilgardii* and *Lactobacillus buchneri* on feeding behavior and milk yield of dairy cows. Journal of Animal Science, v.95, p.4613-4622.

SERVICE USDANAS. Geographic area series - Part 51. Washington: United States Department of Agriculture; 2019, 820p.

SRIRAMULU, D.D.; LIANG, M.; HERNANDEZ-ROMERO, D. ROUX-DEERY, E.; LÜNSDORF, H.; PARSONS, J.B.; WARREN, M.J.; PRENTICE, M.B., 2008. *Lactobacillus reuteri* DSM 20016 produces cobalamin-dependent diol dehydratase in metabolosomes and metabolizes 1,2-propanediol by disproportionation. Journal of Bacteriology, v.190, p.4559-4567. Doi: 10.1128/JB.01535-07.

VANCE PUBLISHING. 2015. Lallemand Silage inoculant study. page 92.

WALDHERR, F.W.; DOLL, V.M.; MEIßNER, D.; VOGEL, R.F., 2010. Identification and characterization of a glucan-producing enzyme from *Lactobacillus hilgardii* TMW 1.828 involved in granule formation of water kefir. Food Microbiology, v.27, p.672-678. Doi: 10.1016/j.fm.2010.03.013

WANG C.; HE L.; XING Y.; ZHOU, W.; PIAN, R.; YANG, F.; CHEN, X.; ZHANG, Q., 2019. Fermentation quality and microbial community of alfalfa and stylo silage mixed with *Moringa oleifera* leaves. Bioresource Technology, v.284, p.240-247. Doi: 10.1016/j.biortech.2019.03.129

WANG F.; NISHINO N., 2008. Ensiling of soybean curd residue and wet brewers grains with or without other feeds as a total mixed ration. Journal of Dairy Science, v.91, p.2380-2387.

WANG, M.; WANG, L.; YU, Z., 2019. Fermentation dynamics and bacterial diversity of mixed lucerne and sweet corn stalk silage ensiled at six ratios. Grass Forage Science, v.74, p.264-273. https://doi.org/10.1111/gfs.12431.

WANG, Y.; HE, L.; XING, Y.; ZHOU, W.; PIAN, R.; YANG, F.; CHEN, X.; ZHANG, Q., 2019. Bacterial diversity and fermentation quality of *Moringa oleifera* leaves silage prepared with lactic acid bacteria inoculants and stored at different temperatures. Bioresource Technology, v.284, p.349-358. Doi: 10.1016/j.biortech.2019.03.139.

WEINBERG, Z.G.,; MUCK, R.E.; WEIMER, P.J., 2003. The survival of silage inoculant lactic acid bacteria in rumen fluid. Journal of Applied Microbiology, v.94, p.1066-1071. Doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.01942.x.

WEINBERG, Z.G.; SHATZ, O.; CHEN, Y.; YOSEF, E.; NIKBAHAT, M.; BEN-GHEDALIA, D.; MIRON, J., 2007. Effect of lactic acid bacteria inoculants on *in vitro* digestibility of wheat and corn silages. Journal of Dairy Science, v.90, p.4754-4762. Doi: 10.3168/jds.2007-0176

WEISS, K., 2017. Volatile organic compounds in silages - Effects of management factors on their formation: a review. Slovak Journal of Animal Science, v.50, p.55-67.

Wilkinson, J.M.; Davies, D.R., 2013. The aerobic stability of silage: key findings and recent development. Grass Forrage Science, v.68, p.1-19.

WILKINSON, J.M. SILAGE. SHEDFIELD, U.K.: Chalcombe Publications; 1990.

WOOLPERT, M.E.; DANN, HM.; COTANCH, K.W.; MELILLI, C.; CHASE, L.E.; GRANT, R.J.; BARDANO, D.M., 2017. 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. https://doi.org/10.3168/jds.2016-12046

XU, D.; DING, W.; KE, W.; LI, F.; ZHANG, P.; GUO, X., 2019. Modulation of metabolome and bacterial community in whole crop corn silage by inoculating homofermentative *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus buchneri*. Frontiers in Microbiology, v.9, p.3299.

YANG, H.E.; ZOTTI, C.A.; MCKINNON, J.J.; MCALLISTER, T.A, 2018. Lactobacilli are prominent members of the microbiota involved in the ruminal digestion of barley and corn. Frontiers in Microbiology. v.9, p.718. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00718.

ZHANG, C.; BRANDT, M.J.; SCHWAB, C.; GÄNZLE, M.G., 2010. Propionic acid production by cofermentation of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus diolivorans* in sourdough. Food Microbiology, v.27, p.390-395.

ZIELIŃSKA, K.; FABISZEWSKA, A.; ŚWIATEK, M.; SZYMANOWSKA-POWALOWSKA, D., 2017. Evaluation of the ability to metabolize 1,2-propanediol by heterofermentative bacteria of the genus *Lactobacillus*. Elec Journal of Biotechnology, v.26, p.60-63.

ZIELIŃSKA, K.; FABISZEWSKA, A.; STEFAŃSKA, I., 2015. Different aspects of *Lactobacillus* inoculants on the improvement of quality and safety of alfalfa silage. Chilean Journal of Agricultural Research, v.75, p.298-306.

ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G., 2009. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. *Revista Brasileira de Zootecnia,* v.38, p.170-189.

Capítulo 4

Estratégias de manejo do pastejo para redução de impactos ambientais

Marília Barbosa Chiavegato
Guilhermo Francklin de Souza Congio
Sila Carneiro da Silva

Departamento de Zootecnia
USP/ESALQ

Resumo
Atualmente, a preocupação ambiental é indissociável da produção pecuária bem-sucedida. Nesse contexto, os pecuaristas possuem o desafio de suprir a demanda por alimentos e produtos agrícolas por meio de práticas que sejam ambientalmente seguras e economicamente favoráveis, atingindo, dessa forma, a intensificação sustentável dos sistemas de produção. Os componentes do ecossistema (e.g. solo, planta, animal, atmosfera) estão intimamente ligados e modificações num determinado componente podem resultar em alterações em um ou mais componentes, gerando um efeito compensatório entre impactos ambientais ou entre tipos de impactos. Uma abordagem sistêmica das estratégias de manejo do pastejo, que permita a quantificação simultânea de diferentes impactos ambientais assim como de sua produtividade, é necessária para identificar estratégias que proporcionem o equilíbrio entre sustentabilidade e produtividade. Comparado a um ecossistema natural, um ecossistema manejado (ou agroecossistema) é mais complexo, apresentando maior número de fluxos de nutrientes para dentro e para fora do ecossistema, menor capacidade de estocar nutrientes e menor ciclagem de nutrientes. O manejo do pastejo que promove redução dos impactos ambientais e mitigação do fluxo líquido de emissões em CO_2 equivalente é aquele que tem como objetivo manter ou melhorar a produção de forragem e a eficiência de pastejo por meio da melhoria das propriedades químicas, físicas e hidrológicas do solo. O manejo do pastejo bem-sucedido promove serviços ecossistêmicos por meio do uso eficiente e sustentável dos recursos solo, água e planta. O manejo do pastejo com essas características combina princípios científicos e conhecimento local para encontrar estratégias de manejo que intensificam os quatro principais processos ecossistêmicos: conversão eficiente da energia solar pelas plantas, interceptação e retenção da água da chuva pelo solo, otimização da ciclagem de nutrientes e aumento da biodiversidade.

Palavras-chave: Intensificação, ciclagem de nutrientes, emissões de gases de efeito estufa, processos ecossistêmicos.

Introdução

O crescimento da população global demandará 100% mais alimento até 2050 (Godfray et al., 2010). Atualmente, a preocupação ambiental é indissociável da produção pecuária bem-sucedida. Nesse contexto, os agricultores e pecuaristas possuem o desafio de suprir a demanda por alimentos e produtos agrícolas por meio de práticas que sejam ambientalmente seguras (Tilman et al., 2002) e economicamente favoráveis (Foote et al., 2015; Gregorini et al., 2017), atingindo, dessa forma, a intensificação sustentável dos sistemas de produção (Godfray et al., 2010). Uma vez que as pastagens são característica comum dos diferentes sistemas de produção animal no Brasil, a identificação de práticas adequadas e eficientes de manejo do pastejo é essencial. A estratégia de manejo ideal deve permitir aumento da produção por animal e por área além de promover o desenvolvimento sustentável da atividade com mínimo impacto ambiental.

As atividades antrópicas podem ser prejudiciais ou favoráveis ao ecossistema natural, ou seja, podem gerar ou diminuir pressões ambientais. Pressão ambiental se refere ao uso dos recursos naturais (tais como energia, terra, água) como *input* às atividades humanas e a geração de subprodutos (resíduos, emissões de gases de efeito estufa (GEE), poluição da água e do ar) (Miedzinski et al., 2013). As pressões ambientais impostas nos ecossistemas envolvem uma variedade de processos naturais e causam modificações nas características ambientais do ecossistema. Essas modificações podem resultar em impactos nas funções sociais e econômicas do ecossistema, afetando a disponibilidade de recursos ambientais e a biodiversidade. Os impactos ambientais normalmente ocorrem em sequência, por exemplo, o aumento das emissões de GEE causa aquecimento global (efeito primário) que, por sua vez, resulta em aumento da temperatura atmosférica (efeito secundário), levando ao aumento dos níveis do mar (efeito terciário) e, finalmente, resultando em perda de biodiversidade (Miedzinski et al., 2013).

Os componentes do ecossistema (e.g. solo, planta, animal, atmosfera) estão intimamente ligados e modificações num determinado componente podem resultar em alterações em um ou mais componentes. Nesse sentido, o manejo do pastejo empregado, por exemplo, determina as taxas dos processos ecofisiológicos das plantas tais como crescimento, senescência e decomposição (Da Silva et al., 2009; 2015) que, por sua vez, afetam as respostas animais tais como perdas de forragem por pastejo (Carnevalli et al., 2006; Silveira et al., 2013), taxa de lotação (Voltolini et al., 2010; Gimenes et al., 2011), distribuição de dejetos (White et al., 2001; Auerswald et al., 2010) e quantidade de nutrientes excretados pelos animais (Vibart et al., 2017). Esses fatores afetam as condições do solo (i.e. umidade, temperatura, pH, aeração e densidade) que, por sua vez, interferem no crescimento da comunidade microbiana do solo e na sua atividade (Bardgett et al., 1999), determinando a intensidade dos processos associados à produção de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) no solos de pastagens. Além disso, o manejo do pastejo modifica a estrutura do dossel forrageiro, determinando a qualidade da forragem e consequentemente a produção de CH_4 entérico (Chiavegato et al., 2015a; Congio et al., 2018). Outro exemplo seria o aumento na produção primária das pastagens pela adição de fertilizantes nitrogenados, que pode favorecer o estoque de carbono (C) abaixo da superfície do solo, mas

simultaneamente aumentar as emissões de N_2O e CH_4 (Vuichard et al., 2007). Esse efeito compensatório (ou *trade-off*) pode ocorrer tanto entre impactos ambientais, um refletindo em outro, ou entre tipos de impactos (econômicos e ambientais). A avaliação dos impactos ambientais precisa levar em consideração os efeitos compensatórios para permitir a compreensão de como os impactos ambientais ocorrem frente aos benefícios sociais e econômicos da atividade, ou se a atividade produtiva pode gerar benefícios ambientais significativos ainda que com algum custo econômico.

Uma abordagem sistêmica das estratégias de manejo do pastejo, que permita a quantificação simultânea de diferentes impactos ambientais assim como de sua produtividade é necessária para identificar estratégias que proporcionem o equilíbrio entre sustentabilidade (redução dos impactos ambientais) e produtividade (fornecimento de produtos agrícolas e animais).

Ciclagem de nutrientes em pastagens manejadas

De maneira geral a ciclagem de nutrientes é bastante eficiente em ecossistemas naturais ou pouco perturbados como florestas e pastagens nativas (Crossley et al., 1984). Nesses ecossistemas existe alto nível de sincronização entre a oferta de nutrientes disponíveis e a demanda pelas plantas. O resultado é uma baixa concentração de nutrientes disponíveis na solução do solo, promovendo uma ciclagem eficiente entre solo-planta-solo (Magdoff, 1997).

Comparado a um ecossistema natural, um ecossistema manejado (ou agroecossistema) é mais complexo, apresentando maior número de fluxos de nutrientes para dentro e para fora do ecossistema, menor capacidade de estocar nutrientes e, consequentemente, menor ciclagem de nutrientes (Figuras 1 e 2; Hendrix et al., 1992). Ainda, em agroecossistemas existe uma maior quantidade de nutrientes em condições solúveis, maior perturbação do solo e períodos mais longos com solo descoberto (Magdoff, 1997). Em ecossistemas de pastagens, as entradas de nutrientes ocorrem por alimentos oferecidos aos animais, fertilizantes orgânicos ou inorgânicos e deposição de excretas dos animais. Numa estimativa bastante abrangente, Whitehead (1995) sugeriu que uma pastagem adubada com 250 kg N/ha.ano receberia entrada de 5000 a 8000 kg MS/ha.ano em resíduos vegetais. Considerando um teor médio de nitrogênio (N) na MS de 1,7%, haveria uma entrada anual de 85 a 140 kg N/ha. Nesse cenário, a decomposição das raízes adicionaria aproximadamente 5000 kg MS/ha.ano, com teor médio de N de 1%, representando um adicional de 50 hg N/ha. Finalmente, aproximadamente 80% do N ingerido pelos animais é excretado, resultando em entrada de N da ordem de 200 kg/ha.ano. Essas entradas somam aproximadamente 390 kg N/ha.ano, os quais são potencialmente recicláveis. Nos ecossistemas, nutrientes em excesso, não utilizados pelas plantas ou imobilizados pela biomassa microbiana, são perdidos. As perdas de nutrientes em agroecossistemas podem ocorrer por escoamento superficial, erosão, lixiviação, volatilização ou emissão de GEE.

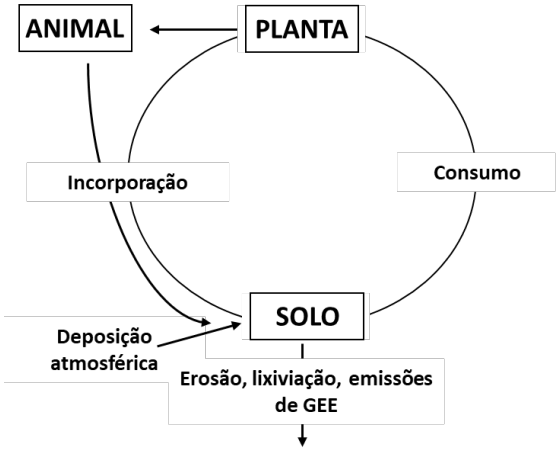


Figura 1. Ciclo simplificado e fluxos de nutrientes em ecossistemas naturais (adaptado de Magdoff, 1997).

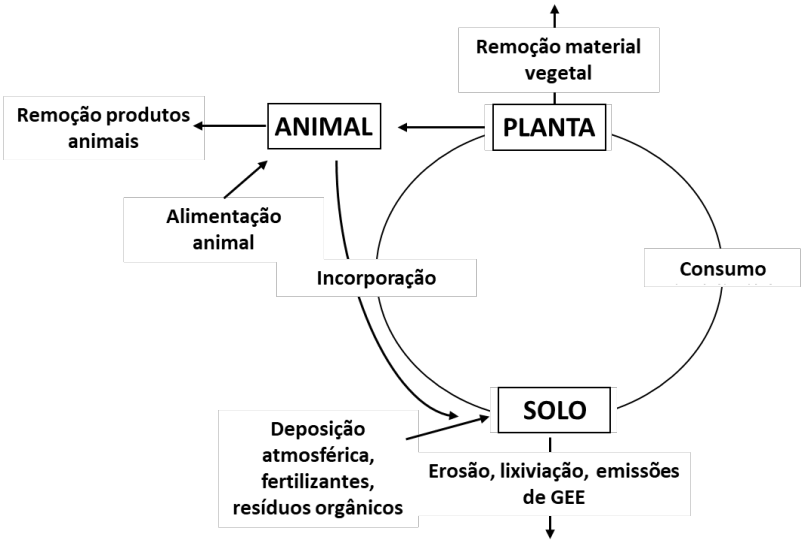


Figura 2. Ciclo simplificado e fluxos de nutrientes em ecossistemas manejados (adaptado de Magdoff, 1997).

Os nutrientes na forragem representam uma porção mínima do total de nutrientes contidos no ecossistema pastagem, em contraste com a matéria orgânica do solo (MOS), que é o maior reservatório de nutrientes (Dubeaux et al., 2004). Entretanto, os *pools* de nutrientes na forragem e na excreta se tornam mais relevantes devido à sua decomposição mais acelerada em relação à MOS e à biomassa abaixo da superfície do solo (Dubeaux et al., 2006a). Porém, o retorno de nutrientes via excreta animal nas pastagens não é uniforme, uma vez que os animais tendem a se agrupar em determinados locais, normalmente perto de sombras ou bebedouros (Mathews et al., 1996; Haynes e Williams, 1999). O agrupamento dos animais nesses locais cria áreas de concentração de nutrientes em contraste a outras áreas de menor fertilidade (Dubeaux et al., 2006b).

Mais de 60% do N é excretado via urina, sendo aproximadamente 80% na forma de ureia (Haynes e William, 1993). Os destinos possíveis do N da urina após deposição no solo são: imobilização, absorção pela planta, adsorção por colóides ou saída do sistema via volatilização de amônia (NH_3), perda de N_2 e N_2O ou lixiviação (Saggar et al., 2004). A

deposição de urina em solos fornece condições ótimas para produção de N_2O, tais como umidade, temperatura e pH. As perdas de N da urina na forma de NH_3 e N_2O estão diretamente relacionadas ao teor de N na dieta animal. Sendo assim, o teor de proteína bruta (PB) da dieta é um dos fatores mais importantes na determinação da taxa de reciclagem de ureia e utilização pelos microrganismos no rúmen (Reynolds e Kristensen, 2008). O aumento da PB na dieta de vacas leiteiras pode aumentar o teor de proteína no leite produzido, mas também resulta em maior quantidade de N excretado via urina (Hristov et al., 2011). Chiavegato et al. (2015b) observaram que a redução da concentração de PB na dieta de novilhos de 13% para 10% não afetou o peso vivo ou o consumo de MS dos animais, mas diminuiu as emissões de NH_3 provenientes do armazenamento de dejetos (urina e fezes misturados). Os autores ainda verificaram que a modificação na concentração de PB da dieta não aumentou as emissões de CH_4 entérico pelos animais, ou a perda de NH_3, CH_4 e N_2O provenientes dos dejetos quando aplicados sobre a superfície de solos de pastagens.

O uso eficiente de N é considerado a principal estratégia associada à redução das emissões de N_2O provenientes dos solos (Eckard et al., 2010). A reciclagem e a manutenção do N no sistema diminuem a necessidade de aporte inorgânico externo e aumentam a utilização de N da urina pelas plantas ou comunidade microbiana do solo. De Klein e Eckard (2008) sugeriram que se a urina dos animais fosse depositada de maneira mais uniforme nos piquetes, a taxa efetiva de aplicação de N pela urina diminuiria, potencialmente diminuindo as emissões de N_2O. O método de pastejo rotativo foi associado à deposição mais uniforme de urina nas áreas (White et al., 2001). Porém, a melhor distribuição de urina nas áreas de pastagens ainda não foi conclusivamente associada a reduções de N_2O provenientes dos solos (Eckard et al., 2010).

Dentre os macronutrientes primários presentes nas fezes, o N e o fósforo (P) assumem papel importante pela quantidade disponibilizada (Rowarth et al., 1985) e possíveis impactos ambientais. As fezes contêm pouco N rapidamente metabolizável (Whitehead, 1995), diferentemente do N presente na urina. Como consequência, o processo de degradação e transformação do N das fezes em formas prontamente disponíveis para as plantas é mais lento e gradual, diminuindo as perdas desse nutriente por lixiviação ou volatilização. A excreção fecal de N independe da concentração de PB da dieta (Lantinga et al., 1987). Trabalhando com vacas leiteiras, Lantinga et al. (1987) encontraram valores de N contido nas fezes de aproximadamente 132 g N/vaca.dia, independente do valor de N na MS consumida (450 ou 775 g N/vaca.dia). Sendo assim, a manipulação da dieta não é considerada estratégia viável para modificar a excreção e a ciclagem do N das fezes. Dessa maneira, o principal fator que afeta a ciclagem do N fecal é a taxa de decomposição das fezes.

Existem dois processos principais responsáveis pela degradação de fezes e liberação de nutrientes nos solos de pastagens: (i) quebra física das fezes, causada pelo impacto da chuva e pisoteio animal e (ii) degradação biológica pela biota do solo como fungos, bactérias, minhocas e insetos. A liberação inicial de nutrientes é muito dependente de fatores que afetam a quebra física das fezes (Rowarth et al., 1985). O pisoteio pode ser manejado por meio de alterações da taxa de lotação, de modo que altas taxas de lotação promovem maior pisoteio das fezes e rápida liberação de nutrientes. Pastejo rotativo com 1 dia de ocupação foi associado à distribuição mais uniforme de fezes na área relativamente a pastejo rotativo com 7

dias de ocupação ou lotação contínua (Vendramini et al., 2007). Por outro lado, outros autores afirmam que a estratégia de pastejo tem pouca influência sobre a distribuição de excretas na área, principalmente quando há variação das áreas de concentração, como movimentação dos bebedouros e diversos pontos de sombra (Matthews et al., 1994). Com relação às emissões de GEE, a perda por N_2O pode ocorrer em fezes embora com menor proporção do que ocorre com N da urina. Yamulki et al. (1999) registraram 0,56% de perdas na forma de N_2O em *patches* de urina e 0,19% em fezes.

Normalmente as fezes estão associadas à produção de CH_4, pois fornecem todas as condições adequadas para o desenvolvimento de metanogênicos (microrganismos produtores de CH_4), tais como temperatura e umidade adequadas e alto teor de C prontamente disponível (substrato). As emissões de CH_4 proveniente das fezes ocorrem durante um período que varia de 4 dias a 2 semanas (Williams 1993; Flessa et al. 1996; Saggar et al., 2004). Os metanogênicos são microrganismos anaeróbicos e, quando as condições favoráveis ao seu desenvolvimento não mais permanecem (i.e. quando o processo de decomposição das fezes resulta em condições aeróbicas e diminuição do teor de C), a produção de CH_4 cessa. Nesse momento, a população de microrganismos metanotróficos (que retiram o CH_4 da atmosfera, produzindo CO_2) predomina e o sequestro de CH_4 da atmosfera ocorre. O sequestro de CH_4 em locais onde as fezes foram depositadas e decompostas pode permanecer por até 1 ano (Maljanen et al., 2012). Zhou et al. (2008) sugerem que intensidades de pastejo diferentes afetam diferentemente a comunidade de metanotróficos. Nazaries et al. (2011) estudaram fluxos de CH_4 provenientes de solos de pastagem e observaram que o sequestro de CH_4 podia ser manipulado e até aumentado com variações no manejo do solo. Maiores densidades de pastejo (taxas de lotação instantâneas), com subdivisões do pasto, poderiam diminuir a oportunidade de seleção de forragem pelos animais, promovendo pastejo mais homogêneo dos piquetes (diminuindo a rejeição de consumo de forragem em locais onde as fezes foram depositadas no ciclo de pastejo anterior; Mathews et al., 1999).

Os efeitos de diferentes estratégias de manejo do pastejo na ciclagem e distribuição de C no ecossistema pastagem foram (e têm sido) intensamente estudados. Nos solos sob pastagens, particularmente, foi identificado alto potencial de sequestro de C atmosférico. Entretanto, a literatura indica que o potencial de sequestro de C dos solos sob pastagem varia de acordo com o manejo implantado, principalmente intensidade do pastejo, aplicação de fertilizantes e irrigação (Soussana et al., 2004; Smith et al., 2008; van Wesemael et al., 2010). Os resultados relacionando o efeito do manejo sobre o potencial de sequestro de C dos solos de pastagens ainda são contrastantes e a literatura ainda não oferece relação clara entre manejo do pastejo e sequestro de C. Alguns estudos reportam que ausência de efeito da estratégia de manejo sobre o C orgânico do solo (e.g. Milchunas e Laurenroth, 1993), outros reportam aumento no sequestro de C (e.g. Smith et al., 2014) e outros redução (e.g. Ward et al., 2016). A falta de associação clara entre manejo do pastejo e sequestro de C pelas pastagens foi associada a diferenças de clima, propriedades do solo, relevo, composição da comunidade de plantas, densidade do solo e práticas de manejo (Reeder e Schuman, 2002; Ward et al., 2016), fatores que afetam a ciclagem de C e o potencial de sequestro das pastagens. Soussana et al. (2010) sugeriram que o principal fator que modifica o fluxo de C no solo pela excreta é a pressão de pastejo. Efeitos secundários do pastejo sobre o ciclo do C

em ecossistemas de pastagens incluem o papel dos dejetos sobre a mineralização da MOS e a ciclagem de N (principalmente em pastagens de solos de baixa fertilidade) e os efeitos do pisoteio e desfolhação que reduzem a área foliar e fotossíntese (Soussana et al., 2010).

O manejo do pastejo e a intensificação dos processos ecossistêmicos

O manejo do pastejo que promove redução dos impactos ambientais e mitigação do fluxo líquido de emissões em CO_2 equivalente é aquele orientado para conservação ou *conservation-oriented livestock grazing* (Teague et al., 2011). Esse tipo de manejo tem como objetivo manter ou melhorar a produção de forragem e a eficiência de pastejo por meio da melhoria das propriedades químicas, físicas e hidrológicas do solo. A intensificação de sistemas de produção baseados em pastagens (i.e. maior produção por unidade de área; Foote et al., 2015) foi associada ao aumento de *inputs* ao sistema como fertilização nitrogenada e suplementos externos (Beukes et al., 2012; Foote et al., 2015; Macdonald et al., 2017). Entretanto, essas práticas também estão associadas a impactos ambientais, tais como aumento das emissões de GEE (Foote et al., 2015). Assim, estabeleceu-se que a intensificação dos processos produtivos estaria associada aos impactos ambientais ou à degradação das pastagens. Para que essa associação seja feita apropriadamente é necessário especificar a que se refere o termo *intensificação*. Quando intensificação representa aumento de *inputs* externos, de fato o resultado será o aumento das perdas de nutrientes ou C e, consequentemente, dos impactos ambientais. Porém, se a intensificação ocorrer sobre a otimização do uso da forragem produzida e sobre a utilização dos nutrientes, ela será acompanhada de intensificação na ciclagem e no reaproveitamento de nutrientes, diminuindo as perdas. Esse caso poderia ser classificado como a *intensificação dos processos ecossistêmicos*.

Estratégias de manejo do pastejo que otimizem a utilização de forragem pelos animais e aumentem a digestibilidade da MS permitem a intensificação sustentável em sistemas de produção baseados em pastagens (Muñoz et al., 2016; Gregorini et al, 2017). Estratégias que aumentem a senescência podem reduzir a ciclagem de nutrientes, a entrada da luz solar no dossel, a fotossíntese e a produção como consequência da diminuição da qualidade da forragem (Pieper, 1994; Olff e Ritchie, 1998). Em manejos controlados e com adequada pressão de pastejo, a biomassa senescente torna-se resíduo vegetal que será incorporado ao solo pela ação do pisoteio e movimentação animal, contribuindo para aumento do teor de MOS (Teague et al., 2011). Considerado o animal, metas de pastejo que otimizem a produção de folhas e o valor nutritivo da forragem consumida (e.g. meta de entrada baseada no critério de 95% de interceptação da luz incidente (IL) pelo dossel forrageiro) maximizam o consumo de MS devido à maior proporção de folhas no estrato pastejável (Da Silva e Carvalho, 2005; Gregorini et al., 2011) e o desempenho animal (Voltolini et al., 2010; Gimenes et al., 2011).

As emissões de GEE foram identificadas como o impacto ambiental mais significativo de sistemas de produção pecuária (O´Brien et al., 2012; Guerci et al., 2013; Gregorini et al., 2016). O CH_4 entérico é o principal GEE proveniente desses sistemas (Crosson et al., 2011; Aguirre-Villegas et al., 2017), variando de 30% (em sistemas com alta proporção de concentrados na dieta animal) a 84% (em sistemas predominantemente baseados em

pastagens) do total de CO_2 equivalente em sistemas de produção de leite (Guerci et al., 2013). A produção entérica de CH_4 proveniente da digestão animal está associada ao consumo de MS e à composição química da forragem consumida (Janssen et al., 2010). As estratégias de manejo do pastejo podem ser definidas no sentido de reduzir a intensidade das emissões de CH_4 (i.e. g CH_4/kg de produto final).

Congio et al. (2018) avaliaram estratégias de manejo do pastejo definidas com o objetivo de otimizar os processos relativos ao crescimento das plantas, a interface animal-planta e animal-microrganismos do rúmen. O objetivo do estudo foi aumentar os benefícios ambientais do sistema por meio da redução da intensidade de emissão de CH_4 entérico e do aumento na produtividade de leite. Os autores avaliaram estratégias de pastejo rotativo caracterizadas pelas metas de entrada dos animais nos piquetes quando o dossel forrageiro atingia 95% e máxima IL ($IL_{95\%}$ e $IL_{Máx}$) durante a rebrotação de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Cameroon) pastejado por vacas em lactação. As alturas de manejo associadas às metas de entrada de $IL_{95\%}$ e $IL_{Máx}$ foram 100 e 135 cm, respectivamente. As características morfológicas e químicas da forragem estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Características de manejo e composição morfológica da forragem de capim-elefante manejado com as metas pré-pastejo de 95% e máxima interceptação luminosa pelo dossel ($IL_{95\%}$ e $IL_{Máx}$, respectivamente) (dezembro 2015 a abril 2016)

Item	Tratamentos		EPM	Efeitos		
	$IL_{95\%}$	$IL_{Máx}$		Trat	Per	Trat × Per
Ciclos de pastejo, nº	5,6	3,5	0,16	<0,001	-	-
Período de ocupação, dias	1	1,4	0,06	<0,001	-	-
Período de descanso, dias	21,1	31,7	0,6	<0,001	-	-
Massa de forragem, kg MS/ha	2890	4890	207,9	<0,001	0,362	0,341
Folhas, %	95,1	81,1	0,93	<0,001	0,765	0,105
Colmos, %	3,5	16,6	0,52	<0,001	0,092	0,200
Material morto, %	1,4	2,3	0,2	0,313	0,014	0,446
Relação folha:colmo	32,8	4,6	3,5	<0,001	0,001	0,001
Acúmulo de forragem, kg MS/ha	15440	16680	847	0,108	-	-
Acúmulo de folhas, kg MS/ha	14610	13280	730	0,013	-	-
Acúmulo de colmos, kg MS/ha	790	3320	264	<0,001	-	-
Oferta de forragem, kg MS/vaca.dia	21,2	29,7	2,53	0,016	0,503	0,441
Perda forragem, kg MS/ha	290	1200	100	<0,001	<0,001	<0,001
Eficiência de pastejo, %	89,3	79,9	2,88	0,001	0,004	0,775

A meta de entrada $IL_{95\%}$ proporcionou maior número de ciclos de pastejo, com períodos de descanso mais curtos, assim como menores perdas de forragem, maior acúmulo de folhas e maior eficiência de pastejo. O período de descanso mais longo resultante da meta de entrada $IL_{Máx}$ proporcionou maior massa de forragem pré-pastejo, com maior porcentagem de colmos, menor porcentagem de folhas e menor relação folha:colmo. Adicionalmente, a meta de entrada $IL_{95\%}$ resultou em maior concentração de PB e menor concentração de FDA e lignina na forragem.

Tabela 2. Composição química da forragem de capim-elefante manejado com as metas pré-pastejo de 95% e máxima interceptação luminosa pelo dossel ($IL_{95\%}$ e $IL_{Máx}$, respectivamente) (dezembro 2015 a abril 2016).

Composição química da forragem, %MS	Tratamentos		EPM	Efeitos		
	$IL_{95\%}$	$IL_{Máx}$		Trat	Período	Trat × Per
Matéria seca	19,5	19,2	0,91	0,699	0,072	0,275
Proteína bruta	21,0	19,4	0,5	0,001	<0,001	0,039
FDN	61,2	63,0	1,26	0,112	0,144	0,286
FDA	33,9	36,3	1,14	0,025	0,260	0,735
Lignina	3,3	3,8	0,16	0,004	0,243	0,468

A taxa de lotação foi 33% mais alta para a meta de entrada de $IL_{95\%}$. Os animas mantidos nos pastos manejados com meta de entrada $IL_{95\%}$ tiveram maior consumo de forragem, maior produção de leite (aumento de 15%) e incrementos na qualidade do leite, tais como aumento de 8% na concentração de proteína, 15% na concentração de lactose e 6% na concentração de sólidos do leite. Não houve efeito de meta de entrada sobre o peso vivo e o escore de condição corporal dos animais. A emissão diária de CH_4 entérico não foi afetada pelas metas de entrada. Entretanto, uma vez que houve aumento na produção de leite, acompanhada de emissão de CH_4 entérico constante para as metas de entrada, a intensidade de emissão (g CH_4/kg leite) e a produção de CH_4 entérico (g CH_4/ MS consumida) foram reduzidas em 21% e 18%, respectivamente, para a meta $IL_{95\%}$ comparada à meta $IL_{Máx}$ (Tabela 3).

Tabela 3. Produção de leite e intensidade de emissão de CH_4 entérico de vacas leiteiras em capim-elefante manejado com as metas pré-pastejo de 95% e máxima interceptação luminosa pelo dossel ($IL_{95\%}$ e $IL_{Máx}$, respectivamente) (dezembro 2015 a abril 2016)

Item	Tratamentos		EPM	Efeitos		
	$IL_{95\%}$	$IL_{Máx}$		Trat	Período	Trat × Per
Taxa de lotação, vacas/ha	9,3	7,0	0,98	0,005	-	-
Consumo forragem, kg MS/vaca	12,3	10,1	0,52	0,002	0,007	0,178
Produção, kg/dia						
Leite	18,1	15,7	1,01	<0,001	<0,001	0,777
Gordura	0,646	0,608	0,04	0,200	0,071	0,355
Proteína	0,556	0,515	0,03	0,001	0,001	0,836
Lactose	0,792	0,687	0,05	<0,001	<0,001	0,559
Sólidos do leite	2,07	1,95	0,11	0,006	0,001	0,795
Ganho de peso	0,437	0,553	0,36	0,611	0,003	0,609
Variação escore corporal	-0,06	0,01	0,05	0,133	0,828	0,714
Emissões CH_4						
g/dia	297,8	296,1	13,3	0,853	<0,001	0,898
g/kg leite	16,2	20,5	1,09	<0,001	<0,001	0,136
g/kg gordura leite	438,9	515,3	24,7	0,001	<0,001	0,999

g/kg proteína leite	525,2	604,6	22,4	<0,001	<0,001	0,193
g/kg sólidos do leite	133,5	159,5	6,71	<0,001	<0,001	0,467
g/kg MS consumida	20,2	24,7	1,33	0,012	<0,001	0,001

Quando os resultados foram expressos por hectare, houve aumento das emissões de CH_4 entérico nas pastagens manejadas com a meta de entrada $IL_{95\%}$, consequência das maiores taxas de lotação (Tabela 3). Simultaneamente, houve maior produção de leite e dos componentes do leite por hectare (Tabela 4). Sendo assim, houve aumento de 51% na produção de leite por hectare, acompanhado de 29% de aumento produção de CH_4, resultando em mitigação de 16% das emissões de CH_4 associadas à meta de entrada $IL_{95\%}$. Wims et al. (2010) e Munoz et al. (2016) reportaram redução de 10% para pastagens de clima temperado a partir de modificações no manejo do pastejo. Vale mencionar que a intensidade de emissão de CH_4 nas áreas manejadas com meta de entrada $IL_{95\%}$ foi 16,8 g CH_4/kg leite, valor menor que os resultados reportados em pastagens de clima temperado (18,8 g CH_4/kg leite) e a produção de CH_4 por unidade de MS consumida foi semelhante àquela relatada para pastagens de clima temperado (Wims et al., 2010; Munoz et al., 2016).

Tabela 4. Produção de leite e de seus componentes por hectare e relação entre produtividade e emissões de CH_4 entérico de vacas leiteiras em capim-elefante manejado com as metas pré-pastejo de 95% e máxima interceptação luminosa pelo dossel ($IL_{95\%}$ e $IL_{Máx}$, respectivamente) (dezembro 2015 a abril 2016)

Item	Tratamentos		EPM	Efeitos
	$IL_{95\%}$	$IL_{Máx}$		Trat
Leite, kg/ha.dia	170	112	20,4	0,001
Gordura, kg/ha.dia	6,1	4,3	0,71	0,015
Proteína, kg/ha.dia	5,2	3,7	0,62	0,003
Sólidos do leite, kg/ha.dia	19,5	13,9	2,42	0,006
CH_4, kg/ha.dia	2,7	2,1	0,24	0,005
Produtividade e emissão de CH_4				
Leite, kg/kg de CH_4/ha.dia	62,2	53,8	4,79	0,001
Gordura, kg/kg de CH_4/ha.dia	2,22	2,06	0,132	0,115
Proteína, kg/kg de CH_4/ha.dia	1,91	1,76	0,135	<0,001
Sólidos do leite, kg/kg de CH_4/ha.dia	7,13	6,66	0,55	0,001

Esses resultados diferem do que é normalmente apontado na literatura, ou seja, que pastagens de clima tropical resultam em maiores emissões de CH_4 entérico devido à baixa qualidade da forragem consumida. Esses resultados sugerem a necessidade de rever a afirmação de que pastagens tropicais têm baixa qualidade de forragem quando manejadas sob condições controladas de pastejo (Stobbs, 1975; Sollenberger e Burns, 2001). O manejo do pastejo estratégico otimiza os processos ecológicos ligando plantas e herbívoros com a saúde do ecossistema para melhorar os sistemas produtivos (Gregorini et al., 2017).

Efeito compensatório das medidas de redução de impactos ambientais

Os fluxos de GEE em ecossistemas de pastagens estão intimamente ligados ao manejo do pastejo. Em pastagens, o CO_2 é trocado entre o solo e a vegetação, o N_2O é emitido pelos solos e o CH_4 é emitido pela atividade biológica do rúmen e pelo solo. Sendo assim, as decisões a respeito da estratégia de manejo do pastejo para reduzir o balanço líquido de GEE podem causar efeitos compensatórios ou *trade-offs*. Allard et al. (2007) observaram que as emissões de CH_4 entérico, expressas em CO_2 equivalente, afetam grandemente o balanço de GEE em pastagens manejadas intensivamente e extensivamente (diminuindo em média 70% do efeito sequestrador total em termos de CO_2 equivalente do sistema). Por outro lado, Soussana et al. (2007) observaram que a adição de CH_4 entérico e N_2O dos solos de pastagens resultaram em redução relativa do total de CO_2 sequestrado (19% em média). Quando o CO_2 consumido pela vegetação é incluído no balanço líquido de GEE, esses ecossistemas são normalmente classificados como sequestradores de GEE (Allard et al., 2007; Soussana et al., 2007). Semelhantemente, quando o acúmulo de C orgânico no solo é considerado no balanço líquido de GEE os resultados também tendem a ser negativos, classificando os sistemas como sequestradores (Liebig et al., 2010). As pastagens modificam o acúmulo de C orgânico do solo pela modificação das entradas de C, principalmente pela decomposição de raízes e alocação de C entre parte aérea e sistema radicular (Ogle et al., 2004).

O solo é um importante componente no ciclo do C, sensível ao manejo implantando na área. Teague et al. (2016) indicaram que a erosão causada pelas práticas agrícolas resulta em perda total de C de 1,86 Gt C/ano e adição de 0,5 ppm de CO_2 por ano para a atmosfera. O solo pode ser fonte ou dreno de CO_2 e, nesse contexto, tem importância significativa no balanço de GEE de sistemas de produção. Em muitos estudos de balanço total de GEE o C do solo não foi considerado (STACKHOUSE-LAWSON et al., 2012; CAPPER e BAUMAN, 2013), apesar de ter sido observado o grande impacto que possui quando explicitamente adicionado no cálculo (LIEBIG et al., 2010; WANG et al., 2015). O estoque de C orgânico no solo apresenta alta variabilidade espacial e temporal, especialmente em pastagens. Pesquisas anteriores demonstraram que a variabilidade é devida principalmente a coletas em diferentes profundidades (BIRD et al., 2002), clima (CONANT et al., 2001), textura do solo (PARTON et al., 1987) e falta de avaliação da distribuição de C nos piquetes (SCHUMAN et al., 1999). A habilidade de identificar diferenças nos estoques de C orgânico do solo depende do tempo desde o primeiro monitoramento, a homogeneidade espacial do solo e a intensidade da coleta e do monitoramento (SCHIPPER et al., 2010).

Em estudo realizado em condições de clima temperado, Chiavegato et al. (2015c) monitoraram o fluxo de C em estratégias contrastantes de manejo do pastejo. O fluxo de C foi determinado a partir das emissões de N_2O, CH_4 e CO_2 em CO_2 equivalente e estoques de C e N no solo. Foram comparados um sistema extensivo, com taxa de lotação de 1 animal/ha e densidade de lotação de 112.000 kg PV/ha, sem irrigação ou adubação (SysA) e um sistema intensivo, com irrigação e adubação (no primeiro ano), taxa de lotação de 4 animais/ha e densidade de lotação de 32.000 kg PV/ha (SysB). O estudo foi realizado no início e no final da estação de crescimento das pastagens, durante 3 anos consecutivos em condições de campo não simuladas. Os sistemas foram comparados a uma área de pastagem sem pastejo animal

(GE). Os autores observaram aumento no estoque de C orgânico no solo até 30 cm de profundidade no SysB tanto em relação ao SysA quanto em relação a GE. De forma semelhante, houve aumento no estoque de N orgânico. Os autores sugeriram que o período de descanso mais longo no SysA (60 a 90 dias) em relação ao SysB (18 a 30 dias) promoveu deposição de grande quantidade de material vegetal na superfície do solo. A deposição de resíduos vegetais, associada ao pastejo com alta densidade de lotação, promoveu a quebra física de partículas e acelerou sua decomposição. A decomposição de raízes também foi associada ao aumento no C orgânico do solo, pois a desfolhação intensiva durante o pastejo (consequência da alta densidade de lotação) resultou em diminuição da respiração das plantas, causando morte de raízes e decomposição.

De maneira geral, a principal diferença referente às emissões de GEE entre tratamentos ocorreu nas emissões de CH_4 entérico, resultante da maior taxa de lotação do SysB em relação ao SysA. As emissões diárias de CH_4 entérico não variaram entre tratamentos, apesar da diferença em valor nutritivo da forragem. Entretanto, quando o fluxo foi avaliado em termos de CO_2 equivalente, considerando as emissões dos três gases (CH_4, CO_2 e N_2O) e das duas fontes de emissão (solo e animal), não houve diferença entre os tratamentos. Ou seja, o aumento no CH_4 entérico não foi suficiente para aumentar o fluxo total de GEE para a atmosfera. Vale ressaltar, que avaliando o fluxo de GEE separadamente por período em cada ano, os autores observaram que durante o primeiro período do ano de 2013 (início da estação de pastejo), houve aumento das emissões de CH_4 entérico no SysB devido ao aumento da taxa de lotação, mas esse aumento foi compensando pelas emissões de N_2O que foram mais altas no SysA, não havendo diferenças entre tratamentos em termos de CO_2 equivalente, sugerindo que CH_4 entérico não é sempre o principal responsável pelas diferenças no fluxo líquido de GEE entre estratégias de manejo. Robertson et al. (2000) mostraram que metade do total de CO_2 equivalente de solos agrícolas resulta da contribuição do N_2O. O estudo de Chiavegato et al. (2015) sugere que o mesmo padrão possivelmente se aplica a solos de pastagens. Esses resultados refletem a importância de considerar diferentes fontes de GEE para a definição de sustentabilidade das estratégias de manejo do pastejo.

Princípios de manejo do pastejo bem-sucedido

O ecossistema de pastagens está em constante modificação (Teague et al., 2013). O manejo do pastejo bem-sucedido promove os serviços ecossistêmicos por meio do uso eficiente e sustentável dos recursos solo, água e planta (Walters et al., 1986; Holling e Meffe, 1996; Walker et a., 2002; Teague et al., 2013). O manejo do pastejo com essas características combina princípios científicos e conhecimento local para encontrar estratégias de manejo que intensificam os quatros principais processos ecossistêmicos: conversão eficiente da energia solar pelas plantas, interceptação e retenção da água da chuva pelo solo, otimização da ciclagem de nutrientes e aumento da biodiversidade (Stinner et al., 1997; Reed et al., 1999; Savory e Butterfield, 1999; Sayre, 2001; Gerrish, 2004; Barnes et al., 2008; Diaz-Solis et al., 2009; Teague et al., 2009b).

O manejo do pastejo que possibilita a maximização dos processos ecossistêmicos são aqueles que seguem cinco princípios básicos (i) produção de forragem de qualidade para

oferecimento de dieta equilibrada e em quantidade adequada; (ii) consumo homogêneo do dossel forrageiro, evitando super-pastejo de plantas específicas; (iii) manutenção da biomassa foliar pós-pastejo para garantir a capacidade fotossintética e interceptação e infiltração da precipitação, resultando em rebrotação rápida e eficiente; (iv) recuperação adequada da biomassa vegetal pós-pastejo, mantendo o vigor das plantas e composição morfológica e química adequada; e (v) planejamento e implantação de pressão de pastejo adequada para possibilitar os quatro princípios anteriores (Teague et al., 2013).

Os cinco princípios podem ser implantados utilizando estratégias de manejo com foco ecológico, fisiológico e comportamental. Essa estrutura compreende quatro ações operacionais: fornecer recuperação adequada da área foliar, como demonstrado no estudo realizado por Congio et al. (2018); modificar a distribuição dos animais na área; regular a intensidade de pastejo; e modificar a nutrição dos animais e o comportamento ingestivo, como demonstrado por Chiavegato et al. (2015; Figura 3).

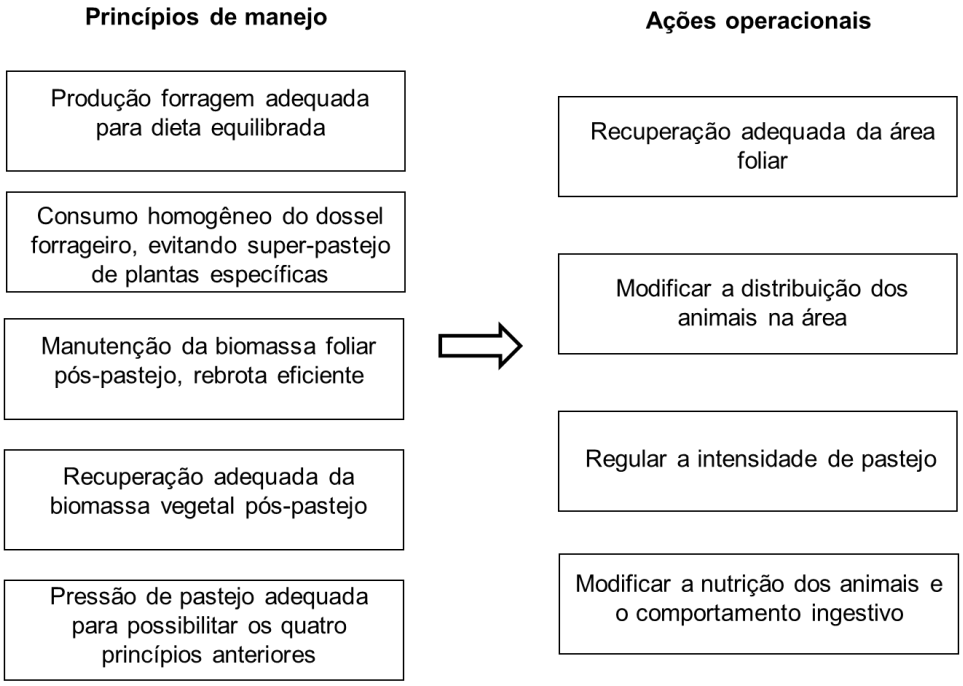


Figura 3. Princípios básicos de manejo do pastejo para maximização dos processos ecossistêmicos e ações operacionais necessárias para sua implantação (adaptado de Teague et al., 2013).

Considerações finais

Os componentes do ecossistema (e.g. solo, planta, animal, atmosfera) estão intimamente ligados e modificações num determinado componente podem resultar em alterações em um ou mais componentes. As estratégias de manejo do pastejo determinam as taxas dos processos ecofisiológicos das plantas, as respostas animais, distribuição de dejetos e quantidade de nutrientes excretados pelos animais. Por meio de efeitos compensatórios, as estratégias de manejo afetam as condições do solo que, por sua vez, interferem no crescimento da comunidade microbiana do solo e na sua atividade, determinando a intensidade dos processos associados aos impactos ambientais. Dessa forma, a identificação

de estratégias de manejo do pastejo que permitam a quantificação simultânea de diferentes impactos ambientais, assim como de sua produtividade, depende de uma abordagem sistêmica.

Estratégias de manejo do pastejo que otimizem a utilização de forragem pelos animais e aumentem a digestibilidade da matéria seca permitem a intensificação sustentável em sistemas de produção baseados em pastagens. Entretanto, quando intensificação representa aumento de *inputs* externos, o resultado será o aumento das perdas de nutrientes ou C e, consequentemente, dos impactos ambientais. Porém, se a intensificação ocorrer nos processos ecossistêmicos (uso da forragem produzida, utilização, ciclagem e no reaproveitamento de nutrientes) as perdas e, consequentemente os impactos ambientais, poderão ser reduzidos. O manejo do pastejo bem-sucedido promove os serviços ecossistêmicos por meio do uso eficiente e sustentável dos recursos solo, água e planta. O manejo do pastejo com essas características combina princípios científicos e conhecimento local para encontrar estratégias que intensificam os quatros principais processos ecossistêmicos: conversão eficiente da energia solar pelas plantas, interceptação e retenção da água da chuva pelo solo, otimização da ciclagem de nutrientes e aumento da biodiversidade.

Referências

AGUIRRE-VILLEGAS, H.A.; PASSOS-FONSECA, T.H.; REINEMANN, D.J.; LARSON, R.A., 2017. Grazing intensity affects the environmental impact of dairy systems. Journal of Dairy Science, v.100, p.6804–6821.

ALLARD, V.; SOUSSANA, J.F.; FALCIMAGNE, R.; BERBIGIER, P.; BONNEFOND, J.M.; CESCHIA, E.; D'HOUR, P.; HENAULT, C.; LAVILLE, P.; MARTIN, C.; PINARES-PATINO, C., 2007. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO2, N2O and CH4) of semi-natural grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.121, p.47-58.

AUERSWALD, K. MAYER, F.; SCHNYDER, H., 2010. Coupling of spatial and temporal pattern of cattle excreta patches on a low intensity pasture. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 88, p. 275-288.

BARDGETT, R.D.; MCALISTER, E., 1999. The measurement of soil fungal: bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands. **Biology and Fertility of Soils**, v.29, p.282–290.

BARNES, M.K.; NORTON, B.E.; MAENO, M.; MALECHEK, J.C. Paddock size and stocking density affect spatial heterogeneity of grazing. Rangeland Ecology and Management, v.61, p.380-388, 2008.

BEUKES,P.C.;SCARSBROOK, M.R.;GREGORINI, P.; ROMERA, A.J.; CLARK, D.A.; CA TTO, W., 2012. The relationship between milk production and farm-gate nitrogen surplus for the Waikato region, New Zealand. Journal of Environmental Management, v.93, p.44-51.

BIRD, S.B.; HERRICK, J.E.; WANDER, M.M.; WRIGHT, S.F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. Environmental Pollution, v.116, p.445-455, 2002.

CAPPER, J.L.; BAUMAN, D.E., 2013. The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. Annual Review Animal Bioscience, v.1, p. 469-489.

CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G., 2006. Herbage production and grazing losses in Panicum maximum cv. Mombaça under four grazing management. Tropical Grasslands, v.40, p.165–176.

CHIAVEGATO, M.B.; ROWNTREE, J.E.; CARMICHAEL, D.; POWERS, W., 2015a. Enteric methane from lactating beef cows managed with high- and low-input grazing systems. Journal of Animal Science, v.93, p.1365-1375.

CHIAVEGATO, M.B.; POWERS, W.; PALUMBO, N., 2015b. Ammonia and greenhouse gas emissions from housed Holstein steers fed different levels of diet crude protein. Journal of Animal Science, v. 93, 395-404.

CHIAVEGATO, M.B.; ROWNTREE, J.E.; POWERS, W.J., 2015c. Carbon flux assessment in cow-calf grazing systems. Journal of Animal Science, v.93, p.4189-4199.

CONGIO, G.F.S.; BATALHA, C.D.; CHIAVEGATO, M.B.; BERNDT, A.; FRIGHETTO, R.T.S.; MAXWELL, T.M.R.; GREGORINI, P.; DA SILVA, S.C., 2018. Strategic grazing management allows for sustainable intensification of tropical pasture-based dairy systems. Science of the Total Environment, v.636, p.872-880. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.301.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T., 2001. Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. Ecological Applications, v.11, p.343-355.

CROSSON, P.; SHALLOO, L.; O'BRIEN, D.; LANIGAN, G.J.; FOLEY, P.A.; BOLAND, T.M.; KENNY, D.A., 2011. A review of whole farm systems models of greenhouse gas emissions from beef and dairy cattle production systems. Animal Feed Science and Technology, v.166–167, p.29–45.

CROSSLEY, D.A.JR.; HOUSE, G.J.; SNIDER, R.M.; SNIDER, R.J.; STINNER, B.R. The positive interactions in agroecosystems. In: LOWARANCE, R.; STINNER, B.R.; HOUSE, G.J. **Agricultural Ecosystems: Unifying Concepts,** Wiley, New York, 1984, p. 73-81.

DA SILVA, S.C.; CARVALHO, P.C.F. Foraging behavior and herbage intake in the favorable tropics/subtropics. In: Grassland: MCGILLOWAY, D.A. **A Global Resource**, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 2005, p.81–96

DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; CARNEVALLI, R.A.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, J.C.; MORAIS, J.P.G., 2009. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Panicum maximum cv. Mombaça subject to rotational stocking managements. Scientia Agricola, v.66, p.8–19.

DA SILVA, S.C.; SBRISSIA, A.F.; PEREIRA, L.E.T. Ecophysiology of C4 forage grasses—Understanding plant growth for optimising their use and management. Agriculture, v.5, p.598–625.

DE KLEIN, C. A. M.; ECKARD, R. J., 2009. Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. Australian Journal of Experimental Agriculture, v.48, p.14-20, 2008.

DIAZ-SOLIS, H.; GRANT, W.E.; KOTHMANN, M.M.; TEAGUE, W.R.; DÍAZ-GARCÍA, J.A. Adaptive management of stocking rates to reduce effects of drought on cow-calf production systems in semi-arid grazing lands. Agricultural Systems, v.100, p.43-50.

DUBEUX J.C.B.; SANTOS, H.Q.; SOLLENBERGER, L.E. Ciclagem de nutrientes: perspectivas de aumento da sustentabilidade da pastagem manejada intensivamente. In: C.G.S. PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C.; FARIA V.P. **Fertilidade do solo para pastagens produtivas**. Piracicaba, FEALQ, 2004, p.357-400.

DUBEUX JR., J.C.B.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F., Cunha, M.V. Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. In: C.G.S. PEDREIRA, J.C. MOURA, S.C. DA SILVA, V.P. FARIA. **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba, FEALQ, 2006a, p.439-506.

DUBEUX Jr., J.C.B.; STEWART JR., R.L.; SOLLENBERGER, L.E., 2006b. Spatial heterogeneity of herbage response to management intensity in continuously stocked Pensacola bahiagrass pastures. Agronomy Journal, v.98, p.1453-1459.

ECKARD, R. J.; GRAINGER, C.; DE KLEIN, C. A. M., 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. Livestock Science, v.130, p.47-56.

FLESSA, H.; DORSCH, P.; BEESE, F.; KONIG, H.; BOUWMAN, A.F., 1996. Influence of cattle wastes on nitrous oxide and methane fluxes in pasture land. Journal of Environmental Quality, v.25, p.1366-1370.

FOOTE, K.J.; JOY, M.K.; DEATH, R.G., 2015. New Zealand dairy farming: milking our environment for all its worth. Environmental Management, v.56, p.709–720.

GERRISH, J., Management-intensive Grazing, the Grassroots of Grass Farming. Green Park Press, Ridgeland, Missouri, 2004.

GIMENES, F.M.A.; DA SILVA, S.C.; FIALHO, C.A.; GOMES, M.B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M.T., 2011. Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.751–759.

GODFRAY, H.; BEDDINGTON, J.R.; CRUTE, I.R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S.M.; TOULMIN, C., 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science, v.327, p.812–818.

GREGORINI, P.; GUNTER, S.A.; BOWMAN, M.T.; CALDWELL, J.D.; MASINO, C.A.; COBLENTZ, W.K.; BECK, P.A., 2011. Effect of herbage depletion on short-term foraging dynamics and diet quality of steers grazing wheat pastures. Journal of Animal Science, v.89, p.3824–3830.

GREGORINI, P.; BEUKES, P.C.; DALLEY, D.; ROMERA, A.J., 2016. Screening for diets that reduce urinary nitrogen excretion and methane emissions while maintaining or increasing production by dairy cows. Science of the Total Environment, v.32, p.551–552.

GREGORINI, P.; VILLALBA, J.J.; CHILIBROSTE, P.; PROVENZA, F.D., 2017. Grazing management: setting the table, designing the menu and influencing the diner. Animal Production Science, v.57, p.1248-1268.

GUERCI, M.; KNUDSEN, M.T.; BAVA, L.; ZUCALI, M.; SCHONBACH, P.; KRISTENSEN, T., 2013. Parameters affecting the environmental impact of a range of dairy farming systems in Denmark, Germany and Italy. Journal of Cleaner Production, v.54, p.133-141.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H., 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. Advances in Agronomy, v.49, p.119-199.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H., 1999. Influence of stock camping behavior on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. Biology of Fertility Soils, v.28, p.253-258.

HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY, D.A., 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. Journal of Sustainable Agriculture, v.2, p. 63-81.

HOLLING, C.S.; MEFFE, G.K., 1996. Command and control and the pathology of natural resource management. Conservation Biology, v.10, 328-337.

HRISTOV, A. N.M.; HANIGAN, A; COLE, R.; TODD, T. A.; MCALLISTER, P. M.; NDEGWA, B.; ROTZ, A., 2011. Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. Canadian Journal of Animal Science, v.91, p.1–35.

JANSSEN, P.H., 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. Animal Feed Science and Technology, v.160, p.1–22.

LANTINGA, E.A.; KEUNING, J.A.; GROENWOLD, J.; DEENEN, P.J.A.G. Distribution of excreted nitrogen by grazing cattle and its effects on sward quality, herbage production and utilization. In: **Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste**? Springer Netherlands, 1987, p. 103-117.

LIEBIG, M. A.; GROSS, J. R.; KRONBERG, S. L.; PHILLIPS, R. L.; HANSON, J. D., 2010. Grazing Management Contributions to Net Global Warming Potential: A Long-term Evaluation in the Northern Great Plains. Journal of Environmental Quality, v.39**,** p.799-809.

MACDONALD, K.A.; PENNO, J.W.; LANCASTER, J.A.S.; BRYANT, A.M.; KIDD, J.M.; ROCHE, J.R., 2017. Production and economic responses to intensification of pasture-based dairy production systems. Journal of Dairy Science, v. 100, p. 6602–6619.

MAGDOFF, F., 1997. Nutrient cycling, transformations, and flows: Implications for a more sustainable agriculture. Advances in Agronomy, v.60, p.1-73.

Maljanen, M.; Virkajarvi, P.; Martikainen, P.J., 2012. Dairy cow excreta patches change the boreal grass swards from sink to source of methane. Agricultural and Food Science, v.21, p.91-99.

MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E.; NAIR, V.D., 1994. Impact of grazing management on soil nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur distribution. Journal of Environmental Quality, v.23, p.1006-1013.

MATHEWS, B.W.; SOLLENBERGER, L.E.; TRITSCHLER II, J.P. Grazing systems and spatial distribution of nutrients in pastures – soil considerations. In JOOST, R.E.; ROBERTS, C.A. **Nutrient cycling in forage systems**. University of Missouri, Columbia, MO. 1996, p. 213-229.

MIEDZINSKI, M.; ALLINSON, R.; ARNOLD, E.; HARPER, J.C.; DORANOVA, A.; GILJUM, S.; GRINIECE, E.; KUBECZKO, K.; MARKANDYA, A.; PETER, V.; PLOEG, M.; STASIAKOWSKA, A.; VAN DER VEEN, G. **Assessing Environmental Impacts of Research and Innovation Policy**. Study for the European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Brussels, 2013, 42p.

MILCHUNAS, D. G.; LAUENROTH, W. K., 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. Ecological Monographs, v.63**,** p.327-366.

MUÑOZ, C.; LETELIER, P.A.; UNGERFELD, E.M.; MORALES, J.M.; HUBE, S.; PÉREZ-PRIETO, L.A., 2016. Effects of pre grazing herbage mass in late spring on enteric methane emissions, dry matter intake, and milk production of dairy cows. Journal of Dairy Science, v.99, p.7945–7955.

NAZARIES, L.; TATE, K. R.; ROSS, D. J.; SINGH, J.; DANDO, J.; SAGGAR, S.; BAGGS, E.M.; MILLARD, P.; MURRELL, J.C.; SINGH, B.K., 2011. Response of methanotrophic communities to afforestation and reforestation in New Zealand. Isme Journal, v.5, p.1832-1836.

O'BRIEN, D.; SHALLOO, L.; PATTON, J.; BUCKLEY, F.; GRAINGER, C.; WALLACE, M., 2012. A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms. Agricultural Systems, v.107, p.33-46.

OLFF, H.; RITCHIE, M.E., 1998. Effects of herbivores on grassland diversity. Trends in Ecology and Evolution**,** v.13, p.261-265.

OGLE, S.M.; CONANT, R.T; PAUSTIAN, K. Deriving grassland management factors for a carbon accounting method developed by the intergovernmental panel on climate change. Environmental Management, v.33**,** p.474-484.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S., 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. **Soil Science Society of America Journal**, v.51**,** p.1173-1179.

PIEPER, R.D., 1994. Ecological implications of livestock grazing. In: Vavra, M., Laycock, W.A., Pieper, R.D. (Eds.), Ecological Implications of Livestock Herbivory in the West. Society for Range Management, Denver, Colorado, pp.177-211.

REED, F.; ROATH, R.; BRADFORD, D., 1999. The grazing response index, a simple and effective method to evaluate grazing impacts. Rangelands, v.4, p.3-6.

REEDER, J.D.; SCHUMAN, G.E., 2002. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixed-grass and short-grass rangelands. Environmental Pollution, v.116, p.457-463.

REYNOLDS, C.K.; KRISTENSEN, N.B., 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: Anasynchronous symbiosis. Journal of Animal Science, v.86, p.293–305.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E.A., HARWOOD, R.R., 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. Science, v.289, p.1922–1925.

ROWARTH, J. S.; GILLINGHAM, A. G.; TILLMAN, R. W.; SYERS, J. K., 1985. Release of phosphorus from sheep feces on grazed, hill country pastures. New Zealand journal of agricultural research, v.28, p.497-504.

SAGGAR, S.N.; BOLAN S.; BHANDRAL, R.; HEDLEY, C.B.; LUO, J., 2004. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research, v.47, p.513-544.

SAVORY, A.; BUTTERFIELD, J. **Holistic Management, a New Framework for Decision Making**, second ed. Island Press, Washington, D.C, 1999, 616p.

SAYRE, N.F. **The New Ranch Handbook: a Guide to Restoring Western Rangelands**. Quivira Coalition, Santa Fe, New Mexico, 2001.

SCHIPPER, L.A.; PARFITT, R.L.; ROSS, C.; BAISDEN, W.T.; CLAYDON, J.J.; FRASER, S., 2010. Gains and losses in C and N stocks of New Zealand pasture soils depend on land use. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.139**,** p.611-617.

SCHUMAN, G.E.; REEDER, J.D.; MANLEY, J.T.; HART, R.H.; MANLEY, W.A., 1999. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. Ecological Applications, v.9**,** p.65-71.

SILVEIRA, M.C.T.; DA SILVA, S.C.; SOUZA JR.S.J.; BARBERO, L.M.; RODRIGUES, C.S.; LIMÃO, V.A.; PENA, K.S.; NASCIMENTO, D., 2013. Herbage accumulation and grazing losses on Mulato grass subjected to strategies of rotational stocking management. Scientia Agricola, v.70, p.242–249.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, v.363, p.789–813, 2008.

SOLLENBERGER, L.E.; BURNS, J.C. Canopy characteristics, ingestive behavior and herbage intake in cultivated tropical grasslands. In: J.A. GOMIDE, W.R.S. MATTOS; S.C. DA SILVA. **Proceedings of the 19th International Grassland Congress**, São Pedro, SP, Brazil, 321-327, 2001.

SOUSSANA, J.F.; LOISEAU, P.; VUICHARD, N.; CESCHIA, E.; BALESDENT, J.; CHEVALLIER, T.; ARROUAYS D., 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. Soil Use and Management**,** v.20, p.219–230.

SOUSSANA, J.F.; ALLARD, V.; PILEGAARD, K.; AMBUS, P.; AMMAN, C.; CAMPBELL, C.; CESCHIA, E.; CLIFTON-BROWN, J.; CZOBEL, S.; DOMINGUES, R.; FLECHARD, C.; FUHRER, J.; HENSEN, A.; HORVATH, L.; JONES, M.; KASPER, G.; MARTIN, C.; NAGY, Z.; NEFTEL, A.; RASCHI, A.; BARONTI, S.; REES, R.M.; SKIBA, U.; STEFANI, P.; MANCA, G.; SUTTON, M.; TUBAF, Z.; VALENTINI, R., 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO_2, N_2O, CH_4) budget of nine European grassland sites. Agriculture, Ecosystems and Environment*,* v.121**,** p.121-134.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V., 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. Animal*,* v.4, p.334-350.

STINNER, D.H.; STINNER, B.R.; MARTSOLF, E., 1997. Biodiversity as an organizing principle in agroecosystem management, case studies of holistic resource management practitioners in the USA. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.62, p.199-213.

STOBBS, T.H., 1975. Factors limiting the nutritional value of grazed tropical pastures for beef and milk production. Tropical Grassland, v.9, p.141–149.

STACKHOUSE-LAWSON, K. R.; ROTZ, C. A.; OLTJEN, J. W.; MITLOEHNER, F. M., 2012. Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. Journal of Animal Science, v.90, p.4641-4655.

TEAGUE, W.R.; PROVENZA, F.D.; NORTON, B.E.; STEFFENS, T.; BARNES, M.K.; KOTHMANN, M.M.; ROATH, R.L. Benefits of multi-paddock grazing management on rangelands: limitations of experimental grazing research and knowledge gaps. In: SCHRODER, H.G. **Grasslands: Ecology, Management and Restoration**. Nova Science, New York, p. 41-80, 2009b.

TEAGUE, R.; PROVENZA, F.; KREUTER, U.; STEFFENS, T.; BARNES, M., 2013. Multi-paddock grazing on rangelands: Why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience? Journal of Environmental Management, v.128, p.699-717.

TEAGUE, W. R.; APFELBAUM, S.; LAL, R.; KREUTER, U. P.; ROWNTREE, J.; DAVIES, C. A.; WANG, F., 2016. The role of ruminants in reducing agriculture's carbon footprint in North America. Journal of Soil and Water Conservation, v.71, p.156-164.

TEAGUE, W.R.; DOWHOWER, S.L.; BAKER, S.A.; HAILE, N.; DELAUNE, P.B.; CONOVER, D.M., 2011. Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.141, p.310-322.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, v.418, p.671–677.

VAN WESEMAEL, B.; PAUSTIAN, K.; MEERSMANS, J.; GOIDTS, E.; BARANCIKOVA, G.; EASTER, M., 2010. Agricultural management explains historic

changes in regional soil carbon stocks. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.107, p.14926–14930.

VENDRAMINI, J.M.B.; SILVEIRA, M.L.A.; DUBEUX JR., J.C.B.; SOLLENBERGER, L.E., 2007. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle**.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, p.139-149.

VIBART, R.E.; TAVENDALE, M.; OTTER, D.; SCHWENDEL., B.H.; LOWE, K.; GREGORINI, P.; PCHECHO, P.D., 2017. Milk production and composition, nitrogen utilization, and grazing behavior pf late-lactation dairy cows as affected by time of allocation of a fresh strip of pasture. Journal of Dairy Science, v.100, p.5305-5318.

VOLTOLINI, T.V.; SANTOS, F.A.P.; MARTINEZ, J.C.; IMAIZUMI, H.; CLARINDO, R.L.; PENATI, M.A., 2010. Produção e composição do leite de vacas mantidas em pastagens de capim-elefante submetidas a duas frequências de pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, p. 121-127.

VUICHARD, N.; SOUSSANA, J.F.; CIAIS, P.; VIOVY, N.; AMMANN, C.; CALANCA, P.; CLIFTON-BROWN, J.; FUHRER, J.; JONES, M.; MARTIN, C., 2007. Estimating the greenhouse gas fluxes of European grasslands with a process-based model: 1. Model evaluation from in situ measurements. Global Biogeochemical Cycles, v.21, p.1-14.

WALKER, B.H.; CARPENTER, S.; ANDERIES, J.; ABEL, N.; CUMMING, G.; JANSSEN, M.; LEBEL, L.; NORBERG, J.; PETERSON, G.D.; PRITCHARD, R., 2002. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. Conservation Ecology, v.6, p.1- 14.

WANG, T.; TEAGUE, R.; PARK, S.C.; BEVERS, S.G.H.G., 2015 Mitigation and Profitability Potential of Different Grazing Systems in Southern Great Plain. Sustainability, v.7, p.13500-13521.

WARD, S.E.; SMART, S.M.; QUIRK, H.; TALLOWIN, J.R.B.; MORTIMER, S.R.; SHIEL, R.S.; WILBY, A.; BARDGETT, R.D., 2016. Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. **Global Change Biology**, v. 22, p. 1-10.

WALTERS, C.J. **Adaptive Management of Renewable Resources**. MacMillan,

New York, 1986.

WHITE, S.L.; SHEFFIELD, R.E.; WASHBURN, S.P.; KING, L.D.; GREEN, J.T., 2001. Spatial and time distribution of dairy cattle excreta in an intensive pasture system. Journal of Environmental Quality, v.30, p.2180-2187.

WHITEHEAD, D.C. **Nitrogen in grasslands**. Oxford University Press, 1995, 416 p.

WILLIAMS, D. J., 1993. Methane emissions from manure of free-range dairy-cows. Chemosphere*,* v.26, p.179-187.

WIMS, C.M.; DEIGHTON, M.H.; LEWIS, E.; O'LOUGHLIN, B.; DELABY, L.; BOLAND, T.M.; O'DONOVAN, M., 2010. Effect of pre-grazing herbage mass on methane production,

dry matter intake, and milk production of grazing dairy cows during the mid-season period. Journal of Dairy Science, v.93, p.4976–4985.

YAMULKI, S.; JARVIS, S. C.; OWEN, P., 1999. Methane emission and uptake from soils as influenced by excreta deposition from grazing animals. Journal Environmental Quality, v.28, p.676-682.

ZHOU, X. Q.; WANG, Y. F.; HUANG, X. Z.; TIAN, J. Q.; HAO, Y. B., 2008. Effect of grazing intensities on the activity and community structure of methane-oxidizing bacteria of grassland soil in Inner Mongolia. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.80, p.145-152.

Capítulo 5

Estratégias de suplementação de bovinos em pastagens no período seco

Fabiano Ferreira da Silva
Jacqueline Firmino de Sá
Luís Carlos Vinhas Ítavo
Alexandre Menezes Dias
Fernando Rossa

Resumo

As discussões deste capítulo concentraram em avaliar os resultados da suplementação, sob diversos aspectos, no período seco do ano, por acreditar que as melhores respostas produtivas e econômicas ocorram neste período. Foram abordados resultados da suplementação no período seco do ano e as possíveis interferências da disponibilidade e qualidade da forragem e os níveis de suplementação e desempenhos. Visando a sustentabilidade da produção de bovinos no Cerrado foi dado ênfase no uso de pastagens de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*. Como resultado da diminuição das chuvas associado a demais fatores, o crescimento da pastagem diminui, resultando em períodos de escassez de forragem e redução de qualidade, caracterizada pelo aumento nos níveis de fibra, queda do teor de proteína bruta e mineral, e consequente, redução da digestibilidade e valor nutritivo. O consumo de forragem é o principal fator determinante do desempenho de animais em pastejo e é influenciado por vários fatores associados ao animal, ao pasto, ao ambiente e às suas interações. A produção animal em pastagens combinado com o uso de suplementos são necessários para atender as demandas nutricionais e proporcionar desempenho animal desejável. Observou-se a redução do consumo de forragem de bovinos suplementados com níveis acima de 0,2% do peso corporal, e nos níveis mais elevados de suplementação (1,0% do peso corporal) a redução foi mais intensa. Observou-se uma tendência linear crescente de aumento no ganho de peso médio diário com o aumento da suplementação até níveis de 1,0% do peso corporal, porem acima deste valor, embora possa melhorar o ganho, estes aparentemente são proporcionalmente menores. Para o sucesso na utilização da técnica de suplementação animal no período seco do ano e ganho de peso individual satisfatório nos sistemas de produção

animal, a forragem deve estar disponível em quantidade e qualidade para garantir a seletividade e adequada nutrição animal. A suplementação no período seco é biologicamente viável pelo efeito positivo no ganho de peso médio diário, mas a viabilidade econômica do sistema é local dependente.

Introdução

Produzir bovinos em pastagens de forma eficiente e competitiva requer conhecimento do processo produtivo, de conceitos de sistemas de produção, administração e gestão empresarial. Este cenário da pecuária criou um novo perfil de demanda em termos de informação e conhecimento para que sistemas tecnicamente eficientes, ecologicamente corretos e economicamente viáveis pudessem ser idealizados e planejados o que tem forçado a pesquisa a modernizar-se e preparar-se para atender de maneira satisfatória à nova realidade do país.

Segundo Euclides et al. (2009) a suplementação alimentar surge como alternativa tecnológica efetiva e importante para acelerar o ganho de peso animal e para potencializar a utilização dos recursos forrageiros disponíveis. Apesar da estratégia de suplementação ser dependente da meta de desempenho animal que se deseja alcançar, sua escolha deverá também ser fundamentada em análise econômica.

A pecuária nacional tem como base o clima tropical, favorecendo a criação de bovinos em pastagens, porém, estas estão sujeitas a variações ao longo do ano quanto à disponibilidade e à qualidade de seus constituintes, de forma a gerar uma dependência entre o crescimento dos animais e os fatores climáticos (CASAGRANDE et al., 2010).

Como resultado da diminuição das chuvas associado aos demais fatores, o crescimento da pastagem diminui, resultando em períodos de escassez de forragem e ocorre redução na qualidade da forragem, caracterizada por aumento nos níveis de fibra, queda do teor de proteína bruta (PB) e minerais e, conseqüentemente, há redução em sua digestibilidade e em seu valor nutritivo. O efeito combinado destas alterações resulta em redução do desempenho animal (ZERVOUDAKIS et al., 2010).

Segundo Silva et al. (2009) a elevada flutuação qualitativa e quantitativa das pastagens, resulta em ganhos de peso no período das águas e perda de peso no período seco. Portanto o ganho de peso de bovinos a pasto apresenta padrão sazonal, com taxas crescentes durante a primavera/verão e decrescentes no resto do ano. Esses resultados endossam a convicção de

que pastagens tropicais são capazes de produzir bom ganho médio diário (GMD) somente por período de tempo relativamente pequeno, no Brasil, geralmente de novembro a fevereiro, período no qual as forrageiras apresentam alta disponibilidade e proporção de folhas verdes, permitindo aos animais consumo adequado de nutrientes. A produção animal em pastagens combinado com o uso de suplementos são necessários para atender as demandas nutricionais e proporcionar desempenho animal desejável. Assim, a rentabilidade da estratégia de suplementação alimentar constitui-se no norteador da escolha do suplemento a ser utilizado (EUCLIDES et al., 2009).

As discussões deste capítulo concentraram no uso de suplementação no período seco do ano, por acreditar que as melhores respostas produtivas e econômicas ocorram neste período. Foram abordados resultados da suplementação no período seco do ano e as possíveis interferências da disponibilidade e qualidade da forragem e os níveis de suplementação nos desempenhos. Visando a sustentabilidade da produção de bovinos no Cerrado foi dado ênfase no uso de pastagens de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*.

Produção e qualidade da forragem

A taxa de crescimento do pasto é influenciada pelas condições climáticas e pela freqüência e intensidade de desfolha. As forrageiras não crescem uniformes ao longo do ano. Além de variações de temperatura e luz, a estacionalidade das chuvas, característica das regiões tropicais, não permite produção uniforme de forragem durante o ano. Há excesso no período das águas e escassez na seca (SILVA et al., 2009).

Durante a estação de crescimento há acúmulo de material morto, associado ao envelhecimento natural da planta forrageira, acelerada por falta de água, ou por geadas. Observa-se, ainda, acréscimo na proporção de caule em relação à quantidade de folha na pastagem. Isto resulta em qualidade inferior da forragem disponível, uma vez que a folha verde é mais nutritiva comparada ao caule e ao material morto (SCHIO et al., 2011).

Desta forma, em qualquer região, limitações nutricionais ocorrem em conseqüência da quantidade e da qualidade da forragem disponível não serem adequadas ao animal. Essas limitações podem ocorrer por períodos curtos ou longos, dependendo da extensão da estação de crescimento da forrageira.

Na Tabela 1 são apresentados valores de massa de forragem, oferta e a relação folha/colmo de pastos de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*, resultados de artigos

que utilizaram ou não a suplementação de animais no período da seca em pastejo de *B. decumbens* e *B. brizantha* para a seca. Observa-se que a massa seca de forragem total das *B. brizantha* e *B. decumbens* diferida para utilização na seca possui uma variação de 2.300 kg/ha a valores de 8.911 kg/ha, com média de todos os experimentos de 5.723,15 kg/ha. A massa seca verde variou de 450 kg/ha a 4.911 kg/ha, com média de 2.340 kg/ha (Tabela 1).

Segundo Minson (1990) e o NRC (1996), pastagens com menos de 2.000 kg de massa seca de forragem por hectare acarretam menor consumo de pasto e aumento do tempo de pastejo, portanto, segundo estes autores (Tabela 1) em todos os experimentos acima citados, garantir-se-ia bom consumo aos animais. Mas, em condições brasileiras, Euclides et al. (1992), ao analisarem pastagem de *B. decumbens* encontraram e sugeriram valores superiores a 4.662 e 1.108 kg/ha de massa de forragem seca e massa seca verde (MSV), respectivamente, como não-limitantes à seleção e consequentemente ao desempenho animal. Percebe-se uma carência desta informação nas pesquisas que avaliam suplementação a pasto.

Hodson (1990) sugeriu o valor de 10 a 12 % do peso corporal, como sendo a oferta na qual o consumo de MS de pasto é máximo. A oferta média de MS total de forragem nos experimentos (Tabela 1) coletados foi de 11,92 % do peso corporal, seguindo a recomendação de Hodson (1990), e os valores mínimos e máximos foram de 4,24 % (SCHIO et al., 2011) e de 23,22% (BARONI et al., 2010), respectivamente. As forragens avaliadas nos artigos pesquisados apresentaram uma relação folha/colmo média de 0,75 o que se esperava, pois os capins foram diferidos e se encontravam em estágio avançado de maturidade.

Para otimizar a suplementação em pastagens diferidas, a disponibilidade de forragem não deve ser limitante ao consumo animal. Nesse sentido, o período em que o pasto permanece diferido é fundamental para garantir produção de forragem em quantidade e qualidade. Pastagens diferidas por longo período possuem alta produção de forragem, porém de pior valor nutritivo. Por outro lado, menor período de diferimento pode determinar baixa produção de forragem (SANTOS et al., 2009).

Tabela 1. Massa seca total e massa seca verde de forragem, oferta de forragem e relação folha/colmo de *B. decumbens* e *B. brizantha* utilizadas em pastejo no período seco de acordo com vários autores

Autores	Massa seca de forragem total, kg/ha	Massa seca verde, kg/ha	Oferta de forragem, % do peso corporal	Relação folha/colmo
Brachiariabrizantha				
Baroni et al. (2010)	7.385	3.246	23,22	0,42
Paula et al. (2010)	5.682	2.654	9,27	1,84
Silva et al. (2010)	3.654		12,38	
Freitas et al. (2011)	6.411	1.726	6,00	0,26
	3.703	1.195	6,30	0,23
Mateus et al. (2011)	6.727	4.911	14,36	1,41
Schio et al. (2011)	8.200		17,85	0,845
	6.884		7,33	0,745
	5.948		4,24	0,505
Benatti et al. (2012)	2.300	450	6,56	0,24
Farias et al. (2012)	3.103		23,19	
Lima et al. (2012)	8.919	2.566	7,30	
Brachiariadecumbens				
Santos et al. (2004a)	8.165	3.265	19,29	0,40
Santos et al. (2004b)	7.902	3.265	19,87	
Detmann et al. (2004)	7.086		9,94	
Villela et al. (2009)	3.100		6,90	
Porto et al. (2011)	3.880	1.240	6,12	0,49
Góes et al. (2012)	4.566	2.957	6,59	
Moraes et al. (2012)	5.227	1.515	10,52	

Em pastagens subtropicais geralmente de melhor qualidade que as tropicais (MINSON, 1990), há situações em que a disponibilidade de massa seca total de forragem (DMST), avaliada indiretamente pela altura, é considerada o principal fator limitante do CMS e da produção animal. O autor afirmou que, quando a DMST está abaixo de 2000 kg de MS/ha, o animal não atinge o consumo máximo; quando está acima, o consumo de matéria seca (CMS) pode ser limitado por fatores relativos ao animal (controle físico ou fisiológico), dependendo da qualidade da forragem ingerida.

Os conhecimentos disponíveis atualmente não mais indicam a existência de uma pressão de pastejo, ou oferta diária de forragem, ideal para todas as situações (PAULINO et al., 2002). Assim, a utilização mais eficiente das pastagens tropicais está na dependência de melhor entendimento da resposta da forrageira tropical ao manejo e da resposta dos animais ao ambiente de produção, especialmente nesta época avaliada - o período seco (SILVA et al., 2009).

Santos et al. (2009) verificaram que em decorrência da alta disponibilidade de forragem nas pastagens diferidas, adotou-se taxa de lotação (TL) inicial de aproximadamente 3,0 UA/ha e que para manutenção dessa taxa de lotação também foi possível com a suplementação dos pastos diferidos. Os autores relatam que tenha ocorrido efeito substitutivo da forragem diferida pelo suplemento utilizado, principalmente ao término do período de pastejo.

O valor nutritivo refere-se à composição química da forragem e sua digestibilidade. O baixo valor nutritivo das forrageiras tropicais é freqüentemente, mencionado na literatura e tem sido aceito como um fato. Este baixo valor está associado ao reduzido conteúdo de proteína e minerais, ao alto conteúdo de fibra e a baixa digestibilidade (SILVA et al., 2009).

Apresentam-se na Tabela 2 os valores da composição química dos teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), proteína bruta (PB) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca ou orgânica (DIVMS/O) das forragens em análise sob pastejo no período seco. As pastagens destinadas aos animais a serem suplementados no período seco, segundo seus autores, foram utilizadas entre julho e outubro e, na sua maioria, foram diferidas por 2 a 7 meses antes do pastejo.

Conforme apresentado na Tabela 2, as composições bromatológicas das *Brachiarias* no período seco sob pastejo apresentam altos teores de FDN, com média de 74,03% (mínimo de 60,43 e máximo de 86,72%), altos teores de FDA, com média de 42,62% (mínimo de 37,70% e máximo de 58,86%), baixos teores de PB, com média de 5,46% (mínimo de 2,33% e máximo de 10,12%) e baixos teores de DIVMS/O, com média de 49,29% (mínimo de 41,96% e máximo de 56,50%).

Tabela 2. Composição química e digestibilidade *in vitro* da matéria seca ou orgânica (DIVMS/O)] de *Brachiaria decumbens* e *B. brizantha* utilizadas em pastejo no período seco de acordo com vários autores

Autores	Constituinte em % da MS			
	FDN	FDA	PB	DIVMS/O
Brachiariabrizantha				
Baroniet al. (2010)	73,89	38,27	5,30	
Góes et al. (2010)	73,75	39,67	4,38	
Paula et al. (2010)	64,81	39,83	4,01	
Silva et al. (2010)	84,30	46,00	6,09	
Freitas et al. (2011)	70,55	34,00	6,62	43,20
	60,43	37,70	10,12	45,03
Schioet al. (2011)	85,58	50,51	3,88	
	86,72	58,86	4,08	
	86,15	43,22	4,04	
Mateuset al. (2011)	62,87	44,96	4,39	55,30
Benatiet al. (2012)	75,24	49,62	4,45	54,96
Farias et al. (2012)	66,52	40,51	5,62	51,02
Lima et al. (2012)	71,33	34,40	7,43	56,50
Brachiariadecumbens				
Euclides, 2001	77,80	45,10	6,30	52,50
	80,30	46,00	5,10	49,00
Santos et al. (2004a)	80,90	47,20	2,33	43,50
Santos et al. (2004b)	73,60	39,30	6,28	
Detmann et al. (2004)			3,00	
Villela et al., (2009)	64,50		8,82	
Portoet al. (2011)	65,35	35,61	5,90	41,96

FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; PB: proteína bruta.

A perda de peso dos bovinos na estação seca é função principalmente da queda da digestibilidade das plantas forrageiras e do decréscimo no teor de PB, minerais e vitaminas, aumento do teor de FDN, e queda no consumo de MS (SCHIO et al., 2011). Estes fatores são bem conhecidos e não deixam dúvidas entre os pesquisadores. A deficiência quantitativa do pasto por algumas medidas de manejo ao serem adotadas, entretanto as deficiências qualitativas ou nutricionais devem ser corrigidas através da suplementação alimentar. Um manejo bem conhecido entre os pesquisadores e produtores é o uso do diferimento (SANTOS et al., 2010), onde permite que as pastagens apresentem boa disponibilidade de forragem, todavia com baixo valor nutritivo, exigindo que esteja sempre associado à suplementação alimentar, possibilitando níveis aceitáveis de desempenho dos animais no período seco do ano. Entretanto, para que isto ocorra com eficiência, é necessário o conhecimento da composição bromatológica desta macega (SILVA et al., 2009).

Portanto, entre os nutrientes limitantes à produção animal, os compostos nitrogenados assumem natureza prioritária durante o período seco do ano, onde os baixos teores na pastagem limitam a atividade dos microrganismos ruminais, afetando a digestibilidade e o consumo de forragem, acarretando baixo desempenho animal. Consequentemente, devem ser estabelecidas estratégias de fornecimento de nutrientes, via suplementação, que viabilizem da melhor forma possível, os padrões de crescimento estabelecidos pelo sistema de produção, seja para possibilitar elevado ganho de peso, ganhos moderados ou, simplesmente, para a manutenção de peso durante o período da seca (MATEUS et al., 2011).

Consumo animal em pastagem

A produção animal é função do consumo, valor nutritivo (composição química e digestibilidade dos nutrientes) e eficiência de utilização do alimento disponível. O consumo de alimentos é determinante do aporte de nutrientes necessário para o atendimento dos requisitos de mantença e de produção pelos animais. Assim, a produção por animal está diretamente associada com o consumo de matéria seca digestível (CMSD) quando proteína, minerais, vitaminas e outros fatores nutricionais são adequados. O aumento na eficiência de conversão de forragem em produtos animais é conseguido quando a produção por animal é incrementada, devido à diluição dos requerimentos de mantença. Quando a energia ou CMSD aumenta acima do requerimento de mantença, maior quantidade de forragem ingerida é transformada em produto animal.

Dos trabalhos revisados por Silva et al. (2009) acrescidos de nova atualização até 2013, apresenta-se na Figura 1 todas as informações existentes sobre consumo de forragem em função do nível de suplementação de animais em pastejo durante o período seco.

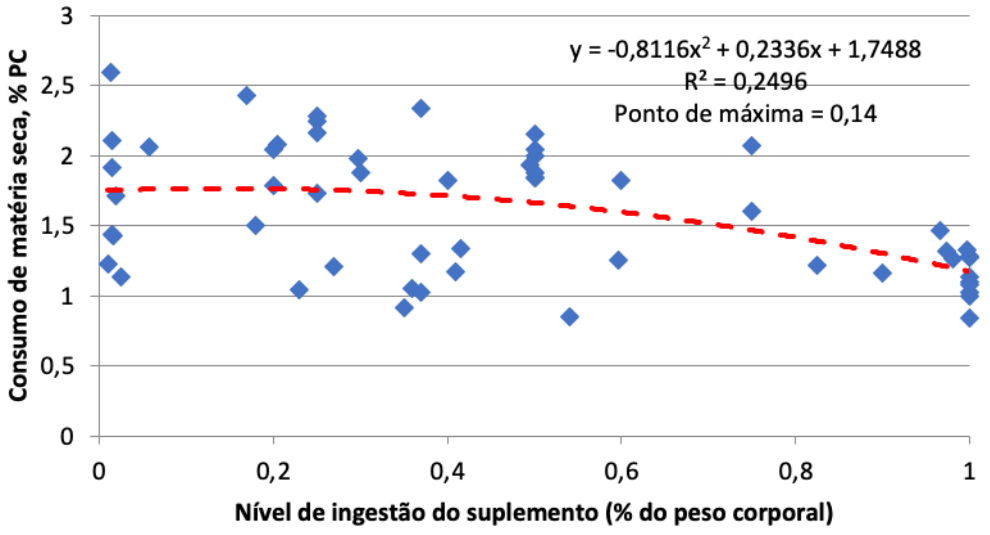


Figura 1. Consumo de matéria seca da forragem (% do peso corporal) em função do nível de ingestão do suplemento, expresso em relação ao peso corporal.
Fonte: Adaptado de: Kabeya et al. (2002); Oliveira et al., 2004; Santos et al., 2004a; Santos et al. (2004b); Villela et al. (2009); Acedo et al. (2007); Barbosa et al. (2007); Sales et al. (2008a); Sales et al. 2008b; Paula et al., 2010; Silva et al, 2010; Mateus et al., 2011; Porto et al., 2011; Schio et al. (2011); Farias et al. (2012); Góes et al. (2012); Lima et al. (2012).

A utilização de suplementos para bovinos a pasto visa suprir deficiências que venham a prejudicar o crescimento animal. Em muitos casos, pode-se melhorar o desempenho, mas nem sempre a resposta é satisfatória, podendo ser maior ou menor que a esperada. Essa variação entre o observado e o esperado pode ser explicada pelo efeito associativo do suplemento sobre o consumo de forragem e energia disponível da dieta, podendo haver modificação da condição metabólica ruminal e do próprio animal (GÓES et al., 2005).

O consumo de forragem é o principal fator determinante do desempenho de animais em pastejo e é influenciado por vários fatores associados ao animal, ao pasto, ao ambiente e às suas interações. Sob pastejo, o consumo de matéria seca verde é afetado principalmente pela disponibilidade de forragem, acompanhada pela estrutura da vegetação (densidade, altura, relação folha-colmo). Se a forragem apresenta baixo nível de proteína, o consumo será incrementado quando uma pequena quantidade de suplemento protéico for fornecida. Contudo, quando mais de 1 kg de suplemento é fornecido, o consumo de forragem poderá ser reduzido por substituição (SANTOS et al., 2004b).

Zinn e Garces (2006) sugeriram que a redução do consumo de pasto é mínimo até o nível de suplementação de 0,3% do peso corporal (PC) por dia e quando o consumo de suplemento aumenta para níveis acima de 0,3% do PC, o consumo de pasto é reduzido e que

esse decréscimo pode ser ainda maior quando a oferta de suplemento é de 0,8% do PC, pois nesse contexto, o limite biológico de ganho de peso dos animais a pasto está próximo de ser alcançado.

Uma grande deficiência nas pesquisas conduzidas no Brasil sobre o uso de suplementação é a pouca atenção à quantificação do consumo de MS dos pastos onde são mantidos os animais. Dos artigos publicados nos últimos 15 anos, 17 quantificaram o consumo de MS. Normalmente, os resultados são avaliados somente quanto ao desempenho animal em resposta ao uso dos suplementos, no entanto, não se pode explicar com base exclusivamente nestes resultados se os melhores ou piores desempenhos são decorrentes do suplemento, "efeito de substituição", ou do aumento no consumo de forragem, "efeito aditivo". Mas, embora cada experimento tenha suas particularidades de tipo animal e da forragem, o qual é o responsável pela dispersão das observações dos consumos de MS em relação aos níveis de ingestão de suplemento (Figura 1), observa-se com clareza uma tendência de redução maior do consumo de forragem quando a ingestão de suplemento supera os níveis de 0,2-0,3% do PC, concordando com a afirmativa de Zinn e Garces (2006), evidenciando um nítido efeito substitutivo da forragem pelo suplemento a partir destes níveis de ingestão do suplemento.

Na Tabela 4 podemos observar também como é nítido o incremento no consumo de MS nos níveis mais baixos de suplementação em relação aos animais recebendo apenas sal mineral. Na sequência observa-se a redução do consumo de forragem de bovinos suplementados com níveis acima de 0,2% do peso corporal e, nos níveis mais elevados de suplementação (1% do PC) a redução é mais intensa, conforme se observa no trabalho de Góes et al. (2010). Nestes dois trabalhos apresentados na Tabela 4, o consumo total de MS não diferenciou entre tratamentos.

O consumo de FDN da forragem em % do PC (Figura 2) também apresenta a mesma tendência do consumo de MS, evidenciando um efeito aditivo nos níveis de suplementação mais baixos, de 0,02 a 0,2% do PC, e um efeito substitutivo a partir destes níveis de suplementação. Consumos de FDN próximos de 1,8 % do PC podem ser alcançados por animais em pastejo de *Brachiarias* no período seco (BARBOSA et al., 2007 e SCHIO et al., 2011), desmistificando a informação generalizada da referência de Mertens (1994) de consumo máximo de FDN de 1,2% do PC.

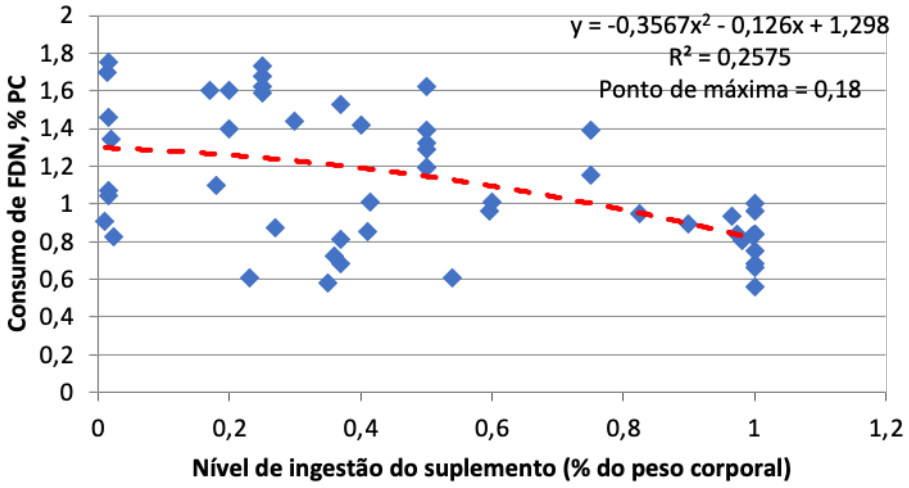


Figura 2. Consumo de fibra em detergente neutro (FDN) da forragem (% do peso corporal) em função do nível de ingestão do suplemento, expresso % do peso corporal.
Fonte: Adaptado de: Kabeya et al. (2002); Oliveira et al. (2004); Santos et al. (2004a); Santos et al. (2004b); Villela et al. (2009); Acedo et al. (2007); Barbosa et al. (2007); Sales, et al. (2008a); Sales et al. (2008b); Paula et al. (2010); Silva et al. (2010); Mateus et al. (2011); Schio et al. (2011); Porto et al. (2011); Farias et al. (2012).

Tabela 4. Consumo de matéria seca de forragem, % do PC, em função do consumo de suplemento

		Nível de suplementação, % PC				
		Sal min.	0,125	0,25	0,50	1,00
Góes et al. (2010)	Consumo de pasto, % PC	1,29	1,51	1,22	1,11	0,59
		Sal min.	0,20	0,40	0,60	0,80
Porto et al. (2011)	Consumo de pasto, % PC	1,14	1,50	1,34	1,25	1,20

No entanto, é difícil predizer a real contribuição do pasto para a nutrição dos animais, ou seja, é difícil estimar o CMS de pasto, os teores dos nutrientes na forragem consumida, a disponibilidade de cada nutriente da dieta, o requerimento de energia para o trabalho de pastejo e a extensão dos efeitos associativos em virtude da suplementação. Segundo o NRC (1996), o CMS de bovinos em pastejo é extremamente variável e de difícil predição, graças à variabilidade dos fatores, incluindo animal, dieta e ambiente.

O consumo de MS é um dos principais determinantes do processo produtivo, sendo que a baixa produção de bovinos nos trópicos deve-se, em grande parte, a um consumo deficiente de MS. No entanto, maiores progressos no entendimento dos fatores básicos que afetam o consumo têm sido impedidos por nossa inabilidade de medi-lo acuradamente, o que

possibilitaria melhor separar as influências de animal e dieta e traçar estratégias com vistas à otimização do processo produtivo (DETMANN et al., 2001).

Suplementação em nível baixo a moderado durante o período seco

Se o objetivo da suplementação é fechar as lacunas deixadas pela curva sazonal de crescimento das forrageiras, a estação do ano mais adequada para o seu uso seria a da seca (SILVA et al., 2009). Quando o objetivo da suplementação é GMD de até 0,500 kg/dia, há necessidade de se incluir energia e proteína no sal mineral. Nesse caso, a mistura tem sido, comumente, denominada de "Mistura Mineral Múltipla". Essa mistura deve complementar os macro e os micro das forrageiras e suplementar proteína e energia.

Geralmente, são constituídas de cloreto de sódio (controlador da ingestão), mistura mineral, ureia, uma fonte de proteína verdadeira e uma fonte de carboidrato solúvel ou não. Recomenda-se essa suplementação, durante todo o período seco, e o consumo diário pode variar de 0,1% a 0,6% do peso corporal, a depender do objetivo.

Quando a suplementação alimentar é feita no período imediatamente anterior ao abate dos animais, o benefício dessa alternativa é facilmente avaliado. Entretanto, isso não ocorre quando após a suplementação segue-se um período de pastejo. Nesse caso, o desempenho no período todo tem de ser melhor analisado, em função, especialmente, dos possíveis ganhos compensatórios normalmente verificados por animais que sofreram restrição alimentar e foram realimentados (EUCLIDES et al., 2001).

Nível de suplementação baixo a moderado e desempenho

No período seco os bovinos recebendo somente sal mineral ganharam em média 175 g/dia e apresentam uma amplitude de -300 a 500 g/dia, dependendo das várias combinações ambiente-animal-forragem, conforme pode ser visto na Figura 3. Para quem deseja participar de uma pecuária de ciclo curto (o abate dos animais com menos de 30 meses) esta lacuna no desenvolvimento no período seco pode não permitir a obtenção dos objetivos, conforme pode ser comprovado pelo trabalho de Euclides et al. (1998), no qual os novilhos Nelore que apenas receberam sal mineral só foram abatidos com 36 meses de idade.

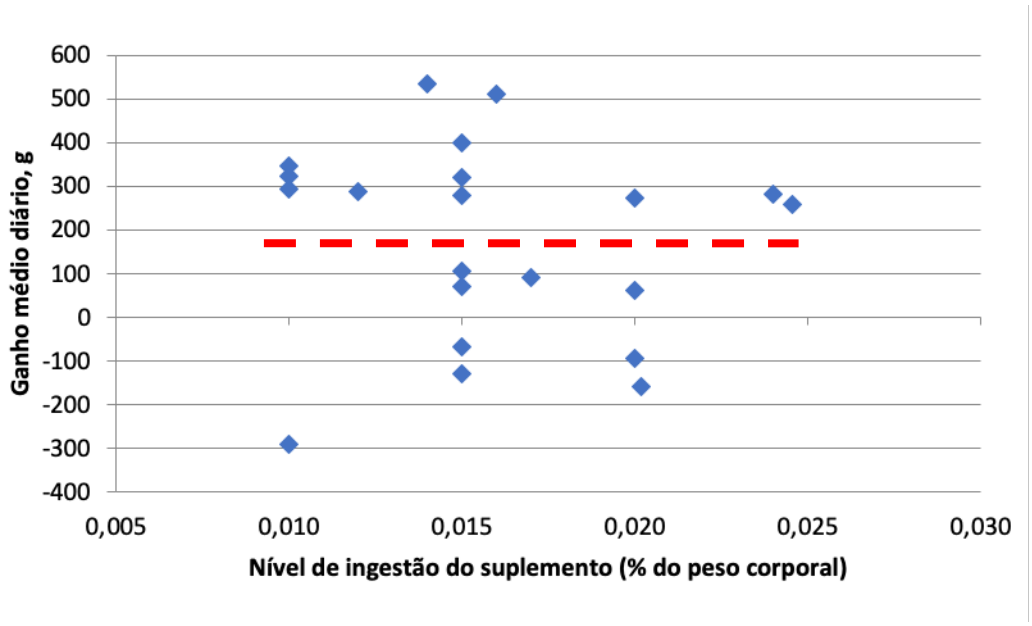


Figura 3. Ganho médio diário (g) dos bovinos recebendo somente sal mineral durante o período seco e pastejo de *Brachiaria decumbens* ou *B.brizantha*.
Fonte: Adaptado de: Zanetti et al. (2000); Euclides (2001); Gomes Jr. et al. (2002); Detmann et al. (2004); Oliveira et al. (2004); Santos et al. (2004a); Santos et al. (2004b); Góes et al. (2005); Barbosa et al. (2007); Ítavo et al. (2008); Sales et al. (2008a); Sales et al. (2008b); Baroni et al. (2010); Silva et al. (2010); Mateus et al. (2011); Porto et al. (2011), Benatti et al. (2012).

Sabe-se que o incremento dos níveis de suplementação, acima de 0,02% do PC (sal mineral), com misturas múltiplas em pastagens de *B. brizantha* ou *B. decumbens* promovem aumentos no consumo e no GMD quando comparada à suplementação apenas com mistura mineral. O sucesso no manejo de gado de corte depende do conhecimento dos requerimentos nutricionais dos animais e da compreensão dos processos e funções que os compõem (NRC, 1996). Se os requerimentos são conhecidos, os suplementos podem ser formulados em termos das quantidades de proteína, energia e minerais necessárias para cobrir as diferenças entre as exigências dos animais, conforme os objetivos da produção, e as quantidades de cada nutriente fornecidas pelo pasto, de acordo com o CMS e qualidade da forragem ingerida.

A variação de desempenho quando adotada a suplementação em pastejo na época seca é elevada. Como destacado por Alberto (1997), o desempenho com suplementação em pastejo é determinado pela interação de uma gama de fatores relacionados às interações forragem:suplemento:animal, as quais são caracterizadas individualmente a cada experimento. Esta variação de ganho de peso em sistema de pastejo é bem ilustrada na Figura 4, onde se apresentam os resultados de 31 projetos de pesquisa publicados nos últimos anos envolvendo nível baixo a moderado de suplementação de bovinos em pastejo de *B. decumbens* ou *B.*

brizantha no período seco do ano. Observa-se uma tendência linear crescente de aumento nos ganhos médio diários com o aumento da suplementação (Figura 4).

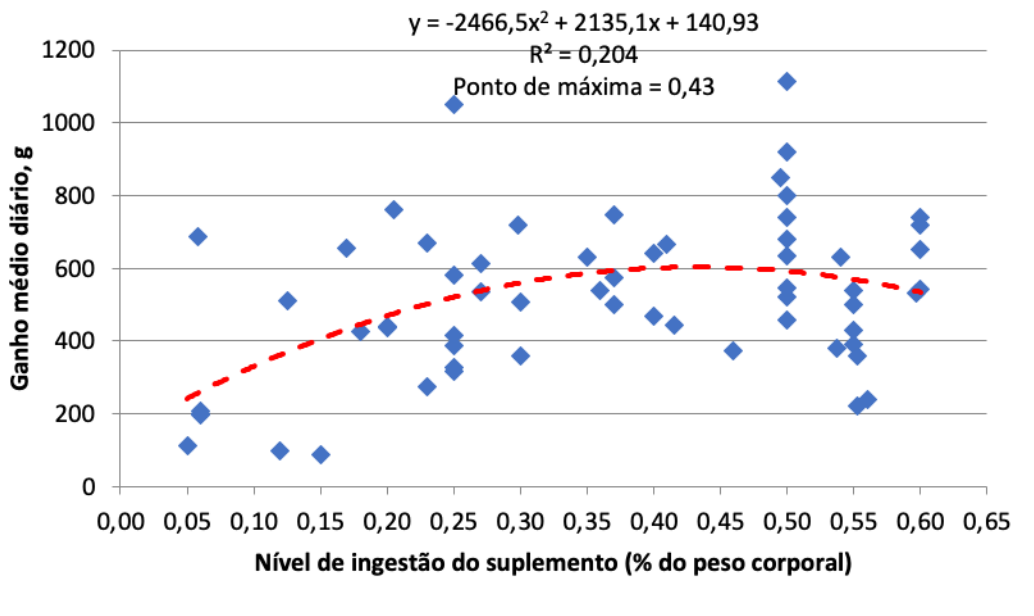


Figura 4. Ganho médio diário (g) de bovinos em pastejo de *Brachiaria decumbens* ou *B. brizantha*, durante o período seco do ano, em função do nível de ingestão do suplemento, expresso em % do peso corporal.
Fonte: Adaptado de: Euclides et al. (1998); Zanetti et al. (2000); Euclides (2001); Kabeya et al. (2002); Manella et al. (2002); Gomes Jr. et al. (2002); Paulino et al. (2002); El-Memari Neto et al. (2003); Detmann et al. (2004); Villela et al. (2009); Oliveira et al. (2004); Acedo et al. (2007; Santos et al. (2004a); Santos et al.(2004b); Góes et al. (2005); Moraes et al. (2005); Barbosa et al. (2007); Ítavo et al. (2007a); Ítavo et al. (2007b); Ítavo et al. (2008); Sales et al. (2008a); Sales et al. (2008b); Baroni et al. (2010); Paula et al. 2010; Silva et al. (2010); Freitas et al. (2011); Mateus et al. (2011); Porto et al. (2011); Schio et al. (2011); Benatti et al. (2012); Lima et al. (2012).

Observa-se que entre os níveis de 0,35 a 0,5% o GMD tende a se manter, atingindo média de GMD de 521 g/dia entre o nível suplementar de 0,05 a 0,6% do PC. Sendo que para a faixa de suplementação de 0,05 a 0,1% do PC a média de GMD foi de 261 g/dia, na faixa de 0,1 a 0,3% do PC o GMD foi de 483 g/dia. Já na faixa suplementar de 0,3 a 0,6% do PC o GMD foi de 579 g/dia. Suspeita-se que para níveis mais elevados de suplementação há necessidade de maiores teores de PB na dieta, acima da exigência, podendo explicar porque os níveis acima de 0,5% não apresentaram ganhos superiores.

Suplementação em nível moderado a alto no período seco

Uma das grandes aplicações do conhecimento de nutrição de ruminantes no Brasil foi à implantação da suplementação a pasto. Contudo, para que os bovinos possam ser alimentados com quantidades adequadas de concentrado em condições de pasto há necessidade do conhecimento do consumo de pasto (VALADARES FILHO et al., 2002).

Em sistemas que almejam a produção de carne de melhor qualidade, proveniente de novilhos jovens, os suplementos são fornecidos em quantidades equivalentes a até 1,0% do PC, especialmente se os animais são terminados durante a seca (SILVA et al., 2009). Neste sentido os objetivos dos autores foram avaliar os resultados da suplementação em nível alto no período seco do ano e as possíveis interferências no desempenho. Se o objetivo da suplementação é fechar as lacunas deixadas pela curva sazonal de crescimento das forrageiras, a estação do ano mais adequada para o seu uso seria a da seca.

Outro procedimento que pode ser utilizado para otimizar o uso das pastagens, e manter níveis mais elevados de produção, é a suplementação alimentar com mistura balanceada de concentrados em níveis altos. Nesse caso segundo Silva et al. (2009), as taxas médias de GMD, durante o período de suplementação, variam entre 0,500 kg/dia e 0,900 kg/dia e serão em função da quantidade de suplemento oferecido (0,6% a 1% do PC), do potencial do animal, da sua condição corporal, da forragem disponível, do tamanho dos pastos, da distância das aguadas e da declividade do terreno. Esta mistura pode ser balanceada utilizando-se de alimentos energéticos e protéicos, e mistura mineral. A ureia, normalmente, entra nas formulações em razão do preço e da necessidade de nitrogênio não-protéico. A adição de ionóforos e de calcário calcítico pode ser recomendada.

Na utilização dessas misturas, o volumoso é a forragem da pastagem (diferida ou áreas novas em formação), portanto, a disponibilidade dessa não pode ser limitante. Quando a quantidade de forragem é limitante, além da utilização de concentrados, há necessidade de se fazer a suplementação com volumosos.

Conforme Hodgson et al. (1990) a dieta consumida pelo animal na pastagem é selecionada segundo a sua preferência, mas modificada pela disponibilidade e acessibilidade dos componentes preferidos e menos preferidos. Onde a disponibilidade, proporção, distribuição e qualidade de folha verde, folha seca, colmo verde e colmo seco no relvado influenciam o consumo de MS e o desempenho dos animais em pastejo (SCHIO et al., 2011).

A suplementação de forragem com concentrado, na maioria das vezes, aumenta o consumo total de MS, porém pode reduzir a ingestão das forrageiras. Segundo Silva et al. (2009), na faixa de amplitude de suplementação de até 0,3% do PC, não ocorreria o efeito substitutivo, mas acima de 0,3% até 1% do PC há efeito substitutivo do pasto pelo suplemento. Calcula-se que para cada 500 g de suplemento fornecido acima do estabelecido, ocorreria uma redução de aproximadamente 300 g no consumo de forragem na MS.

Neste sentido os objetivos dos autores desta revisão foram avaliar os resultados da suplementação, sob diversos aspectos, no período seco do ano nos níveis de suplementação de moderado a alta sobre os desempenhos.

Nível de suplementação moderado a alto e desempenho

A variação de desempenho quando adotada a suplementação em pastejo na época seca é elevada. Como destacado por Alberto (1997), o desempenho com suplementação em pastejo é determinado pela interação de uma gama de fatores relacionados às interações forragem: suplemento:animal, as quais são caracterizadas individualmente a cada experimento. Esta variação de GMD em sistema de pastejo é bem ilustrada na Figura 5, onde se apresentam os resultados de 31 projetos de pesquisa publicados nos últimos anos envolvendo algum nível de suplementação de bovinos em pastejo no período seco do ano.

Observa-se uma tendência linear crescente de aumento nos GMD com o aumento da suplementação até níveis de 1,0% do PC e, acima deste valor, embora possa melhorar o ganho, estes aparentemente são menores (Figura 5).

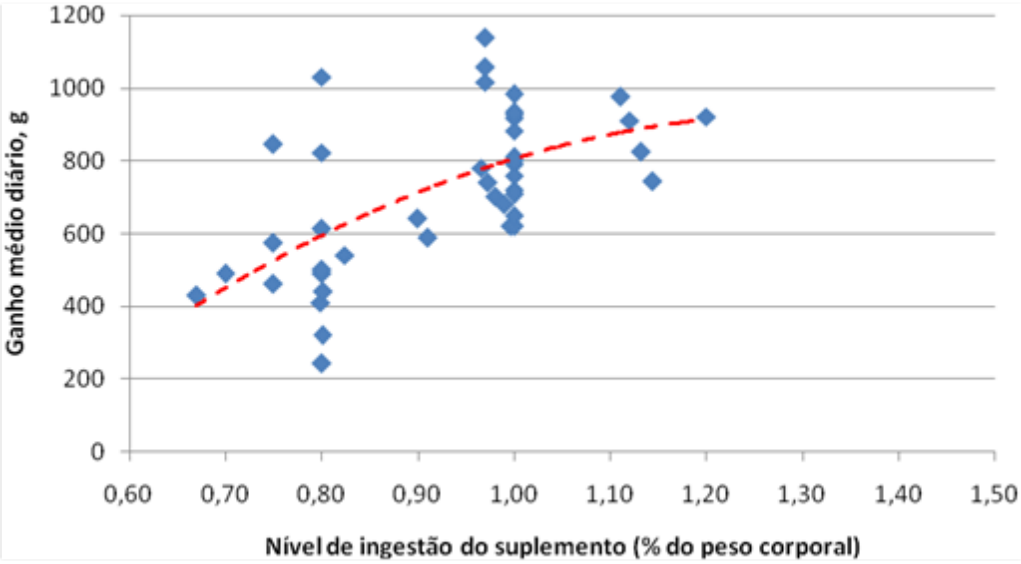


Figura 5. Ganho médio diário (g) de bovinos em pastejo de *Brachiaria decumbens* ou *B. brizantha*, durante o período seco do ano, em função do nível de ingestão do suplemento, expresso em % do peso corporal.
Fonte: Adaptado de: Euclides et al. (1998); Euclides (2001); Kabeya et al. (2002); Paulino et al. (2002); El-Memari Neto et al. (2003); Detmann et al. (2004); Santos et al. (2004a); Santos et al. (2004b); Góes et al. (2005); Moraes et al. (2005); Silva et al. 2010); Freitas et al. (2011); Mateus et al. (2011); Porto et al. (2011); Farias et al. (2012); Góes et al. (2012); Moraes et al. (2012).

Esses resultados indicam que quanto maior o nível de suplementação até 1% do PC maior será o ganho de peso do animal, porém ao observarmos com maior rigor podemos destacar algumas interações positivas existentes entre a quantidade de forragem (Figura 6), os tipos de alimentos (Figura 7 e 8), níveis de PB (Figura 9) e frequência de suplementação (Tabela 5) presentes nos diversos suplementos utilizados nessas pesquisas com o desempenho animal.

A Figura 6 apresenta resultados de diferentes experimentos que testaram níveis de suplementação para bovinos em pastejo no período seco do ano.

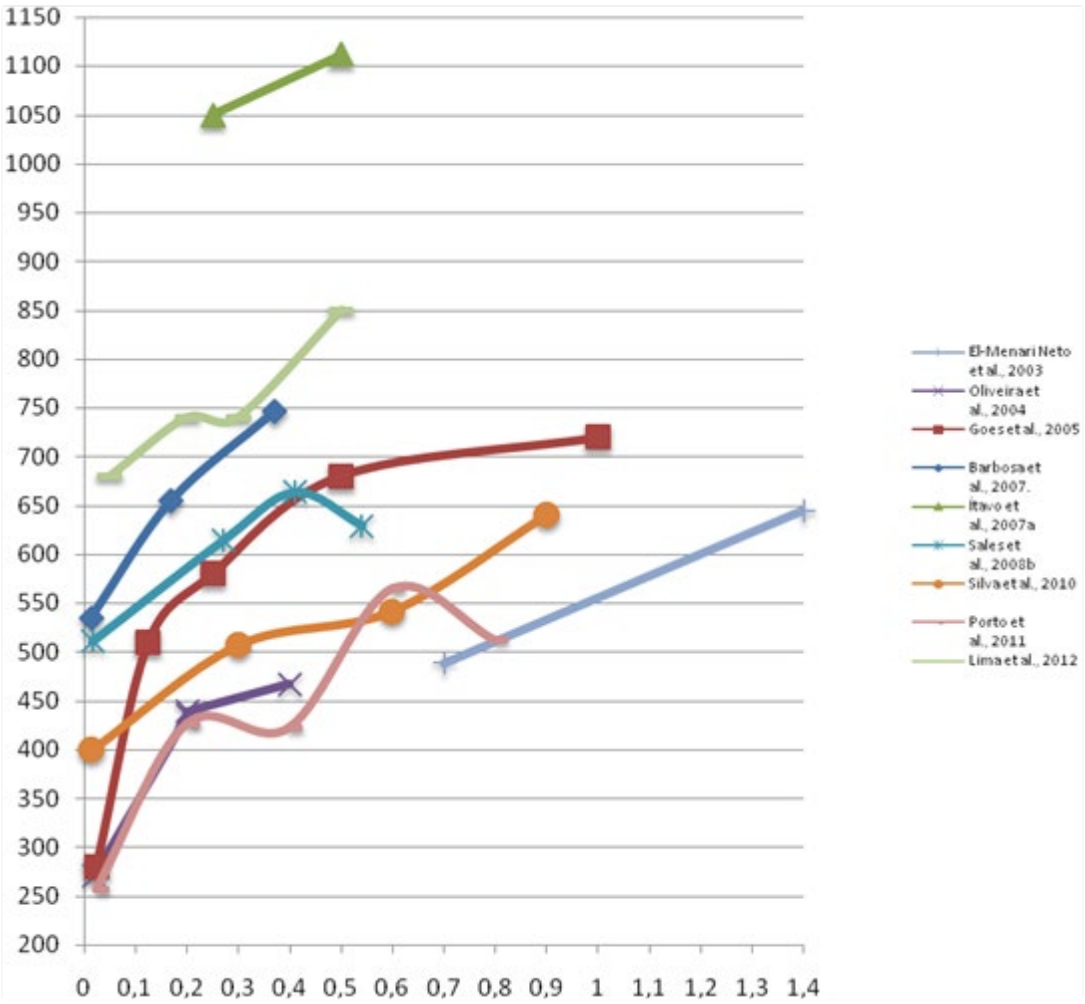


Figura 6. Ganho médio diário de novilhos suplementados com diferentes níveis de suplementação em pastejo de *Brachiaria decumbens* ou *brizantha*, durante o período seco do ano, segundo vários autores.

Em todos os experimentos, como era esperado, a suplementação propiciou aos bovinos maiores ganhos do que os recebendo apenas sal mineral. Mas, o propósito de todos os pesquisadores e produtores é esperar um aumento linear do GMD dos bovinos quando se aumenta o nível de suplementação, mas nem sempre isto acontece na prática nas proporções desejadas. Ítavo et al. (2007b) ao suplementarem novilhos F1 Canchim x Nelore, em pastejo de *B. brizantha* nos níveis de 0,25 ou 0,5% do PC, não observaram diferenças nos ganhos, por sinal bem satisfatórios média de 1,05 kg/dia, mas o interessante é que os animais com maior nível de suplementação (0,5% PC) estavam em uma taxa de lotação o dobro do menor nível de suplementação (0,25% PC), indicando que quando diminui-se a oferta de forragem, com o objetivo de aumentar o ganho por área, limita-se a seletividade e para garantir ganhos individuais compatíveis com menores ofertas de forragem pode-se aumentar o nível de

suplementação, a decisão agora fica por conta do técnico saber fazer a simulação dos dois sistemas e calcular a melhor rentabilidade.

Barbosa et al. (2007) suplementando novilhos mestiços em níveis de 0,17 e 0,37% PC não observaram diferenças significativas nos ganhos, apenas numérico, 655 x 746 g/dia, respectivamente. De forma semelhante, Oliveira et al. (2004) suplementando novilhos Nelore em níveis de 0,2 e 0,4% PC, também em pastejo de *B. brizantha*, não observaram diferenças nos GMD, 426 x 467 g/dia, respectivamente. Estas diferenças de quase 200g nos GMD nos mesmos níveis de suplementação, entre os trabalhos, podem ser atribuídas principalmente as diferentes ofertas de forragem sendo de 9,85% PC para Barbosa et al. (2007), satisfatório, e de 3,34% PC para Oliveira et al. (2004), muito baixo (Tabela 1).

Sales et al. (2008a) e Porto et al. (2011) suplementaram novilhos mestiços e Nelore, em pastejo de *B. brizantha* e *B. decumbens*, respectivamente, e forneceram suplementos em níveis de 0,27; 0,41 e 0,54% do PC (correspondendo a 1,0; 1,5 e 2,0 kg/dia de suplemento, Sales et al., 2008a) e 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8% do PC (correspondendo a 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 kg/dia de suplemento, Porto et al., 2011), mas garantiram a mesma ingestão de PB vinda do suplemento (300 g/dia), ou seja aumentaram os níveis de ingestão de energia vinda dos suplementos e os teores de PB nos suplementos foram diminuindo com os aumentos nos níveis de suplementação. Nos dois experimentos os níveis de suplementação não diferiram entre si, ficando a recomendação de se garantir pelo menos 300 g de PB vinda do suplemento, o que pode ser obtido com níveis mais baixos de suplementação (0,2% do PC).

As diferenças de GMD entre experimentos citados podem ser parcialmente atribuídas às diferenças de oferta de forragem, no qual no experimento de Sales et al. (2008a) foi de 19,69 % do PC e propiciou GMD de 0,600-0,650 kg/dia e no de Porto et al. (2011) de 6,18% do PC e propiciou ganhos de 0,450-0,500 kg/dia. O aumento no fornecimento de energia via suplemento reduz a digestibilidade da FDN, diminuindo a participação da dieta basal (o pasto) como fonte de energia, o que pode ser antieconômico dentro do sistema de produção, baseado no pasto (PORTO et al., 2011).

El-Memari Neto et al. (2003) forneceram suplementos a novilhos Nelore em pastejo de *B. brizantha* em níveis de 0,7 e 1,4% do PC e obtiveram GMD de 0,49 e 0,65 kg/dia, respectivamente, abaixo de qualquer expectativa, provavelmente devido a baixa oferta de forragem, de 2,6% do PC.

Góes et al. (2005) e Silva et al. (2010) obtiveram respostas positivas e distintas para os níveis crescentes de suplementação de novilhos, ambos em pastejo de *B. brizantha* (Figura 6).

No experimento de Góes et al. (2005) a suplementação de 0,5% do PC propiciou um GMD satisfatório de 680 g/dia, haja visto que o controle apresentou GMD de apenas 280 g/dia, mas quando a suplementação aumentou para 1,0% do PC o GMD não foi superior (720 g/dia) ao nível de 0,5% do PC, mesmo com suplementos com teores semelhantes de PB (24%), indicando que algum fator metabólico tenha interferido. Já no experimento de Silva et al. (2010) os níveis de suplementação 0,3; 0,6 e 0,9 % do PC foram formulados, segundo o NRC (1996), para atingirem ganhos diferenciados de acordo com a amostragem da forragem no início do experimento, portanto, os concentrados continham níveis de PB diferentes (22, 16 e 13% PB, para os níveis de suplementação 0,3; 0,6 e 0,9 % do PC), e embora os ganhos tenham se comportado de forma linear crescente as diferenças dos ganhos entre os níveis foram pequenas, o que pode comprometer a utilização de níveis mais elevados de suplementação do ponto de vista econômico.

Lima et al. (2012) suplementando novilhos em pastagens de *B. brizantha*, no período de transição de chuva-seca, observaram aumentos lineares no ganho, de 0,68 kg/dia no nível de 0,05% de suplementação em relação ao PC para 0,85 kg/dia no nível de 0,5% do PC. Observa-se um bom ganho para o menor nível de suplementação em função da melhor qualidade da forragem ofertada.

Na Figura 7 apresenta-se resultados de sete experimentos que testaram diferentes fontes de alimentos, protéicos e/ou energéticos em suplementos para novilhos suplementados no período seco do ano em pastejo.

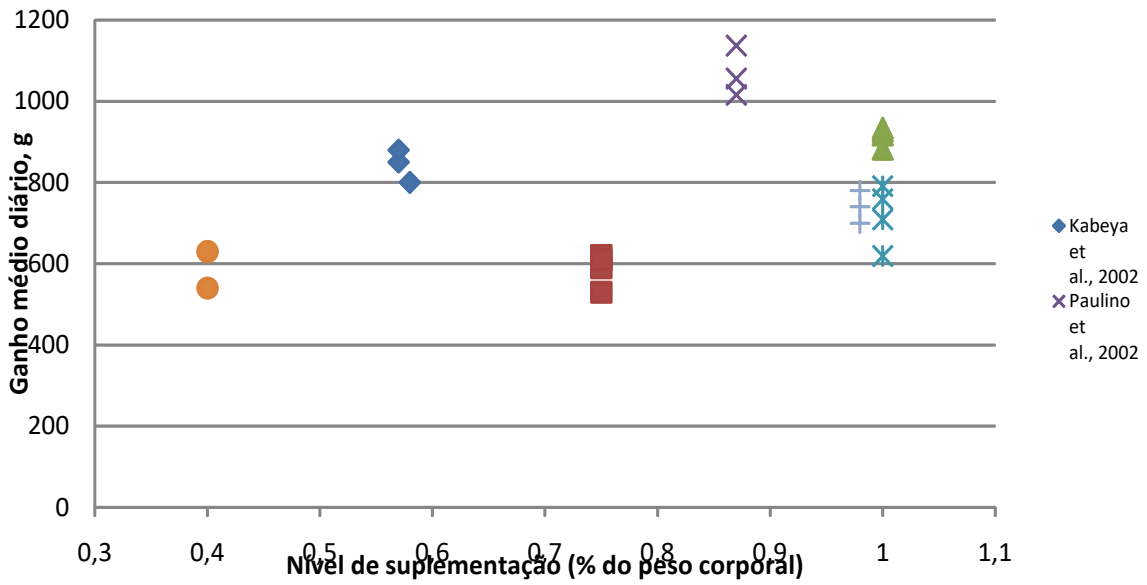
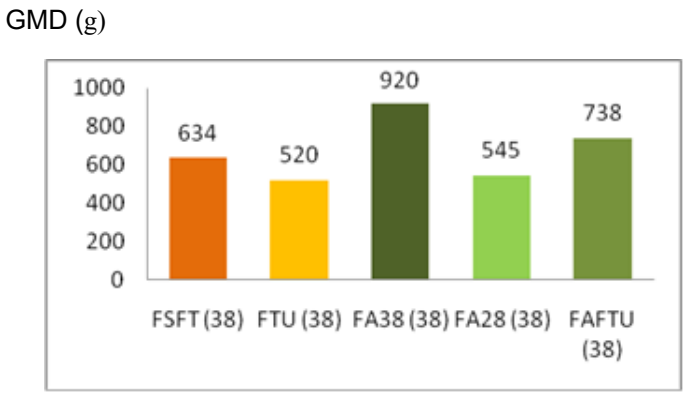


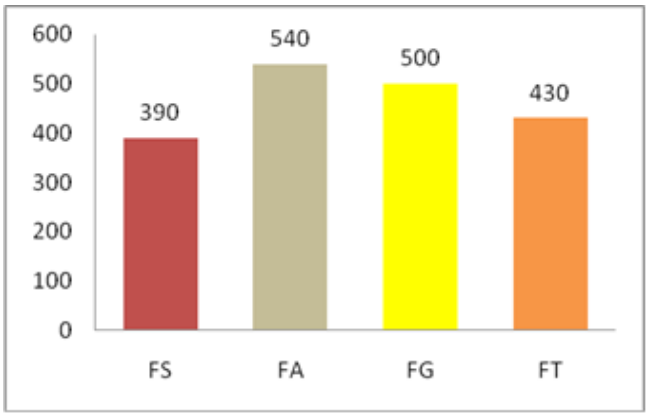
Figura 7. Ganho médio diário de novilhos suplementados com diferentes fontes de alimentos em pastejo de *Brachiaria decumbens* ou *B. brizantha*, durante o período seco do ano, segundo vários autores.

Independente das fontes energéticas ou proteicas testadas nos experimentos ilustrados na Figura 7, não houve diferença nos GMD dentro de cada experimento, pode-se afirmar que fontes de proteína e energia no suplemento tem pouco efeito sobre o consumo e o desempenho de animais em pastejo. Entretanto não se deve desconsiderar que alguns efeitos associativos entre alimentos existem e deve-se dar atenção a uma avaliação conjunta destes alimentos. Portanto, apresenta-se na Figura 8 o resultado de três experimentos que demonstram resultados diferentes em função do(s) tipo(s) de alimentos.

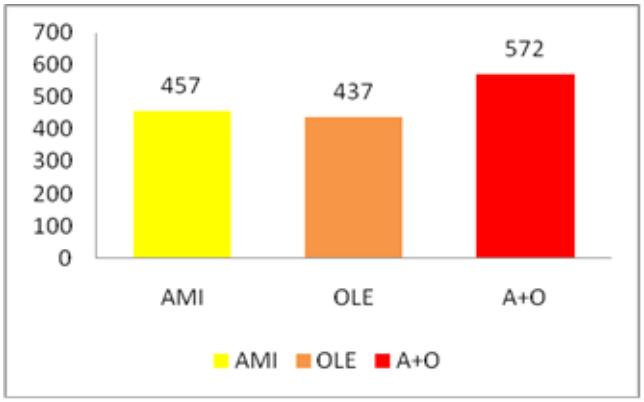
Villela et al. (2009) (Figura 8A) testou diferentes combinações de alimentos (farelo de soja com farelo de trigo – FSFT; farelo de trigo com ureia – FTU; farelo de algodão com 38% de PB – FA38; farelo de algodão com 28% de PB – FA28 ou farelo de algodão com farelo de trigo e ureia – FAFTU), em suplementos com 38% de PB e oferecidos a 0,5% do PC a novilhos mestiços em pastejo de *B. decumbens* e observou um maior GMD (920 g/dia) para animais recebendo suplemento contendo farelo de algodão com 38% de PB, justificado pelo autor devido a uma melhor combinação de proteína degradada no rúmen e proteína não degradável no rúmen deste tratamento. Na mesma tendência Gomes Jr. et al. (2002) (Figura 8B) ao suplementarem novilhos mestiços em pastejo de *B. decumbens* em níveis de 1% do PC observaram, também, um melhor ganho dos novilhos recebendo suplementos contendo farelo de algodão. El-Memari Neto et al. (2003) (Figura 8C) suplementaram novilhos Nelores em pastejo de *B. brizantha* em níveis de 0,7% do PC com três tipos de suplementos isoprotéicos, mas variando a fonte de energia, somente amido (AMI), somente óleo (OLE) e a combinação de ambos (A+O), observaram maior GMD no tratamento com a combinação amido e óleo, demonstrando um interação positiva entre alimentos.



(A)



(B)



(C)

Figura 8. Efeito de tipos ou fontes de alimentos sobre o ganho médio diário (g) de novilhos suplementados no período seco do ano em pastejo de *Brachiaria decumbens* ou *brizantha*, segundo Villela et al. (2009)(A) em níveis de 0,5% PC; Gomes Jr. et al. (2002)(B) em níveis de 1,0% PC e El-Memari Neto et al. (2003)(C) em níveis de 0,7% PC. (Siglas: FSFT = farelo de soja e farelo de trigo; FTU = farelo de trigo e ureia; FA38 = farelo de algodão 38%PB; FA28 = farelo de algodão 28%PB; FAFTU = farelo de algodão, farelo de trigo e ureia; FS = farelo de soja; FA = farelo de algodão; FG = farelo de germen de milho; FT = farelo de trigo; AMI = dieta com amido; OLE = dieta com óleo; A+O = dieta com amido e óleo).

A suplementação proteica é uma alternativa interessante, porém ainda não ficou estabelecido o nível ideal de suplementação com PB, mas resultados não nacionais já indicavam alguma tendência, Del Curto et al. (1990) sugeriram concentração de 26% PB no suplemento com farelo de soja e sorgo para maximizar o consumo e, posteriormente, o desempenho de bovinos de corte. Avaliando os teores de 15, 20 e 25% de PB, Sunvold et al. (1991) sugeriram 20% PB como a melhor concentração para maximizar o consumo de forragens, de modo que o nível de 25% apresentou efeitos negativos. No Brasil, Mateus et al. (2011) já observaram falta de resposta no GMD para suplementos ofertados em nível de 0,50 e 0,75% do PC, quando os mesmos tinham 18 e 14% de PB, respectivamente, segundo balanceamento do NRC (1996) (Tabela 5).

Tabela 5. Ganho médio diário (GMD) de bovinos recebendo diferentes níveis de suplementação e com teores diferentes de proteína bruta (PB) no suplemento em pastagem de *Brachiaria brizantha*

	Nível de suplementação (%)			
	0,01	0,25	0,50	0,75
Teor de PB	0,0	27,5	18,4	13,7
GMD, kg/dia	0,32	0,42	0,46	0,46

Fonte: Adaptado de Mateus et al. (2011).

Na tentativa de descobrir qual a melhor concentração de PB no suplemento para bovinos suplementados em pastejo em níveis ao redor de 0,8% do PC, Detmann et al. (2004), pesquisando a resposta de bovinos recebendo diferentes níveis de PB no suplemento (12, 16, 20 e 24% de PB), ressaltaram que os teores de 20% PB permitem otimizar o desempenho animal, conforme pode ser observado na Figura 9.

No enfoque da necessidade de suplementação proteica de ruminantes pastejando forragens de baixa qualidade, seja via proteína verdadeira e, ou, via nitrogênio não proteico (NNP), tem-se na ureia excelente opção, por ser de baixo custo e potencialmente aproveitável pelos ruminantes, mas se níveis moderados a altos de desempenho são almejados, atenção deve ser dirigida ao fornecimento suplementar de proteína verdadeira, uma vez que constitui a principal fonte de isoácidos, indispensáveis ao adequado metabolismo microbiano (GOMES Jr. et al., 2002).

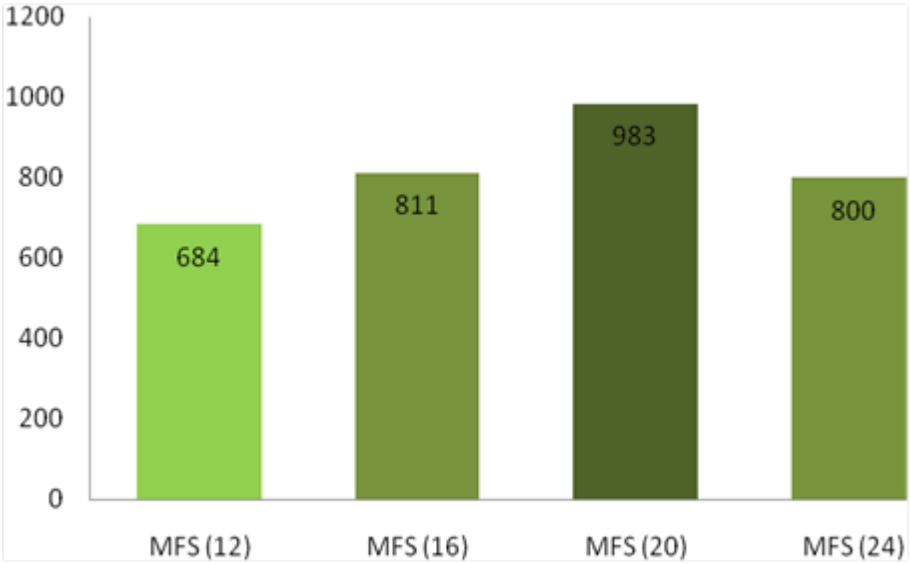


Figura 9. Níveis de proteína no suplemento de novilhos suplementados com concentrado em níveis de 0,85% do peso corporal em pastejo de *Brachiaria decumbens* no período seco do ano. (Adaptado de Detmann et al., 2004).

Recentemente, preocupados com o custo de mão-de-obra, alguns pesquisadores tem testado diferentes formas de fornecimento de suplementos, sempre na tentativa de reduzir o fornecimento diário, podendo ser pela alternância do fornecimento (dia sim x dia não) ou pelo fornecimento apenas nos dias da semana, evitando os finais de semana.

Na Tabela 6 demonstra-se três experimentos que testaram frequências de fornecimento do suplemento e em dois experimentos (CANESIN, 2009 e BENATTI et al., 2012) as menores frequências de fornecimento na semana (5 ou 3 vezes) propiciaram os mesmos ganhos aos animais e no experimento de Paula et al. (2010) os animais que receberam suplementos 3 vezes na semana e ganharam mais peso do que os animais que receberam suplemento diariamente. Vale salientar que quando diminui a frequência de fornecimento do suplemento na semana, a quantidade de ingestão de suplemento em toda a semana é garantida, ou seja, se fornece 7 kg de suplemento na semana de forma diária, na opção de fornecer apenas três vezes na semana deve-se garantir a ingestão de 7 kg na semana (3 fornecimento de 2,33 kg).

Tabela 6. Ganho médio diário (GMD) de bovinos recebendo diferentes frequências de suplementação em pastagem de *Brachiaria decumbens e B. brizantha.*

		Formas de fornecimento		
Autores	Suplementação %PC	Diária	5X	3X
Canesin (2009)	1,0%	0,46	0,48	0,43
Paula et al. (2010)	0,4%	0,50b	-	0,67ª
Benatti et al. (2012)	0,5%	0,38	-	0,36

Com estes conhecimentos de disponibilidade, oferta e qualidade da forragem, noções de exigências, interações entre alimentos e dietas, pode-se obter GMD de até 1,0 kg/dia com animais pastejando forragens diferidas para serem utilizadas no período seco do ano.

Santos et al. (2004b) encontraram, ao fornecer suplementos constituídos por farelo de soja, farelo de trigo e milho (20% PB) a novilhos F1 Limousin X Nelore em pastagem de *B. decumbens*, no nível de 1,0% do PC, GMD de 0,915 kg/dia. Semelhantemente, Detmann et al. (2001) observaram GMD de 0,982 kg/dia em novilhos mestiços Holandês X Zebu, manejados em pastagem de *B. decumbens*, recebendo suplementos constituídos por milho e soja grão (20% PB), em níveis de 1% do PC.

Euclides et al. (2009) avaliaram as eficiências biológica e econômica de novilhos em terminação em pastagem de *B. brizantha* cv. Marandu, que receberam três níveis de suplementação, durante o período seco, constituídos pelos suplementos: suplemento 1:

sal-amireia com 23% de PB, suplemento 2: 0,6% do PC e suplemento 3: 1,0% do PC de um concentrado com 32,2% de grãos de milho moído, 32,5% de farelo de soja, 29,8% de grãos de soja moído, 3,5% de mistura mineral e 2% de calcário calcítico, fornecidos duas vezes ao dia. Os animais com suplementação de 1,0% do PC de concentrado ganharam mais peso (1,13 kg/dia) do que aqueles com 0,6% do PC (0,78 kg/dia), e estes últimos mais do que aqueles que receberam sal-amireia (0,49 kg/dia). Os autores concluíram que é possível terminar bovinos cruzados, com 22 meses de idade, quando se utiliza suplementação concentrada na quantidade de 1,0% do PC, durante o período seco. Quando se utiliza suplementação concentrada mais moderada de 0,6% do PC com o objetivo de terminar o animal com menos de 24 meses, o PC no início do período seco, deve ser superior a 410 kg. Ganhos de peso superiores, propiciados por doses maiores de suplementação, mostram-se antieconômicos, conforme relação de preços vigente. O GMD dos bovinos mais pesados não compensa seu maior custo de aquisição, como indicam as margens líquidas calculadas.

Euclides et al. (1998) encontraram GMD de 1,03 kg/dia para bovinos (anelorados) em fase de crescimento, em pastagens de *B. decumbens* na época seca, recebendo suplementação na ordem de 0,8% PC. Os autores relataram ganhos de 0,61 kg/dia para animais em fase de terminação recebendo 0,8% do PC em suplemento, em contrapartida, os animais do grupo testemunha que receberam apenas mistura mineral perderam 70 g/dia. Segundo Euclides et al., (2001) a suplementação em pasto durante o período seco pode ser capaz de reduzir a idade de abate de 2 a 6 meses e, quando combinada com o confinamento na segunda seca, a redução pode ser de 8 meses. Segundo os autores a suplementação em pasto possibilita incrementos de até 30% na taxa de lotação dos pastos, durante o período seco. O produtor precisa analisar cuidadosamente suas condições para tomar a decisão mais acertada.

Considerações finais

Os sistemas de produção animal que utilizarem suplementação devem garantir quantidade e qualidade de forragem aos animais para garantir seletividade e ganhos individuais satisfatórios sem comprometer o ganho por área.

Ao passo que se aumenta a oferta de suplemento no sistema de produção de bovinos a pasto no período seco do ano, observar para que não haja efeito substitutivo proporcionando maximização do uso da pastagem.

A suplementação no período seco é biologicamente viável pelo efeito positivo no GMD, mas a viabilidade econômica do sistema é local dependente. Níveis de suplementação acima

de 0,8% do PC devem ser investigados quanto a alternativas que possam evitar possíveis efeitos negativos no ambiente ruminal que reduzam as expectativas de ganho, como o fracionamento da suplementação.

Estudos sobre diferimento devem ser mais bem explorados no sentido de acumular informações sobre os melhores períodos para efetuar este manejo e a duração da reserva em função dos fatores climáticos, não perdendo de vista o objetivo maior de acumular forragem com mínimo de qualidade.

Referências bibliográficas

ACEDO, T.S.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; MORAES, E.H.B.K.; Figueiredo, D.M., 2007. Níveis de ureia em suplementos para terminação de bovinos em pastejo durante a época seca. Acta Scientiarum Animal Science, v.29, n.3, p.301-308.

ALBERTO, E. Effectos de la calidade de los forrajes y la suplementacion en el desempeño de ruminantes em pastoreo (com especial referencia a vacas lecheras). In: Simpósio Sobre Avaliação de Pastagens com Animais, 1997, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 1997. p.53-73.

BARBOSA F.A.; GRAÇA, D.S.; MAFFEI, W.E.; SILVA JÚNIOR, F.V.; SOUZA, G.M., 2007. Desempenho e consumo de matéria seca de bovinos sob suplementação protéico-energética, durante a época de transição água-seca. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.59, n.1, p.160-167.

BARONI, C.E.S.; LANA, R.P.; MANCIO, A.B.; QUEIROZ, A.C.; LEÃO, M.I.; SVERZUT, C.B., 2010. Níveis de suplemento à base de fubá de milho para novilhos Nelore terminados a pasto na seca: desempenho, características de carcaça eavaliação do pasto. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.1, p.175-182.

BENATTI, J.M.B.; MORAES, E.H.B.K.; ZERVOUDAKIS, J.T.; ARAÚJO, C.V.; CABRAL, L.S.; RUFINO JUNIOR, J.; CARVALHO, D.M.G., 2012. Fornecimento de grão de milheto, inteiro ou triturado, em duas frequências de suplementação para bovinos de corte. Revista Brasileira de Zootecnia, v.41, n.4, p.941-950.

CASAGRANDE, D.R.; RUGGIERI, A.C.; JANUSCKIEWICZ, E.R.; GOMIDE, J.A., REIS, R.A.; VALENTE, A.L.S., 2010. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu manejado sob pastejo intermitente com diferentes ofertas de forragem. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.10, p.2108-2115.

DEL CURTO, T.; COCHRAM, R.C.; CORAH, A.A..; BEHARKA, A.A.; VANZANT, E. S.D.; JOHNSON, E., 1990. Supplementation or dormant tallgrass-praire forage. II. Performance and forage utilization characteristics in grazing beef cattle receiving supplements of different protein concentrations. Journal of Animal Science, v.68, p.532- 542.

DETMANN, E.; PAULINO, M.P.; ZERVOUDAKIS, J.T.; VALADARES FILHO, S.C.; EUCLYDES, R.F.; LANA, R.P.; QUEIROZ, D.S., 2001. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados a pasto. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, n.5, p.1600-1609.

DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CECON, P.R.; VALADARES FILHO, S.C.; GONÇALVES, L.C.; CABRAL, L.S.; MELO, A.J.N., 2004. Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de novilhos mestiços em pastejo durante a época seca: desempenho produtivo e características de carcaça. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.1, p.169-180.

EL-MEMARI NETO, A.C., ZEOULA, L.M.; CECATO, U.; PRADO, I.N.; NETO, S.F.C.; KAZAMA, R.; OLIVEIRA, F.C.L., 2003. Suplementação de novilhos Nelore em pastejo de *Brachiariabrizanta* com diferentes níveis e fontes de concentrado. Revista Brasileira de Zootecnia, v.32, p.1945-1955.

EUCLIDES, V.P.B. Desempenho animal em pastagens. **Informativo Técnico Embrapa** - Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), Caixa Postal 154, CEP 79002-970, Campo Grande, MS. s/nº, ISSN 1516-7856. jun. 2001.

EUCLIDES, V.P.B. Produção intensiva de carne bovina a pasto. In: Simpósio De Produção de Gado De Corte, 2., 2001, Viçosa. **Anais...** Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 55-82.

EUCLIDES, V.P.B.; EUCLIDES FILHO, K.; ARRUDA, Z.J.; FIGUEIREDO, G.R., 1998a. Desempenho de novilhos em pastagens de *Brachiaria decumbens* submetidos a diferentes regimes alimentares. Revista Brasileira de Zootecnia, v.27, p.246-254.

EUCLIDES, V.P.B.; ZIMMER, A.H.; OLIVEIRA, M.P. Evaluation of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha* under grazing. In: International Grassland Congress, 17., 1993, Rockhampton. **Proceedings...** Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. v.3, p.1997-1998b.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, M.P., 1992. Avaliação de diferentes métodos de amostragem para se estimar o valor nutritivo de forragens sob pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia., v.21, p.691-702.

EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; SILVA, J.M.; VIEIRA, A., 1990.Avaliação de forrageiras tropicais manejadas para produção de feno em- pé. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.25, n.3, p.393-407.

EUCLIDES, V.P.B.; RAFFI, A.S.; COSTA, F.P.; EUCLIDES FILHO, K.; FIGUEIREDO, G.R.; COSTA, J.A.R., 2009. Eficiências biológica e econômica de bovinos em terminação alimentados com dieta suplementar em pastagem de capim-marandu. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, p.1536-1544.

FARIAS, M.S.; PRADO, I.N.; VALERO, M.V.; ZAWADZKI, F.; SILVA, R.R.; EIRAS, C.E.; RIVAROLI, D.C.; LIMA, B.S., 2012. Níveis de glicerina para novilhas suplementadas em pastagens: desempenho, ingestão, eficiência alimentar e digestibilidade. Semina: Ciências Agrárias, v. 33, p. 1177-1188.

FREITAS, D.; FREGADOLLI, F.L.; BERTIPAGLIA, L.M.A.; MELO, G.M.P.; REIS, R.A; BERCHIELLI, T.T., 2011. Suplementação da dieta de novilhos de três grupos genéticos em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v. 33, p. 417-425.

GÓES, R.H.T.B., MANCIO, A. B., LANA, R.P.; ALVES, D.D.; LEÃO, M.I.; SILVA, A.T.S., 2005. Recria de Novilhos Mestiços em Pastagens de *Brachiaria brizantha*, com Diferentes Níveis de Suplementação, na Região Amazônica. Desempenho Animal. Revista Brasileira de Zootecnia**,** v.34, n.5, p.1740-1750.

GOES, R.H.T.B.; MANCIO, A.B.; LANA, R.P.; CECON, P.R.; ALVES, D.D.; FREITAS, T.B.; BRABES, K.C.S., 2010. Suplementação protéica e energética para novilhos em recria, durante o período da seca. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 11, p. 1081-1094.

GOES, R.H.T.B.; CERILO, S.L.N.; LIMA, H.L.; FERNANDES, A.R.M.; OLIVEIRA, E.R.; SOUZA, K.A.; PATUSSI, R.A.; BRABES, K.C.S.; GRESSLER, M.G.M., 2012. Torta de girassol em substituição ao farelo de soja nos suplementos de novilhas:desempenho e características de carcaça. Revista Brasileira de Saúde Produção Animal, v.13, p.396-409.

GUERRERO, J.N.; CONRAD, B.E.; HOLT, E.C.; Wu, H., 1984. Prediction of animal performance on bermudagrass pasture from available forage. Agronomy Journal, v.76, p.577-580.

HODGSON, J. **Grazing management science into practice**. Essex: Lougman Group UK Ltd., 1990. 203p.

ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; DIAS, A. M.; NOVAIS, M.F.S.M.; SILVA, F.F.; MATEUS, R.G.; SCHIO, A.R., 2007a. Desempenho produtivo e avaliação econômica de novilhos suplementados no período seco em pastagens diferidas, sob duas taxas de lotação**.** Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal., v.8, n.3, p. 229-238.

ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; DIAS, A. M.; GOMES, R.C.; ANDERSON, H.C.; SILVA, F.F., 2007b. Terminação de diferentes categorias de bovinos suplementados em pastagens diferidas. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.8, n.4, p. 309-316.

ÍTAVO, L.C.V.; TOLENTINO, T.C.P.; ÍTAVO, C.C.B.F.; GOMES; R.C.; DIAS; A.M.; SILVA, F.F., 2008. Consumo, desempenho e parâmetros econômicos de novilhos Nelore e F1 Brangus-Nelore terminados em pastagens, suplementados com mistura mineral e sal nitrogenado com uréia e amiréia. Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia, v.60, p.419-427.

KABEYA, K.S.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R.; QUEIROZ, D.S.; GOMES JÚNIOR, P.; PEREIRA, O.G., 2002. Suplementação de Novilhos Mestiços em Pastejo na Época de Transição Água-Seca: Desempenho Produtivo, Características Físicas de Carcaça, Consumo e Parâmetros Ruminais. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n. 1, 213-222.

LIMA, J.B.M.P.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; L. VILELA, GRAÇA, D.S.; SALIBA, E.O.S., 2012. Suplementação de novilhos Nelore

sob pastejo, no período de transição águas-seca. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.64, n. 4, p.943-952.

MANELLA, M.Q.; LOURENÇO, A.J.; LEME, P.R., 2002. Recria de Bovinos Nelore em Pastos de *Brachiaria brizantha* com Suplementação Protéica ou com Acesso a Banco de Proteína de *Leucaena lecocephala.* Desempenho Animal. Revista Brasileira de Zootecnia, v.31, n.1, p.2274-2282.

MATEUS, R.G.; SILVA, F.F.; ÍTAVO, L.C.V.; PIRES, A.J.V.; SIVA, R.R.; SCHIO, A.R., 2011. Suplementos para recria de bovinos Nelore na época seca: desempenho, consumo e digestibilidade dos nutrientes. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v.33, n.1, p.87-94.

MERTENS, D.R. **Regulation of forage intake**. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.). Forage quality, evaluation and utilization. Winsconsin: American Society of Agronomy. 1994.

MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483p.

MORAES, E.H.B.K. de; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; VALADARES FILHO, S.C.; MORAES, K.A.K., 2005. Avaliação qualitativa da pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* Stapf., sob pastejo, no período da seca, por intermédio de três métodos de amostragem. Revista Brasileira de Zootecnia, v.34, n.1, p.30-35, 2005.

MORAES, E.H.B.K.; PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; MORAES, K.A.K., 2012. Aspectos produtivos e econômicos de novilhos mestiços alimentados com suplementos proteico-energéticos contendo ureia. Revista Brasileira de Zootecnia, v.41, n.5, p.1278-1284.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1996. 242p.

OLIVEIRA, L.O.F.; SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C. BORGES, I. AMARAL, T.B., 2004. Consumo e digestibilidade de novilhos Nelore sob pastagem suplementados com misturas múltiplas. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.56, p.61-68.

PAULA, N.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S.; CARVALHO, D.M.G.; HATAMOTO-ZERVOUDAKIS, L.K.; MORAES, E.H.B.K.; OLIVEIRA, A.A., 2010. Frequência de suplementação e fontes de proteína para recria de bovinos em pastejo no período seco: desempenho produtivo e econômico. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.4, p.873-882.

PAULINO, M.F.; ZERVOUDAKIS, J.T.; DE MORAES, E.H.B.K.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. Bovinocultura de ciclo curto em pastagens. In: Simpósio de Produção de Gado de Corte, v.3, Viçosa**. Anais...** Viçosa: UFV. 2002. p.153-196.

PORTO, M.O.; PAULINO, M.F.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C SALES, M.F.L.; CAVALI, J.; NASCIMENTO, M.L.; ACEDO, T.S., 2011. Ofertas de suplementos múltiplos para tourinhos Nelore na fase de recria em pastagens durante o período da seca: desempenho produtivo e características nutricionais. Revista Brasileira de Zootecnia, v.40, n.11, p.2548-2557.

SALES, M.F.L., PAULINO, M.F., VALADARES FILHO, S.C.; PORTOI, M.O.; MORAES, E.H.B.K.; BARROS, L.V., 2008a. Níveis de ureia em suplementos múltiplos para terminação de novilhos em pastagem de capim-braquiária durante o período de transição águas-seca. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.9, p. 1704-1712.

SALES, M.F.L., PAULINO, M.F., PORTO, M.O.; VALADARES FILHO; S.C.; ACEDO; T.S.; COUTO, V.R.M., 2008b. Níveis de energia em suplementos múltiplos para terminação de novilhos em pastagem de capim-braquiária durante o período de transição águas-seca. Revista Brasileira de Zootecnia, v.37, n.9, p. 1704-1712.

SANTOS, E.D.G.; PAULINO, M.F.; QUEIROZ, D.S.; VALADARES FILHO, S.C.; FONSECA, D.M.; LANA, R.P., 2004a. Avaliação de pastagem diferida de *Brachiaria decumbens* Stapf. 2. Disponibilidade de forragem e desempenho animal durante a seca. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.1, p.214-224.

SANTOS, E.D.G.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C.; Rogério de Paula LANA; R.P.; QUEIROZ; D.S.; FONSECA, D.M., 2004b. Terminação de tourinhos Limousin X Nelore em pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf., durante a estação seca, alimentados com diferentes concentrados. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, n.6, p.1627-1637.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; EUCLIDES, V.P.B.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MOREIRA, L.M., 2009. Produção de bovinos em pastagens de capim-braquiária diferidas. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, n.4, p.635-642.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; BALBINO, E. M.; SILVA, S.P.; MONNERAT, J.P.I.S., 2010. Valor nutritivo de perfilhos e componentes morfológicos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.9, p.1919-1927.

SCHIO, A.R.; VELOSO, C.M.; SILVA, F.F.; ÍTAVO, L.C.V.; MATEUS, R.G.; SILVA, R.R., 2011. Ofertas de forragem para novilhas nelore suplementadas no período de seca e transição seca/águas. Acta Scientiarum. Animal Sciences, v.33, n.1, p.9-17.

SILVA, F.F.; SÁ, J.F.; SCHIO, A.R.; ÍTAVO, L.C.V.; SILVA, R.R.; MATEUS, R.G., 2009. Suplementação a pasto: disponibilidade e qualidade x níveis de suplementação x desempenho. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, p.371-389. (supl. especial).

SILVA, R.R.; PRADO, I.N.; SILVA, F.F.; ALMEIDA, V.V.S.; SANTANA JÚNIOR, H.A.; QUEIROZ, A.C.; CARVALHO, G.G.P.; BARROSO, D.S., 2010. Comportamento ingestivo diurno de novilhos Nelore recebendo níveis crescentes de suplementação em pastejo de capim-braquiária. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.9, p. 2073-2080.

SUNVOLD, G.D.; COCHRAM, R.C; VANZANT, E.S., 1991. Evaluation of wheat middling as a supplement for beef cattle consuming dormant bluestem-range forage. Journal of Animal Science, v.69, p.3044-3054.

VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R.; MAGALHÃES, K.A.; PAULINO, M.F. **Modelos nutricionais alternativos para otimização de renda na produção de bovinos de corte**. In: Simpósio de produção de bovinos de corte, 3, 2002. p197-254.

VILLELA, S.D.J.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C.; MARTINS, M.O.; ZAMPERLINI, B., 2009. Fontes de proteína em suplementos para bovinos em pastejo nos períodos da seca e de transição seca-águas. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.10, n.2, p.266-277.

ZANETTI, M.A., RESENDE, J.M., SCHALCH, F.; MIOTTO, C.M., 2000. Desempenho de Novilhos Consumindo Suplemento Mineral Proteinado Convencional ou com Ureia. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 29, p.935-939.

ZERVOUDAKIS, J.T.; PAULINO, M.F.; CABRAL, L.S.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; MORAES, E.H.B.K., 2010. Parâmetros nutricionais de novilhos sob suplementação em sistema de autocontrole de consumo no período de transição águas–seca. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.12, p.2753-2762.

ZINN, R.A., GARCES, P. Supplementation of beef cattle raised on pasture: biological and economical considerations. In: Simpósio de Produção de Gado de Corte, 2006, Viçosa. **Anais…**Viçosa: UFV; DZO, 2006. p.1-14.

Capítulo 6

Estratégias de alimentação de vacas leiteiras confinadas em sistemas Free-stall e Compost barn

Polyana Pizzi Rotta
Carlos Henrique Paiva Camisa Nova
Vinicius de Sena Sales Silva e
Felipe de Paiva Provazi

Resumo
Em sistemas produtivos de leite cada vez mais intensivo, deve-se elaborar estratégias alimentares e nutricionais para potencializar a eficiência da fazenda. O agrupamento de vacas possibilita a formulação de uma dieta para vários animais no mesmo estágio fisiológico. Diversos critérios para agrupamento são descritos como eficientes, por exemplo: mérito leiteiro, produção de leite e cluster. Sendo necessário avaliar qual a forma mais adequada para cada rebanho particularmente. A frequência de alimentação deve ser analisada em cada sistema individualmente pois vários limitantes estão envolvidos, porém, pesquisas evidenciam que a maior frequência de fornecimento de alimento evita problemas metabólicos, como a acidose, pois não há variação no ambiente ruminal ao longo do dia, mantendo a saúde do rúmen. Para a alimentação de vacas secas, dietas com densidade energética moderada ou baixa podem ser empregadas, porém, a primeira deve ser restritiva e a segunda o limitante vai ser o volumoso da dieta. As duas estratégias têm a intenção de evitar o aumento de escore corporal para evitar desordens metabólicas no pós parto e potencializar a lactação da vaca. No período de transição, minimizar o balanço energético negativo é o foco nutricional mais importante. Para isso, a dieta dos animais neste estágio fisiológico deve maximizar o consumo de matéria seca, sendo dietas mais adensadas recomendadas neste período, o uso de aditivos, como tamponantes, alcalinizantes, leveduras, monensina e virginiamicina, é importante para evitar a queda do pH do rúmen devido o fornecimento de dietas com alta densidade energética, sendo papel do nutricionista avaliar a inclusão de cada um desses ingredientes na dieta. A dieta aniônica no pré-parto pode ser adotada em rebanhos mais especializados pois evita o déficit de cálcio no metabolismo com a alta demanda no pós-parto devido a produção de leite. Estudos com vitaminas têm apresentado importância para vacas com o intuito de aumentar o *status* imunológico, principalmente no pós-parto imediato quando a vaca sofre com imunossupressão. Componentes alternativos também podem ser empregados dependendo da necessidade do rebanho, gordura protegida é uma alternativa para rebanhos de alta produtividade para fornecer maior suporte energético. Em sistemas de ordenha robotizada, a estratégia nutricional é modificada pois é fornecida uma dieta parcial no cocho e o complemento nutricional por concentrado na ordenha baseado na produção da vaca, além disso, o equilíbrio de quantidade de concentrado fornecido na ordenha e a composição da PMR (*partial mixed ration*) deve ser planejada para evitar o baixo consumo da PMR e visitas excessivas a ordenha robótica.

Palavras-chave: aditivos, dieta aniônica, agrupamento, TMR, confinamento.

A produção de vacas leiteiras no Brasil tem se tornado cada vez mais intensiva. Produtores que antes tinham o pasto como principal sistema produtivo estão migrando para os sistemas confinados de produção, principalmente o *compost barn*, por possuir um custo de implementação menor que o *Free-stall* e pelo menor impacto ambiental, devido a menor produção de dejetos que precisam de manejo mais elaborado. Ainda, o período chuvoso no Brasil é crítico para a produção de vacas a pasto, pelo aumento da incidência de ectoparasitas e a maior incidência de mastite pela formação de barro no sistema extensivo. Dessa forma, temos cada vez mais confinamentos de vacas de leite no Brasil e a tendência é que esse número aumente cada vez mais. Assim, a dieta e o manejo das vacas leiteiras podem ser feitos com maior controle e por se tratar de um sistema onde os custos aumentam devido às instalações necessárias, erros devem ser minimizados e a dieta deve ser formulada para potencializar a produção com foco em manter excelentes taxas reprodutivas.

Agrupamento de vacas em sistemas intensivos

A complexidade do ciclo de produção de leite na vaca leiteira é ampla, porém, a desconsideração desse fator dentro do sistema de produção tem impacto negativo direto na eficiência produtiva e econômica da propriedade. Dependendo da propriedade leiteira, o manejo de agrupamento para ajuste nutricional de vacas lactantes é o ponto decisivo para potencializar a rentabilidade da fazenda, pois o manejo de agrupamento possibilita a formulação de dietas mais precisas em relação ao estágio fisiológico no qual o animal se encontra, além de diminuir a excreção de nutrientes e gerar menos impacto ambiental.

Diversos critérios podem ser aplicados para a escolher o melhor ajuste para a divisão de lotes na fazenda, sendo o tamanho da fazenda um dos principais limitantes para a tomada de decisão. De acordo com Cabrera (2011), os principais critérios utilizados para a divisão de grupos em uma propriedade leiteira são:

- Dias em lactação;
- Produção de leite corrida para gordura;
- Mérito leiteiro;
- Cluster.

O primeiro critério descrito é baseado apenas em alocar os animais em grupos considerando os dias após o parto em que se encontram. Em outras palavras, o método que considera os dias em lactação leva em conta apenas o estágio de lactação da vaca. Esse método é popular devido a facilidade de manejo e pode ser empregado em sistemas de baixo refinamento, pois ainda coincide com a necessidade da vaca em termos produtivos.

O agrupamento baseado na produção de leite corrigida para gordura é aplicável, pois podemos considerar que vacas com produção similares e niveladas quanto a gordura presente no leite apresentam exigência de nutrientes similar entre elas.

O agrupamento por mérito leiteiro pode ser considerado como o ajuste fino do método baseado na produção de leite corrigida. O agrupamento por mérito é baseado na produção de leite corrigida para gordura em relação ao peso corporal metabólico do animal ($PLc/PC^{0,75}$). Esse método possibilita agrupar vacas de forma mais homogênea, possibilitando a alocação

de vacas primíparas e multíparas em grupos distintos, facilitando o ajuste de dietas mais precisas para cada categoria animal.

O quarto critério, chamado de *cluster*, possui a capacidade de agrupar os animais de acordo com as exigências de proteína e energia. O *cluster* agrupa animais com necessidades nutricionais próximas, assim, é considerado um método de melhor ajuste no rebanho. No entanto, a capacidade de manter esses grupos deve ser considerado na aplicabilidade desse tipo de agrupamento.

Todos os métodos apresentam vantagens e desvantagens, com isso, a escolha de qual método apresenta melhor ajuste ao sistema de produção é de responsabilidade do técnico no momento de ponderar cada situação particular. Todavia, para potencializar a produção de leite nos sistemas de produção em confinamento é necessário fazer esse controle e ajuste.

Uso de dietas totalmente misturadas e frequência de fornecimento de alimento

O fornecimento da dieta em ração completa ou TMR (total mixed ration) tem se tornado recorrente como meio de regular a composição da dieta para animais de alta produção. Além de contribuir para o fornecimento da dieta com todos os nutrientes necessários, o fornecimento da ração completa possibilita alimentar muitos animais de forma homogênea. Em sistemas de alimentação em que o alimento concentrado é fornecido separadamente em uma ou mais porções ao dia, mudanças bruscas no ambiente ruminal podem ocorrer, resultando no aparecimento de distúrbios digestivos (NOCEK, 1997). Rebanhos que recebem grandes quantidades de grãos separadamente de alimentos fibrosos estão mais sujeitos a ocorrência de distúrbios digestivos, especialmente a acidose ruminal e laminite.

A disponibilidade de ração ao longo do tempo e a distribuição da ingestão ao longo do dia podem contribuir ainda mais para a manutenção de uma população microbiana ruminal estável. O fornecimento da dieta na forma TMR em esquemas de alimentação convencionais de gado leiteiro em lactação, para a maioria das operações leiteiras, permanece em duas vezes por dia. No entanto, muitos produtores optam por alimentar suas vacas apenas uma vez por dia para reduzir os custos de mão-de-obra (NOCEK; BRAUND, 1985).

A diminuição da frequência de fornecimento da dieta pode alterar o consumo e está associada ao aumento do comportamento agressivo entre os animais (DEVRIES et al., 2005; MANTYSAARI et al., 2006). Uma baixa frequência de fornecimento da dieta pode resultar em maior competição entre as vacas. Além disso, o aumento da competição pode levar algumas vacas a modificar seu tempo de alimentação para evitar interações agressivas (MILLER; WOOD-GUSH, 1991). A oferta mais frequente do alimento, a maior distribuição desse alimento e ingestão da dieta de maneira mais uniforme ao longo do dia podem evitar a competição entre as vacas. Além disso, a ingestão constante de nutrientes no rúmen ao longo do dia estabiliza o pH ruminal, o que pode reduzir o risco de acidose ruminal subaguda (FRENCH; KENNELLY, 1990).

O aumento da frequência de fornecimento de alimento permite que as vacas aumentem seu tempo diário de alimentação e assim a distribuição do tempo de alimentação ao longo do dia. Essas mudanças na distribuição do tempo de alimentação resultam em vacas com acesso mais uniforme à alimentação, além de reduzir a seleção dos ingredientes da TMR (DEVRIES

et al., 2005). Dessa forma, uma maior distribuição da dieta durante o dia pode promover maior eficiência na produção de leite e melhoria na produção de gordura no leite (GIBSON, 1984; MÄNTYSAARI et al., 2006).

Alimentação de vacas no período seco

A dieta de vacas leiteiras durante o período seco é um ponto de muita discussão entre os pesquisadores da área de nutrição. Sabemos que vacas devem alcançar o início do período seco com o escore ideal para o parto seguinte, assim, podemos definir que a vaca não deve ganhar ou perder peso durante o período seco. A manutenção do peso corporal durante o período seco é de importância extrema para minimizar a ocorrência de distúrbios metabólicos no pós-parto, por exemplo: hipocalcemia, cetose, esteatose hepática etc.

Atualmente, duas linhas de estudo têm sido usados para o manejo nutricional de vacas no período seco, sendo os dois baseados na manutenção do peso corporal do animal durante todo o período seco. O primeiro método é fundamentado na restrição alimentar durante o período seco. Esse método propõe o fornecimento de alimentos com teor energético moderado, onde, o fornecimento da dieta é restrito. A dieta restrita promove o maior consumo de matéria seca no período pós-parto (DOUGLAS et al., 2006; DANN et al., 2006; JANOVICK; DRACKLEY, 2010). Animais que são alimentados com excesso de energia apresentam maiores concentrações de parâmetros sanguíneos ligados ao metabolismo de lipídeos (AGNE e BHBA) no pós-parto, com isso, eleva a probabilidade de ocorrência de distúrbios metabólicos após o parto (JANOVICK et al., 2011).

Seguindo o mesmo conceito de não alimentar vacas no período seco com alta densidade energética, surgiu a proposta da dieta de baixa energia para essa categoria, onde há o fornecimento de alimentos com maior teor de fibra de baixa qualidade, como por exemplo feno com avançado estágio de maturação. Fornecendo esse tipo de dieta, o que vai limitar o consumo de alimento do animal é a capacidade física de manter o alimento no rúmen.

No entanto, diversos questionamentos surgiram quanto a dieta de baixa densidade energética. A primeira questão é a necessidade de ajustar uma dieta específica para vacas secas, assim, elevando o custo com mão-de-obra. Outro ponto questionável é a inserção de dois planos nutricionais, pois existe a necessidade de preparo da vaca para a dieta rica em energia fornecida no pós-parto, além disso, a utilização de suplementos para evitar distúrbios metabólicos são necessários no período de transição antes do parto, como por exemplo sal aniônico, metionina ou colina protegida.

Ainda há controvérsias quanto a melhor estratégia a ser adotada na fazenda, limitações de instalação e de mão-de-obra são fundamentais para a tomada de decisão do melhor método a ser aplicado. O ponto principal para as duas estratégias é que energia em excesso, com aumento do ECC no período seco tem efeito extremamente negativo em vacas no pós-parto.

Manejo alimentar no período de transição

O período de transição é a fase de maior desafio para vacas leiteiras. A reduzida capacidade de consumo de matéria seca no pré-parto e a elevada exigência no pós-parto

devido a demanda energética para a síntese de leite ocasiona o chamado balanço energético negativo (BEN) (DRACKLEY et al., 2005). Devido a essa incapacidade de suprir a energia exigida pelo organismo da vaca, o manejo nutricional durante o período seco e transição é fundamental para reduzir os efeitos do BEN, assim, reduzindo a ocorrência de distúrbios e doenças metabólicas após o parto.

Maximizar o consumo de matéria seca no pós-parto é o ponto fundamental para diminuir o efeito do BEN. Para promover esse máximo consumo diversos fatores são de grande importância e, necessariamente, devem ser proporcionados ao animal para potencializar a produção de leite durante toda a lactação. Esses fatores podem ser resumidos como: (1) minimizar estresses e manter as vacas confortáveis; (2) evitar o excesso de gordura corporal; (3) prevenir o alto consumo de energia no período seco; (4) ajustar adequadamente o conteúdo fibroso em relação ao teor de carboidratos rapidamente fermentáveis no rúmen; (5) reduzir o balanço cátion-ânion das dietas no período de transição no pré-parto (DCAD) e; (6) fornecer suporte nutricional para melhorar o sistema imunológico das vacas (DRACKLEY; CARDOSO, 2014).

Para a redução do estresse nutricional no pós-parto, recomenda-se fornecer os mesmos ingredientes no período de transição pré-parto para a adaptação do rúmen para dietas com alta densidade energética. Esse fator se deve principalmente ao teor elevado de carboidratos não fibrosos em dietas de alto plano nutricional fornecidas no pós-parto, necessitando promover o crescimento das papilas ruminais e adaptação da população de microrganismos presentes no rúmen, com isso, diminui-se a probabilidade de ocorrência de acidose ruminal (ROCHE et al., 2013). O grande aporte energético é fundamental para evitar a alta mobilização de gordura corporal, no qual, pode causar desordens metabólicas como cetose e esteatose hepática (fígado gorduroso).

Dieta aniônica

Para promover a maior concentração sanguínea de cálcio no período de transição pós-parto, recomenda-se fornecer dietas enriquecidas com sais aniônicos para diminuir o valor da diferença cátion-aniônica da dieta (DCAD). A dieta aniônica é baseada no conceito de deixar negativo o balanço cátion e ânion da dieta, sendo assim, aumenta a concentração de íons de carga negativa. Esse processo aumenta a sinalização do paratormônio que promove a reabsorção de cálcio dos ossos e aumenta a captação de cálcio no enterócito.

Recomenda-se formular dietas para vacas no período de transição com valores de DCAD de -10 a -15 meq/100 g de matéria seca da dieta. Além disso, o recomendado é fornecer essa dieta por, no mínimo, 15 dias antes do parto para obter o efeito da acidose metabólica na vaca e aumentar a ação do paratormônio.

Vitaminas

Diversos estudos têm evidenciado que a suplementação ideal de vitaminas para vacas no período de transição é benéfica para o sistema imune e, consequentemente, para a

diminuição de ocorrências patológicas nesse período da vida da vaca (SPEARS; WEISS, 2014). As vitaminas lipossolúveis A, D e E devem ser suplementadas em dietas de ruminantes, visto que não há produção dessas vitaminas no rúmen. Além delas, há também a suplementação com biotina, niacina e colina que atuam na prevenção de doenças pelo aumento do status imunológico da vaca.

A exigência de vitamina A em dietas de vacas lactantes é de 110 UI/kg de PC (NRC, 2001). A suplementação desta vitamina é mais empregada para potencializar o sistema imunológico. A prevalência de doenças é menor em vacas suplementadas com esse nível indicado. Estudos com níveis acima desse valor não apresentaram efeito positivo sobre a produtividade e/ou indicadores do status imunológico do animal (SPEARS et al., 2014). Durante o parto, o nível de retinol (molécula derivada da vitamina A) diminui significativamente, porém, quando a vaca é suplementada com níveis adequados (880 UI/kg de PC ou 300 mg/d de β-caroteno) durante o período seco a queda de retinol é menos recorrente (LEBLANC et al., 2004; BERTONI et al., 2008). No entanto, a suplementação excessiva de vitamina A pode diminuir a produção de leite (PUVOGEL et al., 2005). Dessa forma, se atentar ao nível recomendado pelo NRC (2001) é a melhor estratégia ao utilizar essa vitamina.

Em relação à vitamina D, há indicativos de maior eficácia em controle da mastite quando injetada diretamente na glândula mamária. No entanto, existem grandes dificuldades para estimar a exigência dessa vitamina devido à variabilidade de produção de vitamina D na pele do animal, além disso, acredita-se que as recomendações do NRC (2001) estão subestimadas (HYMØLLER et al., 2009). Assim, mais estudos são necessários para avaliar os efeitos da suplementação com vitamina D na produção de leite, status imunológico e controle da mastite.

A vitamina E é uma das vitaminas mais polêmicas na nutrição de vacas leiteiras. Estudos mostram que a função da vitamina E no sistema imunológico é importante, diminuindo a retenção de placenta (POLITIS et al., 2012). Além disso, a baixa concentração de tocoferol no plasma aumenta o risco de deslocamento de abomaso (QU et al., 2013). Atualmente, recomenda-se de 2000 até 4000 UI/d durante o período de transição, valores que estão acima da recomendação do NRC (2001), pois os estudos recentes enfatizam a função imunológica dessa vitamina.

A suplementação com biotina é recomendada para melhorar a saúde do casco de bovinos de maneira geral. Recomenda-se o fornecimento de 10 a 20 mg de biotina por dia (BAMPIDIS et al., 2007; DA SILVA et al., 2010). Estudos relatam o aumento da produção de leite em animais suplementados com biotina, porém, acredita-se que o aumento da produção de leite deve estar relacionado a alguma resposta metabólica direta e não devido a melhoria na saúde dos cascos (LEAN; RABIEE, 2011).

O acréscimo de niacina em dieta de vacas leiteiras é relativamente comum. No entanto, evidências quanto aos efeitos em produtividade ainda não estão claros. Shwab et al. (2005) relatam que a suplementação de 12 g de niacina por dia eleva o conteúdo proteico do leite. A resposta a niacina no início da lactação é maior, porém, as condições nutricionais onde essa resposta é significante ainda não está definida, devido a cerca de 90% da niacina ser degradada no rúmen. Estudos recentes não relatam significativos aumentos em produção de

leite com niacina protegida (YUAN et al., 2011, 2012; ZIMBELMAN et al., 2013), mas redução do efeito de estresse por calor é observado (ZIMBELMAN et al., 2013).

A colina é uma vitamina hidrossolúvel produzida pelos microrganimos ruminais. A classificação da colina como vitamina não é aceita por alguns nutricionistas, especialmente porque essa vitamina é necessária em quantidades maiores do que outras vitaminas, além de ser um componente de fosfolipídios (lecitina) e um neurotransmissor (acetilcolina). A sua demanda pelo animal pode exceder a quantidade produzida no rúmen, especialmente em vacas leiteiras durante o período de transição (MELO, 2016; ARSHAD et al., 2019). A colina tem como funções a participação na síntese de lecitina, esfingomielina e acetilcolina. A lecitina participa da absorção e transporte das gorduras no fígado e da posterior mobilização e transporte das gorduras hepáticas, participa das membranas celulares e partículas subcelulares. Já a esfingomielina participa do metabolismo nervoso e a acetilcolina, que é mediadora da atividade nervosa, é responsável pela transmissão dos impulsos nervosos. A deficiência da colina leva a problemas de mobilização de gordura hepática pela redução das lipoproteínas transportadoras, ricas em lecitina, que contém a colina (ZEOULA; GERON, 2006; ARSHAD et al., 2019).

As bactérias ruminais degradam a maior parte da colina fornecida nas dietas, portanto, recomenda-se que ela seja incorporada à ração na forma protegida (ONDARZA, 2000). A potencial suplementação de colina na nutrição de vacas em período de transição surge como uma medida suplementar de manejo alimentar. Pois evita, ou pelo menos, ameniza a intensidade dos distúrbios metabólicos, devido ao seu papel no metabolismo de lipídeos por ser a precursora de fosfatidilcolina, que por sua vez é necessária para a síntese e exportação de triglicerídeos do fígado (ARSHAD et al., 2019)

A colina pode colaborar na prevenção da cetose, já que sua carência acarreta problemas na mobilização de gordura do fígado, pois na falta de colina há redução de lipoproteínas transportadoras (ZEOULA; GERON, 2006; ARSHAD et al., 2019). A deficiência de colina pode afetar a capacidade das células hepáticas em secretar a gordura acumulada no fígado, por prejudicar a formação de fosfolipídeos estruturais de lipoproteínas transportadoras (BERCHIELLI et al., 2011).

Assim, a grande necessidade de fornecimento de vitaminas para diminuir a incidência de doenças durante o ciclo produtivo da vaca é fundamental para a manutenção dos animais durante toda a lactação e, principalmente, desordens metabólicas em vacas no período de transição.

Monensina e virginiamicina

A monensina é um ionóforo, composto poliéster produzido por diversas espécies de *Streptomyces sp*., atuando sobre bactérias gram-positivas e alterando a microbiota ruminal. Os ionóforos agem alterando o transporte de cátions através das membranas celulares e quando administradas a ruminantes alteram o padrão de fermentação ruminal devido à seleção da microbiota local (BERGEN; BATES, 1984; MORRIS et al., 2018).

As bactérias ruminais gram-positivas estão relacionadas com a produção de acetato, butirato, formato, lactato, hidrogênio e amônia, enquanto bactérias ruminais gram-negativas

estão associadas à produção de propionato e succinato (RUSSEL; STROBEL, 1989). Na presença da monensina, as bactérias gram-negativas se tornam predominantes no rúmen, reduzindo a produção de metano, principalmente pela redução na disponibilidade de hidrogênio e formato. Além disso, ocorre redução na produção de lactato, e consequentemente, minimiza os riscos de ocorrência de acidose ruminal (NOCEK, 1997; MARKANTONATOS; VARGA, 2017).

O uso da monensina também ocasiona alterações no metabolismo de nitrogênio, reduzindo a degradação da proteína ruminal e absorção de amônia, gerando maior proporção de proteína de escape, o que aumenta a digestibilidade total do N e da proporção de N consumido que foi retido (MORAIS et al., 2006). Portanto, a montesina aumenta a eficiência do uso de energia e garante maior aporte de glicose para a produção de leite; auxilia na redução de desordens metabólicas; e melhora a utilização de compostos nitrogenados.

A virginiamicina é um antimicrobiano não ionóforo produzida pela fermentação da bactéria *Streptomyces virginiae*, que age no bloqueio da síntese proteica de bactérias gram positivas produtoras de ácido láctico (*Streptococcus bovis* e *Lactobacillus sp*), responsável pela queda do pH ruminal (NAGARAJA et al., 1987; SUZUKI et al., 1998). Esse antimicrobiano consegue penetrar na parede celular dessas bactérias e no interior da célula age na formação de ligações peptídicas para a síntese proteica bacteriana. Com isso, os processos metabólicos dentro da célula são bloqueados, impedindo a multiplicação da bactéria e causando sua morte (MINGOTI, 2013).

A virginiamicina tem sido incluída na alimentação de vacas em lactação com o intuito de estabilizar a fermentação no rúmen, evitando quedas acentuadas de pH pela rápida fermentação dos carboidratos não fibrosos e diminuindo a variação no consumo de alimentos. A virginiamicina atua também no aumento da eficiência de utilização dos alimentos ingeridos por ruminantes, pois é capaz de reduzir a desaminação proteica no rúmen, causando economia de proteína, aumentando a eficiência do uso de N e compostos nitrogenados não proteicos para serem aproveitados no intestino. Isso acontece porque a virginiamicina atua sobre duas principais bactérias responsáveis pela desaminação de proteínas no rúmen: *Clostridium aminophilum* e *Clostridium stickandii*, que são bactérias gram-positivas. O decréscimo da amônia ruminal em animais confinados com o uso de virginiamicina é resultado da redução na degradação ruminal de peptídeos e na desaminação de aminoácidos (SILVA, 2013).

Em resumo, a virginamicina aumenta a eficiência alimentar, principalmente pela maior proporção de propionato no rúmen, assim como, provoca maior escape de proteína para absorção nos intestinos e pela diminuição da energia perdida na forma do metano (SILVA, 2013). Além disso, a virginiamicina não deixa resíduos no leite ou carne, não necessitando período de carência, tornando a mesma um aditivo atrativo à bovinocultura.

Gordura protegida

A utilização de lipídeos aumenta a concentração energética das dietas, proporcionando diversos benefícios nutricionais (PALMQUIST; MATTOS, 2006; LOHRENZ et al., 2010). O efeito da produção de leite com suplementação de gordura é quadrático, com resposta

decrescente à medida que se aumenta a inclusão de gordura na dieta. A resposta máxima em produção de leite com uso de gordura raramente excede a 3,5 kg/vaca/dia (NRC, 2001).

Quando estão na forma protegida em sais de cálcio contendo ácidos graxos de cadeia longa, os lipídios aumentam seu potencial de absorção intestinal, incrementando a síntese de hormônios esteróides e de fatores de crescimento, com reflexos positivos na foliculogênese ovariana e na taxa de fertilidade (GRESSLER; SOUZA, 2009).

A gordura protegida consiste em uma fonte de ácidos graxos insaturados, sendo normalmente os ácidos linoléico e linolênico protegidos. Os ácidos graxos da gordura protegida passam intactos pelo rúmen e são metabolizados no intestino, onde há melhor aproveitamento de suas características, portanto, com a mesma quantidade de gordura, mas sendo protegida, apresenta um melhor resultado (CERVONI, 2007).

Leveduras

Leveduras são populares devido a aplicabilidade em diversos produtos para consumo humano. Recentemente, o uso de leveduras como um aditivo na dieta de ruminantes tem chamado a atenção de pesquisadores, pois é um aditivo de uso potencial por fornecerem componentes que interagem com as células do sistema imunológico e evita a colonização de bactérias patológicas no trato gastrintestinal, apresentando componentes antioxidantes (PERDOMO et al., 2019)

Produtos derivados da parede celular de *Sacharomyces cerevisiae* são moduladores de células do sistema imunológico de vacas. Esses polissacarídeos (β-D-glicanos e D-glicanos) atuam como estimuladores de liberação de citocinas pró-inflamatório nos macrófagos, assim, potencializando a função imunológica de vacas que estão submetidas a situações de estresse durante o período de transição, como mudanças de lote, manejo pós-parto ou estresse nutricional (MAJTÁN et al., 2005).

Efeitos no desempenho e metabolismo também são descritos na literatura. Estudos relatam que o fornecimento de leveduras eleva o consumo de matéria seca no início da lactação, auxilia na manutenção do pH ruminal e melhora a digestibilidade de nutrientes de maneira geral (CALLAWAY et al., 1997; DANN et al., 2000; PERDOMO et al., 2019). Em animais suplementados com leveduras foi observado aumento de bactérias celulolíticas e amilolíticas, aumentando a proporção acetato:propionato (KUMAR et al., 1997).

Associando tanto a atuação no metabolismo nutricional e imunológico, pode-se concluir que o efeito da suplementação de levedura para vacas no período de transição é viável para melhorar a saúde ruminal. Adicionalmente, melhora a digestibilidade, a eficiência energética no metabolismo, o consumo de matéria seca e diminui o efeito do BEN no início da lactação. No entanto, o uso deve ser cautelosamente analisado devido ao custo de obtenção deste aditivo.

Manejo alimentar em sistemas de produção com ordenha robotizada

A ordenha robotizada é uma tecnologia que tem apresentado considerável crescimento em sistemas intensivos de produção de leite. No entanto, é uma novidade ainda para os

padrões de produção no Brasil e, necessita de melhores evidências quanto aos ajustes do manejo alimentar em propriedades que utilizam este sistema.

A estratégia alimentar de vacas leiteiras é um dos maiores desafios em sistemas de ordenha robotizada. A rotina de alimentação dos animais submetidos a esse sistema é baseada no fornecimento de *partial mixed ration* (PMR) na linha de cocho e acréscimo de concentrado durante a ordenha de acordo com a produção de leite. O concentrado durante a ordenha é uma estratégia para atrair os animais voluntariamente até a ordenha, pois o concentrado é o principal estímulo para os animais (PRESCOTT et al., 1998; RODENBURG, 2011; HOGEMBOOM et al., 2019).

Além disso, a dinâmica de alimentação deve ser bem planejada para evitar o baixo consumo de PMR no cocho, como também, excesso de sobra de concentrado durante a ordenha. O ajuste da dieta deve ser feito sempre considerando o PMR e o concentrado fornecido na ordenha. Estudos indicam que o fornecimento de concentrado durante a ordenha deve estar entre 2,0 – 8,0 kg/vaca/dia. Bach et al. (2007) relatam que o excesso de concentrado na ordenha diminui o consumo de PMR sem acréscimo na produtividade, ou seja, a vaca que consome concentrado na ordenha excessivamente apresenta menor eficiência.

A densidade de energética do PMR e consumo de concentrado na ordenha apresentam correlação positiva com a produção de leite (PENNER et al., 2017). Experimentos mostram que fornecer pouco concentrado e ajustar a PMR como a mais expressiva fonte de energia na dieta dos animais há aumento da produção de leite. No entanto, o ajuste de fornecimento de concentrado é fundamental para otimizar a frequência de visitas do animal à ordenha. Adicionalmente, o fornecimento de ingredientes de alta palatabilidade estimula ainda mais as visitas à ordenha. Sendo assim, o balanceamento correto da composição do PMR e do concentrado fornecido na ordenha deve ser cautelosamente ajustado para evitar perdas e potencializar a produção.

Referências

ARSHAD, U.; ZENOBI, M.G.; STAPLES, C.R.; SANTOS, J.E.P., 2019. Meta-analysis of the effects of supplemental rumen-protected choline during the transition period on performance and health of parous dairy cows. Journal of Dairy Science, v.103, p.282-300. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16842.

BACH, A.; IGLESIAS, C.; CALSAMIGLIA, S.; DEVANT, M., 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. Journal of Dairy Science, v.90, p.5049–5055.

BAMPIDIS, V. A.; LYMBEROPOULOS, A. G.; CHRISTODOULOU, V.; BELIBASAKI, S., 2007. Impacts of supplemental biotin on lameness in sheep. Animal Feed Science and Technology, v.134, p.162–169.

BERCHIELLI, T.T.; VEGA-GARCIA, A.; OLIVEIRA, S.G., 2011. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds). Nutrição de Ruminantes. 2.ed. Jaboticabal: Funep.

BERGEN, W.G.; BATES, D.B., 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and made of action. Journal of Animal Science, v.58, p.1465-1483.
BERGEN, W.G.; BATES, D.B., 1984. Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. Journal of Animal Science, v.58, p.1465-1483.

BERTONI, G.; TREVISI, E.; HAN, X.; BIONAZ, M., 2008. Effects of inflammatory conditions on liver activity in puerperium period and consequences for performance in dairy cows. J**ournal of** Dairy Science**,** v.91, p.3300–3310.

CABRERA, V.E. Grouping Strategies for Feeding Lactating Dairy Cattle. Dairy management UW Extension, Madison, WI. 2011.
CALLAWAY, E.; MARTIN, S., 1997. Effects of a saccharomyces cerevisiae culture on ruminal bacteria that utilize lactate and digest cellulose. Journal of Dairy Science, v.80, p.2035–2044.
CERVONI, J.E. Gordura protegida na alimentação de ruminantes. n° art. 240506. Londrina: 2006. Disponível em:<http://www.limousin.com.br/>. Acesso em: 30 out 2019.

DA SILVA, L.A.; FRANCO L.G.; ATAYDE I.B.; DA CUNHA P.H.; DE MOURA M.I.; GOULART D.S., 2010. Effect of biotin supplementation on claw horn growth in young, clinically healthy cattle. Canadian of Veterinary Journal, v.51, p.607–610.

DANN, H.; DRACKLEY, J.; MCCOY, G.; HUTJENS, M.; GARRETT, J., 2000. Effects of yeast culture (Saccharomyces cerevisiae) on prepartum intake and postpartum intake and milk production of jersey cows. Journal of Dairy Science, v.83, p.123–127.

DANN, H.M.; LITHERLAND, N.B.; UNDERWOOD, J.P.; BIONAZ, M.; D'ANGELO, A.; MCFADDEN, J.W.; DRACKLEY, J.K., 2006. Diets during far-off and close-up dry periods affect periparturient metabolism and lactation in multiparous cows. Journal of Dairy Science, v.89, p.3563–3577.

DEVRIES, T.J.; VON KEYSERLINGK, M.A.G.; BEAUCHEMIN, K.A., 2005. Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, v.88, p.3553-3562.

DOUGLAS, G.N.; OVERTON, T.R.; BATEMAN, H.G.; DANN, H.M.; DRACKLEY, J.K., 2006. Prepartal plane of nutrition, regardless of dietary energy source, affects periparturient metabolism and dry matter intake in Holstein cows. Journal of Dairy Science, v.89, p.2141–2157.

DRACKLEY, J.K. Lipid metabolism, In: D'MELLO, J.P.F. Farm animal metabolism and nutrition. Edinburg. UK: CAB International. p.97-119, 2000.
DRACKLEY, J.K.; CARDOSO, F.C., 2014. Prepartum and postpartum nutritional management to optimize fertility in high-yielding dairy cows in confined TMR systems. Animal, v.8, p.5–14.

DRACKLEY, J.K.; DANN H.M.; DOUGLAS, G.N.; JANOVICK GURETZKY, N.A.; LITHERLAND, N.B.; UNDERWOOD, J.P.; LOOR, J.J., 2005. Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. Ital. Journal of Animal Science, v.4, p.323-344.

FRENCH, N.; KENNELLY, J.J., 1990. Effects of feeding frequency on ruminal parameters, plasma insulin, milk yield, and milk composition in Holstein cows. Journal of Dairy Science, v.73, p.1857-1863.
GIBSON, D.T. Microbial degradation of organic compounds. Marcel Dekker Inc., 1984.
GRESSLER, M.A.L.; SOUZA, M.I.L., 2006. Efeitos da suplementação com gordura protegida sobre a foliculogênese ovariana de ruminantes. Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.3, p.70-79.
HOGENBOOM, J.A.; PELLEGRINO, L.; SANDRUCCI, A.; ROSI, V.; D'INCECCO, P., 2019. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. Journal of Dairy Science, v.102, p.7640-7054.

HYMØLLER, L.; JENSEN, S.K.; LINDQVIST, H.; JOHANSSON, B.; NIELSEN, M.O.; NADEAU, E.M.G., 2009. Supplementing dairy steers and organically managed dairy cows with synthetic vitamin D3 is unnecessary at pasture during exposure to summer sunlight. Journal of Dairy Science, v.76, p.372–378.

JANOVICK, N.A.; BOISCLAIR, Y.R.; DRACKLEY, J.K., 2011. Prepartum dietary energy intake affects metabolism and health during the periparturient period in primiparous and multiparous Holstein cows. Journal of Dairy Science, v.94, p.1385–1400.

JANOVICK, N.A.; DRACKLEY, J.K., 2010. Prepartum dietary management of energy intake affects postpartum intake and lactation performance by primiparous and multiparous Holstein cows. Journal of Dairy Science, v.93, p.3086–3102.

JENKINS, T.C., 1993. Lipid metabolism en the rumen. Symposium: Advances in ruminant lipid metabolism. Journal of Dairy Science, v.79, p.3851 3863.
KNOX, K.L.; WARD, G.M., 1961. Rumen concentrations of volatile fatty acids as affected by feeding frequency. Journal of Dairy Science, v.44, p.1550-1553.
KUMAR, U.; SAREEN, V.K.; SINGH, S., 1997. Effect of yeast culture supplement on ruminal microbial populations and metabolism in buffalo calves fed a high roughage diet. Journal of Science Food Agricultural, v.73, p.231–236.

LEAN, I.J.; RABIEE, A.R., 2011. Effect of feeding biotin on milk production and hoof health in lactating dairy cows: A quantitative assessment. Journal of Dairy Science, v.94, p.1465–1476.

LEBLANC, S.J.; HERDT, T.H.; SEYMOUR, W.M.; DUFFIELD, T.F.; LESLIE K.E., 2004. Peripartum serum vitamin E, retinol, and betacarotene in dairy cattle and their associations with disease. Journal of Dairy Science, v.87, p.609–619.

LOHRENZ, A.K.; DUSKE, K.; SCHNEIDER, F.; NÜRNBERG, K.; LOSAND, B.; SEYFERT, H.M.; METGES, C.C.; HAMMON, H.M., 2010. Milk performance and glucose metabolism in dairy cows fed rumen-protected fat during mid lactation. Journal of Dairy Science, v.93, p.5867-5876.

MACMILLAN, K.; GAO, X.; OBA, M., 2017. Increased feeding frequency increased milk fat yield and may reduce the severity of subacute ruminal acidosis in higher-risk cows. Journal of Dairy Science, v.100, p.1045-1054.

MAJTÁN, J.; KOGAN, G.; KOVÁCOVÁ, E.; BÍLIKOVÁ, K.; SIMUTH, J., 2005. Stimulation of TNF-alpha release by fungal cell wall polysaccharides. Zeitschrift für Naturforschung C., v.60, p.921–926. Doi: 10.1515/znc-2005-11-121.

MANTYSAARI, P.; KHALILI, H.; SARIOLA, J., 2006. Effect of feeding frequency of a total mixed ration on the performance of high-yielding dairy cows. Journal of Dairy Science, v.89, p.4312-4320.

MARKANTONATOS, X.; VARGA, G.A., 2017 Effects of monensin on glucose metabolism in transition dairy cows. Journal of Dairy Science, v.100, p.9020-9035.

MELO, C.M. Efeitos da suplementação da colina protegida ruminalmente em vacas leiteiras no período de transição. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná. UFPR, Curitiba-PR. 2016.

MILLER, K.; WOOD-GUSH, D.G.M., 1991. Some effects of housing on the social behaviour of dairy cows. Animal Science, v.53, p.271-278.

MINGOTI, R.D. Desempenho produtivo, digestão e metabolismo de vacas leiteiras alimentadas com diferentes concentrações de quitosana nas dietas. 2013. 107f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, Pirassununga-SP. 2013.

MORAIS, J.A.S.; BERCHIELLI, T.T.; REIS, R.A., 2018. Aditivos. In: Nutrição de Ruminantes. BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. FUNEP. Jaboticabal. p. 539-570. 2006.

MORRIS, D.L.; KIM, S.H.; LEE, C. Effects of corn feeding reduced-fat distillers grains with or without monensin on nitrogen, phosphorus, and sulfur utilization and excretion in dairy cows. Journal of Dairy Science, v.101, p.7106-7116.

NAGARAJA, T.G.; TAYLOR, M.B.; HARMAN, D.L.; BOYER, J.E., 1987. In vitro lactic acid inhibition and alterations in volatile fatty acid production by antimicrobial feed additives. Journal of Animal Science, v.65, p.1064-1076.

NOCEK, J.E. Bovine acidosis: implications on laminitis. Journal of Dairy Science, v.80, p.1005-1028, 1997.

NOCEK, J.E; BRAUND, D.G., 1985. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate, and milk yield in first lactation. Journal of Dairy Science, v.68, p.2238-2247.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of dairy cattle. 7ª ed., Washington: National Academy Press, 381p., 2001.

ONDARZA, B.M., 2000. Starch digestibility. [S.I.:Sn]. Disponível em: http://www.farme.com Acesso em: out. 2019.

PALMQUIST, D.L.; MATTOS, W.R.S. Metabolismo de lipídeos. In: Berchielli, T.T.; Pires, A.V; Oliveira S.G. Nutrição de ruminantes. 1° ed., Jaboticabal: FUNEP, 2006. cap10:287-310.

POLITIS, I.; THEODOROU, G.; LAMPIDONIS, A.D.; KOMINAKIS, A.; BALDI, A., 2012. Short communication: Oxidative status and incidence of mastitis relative to blood α-tocopherol concentrations in the postpartum period in dairy cows. Journal of Dairy Science, v.95, p.7331–7335.

PENNER, G.; MENAJOVSKY, S.; PADDICK, K., 2017. Optimal Fedding Programs with Automated Milking Systems (AMS). WCDS Advances in Dairy Technology, v.29, p.339-354.

PERDOMO, M.C.; MARSOLA, R.S.; FAVORETO, M.G.; ADESOGAN, A.; STAPLES, C.R.; SANTOS, J.E.P., 2019. Effects of feeding live yeast at 2 dosages on performance and feeding behavior of dairy cows under heat stress. Journal of Dairy Science, v.103, p.325-339. Doi: 10.3168/jds.2019-17303.

PRESCOTT, N.B.; MOTTRAM, T.T.; WEBSTER A.J.F., 1998 Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system. Applied Animal Behaviour Science, v.57, p.23–33.

PUVOGEL, G.; BAUMRUCKER, C.R.; SAUERWEIN, H.; RUHL, R.; ONTSOUKA, E.; HAMMON H.M.; BLUM J.W., 2005. Effects of an enhanced vitamin A intake during the dry period on retinoids, lactoferrin, IGF system, mammary gland epithelial cell apoptosis, and subsequent lactation in dairy cows. Journal of Dairy Science, v.88, p.1785–1800.

QU, Y.; LYTLE, K.; TRABER, M.G.; BOBE, G., 2013. Depleted serum vitamin E concentrations precede left displaced abomasum in early-lactation dairy cows. Journal of Dairy Science, v.96, p.3012–3022.

RODENBURG, J. Designing feeding systems for robotic milking. Proc Tristate Dairy Nutrition Conference. pp.127-136, 2011.

ROCHE, J.R.; BELL, A.W.; OVERTON, T.R.; LOOR, J.J., 2013. Nutritional management of the transition cow in the 21st century—A paradigm shift in thinking. Animal Production Science, v.53, p.1000–1023.

RUSSEL, J.B.; STROBEL, H.J., 1989. Mini-Review: The effect of ionophores on ruminal fermentation. Aplied Environmental Microbiological, v.55, p.1-6.

SCHWAB, E.C.; CARAVEILLO, D.Z.; SHAVER, R.D., 2005. Review: A meta-analysis of lactation responses to supplemental dietary niacin in dairy cows. The Professional Animal Scientist, v.21, p.239–247.

SILVA, R.C. Suplementação da dieta de vacas leiteiras mantidas em pastagens com virginiamicina e soja crua tostada. 2013. 60f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal-SP. 2013.

SPEARS, J.W.; WEISS W.P., 2014. Invited Review: Mineral and vitamin nutrition in ruminants. The Professional Animal Scientist, v.30, p.180-191.

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed., Cornell University Press, New York, 476 pp., 1994.

YUAN, K.; SHAVER, R.D.; ESPINEIRA, M.; BERTICS S.J., 2011. Effect of a rumen-protected niacin product on lactation performance by dairy cows during summer in Wisconsin. The Professional Animal Scientist, v.27, p.190–194.

ZEOULA, L.M.; GERON, L.J.V. Vitaminas. In: BERCHIELLI, T.T.; et al. (Eds). Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 583p.

ZIMBELMAN, R.B.; COLLIER, R.J.; BILBY, T.R., 2013. Effects of utilizing rumen protected niacin on core body temperature as well as milk production and composition in lactating dairy cows during heat stress. Animal Feed Science and Technology, v.180, p.26–33.

Capítulo 7

Antioxidants and fat for the dairy cow: the example of flax

Hélène V. Petit

Abstract

This manuscript presents a source of fatty acids and antioxidants as a way to alleviate the main problems decreasing productivity of dairy cows (e.g. fatty liver syndrome and poor fertility) and how these components could enhance it. High producing dairy cows are prone to oxidative stress, and the situation can be exacerbated under certain environmental, physiological, and dietary conditions. Antioxidants have important effects on the expression of genes involved in the antioxidant status, which may enhance animal health and reproduction. Plant lignans are strong antioxidants and flax is the richest source of plant lignans. Flax lignans are converted in the mammalian lignans enterolactone and enterodiol. The main mammalian lignan in milk is enterolactone and flax lignans are converted in enterolactone mainly under the action of ruminal microbiota. Enterolactone from milk enriched in enterolactone is absorbed by the preruminant calf, which could have beneficial effects on health. However, more research is required to improve our knowledge on metabolism of other antioxidants in dairy cows and how they can contribute to improve health.

Pass-word: Dairy cows. Enterodiol, Enterolactone, Lignans,Oxidative stress

Introduction

The transition period, from 3 wk before to 3 wk after parturition, has important effects on health, production, and profitability of dairy cows. During this period, intake of energy does not meet the requirements for milk production, which results in negative energy balance. In early lactation, excessive lipid mobilization from adipose tissue, muscle, and other tissues occurs to support requirements for maintenance and milk production. Body fat mobilization induces an increase in plasma non-esterified fatty acids (NEFA) uptake by the liver, a greater fatty acid (FA) esterification than FA oxidation, triglycerides (TG) accumulation leading to the development of fatty liver, inadequate gluconeogenesis (for review: see Drackley, 1999), and decreased ureagenesis (Strang et al., 1998). The concentration of NEFA is the major determining factor of TG accumulation in the ruminant liver. Circulating NEFA concentrations are absorbed by the liver where some are reesterified to TG before being secreted in blood as very low density lipoproteins (Herdt et al., 1988). However, when the

intrahepatic NEFA concentrations increase very rapidly as a result of intensive lipolysis, the liver cannot increase the production of very low density lipoproteins comparable with the production of TG synthesis. As a consequence, the liver accumulates a greater amount of TG, resulting in aberrant hepatic function, lower productivity, reduced feed intake, and poor reproductive performance in dairy cows (Herdt, 1988). Generation of free radicals during peroxidation of essential FA in the lipid membranes can damage cells and impair the production and health status of the animal (Miller and Brezeinska-Slebodizinska, 1993). Fertility of cows with fatty liver syndrome is generally poor. Dairy cow fertility is actually undergoing a steady decline with first service conception rates below 50% in most herds and an estimated 1% decrease in conception rate every year, which is coupled with increased milk yield (Lamming et al., 1998). In Canada, we observe high involuntary culling rates (34%), a cost due to increased embryo mortality (Plaizier et al., 1997) and poor conception rates (Kinsel and Etherington, 1998) as well as a negative relationship between production and infertility (Etherington et al., 1996). In order to improve fertility and the energy balance of cows after calving, fat sources are often used to increase the energy density of the diet. However, dietary lipids such as supplemental fat, oil seeds, and distiller grains, if not stabilized, can be significant contributors to the load of free radicals in the animal (Andrews et al., 2006). Decreased performance, increased gut turnover, and compromised immune response have been reported in production animals fed oxidized fat (Cabel et al., 1988; Dibner et al., 1996). Over the past 10 years it has become evident that FA can regulate cellular functions by modulating gene expression (Grimaldi, 2001). Moreover, it is now well accepted that omega 3 and omega 6 FA play pivotal roles in transcription of genes involved in lipogenesis, glycolysis, glucose transporters, inflammation, early gene expression and vascular cell adhesion molecules (Clarke, 2001). Some antioxidants such as sesamin lignans also increase the expression of genes involved in oxidation of rats (Kiso, 2004). As flaxseed is rich in plant lignans antioxidants, they could enhance health of animals. In fact, flaxseed antioxidants enhance the endogenous level response by upregulating the expression of genes encoding the enzymes such as superoxide dismutase, catalase, and peroxidase (Rajesha et al., 2006), which are involved in the antioxidant status. Our results (Côrtes et al., 2012) have shown that flaxseed hulls, a rich source of plant lignan antioxidants (Prasad, 2000), affect the expression of genes involved in oxidative stress in the mammary gland, which may contribute to improve animal health and reproduction. Oxidative metabolism is essential for survival of cells. A side effect of this dependence is the production of free radicals and other reactive oxygen species that cause oxidative changes. High producing dairy cows are prone to oxidative stress, and the situation can be exacerbated under certain environmental, physiological, and dietary conditions (Bernabucci et al., 2005; Castillo et al., 2005). However, specific feeding strategies may contribute to enhance immunity and the antioxidant status as shown by the decrease in the proliferative response of mononuclear cells transiently at the time of embryo implantation in dairy cows fed whole flaxseed (Lessard et al., 2003). Moreover, inclusion of antioxidants in the diet ameliorates the negative effects of oxidized fat by scavenging peroxides and reducing peroxidation of FA (Frankel, 2005) and enhances lactation performance and antioxidant status of cows (Vázquez-Añón et al., 2008). Supplementation with antioxidants before the beginning of months of heat-stress and also

during the stress period may correct the infertility due to heat-stress through decreased cortisol secretion and oxidative stress, resulting in enhanced pregnancy rates (Megahed et al., 2008). Moreover, strong positive correlations between several antioxidant enzymes (e.g. glutathione peroxidase) and vascular adhesion molecules suggest a protective response of antioxidants to an enhanced proinflammatory state in transition dairy cows (Aitken et al., 2009). Antioxidants then could contribute to enhance mechanisms against oxidative stress with various immunity, reproduction, and health benefits.

Fatty acids and prostaglandins secretion

Supplementary fats are likely to affect fertility because FA are the precursors both of prostaglandins (PG) and, via cholesterol, the steroid hormones. Lucy et al. (1992) suggested that it was FA, not the additional energy provided by the FA that stimulated ovarian function. There are two main families of essential FA, termed omega-3 and omega-6 FA that could affect fertility. The main source of omega-6 FA is dietary linoleic acid (C18:2n-6), and this is converted to arachidonic acid (C20:4n-6), which *inter alia* is the precursor of the dienoic (2-series) PG, such as PGF2α. The same elongase and desaturase enzymes also convert the main dietary omega-3 FA (α-linolenic acid; C18:3n-3) to eicosapentaenoic acid (EPA; C20:5n-3), the precursor of the trienoic (3-series) PG, such as PGF3α (Abayasekara and Wathes, 1999). Competition between omega-3 and omega-6 precursors for desaturation and elongation, as well as at the site of PG synthetase, means that increasing the supply of omega-3 FA will decrease production of dienoic PG (Barnouin and Chassagne, 1991). In many cases the trienoic PG have lower biological activity than the corresponding dienoic PG (Fly and Johnston, 1990), and this may directly affect aspects of fertility. For example, treatments that reduce ovarian and endometrial synthesis of PGF2α, at the expense of PGF3α, may contribute to a reduction in embryonic mortality (Mattos et al., 2000). There is some evidence for different effects of α-linolenic acid and the omega-3 FA from fish oil (EPA and docosahexaenoic acid [DHA], C22:6n-3) on eicosanoid (interleukin) synthesis, perhaps because of differences in the way in which these FA incorporate into cell membranes (Wu et al., 1996). Supplementary fats can also reduce the total synthesis of PG by affecting the activity of PG synthase (Thatcher et al., 1995).

Feeding a source of omega-3 FA as flaxseed compared to a source of calcium salts of palm oil (Megalac®) has increased conception rate of dairy cows (Petit et al., 2001). Positive effects of fats on reproductive function are thought to occur through increased energy balance (Butler and Smith, 1989), increased concentrations of cholesterol and progesterone in plasma (Carroll et al., 1990), changes in follicle dynamics in the ovary (Lucy et al., 1991), and alterations in PG secretion (Wathes et al., 1998). In our experiment (Petit et al., 2002), cows had similar dry matter intake, milk yield, and body weight, suggesting that energy balance was not responsible for effects. Moreover, cholesterol concentrations were similar for all cows, apart from those that received infusions of flaxseed oil, suggesting that it was not significant in the normal diets of the current and previous experiment. We have shown that the release of PGFM in response to a standard oxytocin challenge was lower for cows in which diets led to a marked decrease in the omega-6/omega-3 FA ratio in milk (diets with flax

products). This could contribute to improved gestation rates, as would the increased corpus luteum diameter of cows that received moderate amounts of dietary omega-3 FA.

Dietary FA can influence immunity through the production of cytokines and molecules involved in the regulation of immune responses. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated FA (PUFA) are important immunomodulators of immune reactions (Miles and Calder, 1998). Human and animal studies have provided a great deal of evidence that feeding plant or fish oil rich in omega-3 FA alters the production of cytokines and the functional properties of macrophages, lymphocytes, and other immunocompetent cells (Calder et al., 2002; Yaqoob and Calder, 1995). One possible explanation of the mechanism is related to the synthesis of eicosanoids such as PG and leukotrienes. Omega-6 FA such as linoleic acid (C18:2n6) and omega-3 FA such as α-linolenic acid(C18:3n3) lead to the formation of arachidonic acid and EPA, respectively. Both arachidonic acid and EPA are precursors of eicosanoids, but those that are synthesized from eicosapentaenoic acid do not have as strong biological activity as do those produced from arachidonic acid (Yaqoob and Calder, 1995). As a result, feeding plant or fish oil rich in omega-3 PUFA generally reduces inflammatory reactions and production of interleukin (IL)-1,IL-6, and tumor necrosisfactor (TNF)-α in different animal species, including human. However, many contradictory observations have been reported (Calder et al., 2002). In dairy cattle, whole flaxseed, which is a good source of omega-3 FA, have modified PG secretion and reproduction in dairy cows (Petit et al., 2002). This would suggest that flaxseed could also have an effect on other parameters influenced by secretion of PG such as immunity. Indeed, Lessard et al. (2006) have shown that during the breeding period, blood concentration of prostaglandin E2 was reduced in cows fed flaxseed compared with those fed calcium salts of palm oil, Megalac, or micronized soybeans while progesterone concentration was increased in cows fed flaxseed compared with those fed Megalac. Moreover, after calving and breeding, lymphocyte proliferative responses of cows fed flaxseed were transiently reduced compared with those fed Megalac or micronized soybeans, suggesting that dietary composition of FA affect the functional properties of lymphocytes in dairy cows and contribute to improve the establishment of pregnancy (Lessard et al., 2003).

Fatty acids and health

Experiments have demonstrated that dietary fat induces metabolic changes in laboratory rodents such as increased peroxisomal and mitochondrial β-oxidation of FA (Kumamoto and Ide, 1998), decreased esterification of FA (Malewiak et al., 1988), and altered profiles and clearance of plasma lipoproteins (Lambert et al., 1998). Most of these changes in lipid metabolism of rodents were observed during starvation or negative energy balance, which would be similar to the negative energy balance occurring after calving. These data suggest that feeding a source of saturated FA increased the risk of fatty liver in the transition cow compared with feeding no lipids or whole flaxseed. Feeding flaxseed compared with no lipids or a source of saturated FA from 6 wk before calving could be a useful strategy to increase liver concentrations of glycogen and decrease liver concentrations of triglycerides after calving, which may prevent the development of fatty liver in the transition dairy cow (Petit et al., 2007). Our recent results (Fortin et al., 2017) have shown that addition of linoleic

acid and α-linolenic acid to an in vitro precision-cut liver slices culture media lowers hepatic lipogenic gene expression and increases oxidative damages to lipids. On the other hand, addition of the antioxidant enterolactone prevents oxidative damages provoked by these PUFA (Fortin et al., 2017). Therefore, flaxseed may contribute to decrease FA accumulation in the liver as a result of its content in both omega-3 FA and enterolactone (i.e., an antioxidant).

Metabolism of flaxseed lignans

Flaxseed (*Linum usitatissimum*) is an excellent source of polyunsaturated oil in the form of α-linolenic acid and is the richest source of plant lignans (Thompson et al., 1991). Lignans are one of the three main classes of polyphenolic compounds with isoflavones and coumestans and they are classified as phytoestrogens (Stopper et al. 2005). Lignans have a wide range of biological activities, including antioxidant, antitumor, weakly estrogenic and antiestrogenic properties. Greater intakes of flaxseed by human have been linked to potential health benefits, especially in the prevention of cardiovascular diseases, hypercholesterolemia, monopausal symptoms, and breast and prostate cancers (Thompson and Ward, 2002). The study of Saarinen et al. (2008) on the distribution of absorbed lignans in rat models fed 3H-secoisolariciresinol diglucoside showed the presence of lignans in liver, kidney, breast tumors, spleen, skin, lung, brain, uterus and adipose tissues. This indicates that lignans may have local effects in tissues such as tumor tissue that may contribute to human breast cancer prevention. Secoisolariciresinol diglucoside represents over 95 % of the total lignans in flaxseed (Liu et al., 2006). Flax lignans are concentrated in the outer fibre-containing layers (Adlercreutz and Mazur, 1997), thus resulting in higher concentration of SDG in hulls than seeds (Côrtes et al., 2008). In non-ruminant animals, SDG is converted into secoisolariciresinol (SECO) under the action of intestinal glycosidases (Saarinen et al., 2002) and the colonic microbiota convert SECO to mammalian lignans, enterodiol (ED) and enterolactone (EL; Setchell et al., 1980). Mammalian lignans are absorbed by the intestine and under the action of specific enzymes they are conjugated as sulphates and glucuronides in the intestinal wall and liver (Guus et al., 2005). They are excreted in physiological fluids (e.g. plasma and urine) or returned to the intestinal lumen via enterohepatic circulation (Hoikkala et al., 2003). The conjugated forms of mammalian lignans are poorly absorbed by the intestine; deconjugation increases the hydrophobicity of lignans and allows their reabsorption. The mammalian lignans are more resistant to cellular enzymes but are readily cleaved by microbial â-glucuronidase. This enzyme plays an important role for optimal absorption of mammalian lignans (Raffaelli et al., 2002). Variation in intestinal microflora also plays an important role in the interindividual variation metabolism of secoisolariciresinol diglucoside (Raffaelli et al., 2002). Moreover, there is a fivefold increase in urine excretion of EL in rats fed pure EL compared with those fed plant lignans (Saarinen et al., 2002), suggesting that absorption of mammalian lignans is higher than that of plant lignans. Milk with an elevated EL content may then be interesting as a dietary source of EL and an excellent strategy to optimize the effects of lignans on human health. Indeed, milk bioactive molecules may find use in the treatment of various diseases such as oxidative stress and immunodeficiency

(Haque et al., 2009). The flaxseed lignan and its mammalian metabolites have been reported to exert protective effects against diet related chronic diseases through a variety of mechanisms including antioxidant effects. This is of particular interest as many chronic diseases are characterized by an oxidative stress component (Pool-Zobel et al., 2000). Prasad (2000) reported that millimolar concentrations of SECO, ED, and EL inhibited reactive oxygen species-initiated chemiluminescence following an *in vitro* incubation of venous blood. Greater amounts of mammalian lignans reaching the mammary gland also could contribute to increase milk yield as greater *in vitro* proliferation of mammary epithelial cell of prepubertal heifers has been reported with the mammalian lignan EL addition in the culture media (Purup et al., 2002), thus suggesting a possible role of EL on mammary development and lactation in cattle. Different studies have confirmed the presence of polyphenolic compounds such as equol, daidzein, and genistein (Bannwart et al., 1988; King et al., 1998) and mammalian lignan EL (Petit et al., 2005) in the milk of dairy cows. Feeding flax meal to dairy cows resulted in a linear increase of EL concentration in milk but ED was not detected (Petit and Gagnon, 2009). In non-ruminant animals, intestinal fermentation plays important role in the metabolism of plant lignans to mammalian lignans, ED and EL. Recent *in vitro* results have shown that the main mammalian lignan metabolite produced from flax hulls by ruminal microbiota of dairy cows was EL, while fecal microbiota led mainly to the net production of ED (Côrtes et al., 2008). Other *in vivo* results have reported that ruminal microbiota of goats convert SDG to ED and EL, and that EL is the main lignan metabolite present in ruminal fluid and plasma (Zhou et al., 2008). However, feeding polyunsaturated FA is known to modify ruminal microbiota (Maia et al., 2007), which could interfere with the ruminal metabolism of flax lignans, affecting the concentration of its metabolites in biological fluids. Therefore, the common practice of feeding supplemental sources of polyunsaturated FA may interact with the metabolism of antioxidants in the rumen and requires more research.

Absorption of flax antioxidants and transfer in milk

Feeding incremental amounts of flaxseed meal to dairy cows linearly increased the milk concentration of EL, but no ED was detected in milk (Petit et al., 2009). Therefore, EL enriched milk has the potential to be used as a source of EL for humans not only because milk is consumed by a large part of the world population, but also due to a poor and variable intake of plant lignans worldwide (de Kleijn et al., 2001). Newborn calves often experience diarrhea, respiratory diseases, and oxidative stress, which contribute to high rates of morbidity and mortality during the first weeks of life (Inanami et al., 1999; Gaál et al., 2006; Uetake, 2013). In addition, poor colostrum quality is associated with low concentration of antioxidants (Maciej et al., 2015), suggesting that feeding EL-enriched milk to newborn and preweaned calves may be a viable strategy to mitigate oxidative stress. Ghedini et al. (2017 The mammalian lignan enterolactone is absorbed by newborn dairy calves fed enterolactone-enriched milk C.P. Ghedini,* N.L. Whitehouse, D.C. Moura, A S. Oliveira, and A. F. Brito. J. Dairy Sci. 100:8170–8175) carried out an experiment with preruminant calves. On d 5 of life, calves were randomly assigned to 1 of 2 treatments: low milk EL (L-EL; n = 5 females and 5 males) or high milk EL (H-EL; n = 5 females and 5 males). Calves assigned to the H-EL

treatment had milk replacer substituted for 2 L of EL-enriched milk during the morning feeding on d 5 of life, whereas L-EL calves continued to receive 2 L of milk replacer per feeding until d 7. Administration of milk replacer resumed at 1900 h on d 5 for H-EL calves and continued through d 7. All calves completely consumed the milk replacer or EL-enriched milk within 5 min after the meal was offered. The EL-enriched milk used in their study was collected over 3 consecutive afternoon milkings (total = 28 kg) from 1 multiparous Jersey cow fed a TMR containing (DM basis) 15% flaxseed meal and 12% liquid molasses (Ghedini et al., 2016). The area under the curve for the plasma concentration of EL was greater in high- (26 nmol/L × h) than low-EL calves (4.30 nmol/L × h). Similarly, the maximum concentration of EL in plasma was greater in high- (5.06 nmol/L) versus low-EL calves (1.95 nmol/L). Furthermore, the time after treatment intake to reach maximum plasma concentration of EL was faster in high- (4.31 h) compared with low-EL (4.44 h) treatment. Calves were able to absorb EL, indicating that EL-enriched milk can potentially be used as source of EL to pre-weaned ruminants. Based on the pharmacokinetics data of EL derived from newborn dairy calves, consumption of EL-enriched milk in combination with other lignan-rich foods could have potential health benefits for humans.

Conclusions

Any injuries to cells can alter various animal functions such as immunity and fertility and may have negative effects on productivity of dairy cows. Animals in transition period or challenged with stress (e.g. heat and shipping) may benefit of a feeding strategy including antioxidants to inhibit free radical attacks and enhance the antioxidant status. As supplementation with polyunsaturated FA increases susceptibility to oxidation, it is even more important to include antioxidants in the diet of animals fed these fat sources. The rumen is highly involved in metabolism of plant lignan antioxidants, suggesting that other antioxidants might be similarly affected by ruminal microbiota. Therefore, ruminal microbiota may be the most important flora to target for plant lignan metabolism in order to increase concentration of mammalian lignan antioxidants (e.g. EL) in milk of dairy cows. However, more research is required to improve our knowledge on metabolism of other antioxidants and their beneficial effects on animals and humans.

References

ABAYASEKARA, D.R.E.; WATHES, D.C., 1999. Effects of altering dietary fatty acid composition on prostaglandin synthesis and fertility. Prostaglandins, Leukotrienes & Essential Fatty Acids Journal, v.61, p.275–287.

ADLERCREUTZ, H.; MAZUR, W., 1997. Phyto-oestrogens and western diseases. Annals of Medicine, v.29, p.95-120.

AITKEN, S.L., KARCHER, E.L., REZEMAND, P., GANDY, J.C., VANDEHAAR, M.J., CAPUCO, L.M., SORDILLO, L.M., 2009. Evaluation of antioxidant and proinflammatory

gene expression in bovine mammary tissue during the periparturient period. Jornal of Dairy Science, v.92, p.589-598. Doi: 10.3168/jds.2008-1551

BANNWART , C., ADLERCREUTZ, H., WÄHÄLÄ, K., KOTIAHO, T. HESSO, A., BRUNOW, G. HASE,T. 1988. Identification of the phyto-oestrogen3',7-dihydroxyisoflavan, an isomer of equol, in human urine and cow's milk. Biomedical and Environmental Mass Spectrometry, v.17, p.1-6. https://doi.org/10.1002/bms.1200170104

BARNOUIN, J.; CHASSAGNE, M. 1991. An aetiological hypothesis for the nutrition-induced association between retained placenta and milk fever in the dairy cows. Annales de Recherches Veteterinaires, v.22, p.331–343.

BERNABUCCI, U.; RONCHI, B.; NARDONE, A. 2005. Influence of body condition score on relationships between metabolic status and oxidative stress in periparturient dairy cows. Journal of Dairy Science, v.88, p.2017-2026.

BUTLER, W.R.; SMITH, R.D. 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. Journal of Dairy Science, v.72, p.767–783.

CABEL, M.C.; WALDROUP, P.W.; SHERMER, W.D., CALABOTTA, D.F., 1988. Effects of ethoxyquin feed preservative and peroxide level on broiler performance. Poultry Science, v.67, p.1725-1730. Doi: 10.3382/ps.0671725.

CALDER, P.C.; YAQOOB, P.; THIES, F.; WALLACE, F.A.; MILES, E.A., 2002. Fatty acids and lymphocyte functions. British Journal Nutrition, v.87, p.S31–S48.

CARROLL, D. J.; JERRED, M.J.; GRUMMER, R.R.; COMBS, D.K.; PIERSON, R.A.; HAUSER, E.R., 1990. Effects of fat supplementation and immature alfalfa to concentrate ratio on plasma progesterone, energy balance, and reproductive traits of dairy cattle. Journal of Dairy Science, v.73, p.2855–2863.

CASTILLO, C.; HERNANDEZ, J.; BRAVO, A.; LOPEZ-ALONSO, M.; PEREIRA, V.; BENDITO, J.L., 1988. Oxidative status during late pregnancy and early lactation in dairy cows. Veterinary Journal, v.169, p.286-292. Doi: 10.1016/j.tvjl.2004.02.001

CLARKE , S.D. 2001. Polynsaturated fatty acid regulation of gene transcription: a molecular mechanism to improve the metabolic syndrome. Journal of Nutrition, v.131, p.1129-1132.

CÔRTES, C.; GAGNON, N.; BENCHAAR, C.; DA SILVA, D.C.; DOS SANTOS, G.T.; PETIT, H. V., 2008. In vitro metabolism of flax lignans by ruminal and fecal microbiota of dairy cows. Journal of Applied Microbiology, v.105, p.1585-1594. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03922.x

CÔRTES C.; PALIN M.F.; GAGNON N.; BENCHAAR, C.; LACASSE, P.; PETIT, H.V. 2012. Mammary gene expression and activity of antioxidant enzymes and concentration of the mammalian lignan enterolactone in milk and plasma of dairy cows fed flax lignans and infused with flax oil in the abomasum. British Journal Nutrition, v.108, p.1390–1398. Doi: 10.1017/S0007114511006829.

KLEIJN, M.J.; VAN DER SCHOUW, Y.T.; WILSON, P.W.F.; ADLERCREUTZ, H.; MAZUR, W.; GROBBEE, D.E.; JACQUES, P.F., 2001. Intake of dietary phytoestrogens is low in postmenopausal women in the United States: The Framingham study. Journal of Nutrition, v.131, p.1826–1832. Doi: 10.1093/jn/131.6.1826

DRACKLEY, J. 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? Jornal of Dairy Science, v.82, p.2259-2273.

ETHERINGT, W.G.; KINSEL, M.L.; MARSH, W.E., 1996. Relationship of production to reproductive performance in Ontario dairy cows: herd level and individual animal descriptive statistics. Theriogenology, v.46, p.935-959.

FLY, A.D.; JOHNSTON, P.V., 1990. Tissue fatty acid composition, prostaglandin synthesis, and antibody production in rats fed corn, soybean, or low erucic acid rapeseed oil (canola oil). Nutrition Research, v.10, p.1299–1310.

FORTIN, E.; BLOUIN, R.; LAPOINTE, J.; PETIT, H.V.; PALIN, M.F., 2017. Linoleic acid, α -linolenic acid and enterolactone affect lipid oxidation and expression of lipid metabolism and antioxidant-related genes in hepatic tissue of dairy cows. British Journal Nutrition, v.117, p.1199–1211.

FRANKEL, E.N. Antioxidants. In: Frankel, E.N. (Ed.) Lipid oxidation. 2.ed. Bridgwater: The Oily Press, 2005. p.209- 258.

GAÁL, T.; RIBICZEYNE-SZABO, P.; STADLER, K.; JAKUS, J.; REICZIGEL, J.; KOVER, P.; MEZES, M.; SUMEGHY, L., 2006. Free radicals, lipid peroxidation and antioxidant system in the blood of cows and newborn calves around calving. Comparative Biochemistry. and Physiology - Part B Biochemistry & Moleculaire Biology, v.143, p.391–396. Doi: 10.1016/j.cbpb.2005.12.014.

GHEDINI, C.P.; WHITEHOUSE, N.L.; MOURA, D.C.; OLIVEIRA, A.S.; BRITO, A.F., 2017. The mammalian lignan enterolactone is absorbed by newborn dairy calves fed enterolactone-enriched milk. Journal of Dairy Science, v.100, p.8170–8175. Doi: 10.3168/jds.2017-13093.

Grimaldi, P.A. 2001. Fatty acid regulation of gene expression. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, v.4, p.433-437.

HAQUE, E.; CHAND, R.; KAPILA, S., 2009. Biofunctional properties of bioactive peptides of milk origin. Food Reviews International, v.25, p.28-43.

HERDT, T.H., 1988. Fatty liver in dairy cows. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, v.4, p.269-287.

HERDT, T.H.; WENSING, T.; HAAGSMAN, H.P.; VAN GOLDE, L.M.G.; BREUKINK, H.J., 1988. Hepatic triacylglycerol synthesis during a period of fatty liver development in sheep. Journal of Animal Science, v.66, p.1997-2013.

HOIKKALA, A.A.; SCHIAVONI, E.; WAHALA, K., 2003. Analysis of phyto-oestrogens in biological matrices. British Journal Nutrition, v.89(Suppl 1), p.S5-18.

INANAMI, O.; SHIGA, A.; OKADA, K.J.; SATO, R.; MIYAKE, Y.; KUWABARA, M., 1999. Lipid peroxides and antioxidants in serum of neonatal calves. American Journal of Veterinary Research, v.60, p.452–457.

GUUS, H.E.; JANSEN, I.; ARTS, I.C.W.; NIELEN, M.W.F.; PETER, C.H.; HOLLMAN, J.K., 2005. Uptake and metabolism of enterolactone and enterodiol by human colon epithelial cells. Archives of Biochemistry and Biophysics, v.435, p.74-82. https://doi.org/10.1016/j.abb.2004.12.015

KING, R.A.; MANO, M.M.; HEAD, R.J., 1998. Assessment of isoflavonoid concentrations in Australian bovine milk samples. Journal of Dairy Research, v.65, p.479-489.

KINSEL, M.L.; ETHERINGTON, W.G.,1998. Factors affecting reproductive performance in Ontario dairy herds. Theriogenology, v.50, p.1221-1238.

KISO, Y. 2004. Antioxidative roles of sesamin, a functional lignan in sesame seed, ant its effect on lipid- and alcohol-metabolism in the liver: a DNA microarray study. Biofactors, v.21, p.191-196.

KUMAMOTO, T.; IDE, T., 1998. Comparative effects of α- and linolenic acids on rat liver fatty acid oxidation. Lipids, v.33, p.647–654.

LAMBERT, M. S.; AVELLA, M.A.; BOTHAM, K.M.; MAYES, P.A., 1998. Comparison of short- and long-term effects of different dietary fats on hepatic uptake and metabolism of chylomicron remnants in rats. British Journal Nutrition, v.79, p.203–211.

LAMMING, G.E.; DARWASH, A.O.; WATHES, D.C.; BALL, P.J., 1998.The fertility of dairy cattle in the UK: current status and future research. Journal of Royal Agricultural Society England, v.159, p.82-93.

LESSARD, M.; GAGNON, N.; PETIT, H.V., 2003. Immune response of postpartum dairy cows fed flaxseed. Journal of Dairy Science, v.86, p.2647-2657.

LIU, Z.; SAARINEN, N.M.; THOMPSON, L.U., 2006. Sesamin is one of the major precursors of mammalian lignans in sesame seed (*Sesamum indicum*) as observed in vitro and in rats. Journal of Nutrition, v.136, p.906-912.

LUCY, M.C.; STAPLES, C.R.; MICHEL, F.M.; THATCHER, W.W., 1991. Effect of feeding calcium soaps to early postpartum dairy cows on plasma prostaglandin F2*α*, luteinizing hormone, and follicular growth. Jornal of Dairy Science, v.74, p.483–489.

LUCY, M.C.; SAVIO, J.D.; BADINGA, L.; DE LA SOTA, R.L.; THATCHER, W.W., 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. Journal of Animal Science, v.70, p.3615–3626.

MACIEJ, J.; SCHÄFF, T.; KANITZ, E.; TUCHSCHERER, A.; BRUCKMAIER, R.M.; WOLFFRAM, HAMMON, H.M.S., 2015. Bioavailability of the flavonol quercetin in neonatal calves after oral administration of quercetin aglycone or rutin. Jornal of Dairy Science, v.98, p.3906–3917.

Maia, M.R.G.; Chaudhary, L.C.; Figueres, L.; Wallace, R.J. 2007. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. Antonie Van Leeuwenhoek, v.91, p.303–314.

MALEWIAK, M.I.; ROZEN, R.; LE LIEPVRE, X.; GRIGLIO, S., 1988. Oleate metabolism and endogenous triacylglycerol hydrolysis in isolated hepatocytes from rats fed a high-fat diet. Diabetes Metabolism, v.14, p.270–276.

MATTOS, R.; STAPLES, C.R.M.; THATCHER, W.W., 2000. Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. Reviews Reproduction, v.5, p.38–45.

MEGAHED, G.A.; ANWAR, M.M.; WASFY, S.I.; HAMMADEH, M.E., 2008. Influence of heat stress on the cortisol and oxidant-antioxidants balance during oestrous phase in buffalo-cows (Bubalus bubalis): thermo-protective role of antioxidant treatment. Reproduction in Domestic Animals, p.43, v.672-677. doi: 10.1111/j.1439-0531.2007.00968.x.

MILES, E.A.; CALDER, P.C., 1998. Modulation of immune function by dietary fatty acids. Proceendings of the Nutrition Society, v.57, p.277–292.

MILLER, J.K.; BRZEZINSKA-SLEBODZINSKA, E.; MADSEN, F.C., 1993. Oxidative stress, antioxidant and animals function. Jornal of Dairy Science, v.76, p.2812-2823.

PETIT, H.V.; DEWHURST, R.J.; PROULX, J.G.; KHALID, M.; HARESIGN, W.; TWAGIRAMUNGU, H., 2001. Milk production, milk composition, and reproductive function of dairy cows fed different fats. Canadian Journal of Animal Science, v.81, p.263–271.

PETIT, H.V.; DEWHURST, R.J.; SCOLLAN, N.D.; PROULX, J.G.; KHALID, M.; HARESIGN, W.; TWAGIRAMUNGU, H.; MANN, G.E., 2002. Milk production and composition, ovarian function, and prostaglandin secretion of dairy cows fed omega-3 fats. Journal of Dairy Science, v.85, p.889–899.

PETIT, H.V.; PALIN, M.F.; DOEPEL, L., 2007. Hepatic lipid metabolism in transition dairy cows fed flaxseed. Journal of Dairy Science, v.90, p.4780– 4792.

PETIT, H.V.; GAGNON. N., 2009. Milk concentrations of the mammalian lignans enterolactone and enterodiol, milk production, and whole tract digestibility of dairy cows fed diets containing different concentrations of flaxseed meal. Animal Feed Science and Technologhy, v.152, p.103–111.

PLAIZIER, J.C.B.; KING, G.J.; DEKKERS, J.C.M.; LISSEMORE, K., 1997. Estimation of economic values of indices for reproductive performance in dairy herds using computer simulation. Journal of Dairy Science, v.80, p.2775-2783.

POOL-ZOBER, B.L.; ADLERCREUTZ, H.; GLEI, M.; LIEGIBEL, U.M.; SITTLINGON, J.; ROWLAND, I.; WÄHÄLÄ, K.; RECHKEMMER, G., 2000. Isoflavonoids and lignans have different potentials to modulate oxidative genetic damage in human colon cells. Carcinogenesis, v.21, v.1247-1252.

Prasad, K. 2000. Antioxidant activity of secoisolariciresinol diglucoside-derived metabolites, secoisolariciresinol, enterodiol, and enterolactone. International of Journal of Angiology, v.9, p.220-225.

PURUP, S.; VESTERGAARD, M.; WEISBJERG, M.R.; HVELPLUND, T.; SEJRSEN, K., 2002. Possible role of enterolactone on mammary development and lactation in cattle. Journal Animal Science, v.85 (Suppl. 1), p.9-10 (Abstr.).

RAFFAELLI, B.; HOIKKALA, A.; LEPPÄLÄ, E.; WÄHÄLÄ, K., 2002. Enterolignans. Journal of Chromatography B., v.777, p.29-43.

RAJESHA, J.; KOTAMBALLI, N.; CHIDAMBARA, M.; KUMAR, M.K.; MADHUSUDHAN, B.; RAVISHANKJAR, G.A., 2006.Antioxidant potentials of flaxseed by in vivo model. Journal Agriculture Food Chemical, v.54, p.3794-3799. doi.org/10.1021/jf053048a.

SAARINEN, N.M.; SMEDS, A.; MÄKELÄ, S.I.; AMMÄLÄ, J.; HAKALA, K.; PIHLAVA, J.M.; RYHÄNEN, E.L.; SJÖHOLM R.; SANTTI, R., 2002. Structural determinants of plant lignans for the formation of enterolactone in vivo. Journal of Chromatography B., v.77, p.311-319. DOI: 10.1016/s1570-0232(02)00339-2.

SAARINEN, N.M.; POWER, K.A.; CHEN, J.; THOMPSON, L. U., 2008. Lignans are accessible to human breast cancer xenografts in athymic mice. Nutrition and Cancer, v.60, n.2, p.245-250. Doi: 10.1080/01635580701649669.

SETCHELL, K.D.; LAWSON, A.M.; MITCHELL, F.L.; ADLERCREUTZ, H.; KIRK, D.N.; AXELSON, M., 1980. Lignans in man and in animal species. Nature, v.287, p.740-742. Doi: 10.1038/287740a0.

STOPPER, H.; SCHMITT, E.; KOBRAS, K., 2005. Genotoxicity of phytoestrogens. Mutation Research, v.574, p.139-155.

STRANG, B.D.; BERTICS, S.J.; GRUMMER, R.R.; ARMENTANO, L.E., 1998. Effect of long-chain fatty acids on triglyceride accumulation, gluconeogenesis, and ureagenesis in bovine hepatocytes. Journal of Dairy Science, v.81, p.728-739. Doi: https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75629-2.

THATCHER, W.W.; MEYER, M.D.; DANET-DESNOYERS, G., 1995. Maternal recognition of pregnancy. Journal of Reproduction Fertility, v.49 (Suppl.), p.15–28.

THOMPSON, L.U.; ROBB, P.; SERRAINO, M.; CHEUNG, F., 1991. Mammalian lignan production from various foods. Nutrition and Cancer, v.16, p.43-52 DOI: 10.1080/01635589109514139

THOMPSON, L.U.; WARD, W.E. Flaxseed lignans: health benefits, bioavailability, and safety. In: GILANI, S.; ANDERSON, J. (Ed.) Phytoestrogens and health. Champaign: AOCS Press, 2002. p.405-426.

UETAKE, K., 2013. Newborn calf welfare: A review focusing on mortality rates. Animal Science Journal, v.84, p.101–105.

VÁZQUEZ-AÑÓN, M.; NOCEK, J.; BOWMAN, G.; ATWELL, C.; VÁZQUEZ, P.; JENKINS, T., 2008. Effects of feeding a dietary antioxidant in diets with oxidized fat on lactation performance and antioxidant status of the cow. Journal of Dairy Science, v.91, p.3165-3172. DOI:https://doi.org/10.3168/jds.2007-0737.

WATHES, D.C.; ROBINSON, R.S.; MANN, G.E.; LAMMING, G.E., 1998. The establishment of early pregnancy in cows. Reproduction Domestic Animals, v.33, p.179–284.

WU, D.; MEYDANI, S.N.; MEYDANI, M.; HAYEK, M.G.; HUTH, P.; NICOLOSI, R.J., 1996. Immunologic effects of marine- and plant-derived n-3 polyunsaturated fatty acids in nonhuman primates. American Journal of Clinical Nutrition, v.63, p.273–280.

YAQOOB, P.; CALDER, C.,1995. The effect of dietary lipid manipulation on the production of murine T-cell-derived cytokines. Cytokine, v.7, p.548–553.

ZHOU, W.; WANG, G.; HAN, Z.; YAO, W.; ZHU, W.Y., 2009. Metabolism of flaxseed lignans in the rumen and its impact on ruminal metabolism and flora. Animal Feed Science and Technology, v.150, p.18-26 8.

Capítulo 8

Leite bovino: composição química básica, ácidos graxos, antioxidantes, células somáticas e iodo

Jakeline Fernandes Cabral
Francilaine Eloise De Marchi
Ferenc Istvan Bánkuti
Jesus Alberto Cardoso Osório
Micheli Regiani Sippert
Jean Carlos Steinmacher Lourenço
Marcel Moreira de Brito
Luís Carlos Vinhas Ítavo
Geraldo Tadeu dos Santos

RESUMO

O leite é um alimento completo, rico em nutrientes, que integra numeroso compostos bioativos na alimentação humana. O leite de boa qualidade, deve apresentar requisitos mínimos dos componentes químicos, além de ser oriundo de animais sadios, adquirido fora da fase colostral, do período de carência de drogas veterinárias e livres de doenças contagiosas. O aumento do consumo de leite pela população e a busca por um alimento de qualidade, tem despertado o interesse por um produto enriquecido com compostos bioativos. Esses compostos propiciam efeitos adicionais no organismo como propriedades funcionais e a prevenção de doenças. Dentre os componentes do leite, os antioxidantes, ácidos graxos (ômegas 3 e 6) e minerais (Cálcio entre outros) tem sido destaque por desempenhar essas funções importante e tem sido alvo de pesquisas para que o leite tenha aumentada sua concentração, tornando-o ainda mais benéfico à saúde humana. Diante disso, o objetivo deste texto é relatar sobre a composição química do leite e abordar alguns aspectos e características de compostos nutracêuticos naturalmente encontrados no leite.

Palavras-chave: Carotenoides; *Conjugated Linoleic Acids* – CLAs; Iodo

Considerações iniciais

A busca por uma alimentação saudável tem despertado o interesse de consumidores por alimentos benéficos à saúde, entre esses, aqueles com compostos bioativos (Khan et al., 2019a). O leite e seus derivados são importantes na alimentação humana, especialmente para crianças e idosos (GREEN et al., 2015) contribuindo com a ingestão de micronutrientes e numerosos compostos bioativos, além de conter em sua composição: água, carboidratos, gorduras, proteínas, minerais e vitaminas (USCANGA-DOMÍNGUEZ et al., 2019).

O consumo de leite pela população brasileira, em 2019, foi estimado em 169 litros/habitante (Embrapa, 2020). Os números evidenciam o constante crescimento do consumo, impulsionado, entre outros motivos, pela diversificação dos produtos lácteos e pelo maior poder aquisitivo das pessoas (BÁNKUTI; CALDAS, 2018). Desta forma, produzir leite com qualidade é essencial. A produção e os critérios de qualidade do leite no Brasil estão regulamentados por um conjunto de portarias, entre essas, a Instrução Normativa nº 62 (IN 62), que em 2011, determinou normas para a produção do leite cru refrigerado e exigências higiênico-sanitárias para obtenção de leite, com qualidade no país (BRASIL, 2011). Em 2018, essa normativa passou por atualizações e entraram em vigor duas novas Instruções Normativas (IN-76 e IN-77) que estipulam critérios e parâmetros mínimos atualizados para a produção de leite no Brasil (BRASIL, 2018).

Segundo as normativas, o leite deve ser oriundo de animais sadios e que não estejam em fase colostral, bem nutridos e livres de doenças contagiosas. A IN-76 em específico estabelece valores mínimos para os constituintes do leite, sendo 3,0 g/100g para gordura, 2,9 g/100g de proteína total; de 4,3 g/100g de lactose; 8,4 g/100g de sólidos não gordurosos, 11,4 g/100g de sólidos totais, livre de qualquer resíduo químico e que tenham essas características conservadas durante o transporte a fim de padronizar a matéria prima (BRASIL, 2018).

Além da padronização dos constituintes básicos do leite bovino, existe atualmente a busca pela incorporação de nutrientes que, além do seu papel nutricional, exercem efeitos adicionais no organismo, como o de prevenir doenças. Estes são chamados de nutrientes ou alimentos nutracêuticos. As pesquisas relacionadas com esses compostos bioativos tem o objetivo de aumentar concentração destes no leite (MATT et al., 2011). Um destes elementos é a gordura, que é composta por uma variedade de ácidos graxos (AG) bioativos que traz benefícios à saúde de quem os consome. De acordo com o número de insaturações na cadeia carbônica, os ácidos graxos podem ser classificados em ácidos graxos saturados (AGS), insaturados (AGI), monoinsaturado (AGMI) e poli-insaturados (AGPI) (VISENTAINER et al., 2012).

Dentre os AGPI, a família dos ácidos linoleicos conjugados (*conjugated linoleic acids* – CLAs) é encontrada naturalmente nos produtos de animais ruminantes como o leite e, consequentemente em seus derivados. Os CLA's são resultados do metabolismo dos ruminantes (PALMQUIST et al., 2005). Alguns destes compostos apresentam propriedades funcionais como a atividade anticarcinogênica, antiestrogênica, reduz triglicérides, tem ação anti-inflamátoria, atua no sistema imune e previnindo doenças vasculares e até mesmo doenças como Alzeihmer (PENEDO et al., 2013; PIERRE et al., 2013; LUCATTO et al., 2014; SHAHZAD et al., 2018). Assim, estratégias alimentares e de manejo tem sido pesquisadas para que o leite tenha aumentada sua concentração de CLA, tornando-o ainda mais benéfico à saúde humana.

Outros compostos que tem despertado a interesse são os antioxidantes. Os antioxidantes são compostos que agem neutralizando agentes oxidantes, como os radicais livres. Há no organismo sistemas que naturalmente produzem radicais livres e dessa forma há também um sistema antioxidante endógeno que é composto por enzimas, mantendo assim uma homeostase oxidativa. O meio externo da mesma forma contem agentes oxidantes, como raios UV, poluentes e outros, e compostos antioxidantes. A transferência desses antioxidantes

exógenos e o potencial antioxidante dos mesmos tem sido estudado no leite e derivados. Dentre esses antioxidantes exógenos, os mais estudados são as vitaminas lipossolúveis (vitamina A e vitamina E), carotenoides e compostos secundários do metabolismo das plantas (polifenóis), vitaminas hidrossolúveis (vitamina C) (WOJCIK et al., 2010).

Quanto à presença de micronutrientes, o leite é considerado uma importante fonte de iodo. Em alguns países o leite é considerado uma das fontes mais importantes de iodo nutricional, fornecendo em média 0,09 mg / kg de leite (variando entre 0,04 a 0,25 mg / kg) (CRESSEY, 2003) o que corresponde a 50% da exigência nutricional diária de uma criança de 1 a 8 anos, se consumisse 0,5 L de leite/dia (Who/Unicef, 2007; Brasil, 2018b). O iodo é um oligoelemento essencial para animais e humanos devido seu papel fundamental na atividade celular, desenvolvimento do cérebro e funcionamento da glândula tireoide, e consequentemente, no metabolismo geral do organismo (OUATTARA, 2013; NAZERI et al., 2015).

Assim, abordaremos neste texto aspectos da composição química do leite, dando destaque a alguns compostos nutracêuticos, como os antioxidantes e ácidos graxos, e o micromineral iodo.

Composição química do leite

O leite é produzido nas glândulas mamárias de fêmeas mamíferas. Trata-se de um alimento rico em carboidratos, proteínas, gorduras, minerais e vitaminas que são ajustados efetivamente para atender as necessidades específicas de desenvolvimento do recém-nascido em crescimento (REZAEI et al., 2016). É um fluido composto por uma parte líquida e a outra por partículas em suspensão constituindo uma emulsão natural, estável em condições normais de temperatura e/ou de refrigeração (SGARBIERI, 2004).

A composição do leite varia entre regiões, espécie, necessidades do recém-nascido e até mesmo entre raças da mesma espécie (Tabela 1) (KAILASAPATHY, 2016).

Tabela 1: Percentual da composição química do leite de diferentes espécies.

Espécie	Água	Gordura	Proteína	Lactose	Minerais
Asinino	90,0	1,3	1,7	6,5	0,5
Bubalino	84,2	6,6	3,2	5,2	0,8
Bovino	86,6	4,6	3,4	4,9	0,5
Caprino	86,5	4,5	3,5	4,7	0,8
Camelo	86,5	3,1	4,0	5,6	0,6
Equino	89,1	1,6	2,7	6,1	0,5
Humano	87,7	3,6	1,8	6,8	0,1
Ovino	79,4	8,6	6,7	4,3	1,0

Fonte: Kailasapathy (2016).

Água

A água é fundamental a vida de todos os seres vivos, pois é meio para a digestão e metabolismo dos nutrientes, eliminação de resíduos do corpo via urina, fezes e respiração, também no transporte dos nutrientes e outros compostos para dentro e fora das células;

proporciona o equilíbrio eletrolítico no corpo e confere um ambiente fluído para o feto em desenvolvimento (NELSON; COX, 2014).

Murphy (1992) relata que a água está distribuída em compartimentos nos tecidos corporais. Fisiologicamente, a maior parte da água fica no meio extracelular, deste modo podendo ser dividida em intersticial, plasmática e transcelular. A água intersticial desempenha o papel de preencher os espaços celulares circundantes e tecido conjuntivo e a transcelular preenche o trato gastrointestinal podendo chegar à 15 e 35% do peso corporal em ruminantes, isso, considerando que estas proporções podem variar de acordo com as práticas alimentares e condições ambientais.

Uma vaca adulta de aproximadamente 550 kg, produzindo cerca de 25 litros por dia tem exigência diária de mais ou menos 100 litros de água (NRC, 2001), exigência maior do que a de outros animais. Isso ocorre porque 56 a 81% do seu peso corporal é água e ela precisa compensar a perda de água pela produção de leite, já que a água do leite representa em torno de 87% da composição total (MURPHY, 1992).

A água é importante por suas propriedades solventes e bom veículo de componentes endógenos ou exógenos do leite (GRĂDINARU et al., 2015), é o meio no qual todos os outros componentes do leite (sólidos totais) estão dissolvidos ou suspensos, pequena quantidade da água é ligada quimicamente à lactose, sais e algumas proteínas (KAILASAPATHY, 2016).

Gordura

A gordura do leite é o constituinte que mais sofre variação em função de raça, estádio de lactação e composição da dieta, variando de 3,5 a 5% de lipídios totais. A molécula de gordura constitui-se em um glóbulo emulsionado com diâmetro de 2 a 4 µm e é revestido com uma membrana derivada da célula secretora, sendo que, aproximadamente 98% dos lipídios são triglicerídeos, cerca de 0,5 a 1% são os fosfolipídios e 0,5% esteróis. Os triglicerídeos constituem-se de três moléculas de ácidos graxos (AG) ligadas ao glicerol (JENSEN et al., 1991).

Os ácidos graxos que compõe a gordura do leite são provenientes basicamente da dieta, da mobilização das reversas corporais de gordura e da síntese que ocorre na glândula mamária (*síntese de novo*). Os principais precursores da síntese de novo são o acetato e o β-hidroxibutirato. Em torno de 40-60% dos AG circulantes são provenientes do sangue, ou seja, da dieta e da mobilização dos lipídios corpóreos, enquanto que o restante é de origem da *síntese de novo* (DEMEYER; DOREAU, 1999). O acetato é a maior fonte de energia e substrato na síntese de gordura do leite de vacas. Pesquisa com infusão ruminal de acetato neutralizado, resultou em uma transferência líquida superior a 30% de acetato para a gordura do leite e aumento linear no rendimento de gordura do leite (URRUTIA et al., 2019).

Quanto a dieta, existem alguns fatores que podem modificar os AG fornecidos pela mesma em relação aos que chegam ao intestino para serem absorvidos, sendo o primeiro: a bio-hidrogenação ruminal, onde os microrganismos agem sobre os AG insaturados transformando-os em saturados; segundo: através a microbiota ruminal sintetiza AG

semelhantemente à *síntese de novo* e ou estearoil CoA desaturase (SCD) (CHILLIARD et al., 2000).

Há décadas os componentes do leite bovino têm sido estudados, pois o leite é um fluído quimicamente complexo, nutritivo e constituído por centenas de componentes diferentes, que ainda não teve todas as suas estruturas catalogadas.

Foroutan et al. (2019) usando a técnica de metabolômica quantitativa, obtiveram uma caracterização mais abrangente e atualizada dos compostos químicos do leite de vaca, onde identificaram e/ou quantificaram cerca de 972 metabólitos ou espécies de metabólitos, correspondentes a 2355 estruturas metabólicas únicas no leite bovino, sendo os triglicerídeos a grande maioria dos compostos identificados (1053). Segundo os autores, muitos compostos foram relatados pela primeira vez, indicando que há muito o que se estudar sobre os componentes do leite ainda.

Ácidos Graxos

As gorduras e óleos são ésteres formados e sua maior parte por AG e glicerol, estes ésteres são denominados de monoglicerídeos, diglicerídeos ou triglicerídeos e podem ser formados por ácidos graxos iguais ou diferentes entre si (VÁZQUEZ et al., 2015). Os triglicerídeos são a forma de lipídios mais abundante sendo uma importante forma de armazenamento de energia (VISENTAINER et al., 2012).

As unidades fundamentais mais comuns dos lipídios são os AG, que no tecido dos animais a maioria apresenta entre 14 a 24 átomos de carbono e pode variar de 2 a 36 átomos ou mais, podendo também serem saturados ou insaturados com 1 a 6 duplas ligações (DELATORRE et al., 2011; VISENTAINER et al., 2012).

Os AG da gordura do leite são classificados em AG de cadeia curta (4 a 8 carbonos), média (10 a 16 carbonos) e longa (>16 carbonos), podendo ser saturado, insaturado, monoinsaturado e poli-insaturado, com configuração *cis* e/ou *trans* (SOUZA et al., 2003)..

No leite os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) tem origem exclusivamente da *síntese de novo,* os de cadeia média (AGCM) são metade proveniente da *síntese de novo* e metade do sangue e os ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) derivam da absorção intestinal e de outros lipídios da circulação sanguínea (NEVILLE; PICCIANO, 1997; McMANAMAN, 2012). Ao contrário dos AGCC e AGCM, os AGCL devem ser ingeridos por meio de ingredientes da ração para que essas porções estejam presentes no leite (CHILLIARD et al., 2007).

A quantidade de AGMI no leite de vaca é semelhante a do leite de ovelha e cabra, podendo variar de 20% à 35%, neste grupo o ácido oleico (C18:1) é o mais abundante e típico do leite da maioria dos ruminantes (BUTLER et al., 2011). Os AGS no leite de ruminantes representam 60% a 70% dos AG (Jóźwik et al., 2010). Na maioria dos mamíferos os principais AGS são os de cadeia média, como o láurico (C12:0), mirístico (C14:0) e o palmítico (C16:0) (MARKIEWICZ-KESZYCKA et al., 2013). Por muito tempo os AGS foram tidos como vilão da saúde humana, tratados como os principais nutrientes, quase únicos, responsáveis pela ocorrência de doenças cardiovasculares.

Entretanto, pesquisas recentes mostram que essa afirmação não pode ser sustentada, e que a substituição dos AGS por carboidratos simples são o maior problema (SCHWINGSHACKL & HOFFMANN, 2014; SIRI-TARINO et al., 2015; ZHU et al., 2019). Ainda segundo essas pesquisas, apesar dos AGS não serem indicados como os principais responsáveis pela ocorrência de doenças cardiovasculares, a substituição desses por AGPI tem mostrado reduzir os níveis de colesterol, triglicérides, diabetes, a incidência de alguns tipos de câncer e melhora a resposta do sistema imune (TANAKA, 2005; NAKAMURA et al., 2008; HARVATINE; BAUMAN, 2011; KOZLOSKI, 2016; YANG et al., 2016).

Diante dos efeitos benéficos dos AGPI à saúde, pesquisadores da área de produção animal tem procurado aumentar naturalmente a concentração desses compostos nos produtos de origem animal, como o leite, em especial os níveis de ácido linoleico (C18:2n-6), α - linolênico (C18:3n-3) e ácido rumênico (C18:2 cis9, trans11). Uma das estratégias é a suplementação lipídica via dieta com fontes de AGPI, como sementes de oleaginosas (SANTOS et al., 2014; WELTER et al., 2016; ROMERO et al., 2018). Além de melhorar o perfil lipídico do leite, a suplementação lipídica na dieta de vacas leiteiras de alta produção tem objetivo de aumentar a densidade energética da dieta (NRC, 2001).

O grande interesse em melhorar o perfil lipídico do leite é devido o leite ser uma importante fonte de gordura na dieta dos seres humanos. Segundo levantamento da FAO, o leite é a maior fonte dietética de energia, proteína e gordura contribuindo aproximadamente com 134 kcal de energia por pessoa por dia, 8 g de proteína e 7,3 g de gordura (FAO, 2013).

Em vacas leiteiras, dietas ricas em carboidratos fermentáveis no rúmen e alguns tipos de AGPI podem resultar em depressão da gordura do leite através de mudanças nas vias da biohidrogenação ruminal, levando à formação de isômeros de AG, como o C18:2 trans10, cis 12, que diminuem a expressão de genes relacionados à *síntese de novo* (Harvatine and Bauman, 2011).

Durante o processo de biohidrogenação ruminal há também a formação de um ácido graxo com propriedades bioativas, o CLA ou ácido rumenico (C18:2 cis9, trans11). O CLA presente no leite tem duas origens (CHILLIARD et al., 2000; WOOLPERT et al., 2016). Uma é o CLA formado no processo de isomeração, uma fase da biohidrogenação do ácido linoleico (C18:2n-6) no rúmen (Figura 1), e a outra fonte de CLA ocorre na glândula mamária a partir do ácido vacênico (*trans*-11 C18:1) proveniente do rúmen, que por ação da enzima estearoil CoA dessaturase (SCD), também chamada de delta-9-dessaturase dá origem ao CLA (TANAKA, 2005).

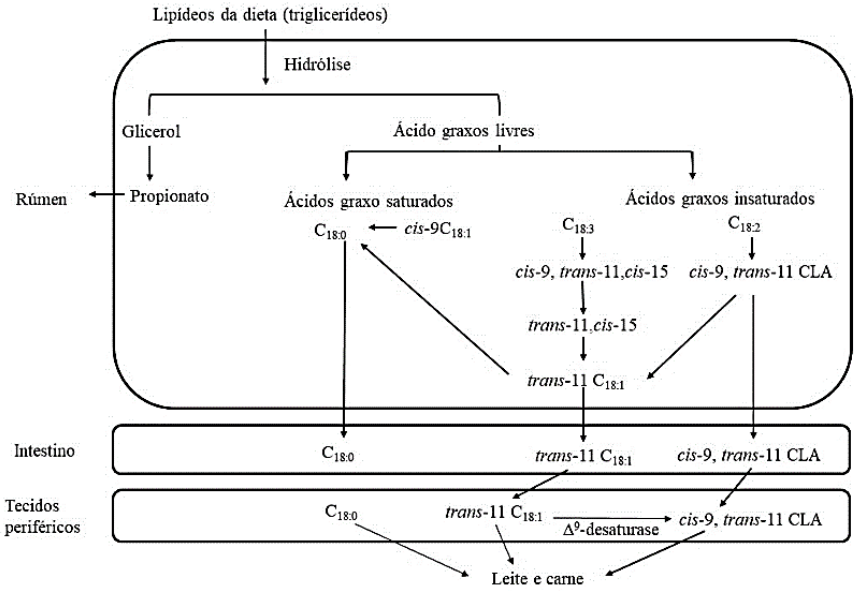


Figura 1: Metabolismo ruminal dos triglicerídeos e origem do CLA no leite e carne de ruminantes. Adaptado de Tanaka (2005).

Proteínas

As proteínas do leite bovino compreendem aproximadamente 3 a 3,8% e desempenham o papel de fornecer aminoácidos essenciais aos mamíferos. Por possuírem propriedades físico-químicas únicas dão origem a inúmeros produtos e derivados lácteos amplamente explorado pelas indústrias dos mais diversos setores (YE, 2011). O leite e os produtos lácteos representam uma fonte importante de proteínas com níveis nutritivos superiores devido ao seu conteúdo em todos os aminoácidos essenciais (GRĂDINARU et al., 2015).

As proteínas do leite são distribuídas basicamente em duas grandes classes, sendo 80% de caseína e 20% de proteínas do soro, percentual que pode variar em função da raça dos animais e da dieta fornecida (Haraguchi et al., 2006).

As caseínas são secretadas pelo aparelho de Golgi em micelas, associadas a cálcio e fósforo (GRĂDINARU et al., 2015). É um componente orgânico abundante no leite, juntamente com a lactose e a gordura. Existem vários tipos de caseína catalogados (α, β, γ e κ) sendo todas semelhantes quanto a sua estrutura, formando micelas através de um agregado de grânulos insolúveis contendo água e minerais como o cálcio e fósforo (GONZÁLEZ et al., 2001).

A estrutura da caseína micelar é importante por sua atividade biológica na glândula mamária, por conferir estabilidade no leite e durante o processamento do leite em outros produtos, bem como para a boa digestibilidade dos nutrientes que compõem as micelas. Para o recém-nascido, as proteínas do leite são carreadores naturais de micronutrientes essenciais como o cálcio (Ca) e o fósforo (P), aminoácidos e também componentes do sistema imune (imunoglobulinas e lactoferrina) (SEMO et al., 2007).

As micelas de caseína do leite são partículas coloidais proteicas essenciais e de valor econômico e nutricional, sendo estas, importantes para a produção de produtos floculados e geleificados. Os principais produtos lácteos como iogurte, queijo e sorvete, derivam suas propriedades texturais, sensoriais e nutricionais da caseína, estas, em leite de boa qualidade são muito estáveis ao processamento e mantem sua identidade estrutural básica durante a maioria dos processos da indústria (TUINIER et al., 2002; De KRUIF et al., 2012).

As proteínas do soro do leite são constituídas de β-lactoglobulina, α-lactoalbumina, albumina do soro bovino, imunoglobulinas e glico-macropeptídeos. Apresentam uma estrutura globular com pontes dissulfeto que confere estabilidade estrutural (Haraguchi et al., 2006).

A β-lactoglobulina é o peptídeo de maior concetração do soro (45% a 57%), representando, no leite bovino, cerca de 3,2 g/L, tem peso molecular médio de 18,4 a 36,8 kDa, o que lhe confere resistência à ação de ácidos e enzimas proteolíticas do estômago, deste modo sendo absorvida no intestino delgado (BRASIL et al., 2015). A α-lactalbumina é o segundo peptídeo do soro do leite com, aproximandamente, 15%-25% (KELLEHER et al., 2003). A α-lactalbumina participa da síntese de lactose e tem a capacidade de se ligar a alguns minerais, como zinco e cálcio, além de possuir capacidade antimicrobiana, atuando contra microrganismos patógenos, dentre eles, as bactérias *Escherichia coli, Staphylococcus aureus* e *Klebsiella pneumoniae* (HARAGUCHI, 2006).

O colostro bovino apresenta uma quantidade predominante de proteínas do soro como as imonoglobulinas (IgG), importante para o neonato na transmissão da transfere imunidade passiva colostral. As demais proteínas do soro, coletivamente, promovem o desenvolvimento e a maturação dos tecidos epiteliais do sistema gastrointestinal, ainda não completamente desenvolvido funcionalmente (SGARBIERI, 2004).

Lactose

Os carboidratos do leite são constituídos por lactose e outros açúcares como a glicose e galactose. Eles são os compostos mais abundantes no leite, depois da água (GRĂDINARU et al., 2015). De todos os componentes do leite analisados por Foroutan et al. (2019), os carboidratos estão em maior concentração, a lactose é o composto mais abundante (114−122 mM), seguido pelos outros açúcares galactose (0,3 mM), e glicose (0,2−0,3 mM).

A síntese da lactose acontece nas células epiteliais que envolvem os alvéolos na glândula mamária, seu principal precursor é a glicose, 79% da glicose que é proveniente do sangue vai para a síntese de lactose, além dos outros precursores como propionato, glicerol, pentoses-fosfato e lactato (GONZÁLEZ et al., 2001; GRĂDINARU ET AL. 2015). A lactose tem como principal função a osmorregulação, sendo responsável por aproximadamente 50% da pressão osmótica do leite, onde ocorre uma fixação de 90 litros de água sempre que 50 gramas de lactose são sintetizadas pela glândula mamária o restante se deve ao citrato, íons e proteínas (MENÉNDEZ GONZÁLEZ et al., 2010; LIN al., 2016). Está função influência a produção e o volume de leite diretamente (NIEMANN et al., 2011).

Neste processo é importante destacar a participação da α-lactoalbumina no complexo enzimático responsável pela síntese de lactose na glândula mamária (SGARBIERI, 2004). A

α-lactoalbumina apresenta similaridade com a lisozima, esta proteína altera a afinidade da galactosiltranferase (subunidade enzimática ativa da lactose sintetase) para com a glicose, assim a lactose é produzida com mais eficiência (GRĂDINARU et al., 2015).

Outro fator que influência a síntese de lactose é a sanidade, a associação de agentes patogênicos com outros fatores externos pode contribuir com a redução da produção de leiteira e comprometer o tecido secretor, esse somatório de fatores contribui com a redução na síntese da lactose (CABRAL et al., 2013).

Células somáticas (CS)

As células somáticas são células de descamação do epitélio dos alvéolos e ductos mamário, por isso a presença dessas células no leite é um fenômeno fisiológico normal e necessário para a regeneração do tecido mamário (ALHUSSIEN; DANG, 2018). A contagem de células somáticas (CCS) do leite sofre influência da produção de leite, raça, clima, sanidade, ordem de parto e estádio de lactação sendo que qualquer mudança nas práticas de produção, condições climáticas e até mesmo situações estressantes podem contribuir para o aumento das células somáticas (ALHUSSIEN; DANG, 2018).

Em uma glândula mamária sadia a CCS fica abaixo de 200 mil CS/mL. Durante processos patológicos a CCS aumenta, pois células de defesa do organismo que migram do sangue para a glândula mamária, no intuito de combater microrganismos causadores de doenças (ALHUSSIEN; DANG, 2018). Essas células brancas podem ser leucócitos, neutrófilos, macrófagos ou linfócitos (QUINTÃO et al., 2017). Contagem de células somáticas a partir de 200 mil CS/mL é considerado inflamação do tecido mamário (MEDEIROS et al., 2011).

A inflamação intramamária, acompanhada de alterações imunológicas e patológicas no tecido da glândula, ocorre em diferentes graus de intensidade e resulta em uma ampla gama de consequências em relação às alterações físicas, químicas e frequentemente microbiológicas do leite secretado (EZZAT et al., 2014). Existem diversos tipos de microrganismos que podem ser a causa da inflamação intramamária, até o momento são conhecidas mais de 200 causas infecciosas de mastite bovina e os principais patógenos em bovinos são *Staphylococcus aureus, Streptococcus agalactiae, Streptococcus* e *Coliformes* (MESQUITA et al., 2019).

Existem dois tipos de mastite: a clínica e a subclínica. Sendo que na mastite clínica os sintomas podem ser visto a olho nu como alterações no comportamento alimentar, intumescimento, vermelhidão do úbere e dos tetos, além da presença de grumos, mudança na coloração, presença de pus ou sangue no leite, o aumento da CCS, o conteúdo bacteriano, o aumento de sal e a plasmina (enzima resistente a pasteurização que destrói a caseína), além de diminuir o teor de lactose, gordura consequentemente a redução da qualidade do leite (IZQUIERDO et al., 2017).

A mastite subclínica é caraterizada por sintomas que não são perceptíveis no leite e no úbere, mas diminui o volume da produção e aumenta a CCS (ABEBE et al., 2016). Está forma da doença é considerada o tipo de mastite mais impactante economicamente devido sua maior

prevalência e efeitos de dano em longo prazo quando comparada com a mastite clínica (MUNGUBE et al., 2005).

As perdas da produção por mastite subclínica podem chegar a 90%, desta forma, técnicas de rastreamento devem ser incorporadas nos manejo de ordenha para diminuir e controlar o impacto da doença (BIRHANU et al., 2017). Segundo Alhussien e Dang (2018) existem meios de reverter os danos causados por estes fatores, boa nutrição junto de uma boa higiene podem diminuir a CCS, além de aumentar a vida útil dos produtos e derivados do leite.

A detecção da doença em estágio subclínico é mais eficaz para prevenir a ocorrência da doença do que a detecção em estágio clínico (RUEGG, 2017). Deste modo, a CCS é uma medida utilizada para determinar a prevalência de mastite subclínica em rebanhos leiteiros fornecendo o estado de saúde da glândula mamária. Uma vez que a prevalência da doença nos rebanhos leiteiros significa baixa produção e baixa qualidade do leite (SUMON et al., 2018).

Em diversos países, inclusive no Brasil, a CCS tem sido utilizada como ferramenta para monitorar a qualidade do leite e a prevalência de mastite em rebanhos leiteiros e é usada como indicador geral de condições higiênico-sanitárias (ALHUSSIEN; DANG, 2018). Assim, no Brasil, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), criou uma Instrução Normativa (IN 76 de novembro de 2018) que estipula a Contagem de Células Somáticas no leite cru refrigerado, como meio de padronizar a qualidade do produto, permitindo no máximo 400 mil CS/mL (BRASIL, 2018).

Antioxidantes

Antioxidantes são substâncias químicas que neutralizam os radicais livres (RL) que são produzidos naturalmente pelo metabolismo. Os antioxidantes podem ser classificados em endógenos e exógenos e tem como principal função, impedir a formação descontrolada de RL, como espécies reativas de O_2 (ROS), nitrogênio e lipídeos ou mesmo reduzir a reação dos RL com as estruturas biológicas (KHAN et al., 2019b).

Dentre os antioxidantes naturais temos: as enzimas superóxido dismutase, a catalase e glutationa peroxidase e pequenas moléculas antioxidantes não enzimáticas, como glutationa, selênio, zinco, compostos polifenólicos, vitaminas C e E (YAZDANPARAST; ARDESTANI, 2007). No leite a quantidade de antioxidantes é indicativa de qualidade, pois essas estruturas retardam a lipoperoxidação preservando os AGPI presentes no leite e aumentando o tempo de prateleira (MATUMOTO-PINTRO et al., 2011).

No organismo, a oxidação excessiva resulta em estresse oxidativo, consequência do desequilíbrio entre a formação de RL e o sistema de defesa antioxidante, o que, danifica proteínas, DNA e lipídios e, consequentemente, predispondo o animal ao surgimento de processos inflamatórios e doenças (YAZDANPARAST; ARDESTANI, 2007; NITA; GRZYBOWSKI, 2016).

Os ROS compreendem em superóxido de radicais livres ($O2^-$), radical hidroxila ($OH^•$) e oxigênio singlete ($^1O2$), podendo também ser espécies de radicais não livres, o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (PHANIENDRA et al., 2015). Quando a ação dos radicais livres é muito intensa ocorrem alto grau de estresse oxidativo e se por um período prolongado, ocorre danos

às células e mudanças permanentes nas estruturas das moléculas biológicas ativas e nos tecidos (GRAŻYNA et al., 2017). Estas mudanças cessam as funções biológicas das moléculas como proteínas, lipídios, DNA e o que ocasiona perturbações no metabolismo celular (DRÖGE, 2002; VALKO et al., 2007).

A homeostase oxidante e antioxidante do corpo humano tem como um forte aliado os antioxidantes ingeridos via leite, que, ajudam neste equilíbrio. Os antioxidantes presentes no leite podem ser classificados como lipofílicos e hidrofílicos, os quais são representados principalmente pelo α-tocoferol, β-caroteno, vitaminas A e D3, coenzima Q_{10}, fosfolipídios e os antioxidantes hidrofílicos: proteínas, polifenóis, peptídeos, vitaminas, minerais e oligoelementos (GRAŻYNA et al., 2017).

Carotenoides

Os carotenoides estão entre os grupos de pigmentos naturais e mais comuns, uma vez que existem mais de 600 compostos diferentes caracterizados (OLSON; KRINSKY, 1995). Dentre eles, destaca-se o β-caroteno, sendo o principal carotenóide da dieta, seguido pela luteína, α-caroteno, criptoxantina e licopeno (STAHL; SIES, 2003; KIOKIAS; GORDON, (2004).

Os carotenoides estão presentes em todos os organismos capazes de realizar fotossíntese, embora estes não sejam sintetizados pelo corpo humano e pelos animais, eles podem ser obtidos por meio da dieta (STAHL; SIES, 2003). Nos animais os carotenoides estão presentes nos tecidos e sangue desempenhando a função de foto-proteção e também de precursor da vitamina A (FIEDOR; BURDA, 2014). Na alimentação de ruminantes, a pastagem é a principal fonte de carotenoides, a presença destas substâncias pode modificar a cor do leite e produtos lácteos tornando-os amarelados (NOZIÈRE et al., 2006). O carotenoide mais importante na alimentação de ruminantes é a pró-vitamina A que não é sintetizada pelas plantas, e sim pelos precursores que são os próprios carotenoides (DARWISH et al., 2016).

Os carotenoides são moléculas lipofílicas com tendência a acumular-se na membrana celular (KHAN et al., 2019b). Essa característica é devido ao polieno, elemento principal da estrutura dos carotenoides, que compreende em uma série de duplas ligações conjugadas (C = C), sendo também o responsável pelas suas propriedades pigmentantes (YOUNG; LOWE, 2018).

O leite é um alimento propício a sofrer lipoperoxidação, principalmente quando as vacas são alimentadas com gorduras poli-insaturadas, pois as duplas ligações são mais suscetíveis à perdas de elétrons, desencadeando a lipoperoxidação (RYAN et al., 2006). Diante disto, o uso de fontes de alimentos ricos em antioxidantes, ajuda no equilíbrio entre a formação de ROS e a capacidade antioxidante endógena do animal, e os anioxidantes são transferidos ao leite e retardam a lipoperoxidação (RAFAŁOWSKI et al., 2014).

Polifenóis

Algumas plantas são ricas em compostos fenólicos que apresentam ação antioxidantes e estas tem sido estudadas para serem empregadas na produção de laticínios (EL-SAYED; YOUSSEF, 2019). Os compostos fenólicos são fitoquímicos naturais da dieta e podem ser transferidos para o leite quando incluídas na alimentação das vacas (Tsen et al., 2014).

Podem ser encontrados no leite quantidades consideráveis de compostos fenólicos, como fenol, cresol, timol e carvacrol, estes podem desempenhar papel significativo nas propriedades microbiológicas e organolépticas do leite, além de ser ingrediente funcional e nutritivo para a saúde humana (ERTAN et al., 2017).

De acordo com Cutrim e Cortez (2018) os polifenóis podem ser classificados pelo número dos anéis fenólicos presentes em sua estrutura e pelos componentes estruturais que unem esses anéis, diferenciando as moléculas em ácidos fenólicos, flavonóides, estilbenos e lignanas, contudo, o grupo comum destes compostos são os flavonóides. Os compostos fenólicos apresentam benefícios à saúde que incluem efeitos antitumorais, o anti-inflamatório além de reduzir o desenvolvimento de espécies reativas de oxigênio (ERO) em células (YAHFOUFI et al., 2018).

Como mencionado, os antioxidantes encontrados no leite ou adicionados no mesmo podem reduzir a oxidação dos compostos lipídicos, que ocorre naturalmente em consequência pela exposição à luz, oxigênio, ao calor, contaminação por íons metálicos ou atividade de enzimas pró-oxidativas. Dessa maneira, incorporar produtos naturais com propriedades antioxidante na dieta de ruminantes, pode contribui positivamente para a saúde do animal, com a qualidade do leite e beneficia a saúde daqueles que consomem o produto (COTTICA et al., 2019).

Iodo

O iodo é um dos minerais mais antigos com relação ao reconhecimento de sua importância na saúde humana e de animais. Sua classificação baseada no critério quantitativo é de microelemento e baseado na função biológica e de elemento essencial (WADA, 2004), ele pode ser volatilizado pela ação da luz solar e do calor (ANDRADE, 2001). O iodo é relativamente raro, pode ser encontrado no ar (0,7 µg/m^3), solo (300 µg/kg), água doce (5 µg/litro), no mar (50 µg/litro), corpo animal (0,4 mg/kg) em todos os tecidos e fluídos do corpo, provavelmente em todas as células, mas, a maior concentração está na glândula tireóide (RISHER et al., 2001).

O método de iodação de sais para prevenção do bócio, que é um aumento da glândula tireoide normalmente causado por deficiência de iodo, foi sugerido inicialmente em 1831, e sua adoção profilática em 1924, reduziu a ocorrência de bócio de 38,6% para 9% após 5 anos de consumo de sal iodado (GONZÁLEZ et al., 2001). Desde então, alguns países adotaram como medida profilática o uso obrigatório de sal iodado.

Além dessa particularidade sintomatológica (bócio), outros possíveis problemas podem surgir nos animais como estro suprimido ou irregular. No macho a fertilidade pode ser reduzida (MOHAMED; SALWA, 1999). A anormalidade reprodutiva é uma das

consequências mais notáveis da redução da função tireoidiana (NRC, 2001) nos animais, os reprodutores geram crias frascas, sem pêlo, desenvolvimento cerebral prejudicado ou mortimortos .

A deficiência do iodo no organismo pode provocar retardo mental grave e irreversível, surdo-mudez em crianças e anomalias congênitas (KAPIL, 2007). No entanto, para minimizar e até mesmo reparar a causa de doenças ligadas ao iodo, à quantidade do nutriente tem sido revista ao longo dos anos, em virtude das mudanças no padrão de alimentação dos brasileiros, pois o excesso deste nutriente também pode trazer danos à saúde (ANVISA, 2013).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) revisou os teores de iodo adicionados ao sal destinado ao consumo humano e estabeleceu que a partir de abril de 2013, o sal comercializado no Brasil deve conter ente 15 e 45 mg/kg de iodo e não mais entre 20 e 60 mg/kg de iodo (ANVISA, 2013).

Os órgãos de saúde recomendam a ingestão de iodo diária de acordo com a faixa etária (Tabela 2).

De forma geral, as dietas normalmente consumidas por seres humanos são capazes de suprir aproximadamente 1.000 µg/dia de iodo, o que teoricamente não seria prejudicial para os adultos, que possuem maior tolerância à ingestão diária de iodo (1.100 µg/dia) (CASTRO et al., 2010). Todavia, isto passa a ter maior relevância quando se trata da nutrição infantil cujos limites de ingestão de iodo são bem menores, sendo de 200 µg/dia para crianças de até um ano de idade e 300 µg/dia para crianças de oito anos de idade (WHO/UNICEF, 2007).

Tabela 2: Recomendação de ingestão de iodo por dia de acordo com a faixa etária.

Idade	IOM µg/dia	OMS µg/dia
0 – 12 meses	110 - 130	-
1 – 8 anos	90	90
9 -13 anos	120	120
Acima de 14 anos	150	150
Grávidas	220	250
Lactantes	290	250

Fonte: Who/Unicef, (2007); Efsa, (2014); Lima e Navarro (2018).

Em relação à presença de micronutrientes, o leite é considerado uma importante fonte de iodo (DAHL et al., 2003; SCHÖNE; RAJENDRAM, 2009). O iodo contido no leite bovino tem como principal origem a dieta do animal. Estima-se que entre 70 e 90% do iodo ingerido pelas vacas é absorvido, e a maioria do iodo que não é captado pela glândula tireoide é excretada via urina (MILLER et al., 1975). E também que a transferência de iodo da dieta para o leite é na ordem de 20%, dependendo da quantidade de alimento consumido pelo animal (KAUFMANN; RAMBECK, 1998; NOROUZIAN, 2011). Nos mamíferos aproximadamente 80% do iodo total é metabolizado pela glândula tireoide e o restante é encontrado em outros tecidos (KAUFMANN; RAMBECK, 1998).

A quantidade de iodo na alimentação animal e os níveis de tolerância pelos animais baseia-se nos sinais clínicos de intoxicação, no entanto, a maioria dos animais toleram altas concentrações de iodo na dieta em relação as exigências. Os níveis máximos de iodo tolerável para vacas leiteiras são de 50 mg/kg da dieta, sendo que essa concentração pode resultar em

níveis indesejados de iodo no leite (NRC 2001). Os teores mínimos recomendados de iodo no suplemento mineral de bovinos leiteiros em lactação giram em torno de 40 mg/kg no produto final.Vacas alimentadas com suplementos contendo 40 mg/kg de iodo apresentam uma concentração de aproximadamente 8 µl / L no leite (NRC, 2001).

Os efeitos da suplementação com iodo na dieta de vacas leiteiras e da desinfecção dos tetos com soluções contendo diferentes concentrações de iodo sobre a concentração de iodo no leite foi estudada por O'Brien et al. (2013) .Os autores observaram que tanto a suplementação quanto a desinfecção dos tetos influenciaram na concentração deste mineral no leite, os autores relataram ainda que houve um aumento na concentração de iodo no leite de 217 µg/kg no grupo de animais em que não houve suplementação alimentar ou desinfecção dos tetos para mais de 1.000 µg/kg em relação ao grupo de animais que foi suplementado.

Metabolismo do Iodo - Síntese e secreção dos hormônios da tireoide

A tireoide possui um mecanismo de captura de iodo eficiente, normalmente mantém um gradiente de 100:1 entre o conteúdo de iodo das células da tireoide e o iodo extracelular (AHAD; GANIE, 2010). A glândula contém diversos folículos, revestidos por células foliculares que repousam sobre uma membrana basal e esses folículos são preenchidos por um material claro e viscoso chamado de colóide. Esse colóide consiste em uma glicoproteína chamada tireoglobulina (Tg) que funciona como precursora, agindo como pró-hormônio na síntese de triiodotironina (T3) e tiroxina (T4) (AHAD; GANIE, 2010).

A Tg é secretada no lúmen dos folículos e apresenta em sua composição proximadamente 115 resíduos de tirosina, que são sítios potenciais de ligação do iodo captado da corrente sanguínea. A ligação do iodo a esta estrutura da origem a precursores inativos monoiodotirosina (MIT) e diiodotirosina (DIT) e posteriormente a forma ativa do T3) e T4 (Lunardelli, 2007). Na corrente sanguínea, T3 e T4 podem circular na forma ligada ou livre, porém, 99% de T3 e T4 circulam na forma ligada, menos de 1% circula na forma livre (LADENSON, 2012). Os hormônios da tireoide podem atender as exigências do corpo por até três meses, já que eles são armazenados nos folículos da glândula tireoide na forma de coloides por um tempo prolongado (TODA et al., 2011).

Enquanto a maior parte do iodo está concentrada na tireoide, o iodo não hormonal é encontrado em vários tecidos corporais, como glândulas mamárias, glândulas salivares, olhos, mucosas gástricas e colo do útero (PORTERFIELD, 2000).

O acumulo de iodo na glândula mamária desempenha um papel importante no desenvolvimento do feto, do neonato e exerce função antioxidante (Van DER REIJDEN et al., 2017). Sua ação antioxidante se dá quando na presença do peróxido de hidrogênio e peroxidase, o iodo atua como doador de elétrons diminuindo o dano por radicais livres de oxigênio, conforme esquemas abaixo (AHAD; GANIE, 2010; VENTURI; VENTURI, 2014).

$2I^- \rightarrow I2 + 2$ (eletrons)

$2I^-$ + Peroxidase + H_2O_2 + 2 Tirosina → 2Iodo – Tirosina + H_2O + 2 e^- (antioxidantes)

2 e^- + H_2O_2 + 2 H^+(solução aquosa intracelular) → 2 H_2C

Esquema 1: Mecanismo bioquímico antioxidante proposto para iodetos.
Fonte: adaptado de Venturi e Venturi (2014).

Além dessas funções o iodo desempenha papel imunológico (Esquema 2) (Bilal et al., 2017).

$2I^-$ +Peroxidase + H_2O_2 + Tirosina, Histidina, Lipídios, Carbonos →

→ **Iodo-composto + H_2O + 2 e- (antioxidantes)**

Iodo composto: Iodo-Tirosina, Iodo-Histidina, Iodo-Lipídios, Iodo-Carbonos

Esquema 2: Mecanismo bioquímico antioxidante proposto para iodetos.
Fonte: adaptado de Venturi e Venturi (2014).

Considerações finais

A qualidade do leite é definida pelas características organolépticas, microbiológica e de parâmetros de composição físico-química. O leite é um alimento rico e complexo, que apresenta inúmeros compostos nutricionais e bioativos. Esses compostos têm características nutracêuticas desempenhando importantes papeis no organismo, como os AGPI, principalmente o ácido rumênico (CLA), que exerce atividade anticarcinogênica, diminui o risco de doenças coronarianas e atua no sistema imune.

A ação dos antioxidantes presentes no leite, reduzem a formação de radicais livres e consequentemente diminui a lipoperoxidação, aumenta a vida útil do alimento e diminui os danos as estruturas celulares. O iodo é o principal componente na síntese dos hormônios da tireoide que tem função regulatória do metabolismo geral, desenvolvimento do sistema nervoso e bom funcionamento das funções reprodutivas. Além dos citados aqui, o leite contribui com a ingestão de vários outros compostos bioativos importantes a saúde humana.

Referências

ABEBE, R.; HATIYA, H.; ABERA, M.; MEGERSA, B.; ASMARE, K., 2016. Bovine mastitis: Prevalence, risk factors and isolation of Staphylococcus aureus in dairy herds at Hawassa milk shed, South Ethiopia. BMC Veterinary Research, v.12: p.1–11. doi:10.1186/s12917-016-0905-3.

AHAD, F.; GANIE, S.A., 2010. Iodine, Iodine metabolism and Iodine deficiency disorders revisited.. Indian Journal of Endocrinology Metabolism, v.14: p.13–7.

ALHUSSIEN, M.N., DANG, A.K., 2018. Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview. Veterinary World, v.11, p.562–577. Doi:10.14202/vetworld.2018.562-577.

ANVISA, 2013. Resultado do Monitoramento do Teor de Iodo no sal Ano : 2013 1–6.

BILAL, M.Y.; DAMBAEVA, S.; KWAK-KIM, J.; GILMAN-SACHS, A.; BEAMAN, K.D. , 2017. A role for iodide and thyroglobulin in modulating the function of human immune cells. Frontiere Immunology, v.8, p.1–13. Doi:10.3389/fimmu.2017.01573.

BIRHANU, M.; LETA, S.; MAMO, G.; TESFAYE, S., 2017. Prevalence of bovine subclinical mastitis and isolation of its major causes in Bishoftu Town, Ethiopia. BMC Research Notes v.10, p.1–6. Doi:10.1186/s13104-017-3100-0.

BRASIL, 2018a. Instrução normativa no 76, de 26 de novembro de 2018. Regulamentos técnicos que fixam a identidade e as características de qualidade que devem apresentar o leite cru refrigerado, o leite pasteurizado e o leite pasteurizado tipo A Ministério Da Agric. e Abast. D.O.U. 30/11/2018. 230:9.

BRASIL, 2011. Instrução normativa Nº 62, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2011 Regulamento técnico de produção, identidade e qualidade do leite tipo a, o regulamento técnico de identidade e qualidade de leite cru refrigerado, o regulamento técnico de identidade e qualidade de leite pasteurizado e o regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. Ministério Da Agric. 11:10–14. doi:10.16194/j.cnki.31-1059/g4.2011.07.016.

BRASIL, 2018. Instrução normativa no 77, de 26 de novembro de 2018. Critérios e procedimentos para a produção, acondicionamento, conservação, transporte, Seleção e recepção do leite cru em estabelecimentos registrados no serviço de inspeção oficial. Ministério Da Agric. e Abast. D.O.U 30/11/20.

BRASIL, 2018b. Funções plenamente reconhecidas de nutrientes - Iodo / ILSI Brasil. 22: 9-33. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

BRASIL, R.B.; NICOLAU, E.S.; CABRAL, J.F.; DA SILVA, M.A.P., 2015. Estrutura e estabilidade das micelas de caseína do leite bovino. Ciência Animal, v.25, p.71–80.

BUTLER, G.; STERGIADIS, S.; SEAL, C.; EYRE, M.; LEIFERT, C., 2011. Fat composition of organic and conventional retail milk in northeast England. Journal of Dairy Science, v.94, p.24–36. doi:10.3168/jds.2010-3331.

CABRAL, J.F.; SILVA, M.A.P.; BRASIL, R.B.; CARVALHO, T.S.; GIOVANNINI, C.I.; NICOLAU, E.S., 2013. Effect of different sample collection methods on the results of raw milk analysis. Revevista do Instituto Lacticínio “Cândido Tostes”, v.68, p.40–44.

CASTRO, S.B.; LACASSE, P.; FOUQUET, A.; BERALDIN, F.; ROBICHAUD, A.; BERTHIAUME, R., 2010. Iodine Concentration in milk sampled from canadian farms. Journal of Food Protection, v.73, p.1658–1663. Doi:10.4315/0362-028X-73.9.1658.

CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; MANSBRIDGE, R.M.; DOREAU, M., 2000. Ruminant milk fat plasticity: Nutritional control of saturated, polyunsaturated, trans and conjugated fatty acids. Animal Research, v.49, p.181–205. Doi:10.1051/animres:2000117.

CHILLIARD, Y.; GLASSER, F.;. FERLAY, A.; BERNARD, L.; ROUEL, J.; DOREAU, M., 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk fat. European Journal of Lipid Science Technology, v.109, p.828–855. doi:10.1002/ejlt.200700080.

COTTICA, S.M., D.A.V. AMADO, S.C. DE AGUIAR, J.S. BOEING, S.L. FRANCO, L.M. ZEOULA, J.V. VISENTAINER, 2019. Antioxidant activity and lipid oxidation in milk from cows with soybean oil and propolis extract added to their feed. Food Science and Technology, v.39, p.467–474. Doi:10.1590/fst.33817.

CRESSEY, P.J., 2003. Iodine content of New Zealand dairy products. Journal of Food Composition Analitical, v.16, p.25–36. Doi:10.1016/S0889-1575(02)00132-1.

CUTRIM, C.S.; CORTEZ, M.A.S., 2018. A review on polyphenols: Classification, beneficial effects and their application in dairy products. International Journal Dairy Technology, v.71, p.564–578. Doi:10.1111/1471-0307.12515.

DAHL, L.; OPSAHL, J.A.; MELTZER, H.M.; JULSHAMN, K., 2003. Iodine concentration in Norwegian milk and dairy products. British Journal of Nutrition, v.90, p.679–685. Doi:10.1079/bjn2003921.

DARWISH, W.S.; IKENAKA, Y.; MORSHDY, A.E.; ELDESOKY, K.I.; NAKAYAMA, S.; MIZUKAWA, H.; ISHIZUKA, M., 2016. B-Carotene and Retinol Contents in the Meat of Herbivorous Ungulates With a Special Reference To Their Public Health Importance. J.ournal of Veterinary Medicine Science, v.78, p.351–354. DOI:10.1292/JVMS.15-0287.

DELATORRE, A.B.; RODRIGUES, P.M.; AGUIAR, C.J.; ANDRADE, V.V.V.; ARÊDES, A.; PEREZ, V.H., 2011. Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. Perspective Online Biologia e Saúde, v.1, p.21–47. Doi:10.25242/8868112011510.

DEMEYER, D.; DOREAU, M., 1999. Targets and procedures for altering ruminant meat and milk lipids. Procedings of the Nutrition Society, 58: 593–607. doi:10.1017/S0029665199000786.

DRÖGE, W., 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. Physiology Review, v.82, p.47–95. Doi:10.1152/physrev.00018.2001.

EFSA., 2014. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iodine. EFSA Journal, v.12, p.3660. Doi:10.2903/j.efsa.2014.3660.

EL-SAYED, S.M.; YOUSSEF, A.M., 2019. Potential application of herbs and spices and their effects in functional dairy products. Heliyon, 5: e01989. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01989.

EMBRAPA, 2019. Centro de Inteligência do Leite. Embrapa Gado de Leite 2020. Acesso: 03/05/2020. http://www.cileite.com.br/.

ERTAN, K.; BAYANA, D.; GÖKÇE, Ö.; ALATOSSAVA, T.; YILMAZ, Y.; GÜRSOY, O., 2017. Türkiye'de Satışa Sunulan UHT ve Pastörize İnek Sütü Örneklerinin Toplam Antioksidan Kapasitesi ve Fenolik Madde İçeriği. Akad. Gıda, v.15, p.103–108. Doi:10.24323/akademik-gida.333630.

EZZAT ALNAKIP, M.; QUINTELA-BALUJA, M.; BÖHME, K.; FERNÁNDEZ-NO, I.; CAAMAÑO-ANTELO, S.; CALO-MATA, P.; BARROS-VELÁZQUEZ, J., 2014. The Immunology of Mammary Gland of Dairy Ruminants between Healthy and Inflammatory Conditions. Journal Veterinaire Medicine,v.2014, p.1–31. Doi:10.1155/2014/659801.

FIEDOR, J.; BURDA, K., 2014. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. Nutrients,v.6, p.466–488. Doi:10.3390/nu6020466.

FOROUTAN, A.; GUO, A.C.; VAZQUEZ-FRESNO, R.; LIPFERT, M.; ZHANG, L.; ZHENG, J.; BADRAN, H.; BUDINSKI, Z.; MANDAL, R.; AMETAJ, B.N.; WISHART, D.S., 2019. Chemical Composition of Commercial Cow's Milk. Journal of Agricultural Food Chemical, v.67, p.4897–4914. Doi:10.1021/acs.jafc.9b00204.

GONZÁLEZ, F.H.D.; DÜRR, W.; FONTANELI, R.S.; PERES, J.R.; BARROS, L.; CEBALLO, P.P., 2001. Composição bioquímica do leite e hormônios da lactação. Uso do leite para Monitorar a Nutrição e o Metabolismo das vacas leiteiras, 5–22.

GRĂDINARU, A.C.; CREANGĂ, Ş.; SOLCAN, G., 2015. Milk - A review on its synthesis, composition, and quality assurance in dairy industry. Humain & Veterinary Medicine, v.7, p.173–177.

GRAŻYNA, C., HANNA, C.; ADAM, A.; MAGDALENA, B.M., 2017. Natural antioxidants in milk and dairy products. Int. Journal of Dairy Technology, v.70, p.165–178. Doi:10.1111/1471-0307.12359.

GREEN, B.P., TURNER, L.; STEVENSON, E.; RUMBOLD, P.L.S., 2015. Short communication: Patterns of dairy consumption in free-living children and adolescents. Journal of Dairy Science, v.98, p.3701–3705. Doi:10.3168/jds.2014-9161.

HARAGUCHI, F.K.; ABREU, W.C.; PAULA, H., 2006. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. Revista de Nutrição, v.19(4), p.479-488. Doi:10.1016/j.ssc.2013.11.032.

HARVATINE, K.J., BAUMAN, D.E., 2011. Characterization of the acute lactational response to trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid. Journal of Dairy Science, v.94, p.6047–6056. Doi:10.3168/jds.2011-4657.

IZQUIERDO, A.C.; GUERRA LIERA, J.E.; CERVANTES, R.E.; INZUNZA CASTRO, J.F.; VILLA MANCERA, E.A.; HUERTA CRISPIN, R.; JUAREZ MOSQUEDA, M.L.A.G.; VAZQUEZ, J.; OLIVARES PEREZ, A.; RODRIGUEZ DENIS, B.E., 2017. Production OF MILK AND BOVINE MASTITIS. Advance Dairy Rearch, v.05, p.2–5. Doi:10.4172/2329-888X.1000174.

JENSEN, R.G.; FERRIS, A.M.; LAMMI-KEEFE, C.J., 1991. The Composition of Milk Fat. Journal of Dairy Science, v.74, 3228–3243. Doi:10.3168/JDS.S0022-0302(91)78509-3.

JÓŹWIK, A., BAGNICKA, E.; STRZALKOWSKA, N.; ŚLIWA-JÓŹWIK, A.; HORBAŃCZUK, K.; PYZEL, B.; KRZYEWSKI, J.; ŚWIERGIEL, A.H.; HORBAŃCZUK, J.O.; COOPER, R.G., 2010. The oxidative status of milking goats after per os administration of N-acetylcysteine. Animal Science Papers and Reports, v.28, p.143–152.

KAILASAPATHY, K. 2016. Chemical Composition, Physical and Functional Properties of Milk and Milk Ingredients. Dairy Processing & Quality. Assurance, p.75–103. Doi:10.1002/9780813804033.ch4.

KAPIL, U., 2007. Health consequences of iodine deficiency. Sultan Qaboos University of Medicine Journal, v.7, p.267–272.

KAUFMANN, S.; RAMBECK, W.A., 1998. Iodine supplementation in chicken, pig and cow feed. Journal of Animal and Physiology Animal Nutrition, v.80, p.147–152. doi:10.1111/j.1439-0396.1998.tb00517.x.

KELLEHER, S.L.; CHATTERTON, D.; NIELSEN, K.; LÖNNERDAL, B., 2003. Glycomacropeptide and α-lactalbumin supplementation of infant formula affects growth and nutritional status in infant rhesus monkeys. American Journal of Clinical Nutrition, v.77, p.1261–1268. doi:10.1093/ajcn/77.5.1261.

KHAN, I.T.; BULE, M.; ULLAH, R.; NADEEM, M.; ASIF, S.; NIAZ, K., 2019a. The antioxidant components of milk and their role in processing, ripening, and storage: Functional food. Vet. World, v.12, 12–33. doi:10.14202/vetworld.2019.12-33.

KHAN, I.T.; NADEEM, M.; IMRAN, M.; ULLAH, R.; AJMAL, M.; JASPAL, M.H., 2019b. Antioxidant properties of Milk and dairy products: A comprehensive review of the current knowledge. Lipids Health Disiase, v.18, p.1–13. doi:10.1186/s12944-019-0969-8.

KIOKIAS, S.; GORDON, M.H., 2004. Antioxidant properties of carotenoids in vitro and in vivo. Food Review International, v.20, p.99–121. doi:10.1081/FRI-120037155.
KOZLOSKI, G.V., 2016. Livro Bioquimica Dos Ruminantes.Pdf. 2nd ed. U.F. de S. Maria, ed. Santa Maria.

DE KRUIF, C.G.; HUPPERTZ, T.; URBAN, V.S.; PETUKHOV, A.V., 2012. Casein micelles and their internal structure. Advance Colloid Interface Science, v.171, p.172:36–52. doi:10.1016/j.cis.2012.01.002.
LADENSON, M.K.P., 2012. Goldman's Cecil Medicine (Twenty-Fourth Edition) - Thyroid. Volume 2,. 2012.

LI, M.; BENNETT, N.M.; CHEW, G.Y.; HENDERSON, C.; QUIN, J.W.; WAITE, K.V.; MA, G.; EASTMAN, C.J.; BREEZE, C.; DE COSTA, C.M.; JAGUSCH, M.; BRICE, S.R.; PIROTTA, M.V.; JARVINEN, K.A.J.; MCCALL, B.J. ; NOURSE, C.B.; MCCORMACK, J.G.; TILSE, M.H.; DUKE, M.G.; HOLLAND, A.J.A.; ROSS, F.I.; MANGLICK, P.; FAHY, F.E.; CASS, D.T. Erythema induratum : a case of mistaken identity deficiency in Australia Erythema induratum : a case of mistaken identity. Steroids.

LIN, Y.; SUN, X.; HOU, X.; QU, B.; GAO, X.; LI, Q., 2016. Effects of glucose on lactose synthesis in mammary epithelial cells from dairy cow. BMC Veterinary Research, v.12, p.1–11. doi:10.1186/s12917-016-0704-x.

LUCATTO, J.N.; DE BRANDÃO, S.N.T.G.; DRUNKLER, D.A., 2014. Ácido Linoleico Conjugado: Estrutura Química, Efeitos Sobre a Saúde Humana e Análise Em Lácteos. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v.69, p.199. doi:10.14295/2238-6416.v69i3.282.

LUNARDELLI, E.A.R., 2007. Efeito dos modelos experimentais de hipertireoidismo o hipotireoidismo sobre aspectos bioquímicos e comportamentais em ratos adultos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul,.

MARKIEWICZ-KESZYCKA, M.; CZYZAK-RUNOWSKA, G.; LIPINSKA, P.; WÓJTOWSKI, J., 2013. Fatty acid profile of milk - A review. Bulletin Veterinary Institute Pulawy, v.57, p.135–139. doi:10.2478/bvip-2013-0026.

MATT, D., REMBIALKOWSKA, E.; LUIK, A.; PEETSMANN, E.; PEHME, S., 2011. Quality of Organic vs. Conventional Food and Effects on Health. I.H. Williams, ed. Estonian.
MATUMOTO-PINTRO, P.T.; PETIT, H.V.; GIROUX, H.J.; CÔRTES, C.; GAGNON, N.; BRITTEN, M., 2011. Effect of flaxseed lignans added to milk or fed to cows on oxidative degradation of dairy beverages enriched with polyunsaturated fatty acids. Journal of Dairy Research, v.78, p.111–117. doi:10.1017/S0022029910000853.

MCMANAMAN, J.L. 2012. Milk lipid secretion: Recent biomolecular aspects. Biomolecular Concepts, v.3, p.581–591. doi:10.1515/bmc-2012-0025.

MeDEIROS, E.S.; BARBOSA, S.B.P.; JATOBÁ, R.B.; AZEVEDO, S.S.; PINHEIRO JUNIOR, J.W.; SAUKAS, T.N.; ALBUQUERQUE, P.P.F.; MOTA, R.A., 2011. Perfil da contagem de células somáticas na infecção intramamária em búfalas na Região Nordeste do Brasil. Pesquisa Veterinária Brasileira, v.31, p.219–223. doi:10.1590/S0100-736X2011000300006.

MENÉNDEZ GONZÁLEZ, S.; STEINER, A.; GASSNER, B.; REGULA, G., 2010. Antimicrobial use in Swiss dairy farms: Quantification and evaluation of data quality. Preventive Veterinary Medicin, v.95, p.50–63. doi:10.1016/j.prevetmed.2010.03.004.

MENESES, M.A.; DA SILVA, F.F.; SILVA, R.R.; SCHIO, A.R.; DA SILVA, G.M.; RODRIGUES, E.S.O.; PORTO, A.F.; SOUZA, D.D.; PONDE, W.P.S.T.S.; DE OLIVEIRA, J.S.O.; PIMENTEL, L.R., 2015. Composição em ácidos graxos do leite de vacas alimentadas com glicerina de baixa pureza. Semina. Ciências Agrarias, v.36, p.971–984. doi:10.5433/1679-0359.2015v36n2p971.

MENSINK, R.P., 2016. Effects of saturated fatty acids on serum lipids and lipoproteins: a systematic review and regression analysis. World Heal. Organ. 1–63.

MESQUITA, A.A.; ROCHA, C.M.B.M.; BRUHN, F.R.P.; CUSTÓDIO, D.A.C.; BRAZ, M.S.; PINTO, S.M.; SILVA, D.B.; COSTA, G.M., 2019. Staphylococcus aureus and streptococcus agalactiae: Prevalence, resistance to antimicrobials, and their relationship with

the milk quality of dairy cattle herds in minas gerais state, Brazil. Pesquisa Veterinária Brasileira, v.39, p.308–316. doi:10.1590/1678-5150-PVB-5821.

MILLER, J.K.; SWANSON, E.W.; SPALDING, G.E., 1975. Iodine Absorption, Excretion, Recycling, and Tissue Distribution in the Dairy Cow. Journal of Dairy Science, p.58, p.1578–1593. doi:10.3168/jds.S0022-0302(75)84753-9.

MOHAMED, B.S., 1999. Pattern of clinical features in patients with hypothyroidism presenting to khartoum hospital. MD Thesis. Faculty of medicine, U.of K. U.of K.

MUNGUBE, E.O.; TENHAGEN, B.A.; REGASSA, F.; KYULE, M.N.; SHIFERAW, Y.; KASSA, T.; BAUMANN, M.P.O., 2005. Reduced milk production in udder quarters with subclinical mastitis and associated economic losses in crossbred dairy cows in Ethiopia. Tropical Animimal Health Production, v.37, p.503–512. doi:10.1007/s11250-005-7049-y.

MURPHY, M.R., 1992. Water Metabolism of Dairy Cattle. Journal of Dairy Science, v.75, p.326–333. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)77768-6.

NAKAMURA, Y.K.; FLINTOFF-DYE, N.; OMAYE, S.T., 2008. Nutrition & Metabolism atherosclerosis. Nutr. Metab. (Lond). 20:1–20. doi:10.1186/1743-7075-5-22.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC), 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Washington, DC.

NAZERI, P.; NOROUZIAN, M.A.; MIRMIRAN, P.; HEDAYATI, M.; AZIZI, F., 2015. Heating process in pasteurization and not in sterilization decreases the iodine concentration of milk. Internations Journal of Endocrinology and Metabolism, v.13, p. 1–3. doi:10.5812/ijem.27995.

NELSON, D.L.; COX, M.M., 2014. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6th ed. Artmed, Porto Alegra.

NEVILLE, M.C.; PICCIANO, M.F., 1997. Regulation of Milk Lipid Secretion and Composition. Annual Review Nutrition,.v. 17, v.159–184. doi:10.1146/annurev.nutr.17.1.159.

NIEMANN, H.; KUHLA, B.; FLACHOWSKY, G., 2011. Perspectives for feed-efficient animal production. Journal of Animal Science, v.89, p.4344–4363. doi:10.2527/jas.2011-4235.

Nita, M., and A. Grzybowski. 2016. The role of the reactive oxygen species and oxidative stress in the pathomechanism of the age-related ocular diseases and other pathologies of the anterior and posterior eye segments in adults. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, v.2016, p.1-26. Doi:10.1155/2016/3164734.

NOROUZIAN, M.A. 2011. Iodine in raw and pasteurized milk of dairy cows fed different amounts of potassium iodide. Biology Trace Element Research, v.139, p.160–167. DOI:10.1007/S12011-010-8651-Z.

NOZIÈRE, P.; GRAULET, B.; LUCAS, A.; MARTIN, B.; GROLIER, P.; DOREAU, M., 2006. Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. Animal Feed Science and Technology, v.131, p.418–450. doi:10.1016/j.anifeedsci.2006.06.018.

O'BRIEN, B.; GLEESON, D.; JORDAN, K., 2013. Iodine concentrations in milk. Irish Journal of Agriculture Food Research, v.52, p.209–216.

OLSON, J.A., KRINSKY, N.I., 1995. Introduction: The colorful, fascinating world of the carotenoids: Important physiologic modulators. FASEB Journal, v.9, p.1547–1550. doi:10.1096/fasebj.9.15.8529833.

OUATTARA, L. 2013. Factors Determining the Risk of Iodine Excess in Bulk Milk Tanks on Canadian Dairy Farms.
PALMQUIST, D.L.; LOCK, A.L.; SHINGFIELD, K.J.; BAUMAN, D.E., 2005. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. Advance Food Nutrition Research, v.5o, p.179–217. Doi:10.1016/S1043-4526(05)50006-8.

PARIZA, M.W., 1999. The biological activities of conjugated linoleic Acid. Champaign, Illinois.

PENEDO, L.A.; NUNES, J.C.; GAMA, M.A.Ô.S.; LEITE, P.E.C. ; QUIRICO-SANTOS, T.F.; TORRES, A.G., 2013. Intake of butter naturally enriched with cis9,trans11 conjugated linoleic acid reduces systemic inflammatory mediators in healthy young adults. Journal of Nutrition Biochemique, v.24, p.2144–2151. doi:10.1016/j.jnutbio.2013.08.006.

PHANIENDRA, A.; JESTADI, D.B.; PERIYASAMY, L., 2015. Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. Indian Journal of Clinical Biochemique, v.30, p.11–26. doi:10.1007/s12291-014-0446-0.

PIERRE, A.S.; MINVILLE-WALZ, M.; C. FÈVRE; HICHAMI, A.; GRESTI, J.; PICHON, L.; BELLENGER, S.; BELLENGER, J.; GHIRINGHELLI, F.; NARCE, M.; RIALLAND, M., 2013. Trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid induced cell death in human colon cancer cells through reactive oxygen species-mediated ER stress. Biochimique Biophysique Acta - Molecular Cellule Biology Lipids, v.1831, p.759–768. Doi:10.1016/j.bbalip.2013.01.005.

PORTERFIELD SUSAN P., 2000. Thyroid Gland. In: Endocrine Physiology. 2nd ed. Mosby's, ed. Georgia, Augusta, GA.

QUINTÃO, L.C.; DA CUNHA, A.F.; BRAGANÇA, L.J.; COELHO, K.S.; NUNES, M.F.; SARAIVA, L.H.G.. 2017. <b>Evolution and factors influencing somatic cell count in raw milk from farms in Viçosa, state of Minas Gerais. Acta Scienciarum Animaml Science, v.39, p.393. Doi:10.4025/actascianimsci.v39i4.35364.

RAFAŁOWSKI, R.; ZEGARSKA, Z.; KUNCEWICZ, A.; BOREJSZO, Z., 2014. Oxidative stability of milk fat in respect to its chemical composition. International Dairy Journal, v.36, p.82–87. Doi:10.1016/j.idairyj.2014.01.002.

VAN DER REIJDEN, O.L.; ZIMMERMANN, M.B.; GALETTI, V., 2017. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. Best Practice Researcj Clinique Endocrinology Metabolism, v.31, p.385–395..

REZAEI, R.; WU, Z.; HOU, Y.; BAZER, F.W.; WU.; G., 2016. Amino acids and mammary gland development: Nutritional implications for milk production and neonatal growth. Journal of Animal Science and Biotechnology, v.7, p.2–22. Doi:10.1186/s40104-016-0078-8.

RISHER, J.; DIAMOND, G.; SWARTS, S.G.; RICHARD AMATA, N., 2001. Syracuse Research Corporation, North Syracuse. 2001. Toxicological profile for iodine. Clifton Ro. 2001, Atlanta, Georgia.

ROMERO, J.V.; DE MARCHI, F.E.; ALCALDE, C.R.l; CECATO, U.; GRANDE, P.A.;. VALLOTO, A.A.; SILVA-KAZAMA, D.C.; DOS SANTOS, G.T.; ROMERO, J.V.; DE MARCHI, F.E.; ALCALDE, C.R.; CECATO, U.; GRANDE, P.A.; VALLOTO, A.A.; SILVA- KAZAMA, D.C. DOS SANTOS, G.T., 2018. Pelleting and sodium monensin increase milk CLA concentration from dairy cows fed flaxseed. Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria, v.31, p.110–119. Doi:10.17533/udea.rccp.v31n2a04.

RUEGG, P.L., 2017. A 100-Year Review: Mastitis detection, management, and prevention. Journal of Dairy Science, v.100, p.10381–10397. doi:10.3168/jds.2017-13023.

RYAN, E.; GALVIN, K.; O'CONNOR, T.P.; MAGUIRE, A.R.; O'BRIEN, N.M., 2006. Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of brazil, pecan, pine, pistachio and cashew nuts. International Journal of Food Science Nutrition, v.57, p.219–228. doi:10.1080/09637480600768077.

SANTOS, G.T.; LIMA, L.S.; SCHOGOR, A.L.B.; ROMERO, J.V.; DE MARCHI, F.E.; GRANDE, P.A.; SANTOS, N.W.; SANTOS, F.S.; KAZAMA, R., 2014. Citrus pulp as a dietary source of antioxidants for lactating holstein cows fed highly polyunsaturated fatty acid diets. Asian-Australasian Journal of Animal Science, v.27, p.1104–1113. doi:10.5713/ajas.2013.13836.

SCHÖNE, F.; RAJENDRAM, R., 2009. Iodine in Farm Animals. Elsevier Inc.
SCHWINGSHACKL, L., HOFFMANN, G., 2014. Dietary fatty acids in the secondary prevention of coronary heart disease: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. BMJ Open 4. doi:10.1136/bmjopen-2013-004487.

SEMO, E.; KESSELMAN, E.; DANINO, D.; LIVNEY, Y.D., 2007. Casein micelle as a natural nano-capsular vehicle for nutraceuticals. Food Hydrocolloides, v.21, p.936–942. Doi:10.1016/j.foodhyd.2006.09.006.

SGARBIERI, V.C. 2004. Propriedades fisiológicas-funcionais das proteínas do soro de leite. Revista de Nutrição, v.17, p.397–409. doi:10.1590/s1415-52732004000400001.

SHAHZAD, M.M.K.; FELDER, M.; LUDWIG, K.; VAN GALDER, H.R.; ANDERSON, M.L.; KIM, J.; COOK, M.E. L.; KAPUR, A.K.; PATANKAR, M.S., 2018. Trans10,cis12 conjugated linoleic acid inhibits proliferation and migration of ovarian cancer cells by

inducing ER stress, autophagy, and MODULATION OF SRC. Plos One, v.13, p.1–19. Doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0189524.

SIRI-TARINO, P.W., S. CHIU, N. BERGERON, AND R.M. KRAUSS. 2015. Saturated Fats Versus Polyunsaturated Fats Versus Carbohydrates for Cardiovascular Disease Prevention and Treatment. Annual Review Nutrition, v.35, p.517–543. doi:10.1146/annurev-nutr-071714-034449.

SOUZA, L.G. DE; DOS SANTOS, G.T.; DAMASCENO, J.C.; MATSUSHITA, M.; SAKAGUTI, E.S.; RIBAS, N.P. VILLALBA, ; R.G., 2003. Avaliação da composição e do perfil de ácidos graxos do leite de vaca cru e pasteurizado em minilaticínios. Acta Scientiarum Animal Science, v.25, p.331–337. Doi:10.4025/actascianimsci.v25i2.2019.

STAHL, W.; SIES, H., 2003. Antioxidant activity of carotenoids. Molecular Aspects Medicine, v.24, p.345–351. Doi:10.1016/S0098-2997(03)00030-X.

SUMON, S.M.M.R.; HAIDER, M.G.; ISLAM, M.A.; SIDDIKI, S.H.M.F.; KARIM, M.R., 2018. Prevalence and antibiogram profile of staphylococcus aureus isolated from milk samples of lactating cows with subclinical mastitis In Gazipur, Bangladesh. Annual Bangladesh Agricultural, v.22, p.51–60.

TANAKA, K., 2005. Occurrence of conjugated linoleic acid in ruminant products and its physiological functions. Animal Science Journal, v.76, p.291–303. Doi:10.1111/j.1740-0929.2005.00268.x.

TODA, S.; AOKI, S.; UCHIHASHI, K.; XMATSUNOBU, V; XYAMAMOTO, K. OOTANI, A.; YAMASAKI, F.; KOIKE, E.; SUGIHARA, H., 2011. Culture Models for Studying Thyroid Biology and Disorders. ISRN Endocrinology, v.2011, p.1–9. Doi:10.5402/2011/275782.

TSEN, S.Y.; SIEW, J.; LAU, E.K.L.; AFIQAH, F.; ROSLEE, B.T.E.; CHAN, H.M.; LOKE, W.M., 2014. Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: Differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions. Dairy Science Technology, v.94, p.625–632. doi:10.1007/s13594-014-0183-4.

TUINIER, R.; DE KRUIF, C.G., 2002. Stability of casein micelles in milk. Journal Chemical Physique, v.117, p.1290–1295. Doi:10.1063/1.1484379

URRUTIA, N.; BOMBERGER, R.; MATAMOROS, C.; HARVATINE, K.J., 2019. Effect of dietary supplementation of sodium acetate and calcium butyrate on milk fat synthesis in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, v.102, p.5172–5181. Doi:10.3168/jds.2018-16024.

USCANGA-DOMÍNGUEZ, L.F.; OROZCO-GARCÍA, I.J.; VÁZQUEZ-FRIAS, R.; ACEVES-TAVARES, G.R.; ALBRECHT-JUNNGHANS, R.E.; AMIEVA-BALMORI, M.; BAZALDUA-MERINO, L.A.; BERNAL-REYES, R.; CAMACHO-DE LEÓN, M.E.; CAMPOS-GUTIÉRREZ, J.A.; CARMONA-SÁNCHEZ, R.I.; CASTRO-MARÍN, L.V.; COSS-ADAME, E.; CUEVAS-ESTRADA, A.J. ; ESCOBEDO-MARTÍNEZ, J.A.; GONZÁLEZ-FRANCO, L.R.; HUERTA-IGA, F.M.; LOZANO-LOZANO, R.;

MARTÍNEZ-VÁZQUEZ, S.E.; MILKE GARCÍA, M.P.; NOGUEIRA-DE ROJAS, J.R.; PADILLA-GONZÁLEZ, M.; PÉREZ Y LÓPEZ, N.; SILVA-CAMPECHANO, F.; TREVIÑO-MEJÍA, M.C.; VELÁZQUEZ-ALVA, M.C., 2019. Technical position on milk and its derivatives in adult health and disease from the Asociación Mexicana de Gastroenterología and the Asociación Mexicana de Gerontología y Geriatría. Revista Gastroenterologia, México (English) Ed. 84: 357–371. doi:10.1016/j.rgmxen.2019.03.002.

VALKO, M.; LEIBFRITZ, D.; MONCOL, J.; CRONIN, M.T.; M.M.T.J., 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human dis- ease.. International Journal of Biochemical Cell Biology, v.39, p.44–84.

VÁZQUEZ, C.V.; ROJAS, M.G.V.; RAMÍREZ, C.A.; CHÁVEZ-SERVÍN, J.L.; GARCÍA-GASCA, T.; FERRIZ MARTÍNEZ, R.A; GARCÍA, O.P.; ROSADO, J.L.; LÓPEZ-SABATER, C.M.; CASTELLOTE, A.I.; MONTEMAYOR, H.M.A.; DE LA TORRE CARBOT, K., 2015. Total phenolic compounds in milk from different species. Design of an extraction technique for quantification using the Folin-Ciocalteu method. Food Chemical, v.176, p.480–486. Doi:10.1016/j.foodchem.2014.12.050.

VENTURI, S., VENTURI, M., 2014. Iodine, PUFAs and iodolipids in health and diseases: An evolutionary perspective. Humaine Evolution, v.29, p.185–205.

VISENTAINER, J.V.; FRANCO, M.R.B.; SOUZA, N.E., 2012. Ácidos Graxos Em Óleos e Gorduras: Identificação e Queantificação. EDUEM. Maringá.

WADA, O., 2004. What are Trace Elements ? — Their deficiency and excess states. Japan Medicine Association Journal, v.47, p.351.

WELTER, K.C., MARTINS, C.M.M.R.; DE PALMA, A.S.V.; MARTINS, M.M.; DOS REIS, B.R.; SCHMIDT, B.L.U.; SARAN NETTO, A., 2016. Canola Oil in Lactating Dairy Cow Diets Reduces Milk Saturated Fatty Acids and Improves Its Omega-3 and Oleic Fatty Acid Content. PLoS One, v.11, p.e0151876. Doi:10.1371/journal.pone.0151876.

WHO/UNICEF, 2007. Iodine deficiency in Europe - A continuing public health problem. World Heal. Organ. - UNICEF 283:3–86.

WOJCIK, M.; BURZYNSKA-PEDZIWIATR, I.; WOZNIAK, L., 2010. A Review of Natural and Synthetic Antioxidants Important for Health and Longevity. Currant Medicine Chemical, v.17, p.3262–3288. Doi:10.2174/092986710792231950.

WOOLPERT, M.E.; DANN, H.M.; COTANCH, K.W.; MELILLI, C.; CHASE, L.E.; GRANT, R.J.; BARBANO, D.M., 2016. Management, nutrition, and lactation performance are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on northeastern US dairy farmofs. Journal Dairy Science, v.99, p.8486–8497. Doi:10.3168/jds.2016-10998.

YAHFOUFI, N.; ALSADI, N.; JAMBI, M.; MATAR, C., 2018. The immunomodulatory and anti-inflammatory role of polyphenols. Nutrients, v.10, p.1–23. Doi:10.3390/nu10111618.

YANG, Y., ZHENG, N.; ZHAO, X.; ZHANG, Y.; HAN, R.; YANG, J.; ZHAO, S.; LI, S.; GUO. T.; ZANG, C.; WANG, J., 2016. Metabolomic biomarkers identify differences in milk

produced by Holstein cows and other minor dairy animals. Journal of Proteomics, v.136, p.174–182. Doi:10.1016/j.jprot.2015.12.031.

YAZDANPARAST, R.; ARDESTANI, A., 2007. In vitro antioxidant and free radical scavenging activity of Cyperus rotundus. Journal of Medicine Food, v.10, p.667–674. Doi:10.1089/jmf.2006.090.

YE, A. 2011. Functional properties of milk protein concentrates: Emulsifying properties, adsorption and stability of emulsions. International Dairy Journal, v.21, p.14–20. Doi:10.1016/j.idairyj.2010.07.005.

YOUNG, A.J.; LOWE, G.L., 2018. Carotenoids—antioxidant properties. Antioxidants, v.7, p.10–13. doi:10.3390/antiox7020028.

ZHU, Y.; BO, Y.; LIU, Y., 2019. Dietary total fat, fatty acids intake, and risk of cardiovascular disease: A dose-response meta-analysis of cohort studies. Lipids Health Disiese, v.18, p.1–14. doi:10.1186/s12944-019-1035-2.

Capítulo 9

Efeito do nitrato e do nitrito na produção de leite e suas consequências para a saúde animal e humana

Monique Figueiredo-Paludo
Kleves Vieira de Almeida
Francilaine Eloise De Marchi
Ranulfo Combuca da Silva Júnior
Magali Soares dos Santos Pozza
Gelson dos Santos Difante
Geraldo Tadeu dos Santos

Resumo

O nitrato (NO_3^-) é um ânion inorgânico que faz parte do ciclo do nitrogênio. Presente nas plantas, o NO_3^- também pode ser encontrado na água e em grãos consumidos pelos ruminantes. Quando em excesso o NO_3^- é considerado indesejável na alimentação, devido a sua redução a nitrito (NO_2^-), que pode desencadear intoxicação e possível morte de animais. Apesar dessas preocupações, a administração de NO_3^- em quantidades seguras para ruminantes adaptados representa uma alternativa no controle da emissão de metano, devido a sua ação anti-metanogênica. Entretanto, ao inserir NO_3^- na dieta de vacas leiteiras, sua concentração e de seus metabólitos (nitrito e nitrosaminas) pode aumentar significativamente no leite e em produtos lácteos. Estudos reportados na literatura têm correlacionado a nitração das proteínas do leite ao aumento de seu potencial alergênico para os seres humanos. Há também pesquisas que apontam a ligação do nitrato na dieta de humanos com o aparecimento de doenças, como o cancêr. Diante do exposto, a presente revisão tem a finalidade de apresentar um compilado de informações sobre as fontes de nitrato / nitrito na alimentação de vacas leiteiras e os fatores que influenciam a sua concentração. Ainda, apontar as implicações desses compostos na saúde animal e sua influência no teor de nitrato e nitrito no leite visando as consequências para a saúde humana.

Palavras-chave: metahemoglobina, metano, óxido nítrico, toxicidade.

Introdução

Nitrato e nitrito são formados naturalmente no ciclo do nitrogênio, onde o nitrogênio gasoso ($N_{2(g)}$) é incorporado em compostos orgânicos nitrogenados, que posteriormente, pela ação das bactérias nitrificantes convertem o nitrogênio amoniacal em nitrito e por sua vez em nitrato, que é o principal nutriente assimilado pelas plantas (KAMRA et al., 2015; COCKBURN et al., 2013).

Os nitratos são compostos inorgânicos que contém o ânion (NO_3^-) (VILLAR et al., 2020), encontrados no meio ambiente na forma de sais (sólido cristalino). Três exemplos mais comuns de sais de nitratos são obtidos quando os cátions Na^+, K^+ ou NH_4^+ fornecem 1 elétron para um ânion nitrato formando o nitrato de sódio ($NaNO_3$), nitrato de potássio (KNO_3) ou nitrato de amônio (NH_4NO_3) (MENARD et al., 2008). Os nitratos estão presentes no solo, água e alimentos em concentrações variáveis e dependentes de diversos fatores, tais como, adubação, clima, uso de agroquímicos e vegetação (WRIGHT; DAVISON, 1964). A atividade antioxidante e antimicrobiana do NO_3^- pode ser explorada em produtos derivados de carne e leite, como os salames e queijos (HONIKEL, 2008). O nitrito (NO_2^-) metabólito do nitrato, também é usado como um aditivo alimentar multifuncional, especialmente na preservação de carnes (ARCHER, 2002) devido ao controle da oxidação de lipídios e sua ação antimicrobiana (SINDELAR; MILKOWSKI, 2012).

Níveis elevados de nitrato em alimentos e água são indesejáveis, pois sua redução a nitrito pode representar uma séria ameaça para a saúde animal (MARAIS et al., 1988). Especialmente para os ruminantes que são vulneráveis à intoxicação por ingestão de nitrato, devido ao potencial redutor dos microrganismos presentes no rúmen (ASLANI; VOJDANI, 2007). A redução de nitrato a amônia pode gerar o acúmulo de nitrito (intermediário) no rúmen e permitir que este seja absorvido pela corrente sanguínea (AL-QUDAH et al., 2009; LEE; BEAUCHEMIN, 2014). Após a absorção, o nitrito liga-se a hemoglobina resultando em metahemoglobina, formada quando o ferro da molécula heme é oxidado do estado ferroso (Fe^{2+}) para o estado férrico (Fe^{3+}) (ANDERSON et al., 2016).

Existem relatos de casos de intoxicação e quadros de metahemoglobinemia em bovinos pelo consumo de nitrato em alimentos contaminados com fertilizante a base de nitrato de amônio (ISSI et al., 2008). Os sinais clínicos da intoxicação variam de acordo com a quantidade consumida, sendo mais comuns a anorexia, dispnéia, ranger de dentes, depressão ou hiperexitabilidade, tremores, contrações abdominais, salivação, corrimento nasal, andar cambaleante, mucosas cianóticas e decúbito evoluindo para o óbito (MEDEIROS et al., 2003).

Embora o potencial de toxicidade exista, o nitrato é um aditivo alimentar que vem recebendo atenção em pesquisas por ser um aceptor de elétrons no rúmen, uma vez que a redução de nitrato a amônia utiliza o hidrogênio livre e consequentemente reduz a emissão de metano entérico dos ruminantes (LEE; BEAUCHEMIN, 2014).

Apesar de ser considerado um potencial aditivo alimentar para ruminantes devido sua capacidade de reduzir a produção de metano, nitratos e nitritos podem ser encontrados no leite e derivados, principalmente pela ingestão de alimentos contaminados devido a manejos incorretos de pastagens ou superadubação, por exemplo, e que uma vez ingeridos pelos animais produzem níveis residuais no leite (RADZYMIŃSKA et al., 2008).

Sabe-se que a presença dessas substâncias em alimentos lácteos é indesejável por possuir um vínculo direto com a saúde dos consumidores (NAG, 2010). Após a ingestão de nitrato por seres humanos, pode haver reações com aminas secundárias presentes no trato gastrointestinal, que são potencialmente carcinogênicas (CHAMANDUST et al., 2016; HORD et al., 2009). Além disso, quando ingerido em níveis elevados, o nitrito é capaz de causar a formação de metahemoglobina em humanos (COCKBURN et al., 2013).

Dessa forma, concentrações aumentadas de nitrato no leite são perigosas para a saúde humana, pois o leite é utilizado na alimentação em geral, especialmente por bebês e crianças, além de ser material para produção de vários alimentos (BARANOVA et al., 1993).

O conhecimento científico sobre as consequências da ingestão de nitrato e nitrito por bovinos e seus efeitos na composição do leite e na saúde humana é importante, porém, existem poucos trabalhos que abordam essa temática. Com esta revisão objetivou-se elucidar o conhecimento sobre a procedência e as consequências do nitrato e do nitrito na alimentação bovina, e a implicância de sua presença no leite e derivados para a saúde humana.

Fontes de nitrato e nitrito na alimentação de bovinos leiteiros

A presença de nitrato na água, tanto em áreas urbanas quanto rurais é dependente da fonte de obtenção (reservatórios, poços, minas) (JONES, 1972; SWANN, 1975; PENNINGTON, 1998; PARVIZISHAD et al., 2017). De acordo com a Portaria N° 518, de 25 de março de 2004, que rege o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano em território brasileiro, o valor máximo permitido de nitrato (como N) na água é de 10 mg/L de N (BRASIL, 2004).

Presente também em vegetais, o teor de nitrato pode ser variável devido características intrínsecas e extrínsecas das plantas que regem o seu acúmulo (WRIGHT; DAVISON, 1964; Al-QUDAH et al., 2009; HABERMEYER et al., 2014). A velocidade de crescimento das plantas exerce maior influência no percentual de nitrato, de forma que as mais jovens e de crescimento rápido geralmente contêm níveis mais altos de nitrato do que as mais velhas (AL-QUDAH et al., 2009). Os fatores extrínsecos que garantem o acúmulo de nitrato em plantas, compreendem o suprimento de nutrientes, o teor de umidade, a intensidade da luz, pH do solo, presença de nitratos e nitritos na água, condições climáticas e o uso de fertilizantes (WRIGHT; DAVISON, 1964; SIDHU et al., 2011).

De acordo com NAG (2010) devido ao aumento do uso de fertilizantes e adubos em sistemas intensivos de produção agrícola, o nível de nitratos tende a aumentar nos cereais, outras culturas e água. Isso ocorre, pois, a aplicação de fertilizantes eleva a quantidade de nitrato nas plantas (AL-QUDAH et al., 2009; YEH et al., 2013), visto que, o nitrogênio presente nesses produtos é oxidado em nitrato e nitrito no solo e absorvido pelos vegetais (PENNINGTON, 1998).

A escassez de água é um fator que faz com que as plantas apresentem uma maior concentração de nitrato (KAMRA et al., 2015; HALL, 2018). Os períodos de luz solar reduzida também exercem influência no acúmulo de nitrato pelas plantas, pois este é necessário para impulsionar o sistema de nitrato redutase (HALL, 2018), que é suprimido em dias nublados e com baixa temperatura (KAMRA et al., 2015). Utilizado como nutriente pelas plantas, o nitrato pode ser acumulado nas folhas, caules e sementes (DAVISON et al., 1964).

Apesar de todos os fatores que influenciam o acúmulo destes ânions, algumas forrageiras utilizadas na nutrição de ruminantes naturalmente contém um teor mais elevado de nitrato e nitrito do que outras (MEDEIROS et al., 2003), como cereais (verdes ou feno), folhas de beterraba, nabo, *Brassicacea, Sorghum spp*., e algumas ervas daninhas como a

Silybum marianum, *Amaranthus retroflexus*, *Datura stramonium* e o *Chenopodium album* (ASLANI; VOJDANI, 2007).

Além das forragens e da água, o nitrato ingerido pelo animal pode ser proveniente de outras fontes alimentares, como o nitrato suplementar da dieta que é utilizado como fonte de nitrogênio não-proteico (NNP), gerando amônia como produto final da sua redução (CARLSON; BREEZE, 1984; LENG; NOLAN, 1984; ZHAO et al., 2015). Estudos na área de nutrição de ruminantes indicam que pode ser feito a substituição de ureia por nitrato suplementar como uma forma de NNP (NOLAN et al., 2010), assim como também este pode substituir parcialmente fontes de proteína verdadeira.

Segundo Silveira et al. (2019) o nitrato de cálcio encapsulado pode ser utilizado em até 10 g/kg na base da matéria seca (MS) como substituto do farelo de soja em dietas para cabritos em crescimento, sem alterar o consumo de MS e a digestibilidade dos nutrientes da dieta. Em outro experimento realizado por Almeida et al. (2019) no qual avaliaram-se o efeito do fornecimento de nitrato de cálcio na dieta de vacas da raça Holandês em lactação (106,0±14,8 dias em lactação, 550,7±21,8 kg de peso vivo) foi observado uma redução no consumo de MS e uma redução na proteína verdadeira do leite no tratamento com 30 g/kg na MS da dieta total. Todavia, o tratamento em que se utilizou 15 g/kg na MS da dieta total foi considerado o mais eficiente e, portanto, é a dose recomendada de utilização de nitrato como fonte alternativa de NNP em substituição a ureia, sem gerar efeitos negativos nos parâmetros de produção.

Conclui-se que existe disponibilidade de várias fontes de nitrato na alimentação do ruminante, dificultando o controle da ingestão pelo animal.

Estresse nitrosativo na glândula mamária

Além dos vários fatores associados a mastite como agente etiológico, clima, hierarquia de raças, estresse, e outros foi descoberto que a mastite subclínica e clínica em vacas também está relacionada com estresse nitrosativo da glândula mamária (ANDREI et al., 2016, SHAHEEN et al., 2016).

Mastite subclínica em cabras leiteiras em lactação também foi associada a um aumento nas concentrações de nitrato e nitrito no leite (SILANIKOVE et al., 2014a). Em experimento que investigou a capacidade antioxidante total (CAT), capacidade oxidante total (COT) e os níveis de óxido nítrico no leite de vacas com mastite subclínica, da raça Pardo-Suiço e Holandês foi observado que os níveis de óxido nítrico, COT e contagem de células somáticas (CCS) foram significativamente maiores no leite de quartos mamários com mastite subclínica em comparação com os de quartos mamários saudáveis. A mastite subclínica resultou em maiores concentrações de óxido nítrico, COT e CCS, e o óxido nítrico. A COT apresentou correlação positiva com o CCS (ATAKISI et al., 2010). Dessa forma, a mastite em vacas foi também caracterizada pelo aumento de óxido nítrico no leite (BLUM et al., 2000).

O óxido nítrico é um composto oxidado rapidamente a vários outros compostos nitro e nitroso (TITOV et al., 2010), sendo produzido em maiores quantidades durante infecções, causando efeitos colaterais metabólicos (BLUM et al., 2000). O aumento do óxido nítrico liberado é refletido pelo acúmulo de nitrito e nitrato no leite (SILANIKOVE et al., 2014b). De

acordo com Ellah (2013) as mudanças no nível de óxido nítrico no leite podem ser utilizadas como uma ferramenta de diagnóstico adicional para detectar inflamação durante a mastite.

Ainda, estudos indicam que o tratamento intramamário com formação de óxido nítrico induzido por lipopolissacarídeo está associada a estresse nitrosativo que reflete na formação de compostos perigosos no leite, as nitrotirosinas (SILANIKOVE et al., 2012).

Metabolismo do nitrato em ruminantes

A reação de redução do nitrato a nitrito $NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NO_2^- + H_2O$), e outros metabólitos, como o óxido nítrico ($NO_{(g)}$) e compostos N-nitrosos, ocorre no rúmen do animal pela ação dos microrganismos (COCKBURN et al., 2013) e como produto final destas reações forma-se o íon amônio ($NO_2^- + 8H^+ + 6e^- \rightleftarrows NH_4^+ + 2H_2O$) (SIDHU et al., 2011). Este processo ocorre por meio do consumo de elétrons e da captura do hidrogênio livre (LATHAM et al., 2016). Embora a concentração de amônia (NH_3) no fluído ruminal seja pequena, o equilíbrio com a forma ionizada (NH_4^+) é estabelecido com rapidez ($NH_3 + H^+ \rightleftarrows NH_4^+$).

A amônia é utilizada pelos microrganismos ruminais como fonte de nitrogênio (SIDHU et al., 2011), e também para a síntese de proteína microbiana. Além disso, a amônia em excesso pode ser absorvida pela parede ruminal e por meio da corrente sanguínea chegar ao fígado para a conversão em ureia, e posteriormente eliminada na urina ou leite, ou podendo ainda retornar ao rúmen na forma de ureia via saliva (SIDHU et al., 2014).

Três espécies bacterianas (*Wolinella succinogenes, Veillonella parvula* e *Selenomonas ruminantium*) estão diretamente associadas à redução ruminal de nitrato. Há também fortes indícios de que os protozoários ciliados podem reduzir o nitrato, embora a importância de seu papel em relação às bactérias ainda não é conhecida (YANG et al., 2016). As enzimas nitrato redutase e nitrito redutase atuam nesse processo de redução e estudos indicam que essas enzimas têm suas atividades aumentadas quando fornecido uma dieta rica em nitrato aos ruminantes, sugerindo sua indução por substratos (IWAMOTO et al., 2001).

A incorporação de nitrato na dieta de animais adaptados pode atingir até 30% de proteína exigida, sem afetar adversamente a fermentação ruminal e a saúde dos animais (KAMRA et al., 2015). Entretanto, ocasionalmente o nitrato e/ou nitrito podem sutilmente influenciar de forma negativa a população microbiana ruminal (MARAIS et al., 1988), especialmente em animais não adaptados previamente.

Geralmente a inclusão de nitrato na dieta resulta no aumento da produção de acetato e pode diminuir a ação sobre a produção de propionato (LATHAM, 2016), além de provocar redução na ingestão de alimentos, no ganho de peso e na produção de leite (LEE; BEAUCHEMIN, 2014).

De acordo com cockburn et al. (2013), não foram observados efeitos para bovinos, quando administrado nitrito em nível de 3,3 mg/kg de peso corporal por dia. Contudo, o nitrato na dieta dos ruminantes pode trazer benefícios, como a diminuição da produção de metano (KAMRA et al., 2015; GONTIJO et al., 2017). Visto que, a pecuária contribui para emissão de metano, pois os bovinos perdem parte da energia ingerida (2 a 15%) na forma de

metano e uma grande proporção (75 a 95%) do nitrogênio ingerido na forma de amônia (COBELLIS et al., 2016).

Como a redução do nitrato à amônia é altamente competitiva pelo hidrogênio (H_2) disponível, a produção de metano é suprimida. Esse mecanismo acontece pela ação da *Archaea*, que é o grupo de microrganismos responsáveis pela produção de metano e água através da redução do dióxido de carbono com o hidrogênio ($CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$) (Van ZIJDERVELD et al., 2011). Sendo assim, a concentração de H_2 no rúmen é o foco principal para controlar as emissões de metano dos ruminantes (JOBLIN, 1999).

Estequiometricamente, a mesma quantidade de H_2 é usada para reduzir 1 mol de NO_3^- ou 1 mol de CO_2. Portanto, 1 mol NO_3^- reduz a produção de 1 mol de CH_4 se outras reações de H_2 não fossem afetadas (NOLAN et al., 2016). Em estudo realizado com vacas leiteiras da raça Holandês, a adição de 4 níveis de nitrato a dieta (0; 5,3; 13,6 e 21,1 g/kg da matéria seca da dieta total) reduziu significativamente a produção de metano (L/ kg de MS ingerida) em até 23% sem afetar os parâmetros ingestão, digestibilidade dos nutrientes e produção e composição do leite (OLIJHOEK et al., 2016).

Embora exista potencial de toxicidade, o nitrato é um aditivo alimentar candidato viável que pode ser usado para atenuar as emissões entéricas de metano nos ruminantes (LEE; BEAUCHEMIN, 2014). Dessa forma, é imprescindível que o nitrato suplementar seja administrado de forma controlada para animais adaptados buscando obter benefícios como a diminuição da emissão de metano pelos ruminantes e minimizar os riscos de intoxicação.

Patogenia da intoxicação por ingestão de nitrato em ruminantes

A ingestão de nitrato pode apresentar riscos à saúde animal, devido à potencial toxicidade do nitrito. A taxa de redução de NO_3^- para NO_2^- depende da quantidade de NO_3^- presente na alimentação e a sua taxa de ingestão (NOLAN et al., 2016).

A redução inicial de nitrato para nitrito é mais rápida do que a redução subsequente a amônia (LUND et al., 2014). Dessa forma, existe o risco do acúmulo de nitrito, que pode ser potencialmente tóxico para o animal devido a sua absorção por meio da parede do rúmen e transporte para a corrente sanguínea, onde interage com a hemoglobina e a converte da forma ferrosa (Fe_2^+) para a forma férrica (Fe_3^+) (Figura 1), denominada metahemoglobina (MARAIS et al., 1988; ISSI et al., 2008; Van ZIJDERVELD et al., 2010). A metahemoglobina é incapaz de transportar ou liberar oxigênio dos pulmões para os tecidos do corpo (WRIGHT ; DAVISON, 1964; AL-QUDAH et al., 2009; YANG et al., 2016). De acordo com Ozmen et al. (2005) os nitritos também atuam como vasodilatadores, que podem contribuir para o desenvolvimento de anoxia tecidual causando insuficiência circulatória periférica.

Um agravante em bovinos é o intestino adaptável, que em cargas normais transfere nitrito para biossíntese amônia, no entanto, quando esse mecanismo de escape fica sobrecarregado, o nitrito se acumula e pode entrar na corrente sanguínea através da parede ruminal (COCKBURN et al., 2013). O nível de nitrato tóxico para cada animal é dependente da quantidade de nitrato sendo reciclado de volta ao rúmen, juntamente com a taxa de decomposição do nitrito (OZMEN et al., 2005).

A manifestação dos sinais clínicos em ruminantes varia de acordo com o grau de intoxicação (LEE; BEAUCHEMIN, 2014). GONTIJO et al. (2017) relataram o caso de 3 bovinos fêmeas de 2,5 a 3 anos (7/8 Holstein x 1/8 Gir) pesando aproximadamente 380 kg, que morreram após uma mudança abrupta na dieta de silagem de milho (*Zea mays*) para capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) em uma região de Minas Gerais, Brasil. As novilhas intoxicadas apresentaram coloração marrom da mucosa da conjuntiva e do vestíbulo vaginal, língua cinza azulada, dispnéia, sialorréia, timpanismo, progressão para decúbito esternal e morte. O teste de difenilamina e a dosagem de nitrato na forragem (*Pennisetum purpureum*) oferecida aos animais revelaram concentração elevada de nitrato na planta (3.965 ppm), sendo que essa forragem compunha cerca de 80% do consumo total de matéria seca das novilhas. Segundo os autores, os principais fatores que levaram à intoxicação foram a adubação excessiva do capim com esterco bovino; a ocorrência de um período de estiagem seguido por um período chuvoso; a falta de adaptação dos animais à alimentação rica em nitrato e a dieta composta, quase exclusivamente, por capim-elefante.

Jönck et al. (2013) relatam em seu trabalho um surto de intoxicação por ingestão de nitrato após bovinos terem ingerido pastagens anuais cultivadas de *Avena sativa* (aveia) ou *Lolium spp*. (azevém), adubadas com adubo químico ou orgânico (esterco de galinha), em regiões acometidas por seca e posterior chuva. A análise bromatológica realizada em amostras coletadas de várias propriedades onde ocorreram os surtos revelou de 0,30 a 3,36% de nitrato na MS.

No Brasil há ainda relato de intoxicação por nitrato/nitrito no sertão da Paraíba com a ingestão de capim-mandante (*Echinochloa polystachya*) e capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) (MEDEIROS et al., 2003). De acordo com Alaboudi e Jones (1985) a definição da dose letal mínima de nitrato para ruminantes depende de variáveis como a composição da dieta, taxa de ingestão e método de administração.

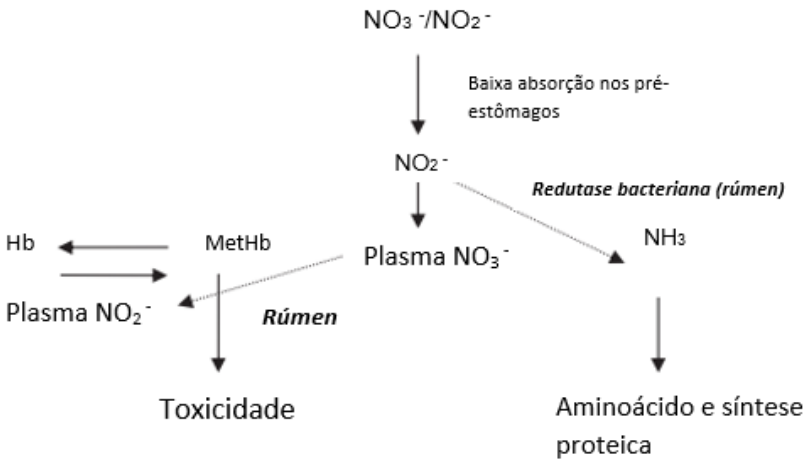
Para verificar a presença e gravidade da intoxicação dos ruminantes por ingestão de nitrato, o nível de metahemoglobina no sangue em relação a porcentagem total de hemoglobina é um ótimo indicador (ALMEIDA e SANTOS, 2020), pois os níveis de envenenamento por nitrato e o nível de metahemoglobina no sangue estão diretamente relacionados (LEE e BEAUCHEMIN, 2014). De acordo com um estudo de Crawford et al. (1966) aonde novilhas foram alimentadas por 35 dias com feno de aveia com nitrato de 0,08% na matéria seca e um grupo similar recebeu feno com 1,24% de nitrato na matéria seca, foi observado o aumento proporcional da metahemoglobina.

Em estudo realizado por Ozmen et al. (2005) foi feito a mensuração dos níveis de metahemoglobina nas amostras de sangue de vacas que apresentavam envenenamento crônico por nitrato e foram obtidos os valores de 6,2%, 8,8%, 13,75%, 16,2%, 17,92%, 18,8% e 32% de metahemoglobina no sangue. Em contrapartida, os valores do grupo controle variaram de 0,3 a 1,5% de metahemoglobina no sangue.

Apesar de diversos relatos da intoxicação em ruminantes, o potencial de toxicidade do nitrato e/ou nitrito pode ser reduzido pela aclimatação gradual dos animais ao nitrato, visto que, esse processo tem como objetivo aumentar a atividade ou a população de microrganismos do rúmen capazes de reduzir o nitrato a amônia (LEE e BEAUCHEMIN, 2014). Além disso, estratégias nutricionais vêm sendo aplicadas para evitar quadros de

intoxicação, tais como, formas de encapsulamento visando diminuir a solubilidade do NO_3-, a adição de concentrados em dietas contendo nitrato e a inclusão de culturas microbianas com propriedades redutoras de NO_2- (NOLAN et al., 2016).

Figura 1. Metabolismo do nitrato e nitrito em bovinos



Fonte: Adaptado de Cockburn et al. (2013).

Nitrato e seus derivados no leite

O leite é considerado o alimento mais equilibrado já encontrado na natureza, contendo a maioria dos nutrientes indispensáveis à saúde (Nag et al., 2010). Visto o seu amplo consumo por seres humanos de todas as faixas etárias, a contaminação do leite com nitrato e nitrito é uma preocupação, sabendo que a sua presença pode ser originada da alimentação bovina (SANTOS et al., 2005; LEE e BEAUCHEMIN, 2014). Além disso, esses compostos podem estar presentes em alimentos na forma de constituinte natural ou devido a uma adição intencional como aditivo (MENARD et al., 2008).

O nitrato em si é relativamente não-tóxico, mas seus metabólitos e produtos de reação, como o nitrito e os compostos N-nitrosos, suscitaram preocupação devido às implicações de efeitos adversos à saúde, como metahemoglobinemia e carcinogênese (EFSA, 2008). Os compostos N-nitrosos são conhecidamente substâncias genotóxicas (HABERMEYER et al., 2014; PARVIZISHAD et al., 2017). O nitrito, por sua vez, pode reagir com aminas no suco gástrico e formar nitrosaminas cancerígenas, levando a vários tipos de câncer em seres humanos (ARCHER, 2002), evidenciando a capacidade que o nitrito tem de ser mutagênico (MENARD et al., 2008).

Nitrosaminas foram encontradas no leite de vacas e cabras em condições experimentais (BRUNING-FANN e KANEENE, 1993). Nas décadas de 1950 e 1960 foi descoberto o potencial de formação de nitrosaminas em alimentos o que desencadeou um debate sobre a segurança do nitrito ingerido (SINDELAR e MILKOWSKI, 2012).

Devido ao risco para a saúde humana (BARANOVA et al., 1993) na maioria dos países, o nitrato e nitrito adicionados ao alimento tem seus níveis limitados e os seus valores residuais regulados por leis (HONIKEL, 2008). De acordo com a IDA (Ingestão Diária Aceitável), que é estabelecida pelo JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food

Additives), o valor de nitrato aceitável para o consumo humano é 0-3,7 mg/kg/dia de peso corporal e o de nitrito é de 0-0,07 mg/kg/dia de peso corporal.

A ingestão de 8-15 g de nitrato pode causar gastroenterite severa com dor abdominal, sangue nas fezes e na urina, fraqueza e colapso em seres humanos adultos (OLIVEIRA et al., 1995). Contudo, o efeito secundário mais conhecido devido a ingestão de nitrato é sua redução em nitrito que pode oxidar a hemoglobina causando cianose nos bebês, popularmente conhecido também como "Síndrome do bebê azul" (ARCHER, 2002; MENARD et al., 2008). As crianças são especialmente suscetíveis ao efeito tóxico desses compostos, pois possuem baixo peso corporal, sistemas enzimáticos imaturos e baixa acidez gástrica (OLIVEIRA et al., 1995), além de que o ácido estomacal de uma criança não é tão forte quanto em crianças mais velhas e adultos, isso causa um aumento de bactérias que podem facilmente converter nitrato em nitrito (SELF e WASKOM, 2013).

A nitração das proteínas pode contribuir para uma maior prevalência de doenças alérgicas em humanos, como a alergia alimentar ao leite de vaca (GRUIJTHUIJSEN et al., 2006). Em estudo realizado por Gruijthuijsen et al. (2006), utilizando 48 ratos fêmeas foi observado que a nitração acarreta em alterações estruturais na β-lactoglobulina (BLG) favorecendo a dimerização, aumentando a reatividade anafilática de animais que já possuem alergia a BLG.

Atualmente, no entanto, possíveis efeitos benéficos do nitrato na dieta também podem ser esperados, uma vez que foi constatado que o nitrato da dieta é uma fonte de óxido nítrico e o óxido nítrico é uma importante substância farmacológica em humanos (LEE e BEAUCHEMIN, 2014), fato este que representa uma profunda mudança de paradigma nos últimos 50 anos (PARTHASARATHY e BRYAN, 2012). Na literatura são citados efeitos como a parcial conversão do nitrato em monóxido de nitrogênio, que induz a vasodilatação e assim diminui a pressão sanguínea, sendo que este efeito está associado a um risco reduzido doenças cardiovasculares, infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral (HABERMEYER et al., 2014).

O óxido nítrico também possui propriedades farmacológicas importantes para os humanos, por desempenhar vários papéis benéficos, como destruir os organismos produtores de ácido, proteger contra infecções e ulcerações gastrointestinais (LEE e BEAUCHEMIN, 2014), regular a respiração mitocondrial, e a função plaquetária (BESCO et al., 2012). Além disso, o óxido nítrico é formado após o nitrato ingerido ser reduzido a nitrito por bactérias na boca, todavia, as condições ácidas presentes na boca e no estômago podem reduzir ainda mais o nitrito a óxido nítrico (LEE e BEAUCHEMIN, 2014).

A concentração média encontrada em amostras de leite por Korenekova et al. (2000) de nitrito foi de 0,1 a 0,2 mg/kg e o teor médio de nitrato foi de 0,9 mg/kg. Em uma pesquisa realizada em 102 amostras de leite comercial no Irã foi registrado que o nitrato estava presente em todas as amostras com média de 34 ± 11 mg/L, no entanto, o nitrito não foi encontrado em nenhuma das amostras (CHAMANDUST et al., 2016). De acordo com Nag (2010) o nível de nitrato no leite é naturalmente relativamente constante na faixa 1 ± 12 mg / kg de leite cru, enquanto o nitrito está praticamente ausente.

De acordo com um trabalho realizado por Davison et al. (1964), novilhas leiteiras alimentadas diariamente com nitrato em níveis de 0,440 e 660 mg/kg de peso corporal

obtiveram menor taxa de concepção, quando alimentadas com 660 mg de nitrato. A alimentação com nitrato ainda aumentou o teor de nitrato no leite e na carne desses animais.

Em um experimento de longo prazo (17 semanas) que incluiu na dieta de vacas lactantes, linhaça (3,5% de óleo de linhaça) e nitrato (1,8% de nitrato) concluiu-se que consumir produtos lácteos de vacas alimentadas com nitrato pode ser seguro em termos de resíduos de nitrato e nitrito, visto que no leite coletado dos animais analisados foi evidenciado a ausência de resíduos de nitrato e nitrito. No entanto, ainda são necessárias mais pesquisas para otimizar as doses máximas de nitrato para evitar resíduos em produtos lácteos (GUYADER et al., 2016) visto que o corpo humano absorve o nitrato ingerido com muita facilidade (MENARD et al., 2008).

Em bovinos leiteiros foi relatado que a alimentação a base de pastagens com excesso de nitrato pode apresentar concentrações mais altas de ureia no leite e no plasma, do que as vacas em pastagens que tem menor concentração de nitrato (LAVEN et al., 2002).

Entretanto, o potencial risco para a saúde humana a partir do consumo de alimentos de origem animal contendo nitrato, nitrito e óxido nítrico exista, é muito baixo (LEE e BEAUCHEMIN, 2014). Visto isso, e conhecendo a importância do leite na alimentação humana é importante que a adição de nitrato na dieta seja feita levando em consideração a taxa de passagem de nitrato e seus compostos para o leite e derivados.

Influência dos sistemas de produção na presença de nitrato no leite

Na agricultura dita como “moderna” há grande dependência de fertilizantes químicos, pesticidas e herbicidas gerando poluição ambiental (RIGBY et al., 2001), e fomentando a escassez de recursos naturais (DE PONTI et al., 2012). Essas preocupações levaram ao retorno dos conhecimentos agrícolas básicos agrícolas, que atualmente são ditos “alternativos” (RIGBY et al., 2001), como a agricultura agroecológica e orgânica, que são mais sustentáveis do que a convencional ou “moderna”.

O termo "agricultura sustentável" refere-se a um sistema integrado de práticas de produção de plantas e animais que, a longo prazo satisfaça as necessidades humanas de alimentos, aprimore a qualidade ambiental e a base de recursos naturais, faça o uso mais eficiente de recursos não-renováveis e de recursos agrícolas e integre, quando apropriado, ciclos e controles biológicos naturais, melhorando também a qualidade de vida dos agricultores e da sociedade (U.S. FARM BILL, 1990).

De acordo com Dumont et al. (2018) existem diferentes maneiras de alcançar a sustentabilidade na pecuária que incluem estruturas como a agricultura orgânica e agroecológica. Sabendo-se que no leite cru os teores de nitrato e nitrito podem ser influenciados pelo local de origem da amostra (ZBIKOWSKI et al., 2000), que está intimamente ligado com as características físicas e geográficas da propriedade, os sistemas ao qual as vacas são submetidas eventualmente também interferem nas características químicas do leite.

Naturalmente, os contaminantes ambientais e de processamento estão presentes tanto em produtos convencionais como orgânicos (PUSSEMIER et al., 2006). Assim, durante o processo de produção, o leite pode possuir resíduos em sua composição devido a muitos

contaminantes químicos transportados pelos alimentos, forragens e outros constituintes da dieta, incluindo a água (NAG, 2010). Desta forma, nitratos provenientes de fertilizantes e esterco animal são considerados um dos principais contaminantes da água em muitas áreas (GLIESSMAN, 2014). Sabe-se também que a compra de ração pelas fazendas leiteiras convencionais muitas vezes leva a uma entrada substancial de nitrogênio (CEDERBERG e MATTSSON, 2000), que pode também influenciar a quantidade de nitrato e nitrito contidos no leite.

Como alternativa ao sistema convencional, a produção de leite orgânico é uma maneira de reduzir o uso de pesticidas e o excedente mineral na agricultura (CEDERBERG e MATTSSON, 2000). De acordo com Vallverdú-Queralt e Lamuela-Raventós (2016) a análise química clássica de macro e micronutrientes demonstra que as culturas orgânicas são mais pobres em nitrogênio. Entretanto, Woese et al. (1997) afirmaram que a produção alternativa / orgânica tem maior teor de nitrato no leite do que o leite produzido convencionalmente. Por outro lado, um estudo realizado por Santos et al. (2005) comparando sistemas de produção convencional e orgânico não apresentou diferença para os níveis de nitratos e nitritos em amostras de leite obtidas em diferentes períodos de coleta, diferentes turnos de ordenha ou local de origem. Amostras coletadas em propriedades do Rio Grande do Sul, no Brasil, mostraram que os teores médios de nitrato e nitrito encontrados nas amostras (n=45) produzidas no sistema orgânico apresentaram 7,08 mg/L de nitrato e 1,61 mg/L de nitrito, enquanto no sistema convencional apresentaram 6,36 e 1,87 mg/L, respectivamente (SANTOS et al., 2005).

Apesar do sistema convencional e os sistemas alternativos de produção de leite (agroecológico e orgânico) conduzirem práticas de manejo diferentes, como a agricultura intensiva com uso de fertilizantes pelo sistema convencional, sabe-se que esse é somente um dos fatores que influencia o teor de nitrato no leite, portanto, fica evidente a importância de outros fatores para a presença de nitrato e nitrito no leite de vacas, como por exemplo o estresse nitrosativo na glândula mamária, o potencial redutor dos microrganismos presentes no rúmen de cada animal, estação do ano, entre outros.

Conclusões

O nitrato é fonte de nitrogênio não proteico e, portanto, considerado um possível substituto da ureia nas dietas de bovinos leiteiros. No entanto, é necessária uma adequação gradual do nitrato na dieta dos ruminantes, devido a possibilidade de intoxicação. Desta forma, embora exista o potencial de toxicidade, o nitrato é um aditivo alimentar que vem sendo utilizado para mitigar as emissões entéricas de metano pelos ruminantes. Por outro lado, os efeitos do nitrato também podem afetar seres humanos, devido principalmente aos resíduos e metabólitos que podem ser repassados para o leite e derivados. Assim, a ingestão de altas quantidades nitrato pelos humanos pode acarretar efeitos secundários, como: cianose em bebês, formação de nitrosaminas cancerígenas, entre outros. Neste sentido, é extremamente importante que a administração do nitrato na alimentação dos ruminantes seja feita de forma racional e gradativa e desta forma garantir o mínimo de transferência desses

compostos para os produtos (cárneos e lácteos) que serão posteriormente consumidos pelos seres humanos.

Referências

ALABOUDI, A.R.; JONES, G.A., 1985. Effect of acclimation to high nitrate intakes on some rumen fermentation parameters in sheep. Canadian Journal of Animal Science, v.65, p.841-849.

AL-QUDAH, K. M.; ROUSAN, L. M.; EREIFEJ, K. I., 2009. Nitrate/nitrite poisoning in dairy cattle associated with consumption of forages irrigated with municipally treated wastewater. Toxicological & Environmental Chemistry, v.91, p.163–170.

ALMEIDA, K.V.; OSORIO, J.A.C.; MARCHI, F.E; SIPPERT, M.]R.; FIGUEIREDO, M.; ARAÚJO, R.C.; HORST, J.A.; SANTOS, F.S.; DANIEL, J.L.P.; DAMASCENO, J.C. E DOS SANTOS, G.T. 2019. Effect of dietary calcium nitrate on dry matter intake, milk production and ruminal parameters in dairy cows. Journal of Dairy Science (Suppl.1), v.102, p.383 (Abstr).

ALMEIDA, K.V.; DOS SANTOS, G.T., 2020. Nitrato de cálcio para ruminantes: impactos sobre o consumo de matéria seca e a produção de leite. Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao/nitrato-de-calcio-para-ruminantes-impactos-sobre-o-consumo-de-materia-seca-e-a-producao-de-leite-217480/>. Acesso em: 29/04/2020

ANDERSON, R.C.; RIPLEY, L.H.; BOWMAN, J.G.P.; CALLAWAY, T.R.; GENOVESE, K.J.; BEIER, R.C.; HARVEY, R.B. E NISBET, D.J., 2016. Ruminal Fermentation of Anti-Methanogenic Nitrate- and Nitro-Containing Forages *In Vitro*. Frontiers in Veterinary Science, v.3, p.1-9.

ANDREI, S.; MATEI, S.; RUGINĂ, D.; BOGDAN, L. E ŞTEFĂNUŢ, C., 2016. Interrelationships between the content of oxidative markers, antioxidative status, and somatic cell count in cow's milk. Czech Journal of Animal Science, v.61, p.407-413.

ARCHER, D.L., 2002. Evidence that Ingested Nitrate and Nitrite Are Beneficial to Health. Journal of Food Protection, v.65, p.872–875.

ASLANI, M.R. & VOJDANI, M., 2007. Nitrate intoxication due to ingestion of pigweed red-root (*Amaranthus retroflexus*) in cattle. Iranian Journal of Veterinary Research, v.8, p.377-380.

ATAKISI, O.; ORAL, H.; ATAKISI, E.; MERHAN, O.; PANCARCI, S.M.; OZCAN, A.; MARASLI, S.; POLAT, B.; COLAK, A. E KAYA, S., 2010. Subclinical mastitis causes alterations in nitric oxide, total oxidant and antioxidant capacity in cow milk. Research in Veterinary Science, v.89, p.10-13.

BARANOVA, M.; MAL'A, P. E BURDOVA, O., 1993. Transport of nitrates and nitrites into the milk of dairy cows through the digestive system. Veterinarni Medicina, v.38, p.581-588.

BESCO, R.; SUREDA, A.; TUR, J. A. E PONS, A. 2012. The effect of nitric-oxide-related supplements on human performance. Sports Medicine, v.42, p.99-117.

BLUM, J. W.; DOSOGNE, H.; HOEBEN, D.; VANGROENWEGHE, F.; HAMMON, H. M.; BRUCKMAIER, R. M. E BURVENICH, C., 2000. Tumor necrosis factor-α and nitrite/nitrate responses during acute mastitis induced by Escherichia coli infection and endotoxin in dairy cows. Domestic Animal Endocrinology, **v.**19, p.223-235.

BRASIL. Ministério da saúde. Portaria GM/MS nº. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providencias. Diário Oficial da União, Brasília, 26 mar. 2004.

BRUNING-FANN, C.S.; KANEENE, J.B., 1993. The effects of nitrate, nitrite, and N-nitroso compounds on animal health. Veterinary and human toxicology, v.35, p.237-253.

CARLSON, J.R.; BREEZE, R.G., 1984. Ruminal Metabolism of Plant Toxins with Emphasis on Indolic Compounds. Journal of Animal Science, v.58, p.1040–1049.

CEDERBERG, C.; MATTSSON, B. 2000. Life cycle assessment of milk production—a comparison of conventional and organic farming. Journal of cleaner production, v.8, p.49-60.

CHAMANDUST, S.; MEHRASEBI, M.R.; KAMALI, K.; SOLGI, R.; TARAN, J.; NAZARI, F.; HOSSEINI, M. J., 2016. Simultaneous determination of nitrite and nitrate in milk samples by ion chromatography method and estimation of dietary intake. International Journal of food properties, 19:1983-1993.

COBELLIS, G.; TRABALZA-MARINUCCI, M.; YU, Z., 2016. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: A review. Science of the Total Environment, v.545, p.556-568.

COCKBURN, A.; BRAMBILLA, G.; FERNÁNDEZ, M. L.; ARCELLA, D.; BORDAJANDI, L.R.; COTTRILL, B.; PETEGHEM, C. V. E DORNE, J.L., 2013. Nitrite in feed: from animal health to human health. Toxicology and applied pharmacology, v.270, p.209-217.

Crawford, R.F., Kennedy, W.K. e Davison, K.L., 1966. Factors influencing the toxicity of forages that contain nitrate when fed to cattle. Cornell Veterinarian, v.56, p.3-17.

DAVISON, K.L.; HANSEL, W.M.; KROOK, L.; MCENTEE, K.; WRIGHT, M.J., 1964. Nitrate toxicity in dairy heifers. I. Effects on Reproduction, Growth, Lactation, and Vitamin A Nutrition. Journal of Dairy Science, v.47, p.1065–1073.

DE PONTI, T.; RIJK, B. E VAN ITTERSUM, M.K., 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. Agricultural systems, v.108, p.1-9.

DUMONT, B.; GROOT, J.C.J.; TICHIT, M., 2018. Make ruminants green again–how can sustainable intensification and agroecology converge for a better future? Animal; 12:1-10.

ELLAH, M.R.A. 2013. Role of free radicals and antioxidants in mastitis. Journal of Advanced Veterinary Research, v.3, p.1-7.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA), 2008. Nitrate in vegetables-Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. EFSA journal, v.689, p.1-79.

GLIESSMAN, S.R. 2014. The ecology of sustainable food systems. p.10. In: Agroecology. 3ª ed. CRC press. Boca Raton, FL, USA.

GONTIJO, D.A.; BORGES, A.A. E WOUTERS, F., 2017. Nitrate/nitrite poisoning in dairy cattle from the Midwestern Minas Gerais, Brazil. Ciência Rural, v.47, p.1-7.

GRUIJTHUIJSEN, Y.K.; GRIESHUBER, I.; STÖCKLINGER, A.; TISCHER, U.; FEHRENBACH, T.; WELLER, M.
G.; VOGEL, L.; VETHS, S.; PÖSCHL, U. E DUSCHL, A., 2006. Nitration Enhances the Allergenic Potential of Proteins**.** International Archives of Allergy and Immunology, v.141, p.265–275.

GUYADER, J.; DOREAU, M.; MORGAVI, D.P.; GÉRARD, C.; LONCKE, C.; MARTIN, C., 2016. Long-term effect of linseed plus nitrate fed to dairy cows on enteric methane emission and nitrate and nitrite residuals in milk. Animal, v.10, p.1173–1181.

HABERMEYER, M.; ROTH, A.; GUTH, S.; DIEL, P.; ENGEL, K. H.; EPE, B.; FÜRST, P.; HEINZ, V.; HUMPF, H. U; JOOST, H.G.; KNORR, D.; KOK, T.; KULLING, S.; LAMPEN, A.; MARKO, D.; RECHKEMMER, G.; RIETJENS, I.; STADLER, R.H.; VIETHS, S.; VOGEL, R.; STEINBERG, P.G., 2016. Nitrate and nitrite in the diet: how to assess their benefit and risk for human health. Molecular nutrition e food research, v.59, p.106-128.

HALL, J.O., 2018. Nitrate-and Nitrite-Accumulating Plants. p.941-946. In: Veterinary Toxicology. 3ª ed. Academic Press. Oxford, United Kingdom.

HONIKEL, K.O., 2008. The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. Meat science, v.78, p.68-76.

HORD, N.G.; TANG, Y.; BRYAN, N.S., 2009. Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits. The American journal of clinical nutrition, v.90, p.1-10.

ISSI, M.; GUL, Y.; ATESSAHIN, A.; KARAHAN, I., 2008. Acute nitrate poisoning in two cattle. Toxicological e Environmental Chemistry, v.90, p.135–140.

IWAMOTO, M.; ASANUMA, N.; HINO, T., 2001. Effects of pH and electron donors on nitrate and nitrite reduction in ruminal microbiota. Nihon Chikusan Gakkaiho, v.72, p.117-125.

JOBLIN, K. N. 1999. Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. Australian Journal of Agricultural Research, v.50, p.1307-1314.

JÖNCK, F.; GAVA, A.; TRAVERSO, S.D.; LUCIOLI, J.; FURLAN, F.H.; GUELLER, E., 2013. Intoxicação espontânea e experimental por nitrato/nitrito em bovinos alimentados com *Avena sativa* (aveia) e/ou *Lolium* spp. (azevêm). Pesquisa Veterinária Brasileira, v.33, p.1062–1070.

JONES, G.A. Dissimilatory metabolism of nitrate by the rumen microbiota. 1972. Canadian Journal of Microbiology, v.18, p.1783–1787.

KAMRA, D.N.; AGARWAL, N.; CHAUDHARY, L. C., 2015. Nitrate/Nitrite Toxicity and Possibilities of Their Use in Ruminant Diet. p.343-353. In: Rumen Microbiology: From Evolution to Revolution. 1ª ed. Springer, New Delhi.

KORENEKOVA, B.; KOTTFEROVA, J.; KORÉNEK, M., 2000. The fate of added nitrate used in the manufacture of Emmental cheese. Food Additives e Contaminants, v.17, p.373-377.

LATHAM, E.A.; ANDERSON, R.C.; PINCHAK, W.E.; NISBET, D.J., 2016. Insights on Alterations to the Rumen Ecosystem by Nitrate and Nitrocompounds. Frontiers in Microbiology, v.7, p.1-15.

LAVEN, R.A.; BIGGADIKE, H.J.; ALLISON, R.D., 2002. The Effect of Pasture Nitrate Concentration and Concentrate Intake after Turnout on Embryo Growth and Viability in the Lactating Dairy Cow. Reproduction in Domestic Animals, v.37, p.111–115.

LEN, G.R.A.; NOLAN, J.V., 1984. Nitrogen Metabolism in the Rumen. Journal of Dairy Science, v.67, p.1072–1089.

LEE, C.; BEAUCHEMIN, K.A., 2014. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. Canadian Journal of Animal Science, v.94, p.557–570.

LUND, P.; DAHL, R.; YANG, H.J.; HELLWING, A.L.F.; CAO, B.B.; WEISBJERG, M.R., 2014. The acute effect of addition of nitrate on in vitro and in vivo methane emission in dairy cows. Animal Production Science, v.54, p.1432-1435.

MARAIS, J.P.; THERION, J.J.; MACKIE, R. I.; KISTNER, A.; DENNISON, C., 1988. Effect of nitrate and its reduction products on the growth and activity of the rumen microbial population. British Journal of Nutrition, v.59, p.301-313.

MEDEIROS, R.M.T.; RIET-CORREA, F.; TABOSA, I.M.; SILVA, Z. A.; BARBOSA, R.C.; MARQUES, M. S. A. V E NOGUEIRA, F.R.B., 2003. Intoxicação por nitratos e nitritos em bovinos por ingestão de *Echinochloa polystachya* (capim-mandante) e *Pennisetum purpureum* (capim-elefante) no sertão da Paraíba. Pesquisa Veterinária Brasileira, v.23, p.17–20.

MENARD, C.; HERAUD, F.; VOLATIER, J.L.; LEBLANC, J.C., 2008. Assessment of dietary exposure of nitrate and nitrite in France. Food Additives and Contaminants, v.25, p.971-988.

NAG, S.K. 2010. Pesticides, veterinary residues and other contaminants in milk. In: Improving the safety and quality of milk. p. 113-145. In: Milk production and processing. 1ª ed. Woodhead Publishing Limited, Oxford, UK.

NOLAN, J.V.; HEGARTY, R.S.; HEGARTY, J.; GODWIN, I.R.; WOODGATE, R., 2010. Effects of dietary nitrate on fermentation, methane production and digesta kinetics in sheep. Animal Production Science, v.50, p.801-806.

NOLAN, J.V.; GODWIN, I. R.; DE RAPHÉLIS-SOISSAN, V.; HEGARTY, R.S., 2016. Managing the rumen to limit the incidence and severity of nitrite poisoning in nitrate-supplemented ruminants. Animal Production Science, v.56, p.1317-1329.

OLIVEIRA, C.P.; GLORIA, M.B.A.; BARBOUR, J.F.; SCANLAN, R.A., 1995. Nitrate, Nitrite, and Volatile Nitrosamines in Whey-Containing Food Products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.43, p.967–969.

OLIJHOEK, D.W.; HELLWING, A.L.F.; BRASK, M.; WEISBJERG, M.R.; HØJBERG, O.; LARSEN, M.K.; DIJKSTRA, J.; ERLANDSEN, E.J.; LUND, P., 2016. Effect of dietary nitrate level on enteric methane production, hydrogen emission, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy cows. Journal of Dairy Science, v.99, p.6191–6205.

OZMEN, O.; MOR, F.; SAHINDURAN, S.; UNSAL, A., 2005. Pathological and toxicological investigations of chronic nitrate poisoning in cattle. Toxicological & Environmental Chemistry, v.87, p.99–106.

PARTHASARATHY, D.K.; BRYAN, N.S., 2012. Sodium nitrite: The "cure" for nitric oxide insufficiency. Meat science, v.92, p.274-279.

PARVIZISHAD, M.; DALVAND, A.; MAHVI, A.H.; GOODARZI, F., 2017. A review of adverse effects and benefits of nitrate and nitrite in drinking water and food on human health. Health Scope, v.6, p.1-9.

PENNINGTON, J.A.T., 1998. Dietary exposure models for nitrates and nitrites. Food Control, v.9, p.385–395.

PUSSEMIER, L.; LARONDELLE, Y.; VAN PETEGHEM, C.; HUYGHEBAERT, A., 2006. Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs: a tentative comparison under Belgian conditions. Food control, **v.**17, p.14-21.

RADZYMIŃSKA, M.; SMOCZYŃSKI, S.S.; KOPEĆ, M., 2008. Persistent Organochlorine Pesticide, Lead, Cadmium, Nitrate (V) and Nitrate (III) in Polish Milk and Dairy Products. Polish Journal of Environmental Studies, v.17, p.95–100.

Rigby, D.; Woodhouse, P.; Young, T.; Burton, M., 2001. Constructing a farm level indicator of sustainable agricultural practice. Ecological economics, v.39, p.463-478.

SANTOS, J.S.; BECK, L.; WALTER, M.; SOBCZAK, M.; OLIVO, C.J.; COSTABEBER, I.; EMANUELLI, T., 2005. Nitrato e nitrito em leite produzido em sistemas convencional e orgânico. Food Science and Technology, v.25, p.304-309.

SELF, J.R. & WASKOM, R.M., 2013. Nitrates in drinking water. Disponível em: <http://extension.colostate.edu/docs/pubs/crops/00517.pdf>. Acesso em: 30 Mar. 2019

SHAHEEN, M.; TANTARY, H.A.; NABI, S.U., 2016. A treatise on bovine mastitis: disease and disease economics, etiological basis, risk factors, impact on human health, therapeutic management, prevention and control strategy. Advances in Dairy Research, v.4, p.1-10.

SIDHU, P.K.; BEDI, G.K.; MEENAKSHI, V.M.; SHARMA, S.; SANDHU, K.S.; GUPTA, M.P., 2011. Evaluation of factors contributing to excessive nitrate accumulation in fodder crops leading to ill-health in dairy animals. Toxicology international, v.18, p.22-26.

SIDHU, P.; MAHAJAN, V.; VERMA, S.; ASHUMA, GUPTA, M. 2014. Toxicological and pathological review of concurrent occurrence of nitrite toxicity and swine fever in pigs. Toxicology International, v.21, p.186-190.

SILANIKOVE, N.; RAUCH-COHEN, A.; SHAPIRO, F.; ARIELI, A.; MERIN, U., LEITNER, G. 2012. Lipopolysaccharide challenge of the mammary gland in cows induces nitrosative stress that impairs milk oxidative stability. Animal, v.6=, p.1451-1459.

SILANIKOVE, N.; MERIN, U.; SHAPIRO, F., LEITNER, G., 2014a. Subclinical mastitis in goats is associated with upregulation of nitric oxide-derived oxidative stress that causes reduction of milk antioxidative properties and impairment of its quality. Journal of dairy science, v.97, p.3449-3455.

SILANIKOVE, N.; MERIN, U.; LEITNER, G. 2014b. Nitrite and catalase levels rule oxidative stability and safety properties of milk: a review. RSC advances, v.4, p.26476-26486.

SILVEIRA, R.F.; FERNANDES, M.H.M.R.; ALMEIDA, A.K.; ARAUJO, R.C.; BIAGIOLI, B.; LIMA, A.R.C.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; RESENDE, K.T., 2019. Energy partition and nitrogen utilization by male goats fed encapsulated calcium nitrate as a replacement for soybean meal. Animal Feed Science and Technology, v.248, p.67-76.

SINDELAR, J.J. & MILKOWSKI, A.L. 2012. Human safety controversies surrounding nitrate and nitrite in the diet. Nitric oxide, v.26, p.259-266.

TITOV, V.Y.; KOSENKO, O.V.; FISININ, V.I.; KLIMOV, N.T., 2010. Content of nitric oxide metabolites in cow milk in health and mastitis. Russian Agricultural Sciences, v.36, p.288-290.

U.S. Farm Bill. 1990. Food, Agriculture, Conservation and Trade Act of 1990. Public Law, 101:3705-3706.

VILLAR, M.L.; HEGARTY, R.S.; NOLAN, J.V.; GODWIN, I.R.; MCPHEE, M., 2020. The effect of dietary nitrate and canola oil alone or in combination on fermentation, digesta kinetics and methane emissions from cattle. Animal Feed Science and Technology, v.259, p.1-35.

Wright, M.J.; Davison, K.L. 1964. Nitrate Accumulation In Crops And Nitrate Poisoning In Animals. Advances in Agronomy, v.16, p.197–247.

WOESE, K.; LANGE, D.; BOESS, C., BÖGL, K.W., 1997. A comparison of organically and conventionally grown foods—results of a review of the relevant literature. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.74, p.281-293.

SWANN, P.F., 1975. The toxicology of nitrate, nitrite and n-nitroso compounds. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.26, p.1761–1770.

VALLVERDÚ-QUERALT, A.; LAMUELA-RAVENTÓS, R.M., 2016. Foodomics: A new tool to differentiate between organic and conventional foods. Electrophoresis, v.37, p.1784-1794.

Van ZIJDERVELD, S.M.; GERRITS, W.J.J.; APAJALAHTI, J.A.; NEWBOLD, J.R., DIJKSTRA, J.; LENG, R.A.; PERDOK, H.B., 2010. Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. Journal of Dairy Science, v.93, p.5856–5866.

VAN ZIJDERVELD, S.M.; GERRITS, W.J.J.; DIJKSTRA, J.; NEWBOLD, J.R.; HULSHOF, R.B.A.; PERDOK, H.B. 2011., Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. Journal of Dairy Science, v.94, p.4028-4038.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2002) Evaluation of certain food additives: fifty-ninth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. In*:* Evaluation of certain food additives: fifty-ninth report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives.

YANG, C.; ROOKE, J.A.; CABEZA, I.; WALLACE, R.J., 2016. Nitrate and inhibition of ruminal methanogenesis: microbial ecology, obstacles, and opportunities for lowering methane emissions from ruminant livestock. Frontiers in microbiology, v.7,p.1-14.

YEH, T.S.; LIAO, S. F.; KUO, C.Y.; HWANG, W.I., 2013. Investigation of the Nitrate and Nitrite Contents in Milk and Milk Powder in Taiwan. Journal of Food and Drug Analysis 21:73-79.

ZBIKOWSKI, Z.; ZBIKOWSKA, A.; BARANOWSKA, M., 2000. Content of nitrates and nitrites in raw milk in different regions of the country. Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny, v.51, p.29-35.

ZHAO, L.; MENG, Q.; REN, L.; LIU, W.; ZHANG, X.; HUO, Y.; ZHOU, Z., 2015. Effects of Nitrate Addition on Rumen Fermentation, Bacterial Biodiversity and Abundance. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, v.28, p.1433–1441.

Capítulo 10

A distocia e seu impacto sobre o desempenho produtivo e reprodutivo de bovinos leiteiros

Jean Carlos Steinmacher Lourenço
Alexandre Menezes Dias
Karoline L. Guimarães-Yamada
Geraldo Tadeu dos Santos

Resumo

A distocia é um tema de grande relevância devido ao seu impacto sobre a saúde, bem-estar e produtividade de vacas leiteiras. Sabendo disso, objetivou-se descrever os principais conceitos sobre sua definição, prevalência em rebanhos leiteiros, classificação, fatores de risco, fisiologia e metabolismo envolvido, e o impacto sobre o desempenho de vacas leiteiras. A incidência relatada de distocia em rebanhos internacionais varia de 2,5 até 13,7%, no Brasil, ela varia de 9 a 17% para animais da raça Holandês. O peso do bezerro ao nascimento e o tamanho da pelve materna são os fatores que mais contribuem para a ocorrência de distocia. Animais que passaram por distocia podem apresentar uma produção de leite reduzida até os 300 dias de lactação. Os animais acometidos por este distúrbio demoraram mais para retornar a vida reprodutiva. As medidas preventivas devem proporcionar boa condição ambiental e nutricional para a vaca gestante, além de priorizar a seleção genética para a facilidade do parto.

Palavras-chave: Bovinos; Dificuldade de parto; Fatores de risco; Produção de leite; Saúde animal

Introdução

Uma melhora na produtividade de leite em função da seleção genética (aumento do porte dos animais), da nutrição e do manejo dos animais pode ter contribuído com os problemas reprodutivos em vacas leiteiras e, com isso, reduzir os benefícios da produtividade e qualidade do leite. É crescente a preocupação com a manutenção da saúde e fertilidade dos rebanhos leiteiros (INGVARTSEN, 2006).

A dificuldade no parto representa um entrave para o bom desempenho do gado leiteiro, por afetar negativamente a produtividade, saúde e bem-estar animal. O aumento na susceptibilidade de doenças e mortalidade em bezerras leiteiras, acréscimo nos custos de produção, menor grau de concepção e maior mortalidade são consequências da dificuldade do parto (BARRIER et al., 2012).

A distocia é um exemplo de problema no pós-parto que afeta o trato reprodutivo de fêmeas bovinas, impactando diretamente na lucratividade da pecuária leiteira. As consequências dessa afecção são percebidas na elevação dos custos com tratamentos, redução

na produção de leite, descarte de fêmeas por falhas na concepção e reposição de animais (SHELDON et al., 2009).

Entorno de um terço dos bezerros nascidos em fazendas leiteiras passam por distocia, e têm o risco aumentado de mortalidade e desordens de saúde (BARRIER et al., 2013). A porcentagem de bezerros nascidos mortos pode chegar até 49% em casos de partos com severa dificuldade, além disso, os bezerros que passam por distocia também têm 1,5 vezes mais chance de serem acometidos por algum problema de saúde até os 120 dias de idade (LOMBARD et al., 2007). Em vacas, os problemas no momento do parto são capazes de aumentar o risco de infecções uterinas e doenças infeciosas no pós-parto (SHELDON et al., 2009).

Definição e classificação da distocia

O termo distocia é proveniente do idioma grego, onde *dys* significa dificuldade e *tokos* que significa nascimento. A distocia é definida com uma dificuldade que ocorre no momento do parto, ocasionada pelo prolongamento espontâneo do nascimento ou pela extração do bezerro com elevada dificuldade (HUXLEY; WHAY, 2006). O parto distócico ocasionalmente pode necessitar de intervenção por meio de instrumentos especializados (ZABORSKI et al., 2009). A eutocia em contrapartida, é definida como parto espontâneo ou parto de duração normal e a assistência ao nascimento do bezerro é caracterizada quando existe necessidade de intervenção no momento do parto, embora ela não possa resultar em distocia (MEE, 2008a).

De modo geral, o parto assistido é aquele que exige pequena intervenção, mas não levará necessariamente ao parto distócico, na prática, seria o reposicionamento do membro para o feto completar o nascimento com a mínima assistência, enquanto, o parto distócico é aquele que exige uma forte tração para o nascimento do bezerro podendo ocasionar morte embrionária (MEE, 2004, 2008; LOMBARD et al., 2007; SCHUENEMANN et al., 2011).

Ao longo dos anos, muitas definições subjetivas e escalas de classificação foram desenvolvidas a fim de comparar ou mesclar informações de partos de bovinos leiteiros em diferentes países. Por esse motivo, uma série de trabalhos vêm classificando os partos em função da dificuldade de nascimento do bezerro.

Uma escala com cinco níveis foi sugerida por Dematawewa; Berger (1997), em que: 1 = não ocorre problema ao nascimento; 2 = há necessidade de uma pequena assistência; 3 = existe necessidade de assistência; 4 = há necessidade de auxílio com força considerável e 5 = existe uma extrema dificuldade no momento do parto. Para Jacobsen et al. (2000) o parto distócico pode ser dividido em três categorias, de modo que, em 1 = não ocorre assistência; 2 = pouca assistência é requerida e em 3 = há necessidade de assistência ao parto com mais de duas pessoas.

Há ainda alguns trabalhos que consideram fatores como cesarianas, posição fetal anormal no momento do nascimento e parto com dois fetos (gemelar). Phocas; Laloë, (2004) classificaram em, 1 = nascimento do bezerro com necessidade de pouca assistência, em 2 =

nascimento com leve tração, em 3 = nascimento com necessidade de assistência mecânica e em 4 = secção cesariana ou morte embrionária.

Incidência de distocia

Na última década, trabalhos como o de Mee (2012); Goli (2018) têm mensurado incidência de partos distócicos em rebanhos leiteiros, embora exista certa dificuldade ocasionada pelo grande número de fatores que podem influenciar e causar variação no número de casos em um determinado país, região ou rebanho leiteiro.

Na Tabela 1, Mee (2008) ilustrou a taxa de incidência de partos distócicos encontrados em países como Estados Unidos da América, Austrália, Irlanda, Nova Zelândia e outros. De forma geral, a taxa de distocia encontrada em animais com genótipos similares, variou entre 2,5% e 13,7% e a taxa de partos que necessitam de alguma assistência variou de 10 até 50%.

Tabela 1. Prevalência internacional de partos distócicos em novilhas e vacas leiteiras da raça Holandês

País	Novilhas (%)	Novilhas e vacas (%)	Definição de distocia
Austrália	9,50	4,10	Severa distocia observada, muita dificuldade no nascimento ou assistência cirúrgica
Irlanda	5,80	4,10	Considerável dificuldade de nascimento e assistência veterinária
França	NA[1]	6,60	Tração forte e intervenção cirúrgica
Nova Zelândia	6,50	3,80	Parto difícil
Noruega	3,00	2,50	Parto difícil
Espanha	3,10	2,50	Partos necessidade de assistência e cesariana
Suécia	3,90	1,90	Parto difícil; impossibilidade de nascimento sem assistência
Estados Unidos	22,60	13,70	Necessidade de assistência; força considerável e extrema dificuldade

*NA: sem valor. Fonte: Mee (2008); B. Heringstad: dados não foram publicados; ICBF (2006): Federação de Gado Irlandês.

Em rebanhos bovinos da Irlanda, Mee (2008) notou que a incidência média de distocia foi de 4,2%, embora uma parcela dos rebanhos tenha apresentado a média de 12% e outra uma média inferior a 1% (73 rebanhos variando de 23 e 259 vacas). Ele verificou que a distocia seguiu uma distribuição em que uma proporção substancial dos rebanhos apresentou

baixa incidência, enquanto uma pequena parcela dos rebanhos apresentou elevada incidência de partos distócicos.

A variação encontrada na incidência de distocia entre rebanhos e fazendas pode ser explicada pelo sistema de criação adotado em cada propriedade. Países como a Nova Zelândia, adotam basicamente um sistema de criação à pasto, enquanto outros como os Norte Americanos adotam quase que exclusivamente sistemas de confinamento, ou ainda, em alguns países como a Irlanda são encontrados ambos (MEE; BERRY; CROMIE, 2011). Cada sistema possui suas peculiaridades, como por exemplo, instalações, forma de fornecimento e composição da dieta, genótipo dos animais e piquetes de maternidade, fatores estes que influenciam na incidência de partos distócicos (ELLIS et al., 2009).

Ao contrário do que acontece em outros países, a distocia ainda é pouco estudada no Brasil. Percebe-se que poucos trabalhos estimam incidência de partos distócicos em rebanhos leiteiros, alguns ainda consideram um número pequeno de animais. A ocorrência de partos distócicos no país varia em função das diferentes regiões (Sul, Sudeste e Nordeste) e raças puras (Tabela 2) e cruzadas (Tabela 3) de bovinos leiteiros. Embora não exista uma estatística nacional é possível especular que exista uma grande variação na ocorrência de distocia entre os rebanhos leiteiros no Brasil.

A ocorrência de partos distócicos no país varia em função das diferentes regiões (Sul, Sudeste e Nordeste) e das raças puras (Tabela 2) e cruzadas (Tabela 3) de bovinos leiteiros. Embora não exista uma estatística nacional é possível especular que exista uma grande variação na ocorrência de distocia entre os rebanhos leiteiros no Brasil. Ao contrário do que acontece em outros países, a distocia ainda é pouco estudada no Brasil. Percebe-se que poucos trabalhos estimam incidência de partos distócicos em rebanhos leiteiros, alguns ainda consideram um número pequeno de animais.

Tabela 2. Ocorrência de partos distócicos em novilhas e vacas da raça Holandês no Brasil

Região	Vacas e novilhas (%)	Raça	Definição de distocia	Referência
Pampas - Rio Grande do Sul	10,6	Holandês	Necessidade de intervenção manual ou cirúrgica	Villela (2017)
Carambeí – Paraná	14,81	Holandês	Força considerável e extrema dificuldade	Pizzol (2012)
Lages - Santa Catarina	17,39	Holandês	Pequena tração ou força considerável	Dias (2010)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3. Ocorrência de partos distócicos em novilhas e vacas de raças cruzadas (Holandês x Jersey; Holandês x Gir) no Brasil.

Região	Vacas e novilhas (%)	Raça	Definição de distocia	Referência
Carambeí – Paraná	9,09	Holandês x Jersey	Força considerável e extrema dificuldade	Pizzol (2012)
Lages - Santa	0	Holandês x	Pequena tração ou	Dias (2010)

Catarina		Jersey	força considerável	
Coronel Xavier - Minas Gerais	5,52	Holandês x Gir	Feto com apresentação anormal ou falha na contração uterina	Camargos et al. (2013)
Triangulo Mineiro - Minas Gerais	3,42	Holandês x Gir	NA[1]	Buso et al. (2018)
Agreste Meridional – Pernambuco	17,5%	Holandês x Gir	Manobra obstétrica, fetotomia ou cesariana	Filho et al. (2014)

[1]NA: sem valor. Fonte: Elaborado pelo autor.

Fatores de risco

As causas de distocia podem ser classificadas em proximais, intermediárias e distais, as causas proximais são aquelas que resultam imediatamente em distocia. As causas proximais incluem a desproporção feto-pelve, inércia uterina, posição fetal anormal, torção ou estenose uterina. As causas intermediárias incluem, tempo de gestação, tamanho do feto, canal fetal obstruído, hipocalcemia e estresse próximo ao parto. As causas distais incluem gênero do bezerro, fetos múltiplos, anormalidades fetais e genética, ordem de parto, histórico de distocia, idade dos progenitores, estação do ano, nutrição, exercício, região e suas interações (MEE, 2008b).

A seguir na Figura 1, um diagrama está representando as causas intermediárias e distais de distocia em vacas leiteiras.

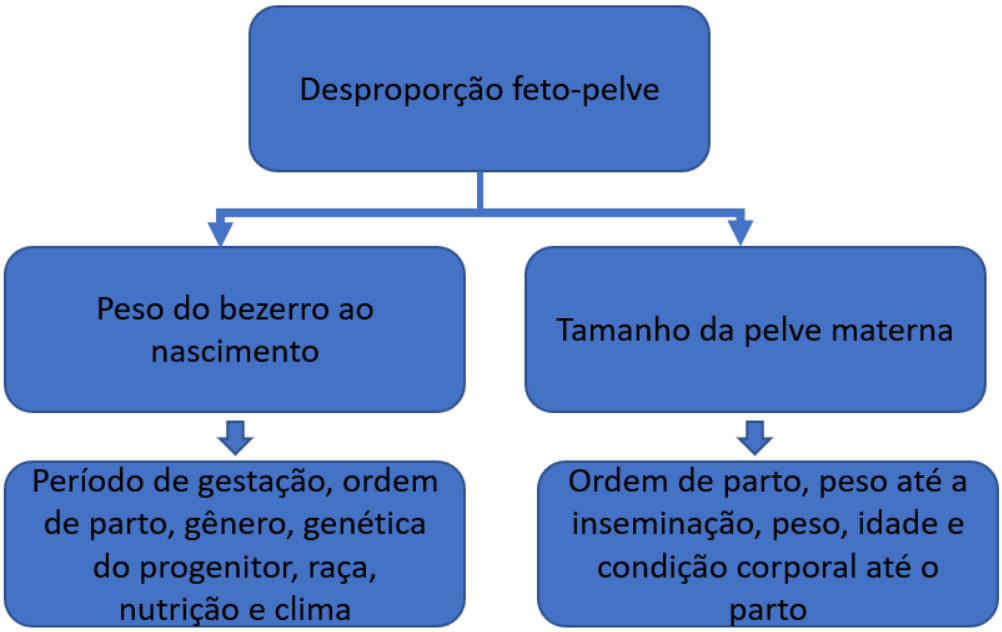


Figura 1. Causas intermediárias e distais de desproporção feto-pelve para predispor problemas de parto em vacas leiteiras. Adaptado de (MEE, 2008b).

O peso do bezerro ao nascimento e o tamanho da pelve materna são considerados os fatores mais importantes para incidência de distocia, eles contribuem, respectivamente, em

torno de 50% e 10% da variância fenotípica em partos distócicos (MEIJERING, 1984). Existe uma relação linear entre o peso do bezerro e a incidência de distocia que é dependente da área pélvica materna, da ordem de parto e da raça dos progenitores (MEE; BERRY; CROMIE, 2011). Em vacas da raça Holandês, o liminar do peso ao nascimento do bezerro varia de 42 até 45 kg, acima disso, para cada kg de peso a probabilidade de um parto distócico acontecer aumenta em 13%. Em adição, para cada 1 cm^2 de acréscimo na área pélvica materna, o risco de distocia ocorrer diminui em 11% (JOHANSON; BERGER, 2003).

O gênero do bezerro é outro fator que está diretamente relacionado com os problemas de parto. As fêmeas oriundas de raças puras como a Holandês são mais leves quando comparadas com os machos da mesma raça, segundo Johanson; Berger (2003) o risco de distocia é maior em machos, justamente pelo fato de que os bezerros são de 1 a 3 kg mais pesados do que as fêmeas.

Muitos autores acreditam que o aumento na proporção de animais da raça Holandês na América do Norte têm aumentado o risco partos distócicos em rebanhos leiteiros (INGVARTSEN; DEWHURST; FRIGGENS, 2003). Para cada 1% no aumento da endogamia em novilhas dos Estados Unidos da América (EUA), Adamec et al. (2006) encontraram aumento de 0,3 a 0,42% na probabilidade de incidência de distocia.

A ordem de parto também é um fator predisponente de partos distócicos para vacas da raça Holandesa. (THOMPSON; POLLAK; PELISSIER, 1983; DEMATAWEWA; BERGER, 1997; MEYER et al., 2001) avaliaram a incidência de distocia em função da paridade considerando agrupamento de vacas em primíparas e multíparas. Seus resultados apontaram que a incidência de partos distócicos é maior (30%) em vacas primíparas do que em vacas multíparas (10%).

O efeito da alimentação sobre a progenitora e a prole foi descrito por Sorge (2005), em estudos com vacas leiteiras no último trimestre de gestação, período em que o crescimento fetal é mais proeminente. Neste trabalho foi percebido que uma severa restrição alimentar pode resultar em excessiva mobilização energética e perda de escore de condição corporal (ECC) ocasionando a diminuição no peso placentário e fetal, além da redução na contração uterina e relaxamento dos ligamentos pélvicos. Entretanto, estes parâmetros devem ser interpretados com cuidado, Berry; Cromie (2009) não encontraram efeito do ECC e peso corporal em vacas que estão no final da gestação sobre a incidência de distocia, os autores perceberam apenas um efeito negativo destes fatores sobre o desempenho produtivo na subsequente lactação.

Nas estações mais frias do ano, em condições de baixas temperaturas (10 ºC), o aumento no consumo de matéria seca (MS) pela vaca no último trimestre de gestação gera aumento da concentração de hormônio tireoidiano e nutrientes na corrente sanguínea, consequentemente, ocorre maior demanda de fluxo sanguíneo para o útero e redução nas concentrações plasmáticas de estradiol. Esta situação prolonga o período de gestação, incrementando o risco de distocia (COLBURN et al., 1997; JOHANSON; BERGER, 2003). Apesar disso, Goli (2018) não verificou diferença na incidência de distocia entre as estações da primavera, outono e inverno em vacas leiteiras da raça Holandês.

Distocia, comportamento alimentar e metabolismo

Além dos efeitos sobre o metabolismo, os partos distócicos também podem ter impacto sobre o padrão de comportamento alimentar animal. Sabe-se que no dia do parto a ruminação é reduzida em 15%, a ingestão de matéria seca diminui em 24%, e o tempo gasto com alimentação cai em 32% (SCHIRMANN et al., 2013). Apesar disso, Proudfoot; Huzzey; Von Keyserlingk (2009) verificaram que vacas que passaram pela condição de distocia ficaram mais tempo transitando entre em pé e deitadas e consequentemente gastaram menos tempo com alimentação. Já Kovács et al. (2017) perceberam que vacas com distocia têm o tempo de ruminação reduzido durante as 8 horas que antecedem o parto em relação aquelas não passam por este distúrbio do parto, embora estes resultados não tenham sido estatisticamente significativos. Com relação a este assuntos, ainda existe uma certa dúvida, Barraclough et al. (2020) estudaram o efeito da ordem de parto e da distocia sobre o comportamento de vacas leiteiras no final da gestação e não encontraram alterações do comportamento que pudessem indicar a dificuldade no momento do parto.

Durante as semanas que antecedem o parto várias alterações ocorrem com a vaca gestante, dentre elas, a redução na ingestão de matérias seca (IMS) é uma alteração que merece destaque. Foi representado no diagrama da Figura 2 que a redução da IMS tem efeito sobre as desordens do parto (8), além disso, ela causa um desbalanço entre a exigência de nutrientes do animal e o suprimento de energia proveniente da dieta (7). O balanço energético negativo (BEN) pode ocasionar falhas reprodutivas (1), infeções uterinas (10) e disfunção imune (11). O resultado do BEN prolongado leva a cetose (10), que por sua vez, também tem potencial de causar falhas reprodutivas (9), infecções uterinas (14), mastite (14) e descarte (12). De maneira geral, problemas com alimentação durante o período de transição podem ter relação com os problemas reprodutivos no pós-parto em vacas leiteiras.

A hipocalcemia conhecida popularmente como febre do leite, é um problema que está associado com a disponibilidade de cálcio em vacas leiteiras no pós-parto, por isso, problemas com as concentrações sanguíneas deste mineral podem gerar disfunções imunológicas (11), desordens e complicações no momento do parto (2) e intensificar o balanço energético negativo (11). Neste diagrama (Figura 2) foram levantadas algumas associações de acusa e efeito para as desordens da saúde no período de transição, sendo assim, percebe-se que o comportamento alimentar pode estar associado com a ocorrência de distúrbio do parto, principalmente em relação a distocia.

Sabendo disso, Pérez-báez et al. (2019) procuraram esclarecer algumas questões sobre o assunto. Os autores compararam um grupo de vacas da raça Holandesa que sofreram com distúrbios de saúde do pós-parto e um grupo de animais que não passou por esta situação. As comparações consideraram os aspectos relacionados ao consumo alimentar (IMS), metabolismo energético dos animais e a energia contida no leite. Basicamente, não foi encontrado associação entre a ingestão de matéria seca e o balanço energético do pré-parto com distúrbios de saúde do pós-parto (incluindo a distocia), entretanto houve associação da ingestão de matéria seca e balanço energético no pós-parto e os problemas do parto.

No estudo em questão, os distúrbios de saúde tiveram uma relação de causa e efeito apenas com o comportamento alimentar e o balanço energético durante o período pós-parto. Ou seja, parece que a redução da ingestão de matéria seca durante o período pré-parto não é

responsável por causar problemas do parto, como no caso da distocia. Já para o período pós-parto, as injúrias e os sinais clínicos (febre, anorexia, dor) ocasionados por um parto difícil são responsáveis por reduzir o consumo de alimento, aumentar o balanço energético negativo, reduzir a produção de leite e a fertilidade dos animais acometidos.

Distocia e a produtividade de vacas leiteiras

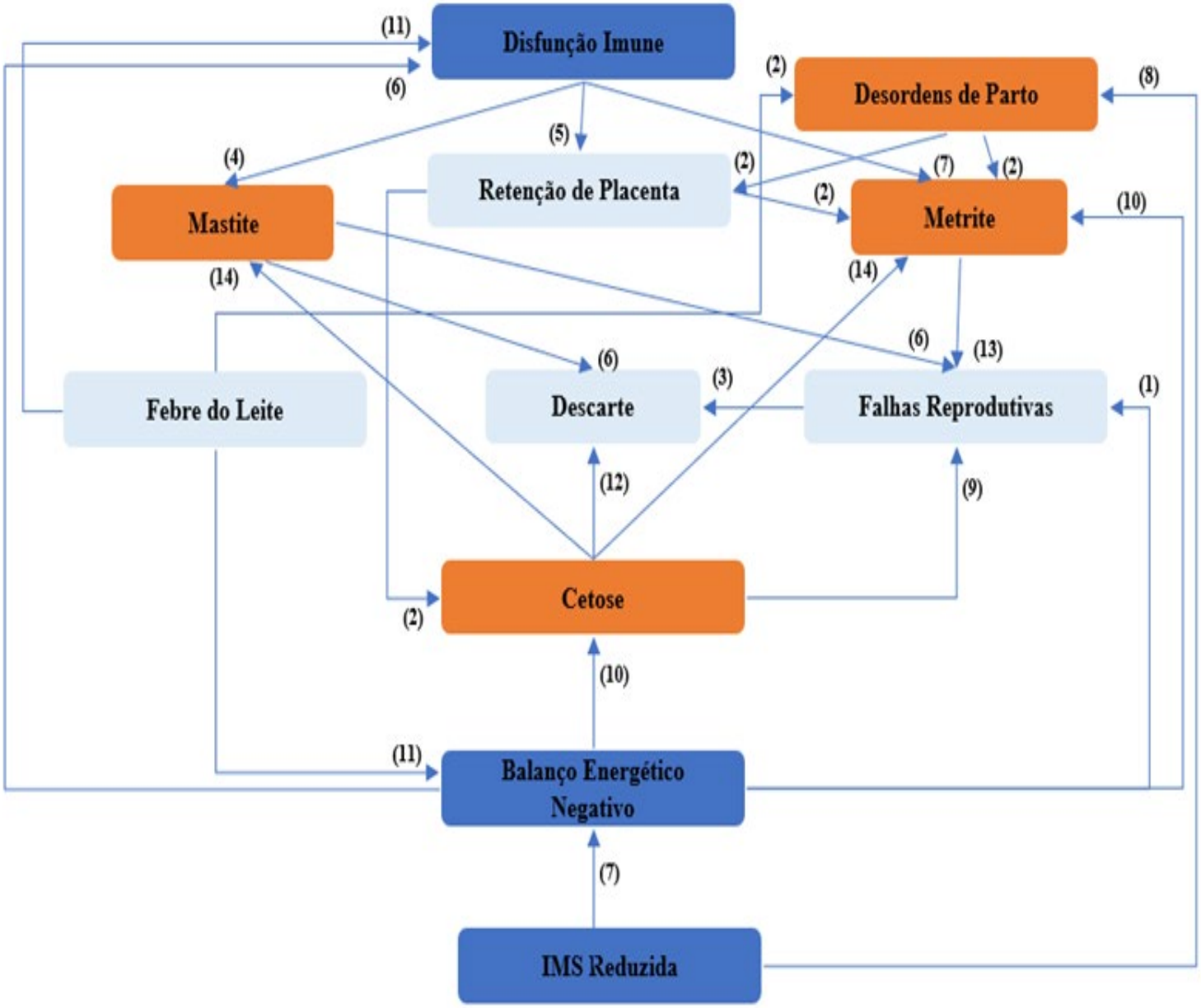
O parto está intimamente relacionado com o processo de lactogênese em todos os mamíferos. Em vacas leiteiras, ele marca o início da lactação e também o início do ciclo estral. Por isso, problemas durante o parto que causam elevada dor e injúria podem reduzir a produção de leite e a longevidade dos animais dentro do rebanho (TENHAGEN; HELMBOLD; HEUWIESER, 2007).

O parto distócico tem efeito deletério sobre a produção de leite na lactação em curso (DEMATAWEWA; BERGER (1997), entretanto ainda não está claro quanto tempo este efeito persiste. RAJALA; GRÖHN (1998) verificaram que o efeito negativo da distocia desaparece em apenas 14 dias de lactação, THOMPSON; POLLAK; PELISSIER (1983) descreveram redução na produção em um período de até 90 dias de lactação, enquanto, TENHAGEN; HELMBOLD; HEUWIESER (2007) perceberam que a produtividade poderia ser afetada em até 6 meses de lactação.

As perdas produtivas aumentam conforme o grau de dificuldade de nascimento do bezerro, sendo mais acentuadas em casos de severa distocia, principalmente, quando existe a necessidade de intervenção cirúrgica (DJEMALI et al., 1987). Animais que passam por esta condição estão mais propensos à morte ou descarte no período inicial da lactação (TENHAGEN et al., 2007). Consequentemente, uma restrição na lactação (morte ou descarte), em qualquer fase, influencia diretamente na produção de leite acumulada, fato que resulta em perdas produtivas (BARRIER e HASKELL, 2011).

A probabilidade de doenças e injúrias é maior em vacas que passaram por distocia (BENZAQUEN et al., 2007), que pode influenciar na produção de leite acumulada, pois os animais que estão doentes têm a produção de leite diminuída por um determinado período de tempo (BARRIER e HASKELL, 2011). Sabe-se que a produção de leite é reduzida em caso de estresse, justamente pela redistribuição energética resultante da exigência pelo sistema imunológico em bovinos afetados por injúrias (RAJALA; GRÖHN, 1998; BAREILLE et al., 2003).

Figura 2. Diagrama de causa e efeito mostrando as relações da ingestão de matéria seca e o



balanço energético com disfunções no pós-parto e suas consequências. Adaptado de PÉREZ-BÁEZ et al. (2019)

EAGLEN et al. (2011) encontraram menor produção de leite (kg) acumulada aos 300 dias de lactação em vacas que passaram por um com extrema dificuldade do que aquelas que passaram por uma dificuldade leve ou moderada no momento do parto. Em relação a produção de gordura (kg) e proteína (kg), os autores não verificaram nenhuma diferença estatística ente as situações do parto aos 100, 200 e 300 dias de lactação (Tabela 4).

Tabela 4. Os efeitos da dificuldade de parto sobre o rendimento subsequente de leite, gordura e proteína da progenitora

	Categoria da facilidade de parto (P < 0,05)			
DL	1	2	3	4
		Produção de leite (kg)		
100	26,11 (0,29)	26,52 (0,29)	26,21 (0,32)	25,62 (0,41)
200	23,13 (0,29)	23,54 (0,29)	23,40 (0,31)	23,00 (0,41)
300	18,54 (0,29)	18,93 (0,30)	18,77 (0,35)	18,49 (0,48)
Acum.	7.218,73[ac] (104)	7.326,91[a] (105)	7.249,22[a] (108)	7.064,85[c] (119)
		Produção de gordura (kg)		
100	0,98 (0,01)	1,00 (0,01)	0,99 (0,01)	0,96 (0,02)
200	0,92 (0,01)	0,94 (0,01)	0,93 (0,01)	0,91 (0,02)
300	0,80 (0,01)	0,82 (0,01)	0,80 (0,02)	0,80 (0,02)
Acum.	283,75[a] (17)	288,95[a] (17)	285,43[a] (17)	277,56[a] (17)
		Produção de proteína (kg)		
100	0,82 (0,01)	0,83 (0,01)	0,82 (0,01)	0,80 (0,01)
200	0,77 (0,01)	0,78 (0,01)	0,78 (0,01)	0,77 (0,01)
300	0,66 (0,01)	0,67 (0,01)	0,67 (0,01)	0,66 (0,02)
Acum.	234,31[a] (15)	236,76[a] (16)	233,72[a] (15)	228,56[a] (16)

[a – c] Em uma linha, letras sobrescritas compartilhadas significam que os valores não são significativamente diferentes entre si (P < 0,05).
[1]1 = fácil (não assistido); 2 = assistência moderada ao agricultor; 3 = assistência difícil ao agricultor; 4 = muito difícil com assistência veterinária.
[2] Acumulado; DL = dias em lactação.
Fonte: EAGLEN et al. (2011).

O efeito verificado sobre o desempenho produtivo da vaca é um reflexo do impacto que injúrias e lacerações podem causar durante um parto difícil. O desconforto e a dor são capazes de alterar o comportamento alimentar e o consumo de alimento, que por sua vez, altera o metabolismo energético, reduz a disponibilidade de nutrientes para a glândula mamária. A condição de inflamação também leva a mudança na partição de energia, o que também reduz a disponibilidade de nutrientes para o suprimento das exigências de produção de leite e colostro. Ambas as situações, tem impacto negativo sobre a produção de leite (PÉREZ-BÁEZ et al., 2019). Além disso, a infertilidade reprodutiva ocasionada pela distocia aumenta a tempo de lactação e predispõe o descarte de animais, fato que causa sérios prejuízos econômicos para o produtor de leite.

Distocia e os parâmetros reprodutivos

A eficiência na produção de leite é dependente do manejo reprodutivo e saúde das vacas leiteiras, pois, o parto é o evento que marca o início de uma nova lactação e o nascimento de um bezerro. Além disso, o tempo que estes animais levarão para empenhar e gerar uma nova cria é o fator que garante a reposição de animais no rebanho.

O desempenho reprodutivo ideal de um rebanho leiteiro é alcançado quando as vacas produzem uma cria por ano, entretanto alguns problemas como distocia, aborto, retenção de placenta, metrite, prolapso uterino, anestro e repetição de cio têm efeito negativo sobre este parâmetro (VERMA, 2018).

As desordens reprodutivas resultam em perdas econômicas para a indústria e laticínios pela redução da fertilidade, acréscimo nos custos com medicamentos, queda na produção de leite, perdas de bezerros e descarte de vacas (LOBAGO et al., 2006). A distocia por sua vez, é um problema que causa dor e injúrias em vacas e bezerros, consequentemente, aumenta o tempo de involução uterina, o número de dias em aberto, o tempo de serviços até concepção e o intervalo entre partos em vacas leiteiras (KAYA; UZMAY; AYYILMAZ, 2015).

Tenhagen et al., (2007) verificaram que os parâmetros como dias em aberto (DA), intervalo entre partos (IEP), número de serviços até a concepção e dias até a primeiro serviço aumentaram após um parto difícil. Thompson et al. (1983); djemali et al. (1987); Dematawewa; Berger (1997) também encontraram efeito prejudicial da dificuldade de parto sobre o desempenho reprodutivo em vacas leiteiras. Na tabela 5, é possível perceber que os efeitos negativos de partos que necessitaram assistência do médico veterinário refletiram sobre os principais indicadores reprodutivos de vacas leiterias.

Tabela 5. Os efeitos da dificuldade de parto sobre desempenho reprodutivo subsequente da progenitora

	Categoria da facilidade de parto (P < 0,05)			
	1	2	3	4
IEP	0,0^{a}	4,0^{b} (1,37)	6,9^{b} (3,47)	28,0^{c} (8,05)
NS	0,0^{a}	0,1^{b} (0,02	0,2^{b} (0,04)	0,7^{c} (0,10)
PS	0,0^{a}	1,7^{b} (0,51)	3,5^{bc} (1,10)	7,8^{c} (2,29)
RC	0,0^{a}	−0,04b (0,03)	−0,02^{ab} (0,04)	−0,11^{ab} (0,06)
ECC	0,0^{a}	−0,06^{b} (0,04)	−0,18^{b} (0,08)	0,27^{a} (0,16)

$^{a\ -\ c}$ Em uma linha, letras sobrescritas compartilhadas significam que os valores não são significativamente diferentes entre si (P < 0,05).

* 1 = fácil (não assistido); 2 = assistência moderada ao agricultor; 3 = assistência difícil ao agricultor; 4 = muito difícil com assistência veterinária.

* IEP = intervalo entre partos; NS = número de serviços; NS = dias até o primeiro serviço; RC = não retorno ao cio até 56 dias; ECC = escore de condição corporal.

Fonte: Eaglen et al. (2011).

Os animais que passaram por distocia necessitaram de mais tempo para retornar ao ciclo reprodutivo (dias até o primeiro serviço) e para entrar em uma nova gestão (intervalo entre parto). Neste mesmo estudo, ainda foi percebido que os partos com extrema dificuldade eram capazes de diminuir a taxa de concepção das inseminações artificiais (IA) e a probabilidade de concepção até 200 dias após o parto (EAGLEN et al., 2011).

Considerações finais

Em resumo, percebe-se que a classificação de partos distócicos muda de região para região. Ainda não há um consenso sobre o grau de dificuldade de parto que resulta em distocia, embora muitos técnicos e pesquisadores da área considerem parto distócico como aquele que exigia qualquer tipo de intervenção, seja por um pequeno auxílio ou até uma forte tração para o nascimento do bezerro. Foi mostrado que incidência de distocia pode variar muito entre rebanhos leiteiros da Irlanda, fato ligado ao grande número de fatores de risco que podem predispor este problema. No Brasil ainda não há uma estatística nacional que revele a real incidência deste distúrbio do parto em banhos leiteiros de raças puras ou cruzadas. Há um grande ponto de interrogação em relação os fatores relacionados ao comportamento alimentar de vacas leiterias, metabolismo de nutrientes durante o período de transição e a distocia. Na literatura há um contra senso em relação à associação do consumo alimentar no pré-parto e a ocorrência de distúrbios no pós-parto. Também se percebe que a distocia tem um impacto negativo sobre o desempenho reprodutivo e a subsequente lactação de animais que passam por esta condição no momento do parto.

Uma alternativa para reduzir a ocorrência de distocia no rebanho leiteiro é adoção de medidas preventivas na propriedade, como por exemplo, selecionar touros de potencial produtivo com base na facilidade de parto, optar por uso de sêmen sexado e dedicar atenção especial para vacas primíparas. As medidas preventivas devem proporcionar boa condição ambiental e nutricional para a vaca gestante, aumentar a seleção genética para a facilidade do parto e aperfeiçoar a criação de novilhas.

Referências

ADAMEC, V.; CASSELL, B.G.; SMITH, E.P.; PEARSON, R.E., , 2006. Effects of inbreeding in the dam on dystocia and stillbirths in US Holsteins. Journal of Dairy Science, v.89, n.1, p.307–314..

BAREILLE, N.; BEAUDEAU, F.; BILLON, S.; ROBERT, A.; FAVERDIN, P., 2003. Effects of health disorders on feed intake and milk production in dairy cows. Livestock Production Science, v.83, n.1, p.53–62.

BARRACLOUGH, R.A.C.; SHAW, D J.; BOYCE, R.; HASKELL, M.J.; MACRAE, A.I., 2020. The behavior of dairy cattle in late gestation: Effects of parity and dystocia. Journal of Dairy Science, v.103, n.1, p.714–722.

BARRIER, A.C.; HASKELL., M. J., 2011. Calving difficulty in dairy cows has a longer effect on saleable milk yield than on estimated milk production. Journal of Dairy Science,

v.94, n.4, p.1804–1812.

BARRIER, A.C.; HASLELL, M.J.; BIRCH, S.; BAGNALL, A.; BELL, D.J.; DICKINSON, J.; MACRAE, A.I.; DWYER, C.M., 2013. The impact of dystocia on dairy calf health, welfare, performance and survival. The Veterinary Journal, v. 195, p. 86–90.

BARRIER, A.C.; RUELLE, E.; HASKELL, M.J.; DWYER, C.M., 2012. Effect of a difficult calving on the vigour of the calf, the onset of maternal behaviour, and some behavioural indicators of pain in the dam. Preventive Veterinary Medicine, v.103, n.4, p.248–256.

BENZAQUEN, M.E.; RISCO, C.A.; ARCHBALD, L.F.; MELENDEZ, P.; THATCHER, M.J.; THATCHER, W.W., 2007. Rectal temperature, calving-related factors, and the incidence of puerperal metritis in postpartum dairy cows. Journal of Dairy Science, v.90, n.6, p.2804–2814.

BERRY, D.P.; CROMIE, A.R., 2009. Associations between age at first calving and subsequent performance in Irish spring calving Holstein-Friesian dairy cows. Livestock Science, v. 123, n. 1, p. 44–54.

BUSO, R.R.; CAMPOS, C.C.; SANTOS, T.R.; SAUT, J.P.E.; SANTOS, R.M., 2018. Retained placenta and subclinical endometritis: Prevalence and relation with reproductive performance of crossbred dairy cows. Pesquisa Veterinaria Brasileira, v.38, n. 1, p.1–5.

CAMARGOS, A.S.; GIOSO, M.; REIS, L.; COSTA, I.; FERRAZ, M.; OBA, E., 2013. Occurring disorders of pregnancy, birth and dairy cows in puerperium. Revista científica eletrônica de medicina veterinária, v.20, n.1679–7353,

COLBURN, D.J.; DEUTSCHER, G.H.; NIELSEN, M.K.; ADAMS, D.C., 1997. Effects of Sire, Dam Traits, Calf Traits, and Environment on Dystocia and Subsequent Reproduction of Two-Year-Old Heifers. Journal of Animal Science, v.75, n.6, p.1452–1460.

DEMATAWEWA, C.M.B.; BERGER, P.J., 1997. Effect of Dystocia on Yield, Fertility, and Cow Losses and an Economic Evaluation of Dystocia Scores for Holsteins. Journal of Dairy Science, v.80, p.754–761.

DIAS, A.L.G. Avaliação do parto de vacas da raça holandesa inseminadas com holandês ou jersey e do desenvolvimento, sanidade e concentração de imunoglobulinas dos bezerros. 2010. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2010. Disponível em: <http://tede.udesc.br/handle/tede/2096>.

DJEMALI, M.; FREEMAN, A.E.; BERGER, P.J., 1987. Reporting of Dystocia Scores and Effects of Dystocia on Production, Days Open, and Days Dry from Dairy Herd Improvement Data. Journal of Dairy Science, v.70, n.10, p.2127–2131.

EAGLEN, S.A.E.; COFFEY, M.P.; WOOLLIAMS, J.A.; MRODE, R.; WALL, E., 2011. Phenotypic effects of calving ease on the subsequent fertility and milk production of dam and calf in UK Holstein-Friesian heifers. Journal of Dairy Science, v 94, n.11, p.5413–5423.

ELLIS, K. A.; BILLINGTON, K.; MCNEIL, B.; MCKEEGAN, D. E. F. Public opinion on UK milk marketing and dairy cow welfare. Animal Welfare, 2009.

FILHO, A P.S.; COSTA, N. de A.; CARNEIRO, G.F.; SOUTO, R.J.C.; MENDONÇA, C.L.; AFONSO, J.A.B., 2014. Ocorrência e análise de fatores relacionados à distocias em vacas no Agreste Meridional de Pernambuco. Brazilian Journal of Veterinary Medicine, v.36, n.3, p.317–321.

GOLI, M., 2018. Incidence of different types of dystocia in different seasons of the year and parities in iranian holstein dairy cows. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine, v.21, n.3, p.336–346.

HUXLEY, J.N.; WHAY, H.R., 2006. Current attitudes of cattle practitioners to pain and the use of analgesics in cattle. Veterinary Record, v.159, n.20, p.662–668.

INGVARTSEN, K.L., 2006. Feeding- and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. Animal Feed Science and Technology, v.126, n.3–4, p.175–213.

INGVARTSEN, K.L.; DEWHURST, R.J.; FRIGGENS, N.C., 2003. On the relationship between lactational performance and health: Is it yield or metabolic imbalance that cause production diseases in dairy cattle? A position paper. Livestock Production Science, v.83, n.2–3, p.277–308.

JACOBSEN, H.; SCHMIDT, M.; HOLM, P.; SANGILD, P.T.; GREVE, T.; CALLESEN, H., 2000. Ease of calving, blood chemistry, insulin and bovine growth hormone of newborn calves derived from embryos produced in vitro in culture systems with serum and co-culture or with pva. Theriogenology, v.54, p.147–158.

JOHANSON, J.M.; BERGER, P.J., 2003. Birth weight as a predictor of calving ease and perinatal mortality in Holstein cattle. Journal of Dairy Science, v.86, n.11, p.3745–3755.

KAYA, I.; UZMAY, C.; AYYILMAZ, T., 2015. Effects of dystocia on milk production and reproduction in subsequent lactation in a Turkish Holstein herd. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, v.39, n.1, p.87–95.

KOVÁCS, L.; KÉZÉR, F.L.; RUFF, F.; SZENCI, O. Rumination time and reticuloruminal temperature as possible predictors of dystocia in dairy cows. Journal of Dairy Science, v. 100, n. 2, p. 1568–1579, 2017.

LOBAGO, F.; BEKANA, M.; GUSTAFSSON, H.; KINDAHL, H., 2006. Reproductive performances of dairy cows in smallholder production system in Selalle, Central Ethiopia. Tropical Animal Health and Production, v.38, p.333-342. Doi: 10.1007/s11250-006-4328-1.

LOMBARD, J.E.; GARRY, F.B.; TOMLINSON, S.M.; GARBER, L.P., 2007. Impacts of dystocia on health and survival of dairy calves. Journal of Dairy Science, v.90, n.4, p.1751–1760.

MEE, J., 2012. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle – with emphasis on confinement systems. WCDS Advances in Dairy Technology, v. 24, p. 113–125.

MEE, J.F., 2008a. Newborn Dairy Calf Management. Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice, v.24, n.1, p.1–17.

MEE, J.F., 2008b. Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: A review. Veterinary Journal, v.176, n.1, p.93–101.

MEE, J.F.; BERRY, D.P.; CROMIE, A.R., 1984. Risk factors for calving assistance and dystocia in pasture-based Holstein-Friesian heifers and cows in Ireland. Veterinary Journal, v.187, n.2, p.189–194, 2011.

MEIJERING, A., 1984. Dystocia and stillbirth in cattle - A review of causes, relations and implications. Livestock Production Science, v.11, n.2, p.143–177.

MEYER, C.L.; BERGER, P.J.; KOEHLER, K.J.; THOMPSON, J.R.; SATTLER, C.G., 2001. Phenotypic trends in incidence of stillbirth for Holsteins in the United States. Journal of Dairy Science, v.84, n.2, p.515–523.

PÉREZ-BÁEZ, J.; RISCO, C.A.; CHEBEL, R.C.; GOMES, G.C.; GRECO, L.F.; TAO, S.; THOMPSON, I.M.; DO AMARAL, B.C.; ZENOBI, M.G.; MARTINEZ, N.; STAPLES, C.R.; DAHL, G.E.; HERNÁNDEZ, J.A.; SANTOS, J.E.P.; GALVÃO, K.N., 2019. Association of dry matter intake and energy balance prepartum and postpartum with health disorders postpartum: Part I. Calving disorders and metritis. Journal of Dairy Science, v.102, p.*9151-9164.*

PHOCAS, F.; LALOË, D., , 2004. Genetic parameters for birth and weaning traits in French specialized beef cattle breeds. Livestock Production Science, v.89, p.121–128.

PIZZOL, J.G. Comparação entre vacas da raça holandesa e mestiças das raças holandesa x jersey quanto à sanidade, imunidade e facilidade de parto. 2012. UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2012. Disponível em: <http://tede.udesc.br/handle/tede/2120>.

PROUDFOOT, K.L.; HUZZEY, J.M.; VON KEYSERLINGK, M.A.G. The effect of dystocia on the dry matter intake and behavior of Holstein cows. Journal of Dairy Science, v.92, n.10, p.4937–4944, 2009.

RAJALA, P.J.; GRÖHN, Y.T., 1998. Effects of Dystocia, Retained Placenta, and Metritis on Milk Yield in Dairy Cows. Journal of Dairy Science, v.81, p.3172–3181.

SORGE, U. The effect of varied duration of the close up period of primiparous cows on the incidence of dystocia and perinatal calf mortality. Doctoral thesis, FU Berlin, 110 p., Germany, 2005.

SCHIRMANN, K.; CHAPINAL, N.; WEARY, D.M.; VICKERS, L.; VON KEYSERLINGK, M.A.G., 2013. Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. Journal of Dairy Science, v.96, p.7088–7092.

SHELDON, I.M.; CRONIN, J.; GOETZE, L.; DONOFRIO, G.; SCHUBERTH, H.J., 2009. Defining Postpartum Uterine Disease and the Mechanisms of Infection and Immunity in the Female Reproductive Tract in Cattle1. Biology of Reproduction, v.81, p.1025–1032.

TENHAGEN, B.A.; HELMBOLD, A.; HEUWIESER, W., 2007. Effect of Various Degrees of Dystocia in Dairy Cattle on Calf Viability, Mi...: University of Liverpool Library. Journal of Veterinary Medecine, v.54, p.98–102.

THOMPSON, J.R.; POLLAK, E.J.; PELISSIER, C.L., 1983. Interrelationships of Parturition Problems, Production of Subsequent Lactation, Reproduction, and Age at First Calving. Journal of Dairy Science, v.66, n.5, p.1119–1127.

VERMA, S.K., 2018. Incidence of Reproductive Disorders in Cows in Faizabad District Uttar Pradesh. International Journal of Pure & Applied Bioscience, v.6, p.1561–1566.

VILLELA, J.M. Distocia: fatores de risco e impacto na saúde e produção de vacas leiteiras dissertação. 2017. Universidade Federal Do Pampa, 2017. Disponível em: <http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppgca/files/2017/03/rodrigo-santos-da-silva.pdf>.

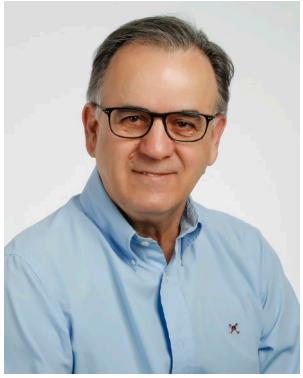
ZABORSKI, D.; GRZESIAK, W.; SZATKOWSKA, I.; DYBUS, A.; MUSZYNSKA, M.; JEDRZEJCZAK, M., 2009. Factors affecting dystocia in cattle. Reproduction in Domestic Animals, v.44, n.3, p.540–551.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Alexandre Menezes Dias

Professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FAMEZ). Coordenador da Fazenda Escola da FAMEZ/UFMS. Foi Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UFMS na gestão 2016-2019. Possui Graduação em Zootecnia pela UCDB (2002), Mestrado em Zootecnia pela UESB (2006) e Doutorado em Zootecnia pela UEM (2009). Membro do conselho curador da FAPEC. Atua com pesquisas na área de Forragicultura e Pastagens, Conservação de Forragens, Produção de Ruminantes em Pastagens e em Confinamento e Sensoriamento Remoto. Líder do Grupo de Pesquisa em Nutrição e Produção de Ruminantes em Pastagem e em Confinamento do CNPq

Geraldo Tadeu dos Santos



O professor Geraldo Tadeu dos Santos é Doutor em Ciência, Produção e Fisiologia Animal pela Université de Rennes I - France, em 1987. Mestre em Agronomia, área de Concentração Zootecnia pela UFRGS, em 1981. Possui graduação em Medicina Veterinaria pela Universidade Federal do Paraná em 1974, Em 1994 tornou-se Professor Titular de Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Realizou estudos de Pós-Doutorado no Centre de Recherche et Développement ser le bovinocultura laitière e le por, de l'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada em Shrebrooke, Québec, Canada em duas oportunidades (1992-1993) e 2003-2004. Atuou como Chefe do Departamento de Ciências Agrárias de 1982 a 1983. Foi Vice-Diretor do Centro de Ciência Agrárias (CCA) da UEM de 1994 a 1996 e Diretor do CCA de 1996 a 2000. Foi Presidente da Sociedade Brasileira de Zootecnia, gestão 1993-1994. O Professor Geraldo é Bolsista Produtividade em Pesquisa do CNPq, categoria 1 e é consultor ad hoc das agências de fomento: CAPES, CNPq, Fundação Araucária, FAPESP e dos periódicos: Revista Brasileira de Zootecnia,Animal Feed Science and Technology, Tropical Animal Health and Production, Journal of Dairy Science. Aposentado em dezembro de 2018 pela UEM. Todavia, continua atuando como Professor Voluntário no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UEM. Atualmente atua como Professor Visitante na UFMS, na FAMEZ, desde janeiro de 2019 e também atua no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Tem experiência na área de Zootecnia e Medicina Veterinária e supervisão de trabalhos acadêmicos, teses, dissertações. Atualmente está desenvolvendo pesquisa sobre suplementação com gorduras para vacas no início da lactação, microbiologia do rúmen, antioxidante e ácidos graxos poli-instaurados. Atua também na avaliação de alimentos para ruminantes, qualidade do leite, criação e manejo de bezerras, novilhas e vacas lactantes e secas, com ênfase no período de transição.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Luís Carlos Vinhas Ítalo

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá (1995), mestrado em Zootecnia (Produção Animal) pela Universidade Estadual de Maringá (1998) e doutorado em Zootecnia (Nutrição de Ruminantes) pela Universidade Federal de Viçosa (2001). Fez estágio no Grupo de Pesquisa em Produção de Ruminantes, onde desenvolveu o Projeto de Pós-Doutorado (2010). Atualmente é professor adjunto na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Tem experiência na área de Nutrição de Ruminantes, com ênfase em Avaliação de Alimentos para ruminantes e Nutrição e Produção de ruminantes (ovinos e bovinos), Avaliação da Produção e Conservação de Forragens, atuando principalmente nos seguintes temas: consumo e digestibilidade de nutrientes, avaliações in vivo, in vitro e in situ de alimentos para ruminantes, uso de subprodutos e resíduos agroindustriais além de co-produtos provenientes da indústria de biocombustíveis, suplementação, confinamento, consumo e exigências nutricionais de ruminantes e desempenho produtivo

Gelson dos Santos Difante

Possui graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria (2000), mestrado em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (2002) e doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2005). Ganhador do Prêmio CAPES de melhor tese na área de Zootecnia e Recursos Pesqueiros de 2005. Atualmente é Professor Associado II lotado na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS; Professor Permanente e Coordenador Substituto do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da UFMS, líder do Grupo de Pesquisa GEFOR -Grupo de Estudos em Forragicultura e membro dos Grupos de Pesquisa: Nutrição e Produção de Pequenos Ruminantes e Nutrição e Produção de Ruminantes em Pastagem e em Confinamento da UFMS; Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN em Associação Ampla com a UFERSA. Tem experiência na área de Zootecnia, com ênfase em Pastagem e Forragicultura, atuando principalmente nos seguintes temas: morfogênese de plantas forrageiras, ecofisiologia vegetal, manejo de pastagens, experimentação com animais em pastejo, produção e comportamento ingestivo de bovinos de corte e ovinos.

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

ALEXANDRE MENEZES DIAS
GERALDO TADEU DOS SANTOS
LUÍS CARLOS VINHAS ÍTAVO
GELSON DOS SANTOS DIFANTE
(ORGANIZADORES)

PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE E CARNE NO CERRADO

Publicar Editora
2020

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

ALEXANDRE MENEZES DIAS
GERALDO TADEU DOS SANTOS
LUÍS CARLOS VINHAS ÍTAVO
GELSON DOS SANTOS DIFANTE
(ORGANIZADORES)

PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE E CARNE NO CERRADO

Publicar Editora
2020