

Predição da proteína microbiana ruminal: métodos, modelos e desafios

Silvia Cheles Bento *

*Professora do Curso Técnico em Agropecuária da Fundação Bradesco, Osasco – SP, Brasil. E-mail para correspondência, silviacheles13@gmail.com

Resumo. A eficiência no aproveitamento de proteína é um dos maiores desafios da nutrição animal, devido ao elevado custo desse nutriente nas dietas e aos impactos ambientais decorrentes da excreção de nitrogênio. Nesse contexto, compreender e prever a síntese de proteína microbiana no rúmen é essencial, uma vez que essa fração representa a principal fonte de aminoácidos metabolizáveis para os ruminantes. Este estudo teve como objetivo revisar os métodos e modelos de estimativa do fluxo pós-ruminal de proteína microbiana, discutindo suas limitações e perspectivas futuras. A revisão abrangeu modelos amplamente utilizados, como NRC, NASEM, CNCPS, BR-Corte, BR-Caprinos e Ovinos, além do NS Dairy Cattle. Os resultados evidenciaram avanços na modelagem nutricional, embora ainda persistam imprecisões de 20% a 30% na estimativa do fluxo pós-ruminal de proteína microbiana.

Palavras-chave: Metabolismo proteico, microbiota ruminal, modelos de predição, ruminantes, sustentabilidade.

Prediction of ruminal microbial protein: methods, models and challenges

Abstract. Efficient nutrient utilization is one of the major challenges in modern livestock production, primarily due to the high cost of dietary protein and the environmental impacts of nitrogen excretion. In this context, understanding and predicting microbial protein synthesis in the rumen is essential, as this fraction constitutes the main source of metabolizable amino acids for ruminants. This study aimed to review the main methods and models utilized in estimating the post-ruminal flow of microbial protein, as well as to discuss their limitations and future perspectives. A literature review was conducted using national and international scientific databases, covering widely applied models such as NRC, NASEM, CNCPS, BR-Corte, BR-Caprinos e Ovinos, and the Brazilian NS Dairy Cattle model. The review highlighted that, despite significant advances in nutritional modeling, prediction equations still exhibit considerable inaccuracies, with errors ranging from 20% to 30% in estimating the post-ruminal flow of microbial protein.

Keywords: Protein metabolism, rumen microbiota, prediction models, ruminants, sustainability.

Predicción de la proteína microbiana ruminal: métodos, modelos y desafíos

Resumen. La eficiencia en el aprovechamiento de la proteína es uno de los mayores desafíos de la nutrición animal, debido al alto costo de este nutriente en las dietas y a los impactos ambientales derivados de la excreción de nitrógeno. En este contexto, comprender y predecir la síntesis de proteína microbiana en el rumen es esencial, ya que esta fracción representa la principal fuente de aminoácidos metabolizables para los rumiantes. El objetivo de este estudio fue revisar los métodos y modelos utilizados para estimar el flujo postruminal de proteína microbiana, así como discutir sus limitaciones y perspectivas futuras. La revisión abarcó modelos ampliamente utilizados, como NRC, NASEM,

CNCPS, BR-Corte, BR-Caprinos y Ovinos, además del modelo brasileño NS Dairy Cattle. Los resultados evidenciaron avances en la modelización nutricional, aunque aún persisten imprecisiones del 20% al 30% en la estimación del flujo post-ruminal de proteína microbiana.

Palabras clave: Metabolismo proteico, microbiota ruminal, modelos de predicción, rumiantes, sostenibilidad.

Introdução

A pecuária no Brasil é fortemente representada pela criação de ruminantes (gado de corte e leite) ([Prado, 2004, 2010](#)). A bovinocultura de corte e de leite, assim como a criação de pequenos ruminantes, configuram-se como atividades agropecuárias de grande relevância econômica e social. O consumo de carne e leite, além da utilização do couro, impulsionou a expansão da produção de ruminantes em diferentes regiões do país nos últimos anos ([ANUALPEC, 2025](#)). Entre os principais fatores que favoreceram esse crescimento, destacam-se os avanços na nutrição animal, aliados ao melhoramento genético e à adoção de práticas de manejo sanitário mais eficientes ([Del Campo et al., 2025](#); [Ferracini et al., 2024](#); [Oliveira et al., 2021](#)). No âmbito nutricional, a principal função dos ruminantes é converter alimentos fibrosos, de baixo valor nutricional e não competitivos com a alimentação humana, em proteína de alta qualidade destinada ao consumo humano ([Pires et al., 2021](#); [Salazar et al., 2008](#)). Nesse contexto, a busca por maior eficiência na utilização dos nutrientes, visando maximizar a produtividade, constitui um dos principais desafios da pecuária moderna. Dentre os nutrientes, a proteína e energia destacam-se por ser o insumo de maior custo nas dietas, tornando sua utilização eficiente um fator determinante para a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade ([NRC, 1989, 2016](#)).

Os ruminantes são herbívoros poligástricos, caracterizados pela presença de compartimentos estomacais especializados e pela capacidade de regurgitar, remastigar e deglutir o alimento, processo denominado ruminação ([Moyses & Schulte, 2010](#); [Oliveira et al., 2019](#)). As exigências nutricionais de proteína desses animais são atendidas, predominantemente, pela absorção intestinal de aminoácidos e peptídeos ([Berchielli et al., 2011](#); [NASEM, 2021](#); [NRC, 1989, 2016](#)). Nesse contexto, a proteína microbiana (PBmic), sintetizada pelos microrganismos presentes no rúmen, representa a principal fonte de aminoácidos metabolizáveis ([Hobson & Stewart, 2012](#)). Essa proteína é produzida a partir da utilização de compostos nitrogenados e carboidratos fermentáveis da dieta. Após a fermentação ruminal, a proteína microbiana que chega ao intestino delgado, juntamente com a proteína dietética que não é degradada no rúmen, denominada proteína não degradável no rúmen (PNDR), compõe o suprimento de proteína metabolizável, essencial para a manutenção, crescimento, lactação e reprodução ([Berchielli et al., 2011](#); [NASEM, 2021](#); [NRC, 1989, 2016](#)).

Na nutrição proteica de ruminantes, estimar com precisão a síntese de proteína microbiana é fundamental, uma vez que essa fração pode representar até 60% dos aminoácidos absorvidos no intestino delgado, enquanto os 40% restantes são provenientes da PNDR ([Arcuri et al., 2011](#); [Berchielli et al., 2011](#)). Alterações na dieta que impactam a produção de PBmic influenciam diretamente a quantidade e a qualidade da proteína disponível, podendo limitar a produção animal ([Nousiainen et al., 2004](#); [Salazar et al., 2008](#); [Santos et al., 2023](#)). Assim, compreender os fatores que afetam a síntese de proteína microbiana e os modelos utilizados para predizê-la é indispensável para a formulação de dietas mais eficientes ([Doyle et al., 2012](#); [Wolin et al., 1997](#)).

Diante da importância desse processo na nutrição de ruminantes, diversos modelos foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas com o objetivo de prever, de forma acurada, a produção de proteína microbiana ruminal a partir de variáveis nutricionais e fisiológicas ([Martineau et al., 2023](#)). O presente artigo revisa os principais métodos e modelos utilizados na predição da proteína microbiana ruminal, destacando suas bases teóricas, aplicações e limitações.

Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma revisão de literatura, com caráter qualitativo, descritivo e comparativo, fundamentado em artigos científicos e livros previamente publicados. A

análise dos estudos permitiu a comparação entre autores, fornecendo uma visão ampla e crítica sobre o tema. As principais bases de dados consultadas foram SciELO, PubMed e Scopus.

Proteínas na nutrição de ruminantes

O nitrogênio é reconhecido há décadas como um elemento essencial para os animais ([Tessari et al., 2022](#); [Zeoula et al., 1999](#)), sendo as proteínas os principais compostos nitrogenados presentes nas forragens ([Berchielli et al., 2011](#); [Van Soest, 1994](#)). As proteínas são macromoléculas constituídas por cadeias de aminoácidos e desempenham um papel fundamental na nutrição de vacas leiteiras, podendo ser consideradas o nutriente mais demandado ([Barton et al., 1996](#); [Huhtanen & Hristov, 2009](#); [Kozloski, 2011](#)). Além de fornecer aminoácidos essenciais para o metabolismo animal, as proteínas também constituem a principal fonte de nitrogênio para a síntese da proteína microbiana ruminal ([Hobson & Stewart, 2012](#); [NASEM, 2021](#); [NRC, 1989, 2016](#)).

Funcionalmente, as proteínas participam de diversas atividades biológicas, incluindo funções estruturais, catalíticas (enzimáticas), sinalização celular, transporte de nutrientes e composição do conteúdo celular ([Kozloski, 2011](#); [Lehninger, 2006](#)). Ademais, estão envolvidas na síntese de hormônios, anticorpos e componentes do sistema imunológico, além de desempenharem papel crucial no armazenamento e na transmissão da informação genética ([Tessari et al., 2022](#)).

Considerando que os aminoácidos contêm nitrogênio em sua estrutura, a quantificação das proteínas em alimentos para ruminantes é tradicionalmente realizada por meio da análise do teor total de nitrogênio ([AOAC, 2005](#)). Uma vez que as proteínas contêm, em média, 16% de nitrogênio, aplica-se o fator de conversão 6,25 (100/16) para estimar a concentração de proteína bruta (PB) a partir do nitrogênio total. Assim, o valor obtido para PB representa uma estimativa do conteúdo proteico com base no nitrogênio total, embora não diferencie entre nitrogênio verdadeiro (proteico) e nitrogênio não proteico presente nos alimentos ([NRC, 1989, 2016](#)).

[Egan & Doyle \(1985\)](#) ressaltam que o nível mínimo de proteína bruta em dietas para bovinos deve ser de 7%, pois valores inferiores a esse não mantêm o teor mínimo de 8 mg/dL de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) no líquido ruminal, condição necessária para o crescimento e a atividade das bactérias celulolíticas ([Arcuri et al., 2011](#); [Bergen, 1979](#); [Hobson & Stewart, 2012](#); [Wolin et al., 1997](#)). A ausência desse nível mínimo reduz a digestibilidade da parede celular, a síntese de proteína microbiana, o consumo voluntário de alimento e, consequentemente, o desempenho produtivo dos ruminantes. Por outro lado, níveis excessivos de proteína bruta na dieta podem comprometer o desempenho reprodutivo ([Dayani et al., 2011](#); [Pina et al., 2009](#); [Sales et al., 2008](#)), além de acarretar prejuízos econômicos e impactos ambientais significativos, uma vez que os ruminantes não possuem capacidade de armazenar proteína em excesso ([Hassan et al., 2011](#); [Löest et al., 2018](#)).

O excesso proteico não utilizado no metabolismo é excretado, principalmente, na forma de ureia pela urina, configurando uma perda nutricional e econômica ([Monteiro & Werner, 1994](#)). Do ponto de vista ambiental, essa excreção nitrogenada representa um risco devido à emissão de amônia para a atmosfera e à contaminação de corpos hídricos por nitratos, contribuindo para a poluição ambiental e comprometendo a sustentabilidade da atividade pecuária ([NASEM, 2021](#); [NRC, 1989, 2016](#); [Rodrigues et al., 2011](#)).

Metabolismo das proteínas no rúmen

Diferentemente dos animais monogástricos, os ruminantes possuem, em seu trato gastrointestinal, uma câmara fermentativa denominada de rúmen, que permite uma complexa interação entre os compostos nitrogenados da dieta e os microrganismos ruminais ([Caldas Neto et al., 2008](#); [Guangyong, 2000](#); [Lentle & Janssen, 2011](#); [Silveira et al., 2009](#)). O rúmen é considerado um ecossistema único e diverso, povoado por microrganismos anaeróbicos, incluindo bactérias, fungos e protozoários ([Hobson & Stewart, 2012](#); [Morgavi et al., 2010](#); [Simion et al., 2013](#)). As bactérias representam de 60% a 90% da biomassa microbiana, compreendendo cerca de 200 espécies distintas. A anaerobiose é uma das características peculiares do rúmen. A temperatura interna varia entre 38° C e 42° C, regulada pelo metabolismo homeotérmico do animal hospedeiro. O pH tende a manter-se constante, entre 6,0 e 7,0, em virtude da remoção dos ácidos gerados pela fermentação, os quais são absorvidos e neutralizados

pela ação tamponante da saliva animal ([Aquino et al., 2009](#); [Berchielli et al., 2011](#); [Berndt & Lanna, 2010](#))

O metabolismo proteico em ruminantes caracteriza-se pela ação microbiana que promove a degradação parcial da proteína dietética em peptídeos, aminoácidos (AAs) e amônia (NH_3), os quais são utilizados na biossíntese da proteína microbiana ([Salazar et al., 2008](#)). A proteína bruta (PB) presente nos alimentos é composta por duas frações principais: proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR) ([Sniffen et al., 1992](#)). A fração PDR é utilizada pelos microrganismos ruminais como fonte de nitrogênio para crescimento e síntese proteica, enquanto a fração PNDR escapa à degradação ruminal e é digerida no intestino delgado, contribuindo com aminoácidos diretamente absorvíveis ([Pereira et al., 2005](#)). Assim, o suprimento de proteína metabolizável (forma efetivamente disponível para o animal) é composto predominantemente pela proteína microbiana (PBmic) sintetizada no rúmen ([Costa et al., 2008](#); [Faleiro Neto et al., 2016](#)).

O processo de degradação proteica no rúmen inicia-se com a adesão de bactérias às partículas alimentares, seguida da ação de proteases associadas às células microbianas ([Brock et al., 1982](#); [Queiroz et al., 2010](#); [Rêgo et al., 2009](#)). Essa degradação resulta na liberação de peptídeos e aminoácidos, que são posteriormente deaminados em compostos nitrogenados, como NH_3 . Esse nitrogênio amoniacal é incorporado à proteína microbiana ou fermentado em ácidos graxos voláteis (AGVs) de cadeia ramificada, conforme a disponibilidade energética no rúmen ([Brock et al., 1982](#); [Karlsson et al., 2009](#)).

É importante ressaltar que, quando a dieta fornece excesso de proteína altamente degradável ou apresenta baixa disponibilidade energética, pode ocorrer produção excessiva de NH_3 , que nem sempre será convertida em proteína microbiana ([Salazar et al., 2008](#)). O excesso de NH_3 é absorvido pela parede ruminal e transportado ao fígado, onde é convertido em ureia. A ureia pode retornar ao rúmen via saliva ou difusão através da parede ruminal, ou ser excretada principalmente pela urina, mas também pelas fezes e, em menor proporção, pelo leite ([Broderick & Clayton, 1997](#)). Dessa forma, a amônia, por si só, não possui valor nutricional direto para o ruminante, pois sua utilidade depende da eficiência da incorporação microbiana. Caso não seja convertida em proteína microbiana, a amônia representa um resíduo nitrogenado a ser excretado, comprometendo a eficiência do uso da proteína dietética e gerando impactos ambientais ([NASEM, 2021](#); [NRC, 1989, 2016](#)).

Portanto, o metabolismo proteico em ruminantes deve ser cuidadosamente considerado no manejo nutricional, visto que tanto a sub oferta quanto o excesso de proteína degradável podem comprometer o desempenho animal e a sustentabilidade do sistema produtivo ([Rennó et al., 2008](#); [Valadares Filho & Pina, 2011](#)). A compreensão das frações proteicas da dieta e seus destinos no trato digestivo é fundamental para a formulação de dietas eficientes e ambientalmente responsáveis.

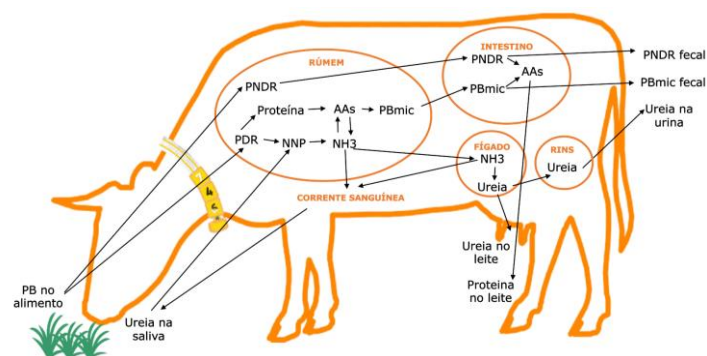


Figura 1. Desenho esquemático do metabolismo de proteína na vaca leiteira. PDR: Proteína degradável no rúmen, PNDR: Proteína não degradável no rúmen; PB: Proteína bruta; AAs: Aminoácidos; NNP: Nitrogênio não proteico; PBmic: Proteína microbiana; NH_3 : Amônia.

PDR e PNDR: frações proteicas na dieta

Nos ruminantes, a proteína bruta dos alimentos pode ser dividida em proteína degradável no rúmen (PDR) e proteína não degradável no rúmen (PNDR), conforme a disponibilidade das frações nitrogenadas no ambiente ruminal ([Brock et al., 1982](#); [Broderick & Reynal, 2009](#); [Edmunds et al., 2013](#)). Além dessa classificação, as proteínas alimentares podem ser subdivididas em frações com base em sua

solubilidade, segundo o modelo proposto pelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) ([Higgs et al., 2015](#); [Van Amburgh et al., 2015](#)).

No modelo CNCPS, a fração A representa os componentes nitrogenados de natureza não proteica (NNP), que são instantaneamente solubilizados no rúmen. As frações B1, B2 e B3 correspondem à proteína verdadeira potencialmente degradável no rúmen, com características distintas:

- B1: fração de degradabilidade intermediária, composta por peptídeos e oligopeptídeos;
- B2: proteína verdadeira com lenta degradabilidade ruminal;
- B3: proteína associada à fibra em detergente neutro.

A fração C corresponde à proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA), composta por proteínas ligadas à fibra em detergente ácido (FDA) e associadas à lignina, sendo considerada não digestível ([Sniffen et al., 1992](#)). Alguns autores ([Broderick & Merchen, 1992](#); [Broderick & Reynal, 2009](#); [Van Soest, 1994](#)) propõem considerar apenas quatro frações proteicas (A, B1, B2 e C), em vez das cinco originais (A, B1, B2, B3 e C), justificando essa simplificação pelo fato de que as frações B2 e B3, presentes no conteúdo celular, apresentam comportamento nutricional semelhante. A distinção entre PDR e PNDR é fundamental para o balanceamento adequado das dietas de ruminantes, pois a PDR fornece nitrogênio para os microrganismos ruminais, enquanto a PNDR disponibiliza aminoácidos diretamente absorvíveis no intestino, otimizando a síntese de proteína microbiana e a eficiência alimentar.

O uso de fontes ricas em PNDR aumenta o suprimento de proteína metabolizável e eleva a quantidade de compostos nitrogenados disponíveis para reciclagem no rúmen. Entretanto, a suplementação com PDR é mais eficaz para manter níveis adequados de nitrogênio amoniacal no rúmen ([Bandyk et al., 2001](#); [Santos et al., 2001](#)). Em dietas bem balanceadas, o nitrogênio não proteico (NNP) é considerado disponível, uma vez que as bactérias incorporam a amônia e a convertem em proteína microbiana, a qual possui alto valor biológico ([Dias et al., 2023](#)).

A ureia, como fonte de NNP em suplementos, tem o potencial de reduzir os custos da dieta e melhorar o desempenho animal em diferentes épocas do ano ([Moreira et al., 2006](#)). Segundo [Köster et al. \(1996\)](#), em dietas baseadas em forragens de baixa qualidade, o consumo inadequado de PDR é um dos principais fatores limitantes. A suplementação com compostos nitrogenados, como a ureia, favorece o crescimento de bactérias fibrolíticas, melhora a degradação da fibra e a síntese microbiana, otimizando o aproveitamento energético e o consumo de forragem ([Detmann & Valadares Filho, 2010](#)). Nessas situações, a suplementação visa elevar o teor proteico da dieta e fornecer substratos essenciais à atividade microbiana, especialmente durante o período seco ([Sampaio et al., 2010](#); [Santos et al., 2016](#)).

A suplementação com PDR promove o aumento do consumo de forragem, eleva a ingestão energética e melhora o desempenho animal, não apenas pelo maior consumo, mas também pela maior digestibilidade e eficiência no uso dos nutrientes ([Almeida Rufino et al. 2025](#); [Moraes et al., 2006](#); [Paula et al., 2011](#)). Contudo, o excesso de PDR, na ausência de energia fermentável suficiente, pode causar acúmulo de amônia no rúmen, sobrecarregando o fígado e aumentando a excreção de ureia.

Síntese de proteína microbiana

Diversos fatores influenciam a síntese de proteína microbiana no rúmen, sendo a disponibilidade de carboidratos (CHO) e nitrogênio (N) para os microrganismos ruminais, possivelmente, os mais determinantes ([Ferreira et al., 2009](#); [Salazar et al., 2008](#)). Além disso, fatores não nutricionais, como o pH ruminal, também exercem papel relevante nessa síntese ([Van Kessel et al., 1996](#); [Zhou et al., 2019](#)). A síntese de proteína microbiana depende do fornecimento adequado, tanto em quantidade quanto em tipo, de carboidratos, que servem como fonte de energia para a formação das ligações peptídicas ([Jo et al., 2024](#)). A sincronização entre a taxa de fermentação dos carboidratos e a degradação da proteína tem sido apontada como uma estratégia eficaz para otimizar o crescimento microbiano no rúmen ([Lu et al., 2019](#); [Shabi et al., 1998](#)). Com base na preferência energética das bactérias ruminais, estas são classificadas em celulolíticas e amilolíticas.

- As bactérias celulolíticas degradam carboidratos estruturais, apresentam baixos requisitos de manutenção, crescimento lento e utilizam principalmente amônia como fonte de nitrogênio ([Wegbecher, 2009](#)).
- Por outro lado, as bactérias amilolíticas degradam carboidratos não estruturais, possuem maiores exigências de manutenção, crescem rapidamente e utilizam amônia, peptídeos e aminoácidos como fontes de nitrogênio ([Sniffen et al., 1992](#)).

Nesse contexto, altas concentrações de carboidratos não estruturais elevam a utilização do nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) ruminal para a síntese de proteína microbiana ([Jo et al., 2024](#)). A sincronização entre a degradação desses carboidratos e a disponibilidade de proteína degradável no rúmen pode maximizar a síntese microbiana, contribuindo para atender às exigências nutricionais dos animais e aumentar a produção de leite ([Casper et al., 1999](#); [Jo et al., 2024](#); [Rosmalia et al., 2022](#)). Carboidratos prontamente fermentáveis, como o amido e os açúcares, são mais eficazes que carboidratos estruturais, como a celulose, na promoção do crescimento microbiano ([Stern & Hoover, 1979](#)). Além do fornecimento adequado de CHO e N, a disponibilidade equilibrada de minerais e micronutrientes no rúmen é essencial para otimizar a atividade microbiana e, conseqüentemente, a síntese proteica. Esses elementos atuam como cofatores enzimáticos, componentes estruturais de vitaminas e participantes de diversas reações metabólicas dos microrganismos ruminais.

Por exemplo:

- O fósforo é indispensável para o metabolismo energético, integrando compostos como o ATP (adenosina trifosfato), principal fonte de energia para as atividades celulares, fundamental para a replicação e divisão bacteriana ([Barreto et al., 2009](#)).
- Já o enxofre é necessário para a síntese de aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína), vitais para a formação de proteínas microbianas ([Zinn et al., 1997](#)).

Deficiências ou desequilíbrios minerais podem reduzir a eficiência da fermentação ruminal, alterar a composição da microbiota e comprometer a síntese proteica, refletindo negativamente no desempenho animal. Portanto, o fornecimento balanceado de minerais na dieta é um componente-chave para maximizar a eficiência do uso do nitrogênio ruminal e melhorar a produtividade dos ruminantes.

Fatores não nutricionais, como o pH ruminal, também desempenham papel crucial na síntese de proteína microbiana. Em condições práticas, a eficiência de síntese da proteína microbiana permanece relativamente estável dentro de uma ampla faixa de pH. O pH ruminal, geralmente entre 5,5 e 7,0, é influenciado pela dieta e mantido principalmente pelo poder tamponante da saliva e pela absorção dos ácidos graxos voláteis (AGVs) ([Van Soest, 1994](#)). [Sniffen et al. \(1992\)](#) observaram que a população de bactérias celulolíticas diminui significativamente quando o pH ruminal atinge valores próximos a 5,7, enquanto bactérias fermentadoras de carboidratos solúveis permanecem ativas até pH 4,6.

[Salazar et al. \(2008\)](#) mencionam que reduções transitórias no pH ruminal, comumente observadas após refeições ricas em carboidratos rapidamente fermentáveis, podem estimular o crescimento de microrganismos amilolíticos, potencialmente aumentando a síntese de proteína microbiana. Contudo, quando o pH ruminal permanece baixo por períodos prolongados, observa-se inibição significativa das bactérias celulolíticas e proteolíticas, resultando em menor digestibilidade da fibra, redução na disponibilidade energética e queda na degradação proteica ruminal ([Alves et al., 2010](#); [Caldas Neto et al., 2008](#); [Pereira et al., 2005](#); [Poppi & McLennan, 1995](#)). Além disso, o pH baixo pode ocasionar distúrbios metabólicos, como a acidose ruminal, que compromete a saúde e o desempenho dos animais.

Métodos para mensurar a produção de proteína microbiana ruminal

A mensuração da produção de proteína microbiana no rúmen é fundamental para avaliar a eficiência do uso do nitrogênio dietético e otimizar a formulação de dietas para ruminantes ([Hristov et al., 2019](#)). Diversos métodos têm sido desenvolvidos com o objetivo de estimar o fluxo de proteína microbiana ao intestino delgado, sendo a maioria deles baseada em marcadores microbianos, classificados em internos e externos ([Broderick & Merchen, 1992](#); [Santos et al., 2016](#)).

Os marcadores internos são constituintes naturais das células microbianas, não necessitando, portanto, de administração aos animais ([Zeoula et al., 1994, 2002](#)). Já os marcadores externos são introduzidos experimentalmente, requerendo infusão contínua ou fornecimento via dieta ([Broderick & Merchen, 1992](#); [Zeoula et al., 1994, 2000](#)). Entre os marcadores internos, destacam-se as purinas e os ácidos nucleicos (RNA e DNA) ([Aguilar et al., 2012](#); [Faleiro Neto et al., 2016](#); [Mahboobi et al. 2023](#)). O uso de marcadores microbianos (tanto internos quanto externos) exige a utilização de animais canulados, para obtenção de amostras da digesta no duodeno, omaso ou abomaso, além do uso de indicadores para estimar o fluxo de digesta das fases sólida e líquida ([Hristov et al., 2019](#)).

Os ácidos nucleicos, especialmente o RNA, têm sido amplamente utilizados como marcadores microbianos desde a década de 1960. A elevada concentração de RNA nas bactérias ruminais permite sua utilização como indicativo da biomassa microbiana, possibilitando o cálculo do fluxo de nitrogênio microbiano no abomaso com base na razão N-RNA:N total bacteriano ([Detman et al., 2016](#); [Ferreira et al., 2009](#); [Maeda et al., 2011](#); [Silva et al., 2012](#); [Zeoula et al., 2000, 2002](#)). Apesar da eficácia, essa técnica exige isolamento microbiano e análises laboratoriais específicas.

Os marcadores externos, por sua vez, devem ser administrados aos animais para incorporação pelos microrganismos ruminais. O procedimento envolve a infusão contínua do marcador no rúmen durante o período experimental, até que se estabeleça um estado de equilíbrio. Entre os marcadores externos, o nitrogênio-15 (^{15}N) é um dos mais utilizados, devido à sua estabilidade e segurança ambiental. O ^{15}N é fornecido na forma de sulfato de amônio enriquecido e incorporado à biomassa microbiana. Esta fonte é metabolizada pelos microrganismos ruminais, que sintetizam proteínas microbianas marcadas isotopicamente ([Cantalapiedra-Hijar et al., 2023](#)). A quantidade de proteína microbiana que passa para o restante do sistema digestivo pode ser determinada por meio de amostras de digesta coletadas no duodeno ([Caldas Neto et al., 2008](#); [Ferreira et al., 2009](#); [Pinto et al., 2009](#)).

Embora o custo elevado e a necessidade de infraestrutura específica limitem seu uso, o ^{15}N tem sido amplamente empregado como indicador confiável da produção de proteína microbiana *in vivo*. Dentre as vantagens desse marcador, destacam-se: sua estabilidade isotópica, ausência de riscos ambientais e baixa concentração natural na dieta, o que facilita a detecção do enriquecimento ([Broderick & Merchen, 1992](#)). Além dos tradicionais marcadores externos (^{15}N), novas aplicações avaliam a discriminação isotópica $\Delta^{15}\text{N}$ como indicador da eficiência de assimilação de N microbiano ([Cantalapiedra-Hijar et al., 2023](#)).

Outros marcadores externos incluem o fósforo radioativo (^{32}P) e o enxofre radioativo (^{35}S). O ^{32}P é incorporado aos ácidos nucleotídicos microbianos, permitindo inferir a taxa de síntese a partir da atividade microbiana em amostras ruminais incubadas *in vitro*. O ^{35}S é incorporado na síntese de aminoácidos sulfurados (metionina e cistina), marcando a proteína bacteriana. Entretanto, o uso de radioisótopos em estudos com bovinos leiteiros é restrito devido a questões relacionadas à segurança alimentar e ao manejo de resíduos radioativos ([Stern & Hoover, 1979](#); [Zinn et al., 1997](#)).

Um método indireto e não invasivo para estimar o fluxo pós-ruminal de proteína microbiana é baseado na excreção urinária de derivados de purina ([Dórea et al., 2017](#); [Faleiro Neto et al., 2016](#); [Liu et al., 2008](#)). Este método baseia-se na excreção de compostos resultantes da degradação das purinas microbianas absorvidas no intestino delgado, como alantoína e ácido úrico, em bovinos ([Belanche et al., 2013](#); [Edmunds et al., 2012](#); [Karlsson et al., 2009](#); [Lima et al., 2023](#)). Recentemente, [Ribeiro et al. \(2025\)](#) propuseram o uso da espectroscopia NIR como alternativa prática para estimar os derivados de purina na urina.

O método assume que todos os ácidos nucleicos de origem dietética são degradados no rúmen e que, portanto, os ácidos nucleicos que chegam ao intestino são essencialmente de origem microbiana. A concentração desses derivados na urina reflete a quantidade de purinas absorvidas, permitindo estimar o fluxo de nitrogênio microbiano, desde que seja conhecida previamente a razão purina:N nas células microbianas ([Caldas Neto et al., 2008](#); [Faleiro Neto et al., 2016](#); [Liu et al., 2008](#); [Shi et al., 2011](#); [Wang et al., 2009](#)). Esse método é considerado simples e não invasivo, apresentando boa correlação com outros indicadores microbianos, embora exija equações específicas para cada espécie, devido às variações no metabolismo das purinas entre diferentes ruminantes ([Shi et al., 2011](#); [Wang et al., 2012](#)).

A escolha do método mais adequado depende do objetivo do estudo, da espécie animal, da infraestrutura laboratorial disponível e da precisão desejada ([Hristov et al., 2019](#)). Embora os métodos baseados em derivados de purinas urinárias sejam os mais práticos e aplicáveis em larga escala, técnicas isotópicas e moleculares proporcionam maior exatidão e têm sido fundamentais para o aprimoramento dos modelos nutricionais, como os propostos pelo CNCPS ([Higgs et al., 2015](#); [Sniffen et al., 1992](#); [Van Amburgh et al., 2015](#)) e pelo NRC ([NASEM, 2021](#); [NRC, 1989, 2016](#)).

Modelos de predição do fluxo pós-ruminal de proteína microbiana

A predição do fluxo pós-ruminal de proteína microbiana é uma etapa crítica na formulação de dietas para ruminantes de alto desempenho, especialmente vacas leiteiras, dada a importância dessa fração como principal fonte de aminoácidos metabolizáveis. Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de estimar o fluxo pós-ruminal de proteína microbiana ([Galylean & Tedeschi, 2023](#); [Martineau et al., 2023](#); [NRC, 1989](#); [Vieira et al., 2024](#)). Esses modelos permitem estimar o aporte de proteína microbiana ao intestino delgado, considerando variações no tipo de dieta, na composição dos ingredientes, na eficiência da fermentação e nas características fisiológicas do animal. A acurácia dessas predições é essencial para evitar tanto deficiências quanto excessos proteicos, otimizando o desempenho produtivo, a eficiência alimentar e reduzindo os impactos ambientais decorrentes da excreção excessiva de nitrogênio.

Para calcular a quantidade de proteína microbiana que chega ao intestino delgado, é necessário conhecer a eficiência de síntese de proteína microbiana ([Valadares Filho et al., 2016](#)), a qual tem sido expressa de diferentes formas. O modelo do *National Research Council* ([NRC, 1989, 2016](#)) considera que a síntese de proteína microbiana depende diretamente do fornecimento de carboidratos fermentáveis, sendo expressa em função dos nutrientes digestíveis totais (NDT), estimando-se o valor de 130 gramas de proteína bruta microbiana para cada 1 quilograma de NDT. O sistema britânico *Agricultural and Food Research Council* ([AFRC, 1993](#)) estima entre 9 e 11 gramas de proteína bruta microbiana por megajoule de energia metabolizável fermentada no rúmen. Já o modelo matemático *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) prevê a proteína microbiana com base na taxa de fermentação de cada fração de carboidrato (A, B1, B2) e na disponibilidade de nitrogênio amoniacal ruminal (N-NH₃), estimando 400 gramas de matéria seca microbiana para cada 1 quilograma de carboidratos degradados no rúmen ([Higgs et al., 2015](#); [Van Amburgh et al., 2015](#)).

A atualização do modelo NRC, publicada pelo *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* ([NASEM, 2021](#)), introduziu melhorias na descrição da taxa de fermentação dos substratos e na estimativa da eficiência de síntese microbiana, representando um avanço significativo no entendimento e na modelagem da proteína na nutrição de vacas leiteiras. A principal mudança foi a substituição do uso de NDT como base para estimar a síntese de proteína microbiana, passando a considerar três componentes-chave: a fibra em detergente neutro digestível (FDN_{dig}), o amido digestível e a proteína degradável no rúmen.

[Martineau et al. \(2023\)](#) realizaram uma meta-análise para comparar o desempenho de três sistemas de avaliação de rações para vacas leiteiras (NRC, CNCPS e NASEM) na predição dos fluxos de nitrogênio não amoniacal (NAN), nitrogênio microbiano (MiN) e nitrogênio não microbiano e não amoniacal (NANMN). O CNCPS apresentou as melhores predições de NAN, enquanto o NRC e o NASEM subestimaram o MiN em termos absolutos, e o CNCPS superestimou a resposta ao aumento de MiN previsto.

O modelo BR-Corte foi desenvolvido especificamente para bovinos de corte no Brasil, com o objetivo de adequar as estimativas de síntese e fluxo de proteína microbiana às condições nutricionais e ambientais típicas do país ([Valadares Filho et al., 2016](#)). Considerando a diversidade de pastagens tropicais e os sistemas de produção extensivos e semi-intensivos, o modelo BR-Corte ajusta a eficiência de síntese microbiana com base na disponibilidade energética fermentável no rúmen, especialmente a partir da fibra digestível em detergente neutro (FDN) e dos carboidratos fermentáveis presentes nas dietas regionais. Diferentemente dos modelos tradicionais que utilizam parâmetros globais, o BR-Corte incorpora taxas específicas de fermentação e passagem ruminal, mais compatíveis com a fisiologia e o

manejo dos bovinos de corte brasileiros, possibilitando uma predição mais precisa da quantidade de proteína microbiana que chega ao intestino delgado ([Santos et al., 2023](#)).

Para os pequenos ruminantes, destaca-se o modelo específico proposto no BR-Caprinos & Ovinos ([Santos et al., 2023](#)). Nestes animais, a eficiência da síntese de proteína microbiana apresenta particularidades relacionadas ao menor volume ruminal, à taxa de passagem e à composição da microbiota ruminal. O modelo [NRC \(1989\)](#) para ovinos, por exemplo, estima a produção de proteína microbiana em função da energia fermentável no rúmen, ajustada às taxas específicas de fermentação e digestão características desses animais, considerando ainda a influência da proteína degradável na disponibilidade de nitrogênio para os microrganismos ([NRC, 1989](#)).

Estudos recentes ressaltam que, apesar dos avanços, as equações de predição ainda apresentam limitações importantes, o que torna esse campo estratégico para a pecuária moderna. ([Galylean & Tedeschi, 2014](#)) destacam que todos os modelos disponíveis apresentam imprecisões significativas, com erros de predição entre 20% e 30% dos valores observados, comprometendo a exatidão na estimativa do suprimento de proteína metabolizável. Esses autores testaram novas equações baseadas na ingestão de matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN), além de uma proposta simplificada que calcula a proteína microbiana como 10% da ingestão de NDT. Surpreendentemente, essa equação simplificada apresentou desempenho estatístico semelhante ao de modelos mais complexos, reforçando que a relação direta entre energia fermentável e síntese microbiana continua sendo o fator determinante.

Nesse contexto, destaca-se o NS Dairy Cattle (*Nutrition System for Dairy Cattle*), modelo brasileiro desenvolvido no Laboratório de Pesquisa em Pecuária de Leite da UFMT-Sinop, iniciado em 2012 e atualizado em 2024 ([Oliveira, 2024](#)). Diferentemente dos sistemas tradicionais, o NS Dairy Cattle foi estruturado para reduzir tais imprecisões, integrando parâmetros de consumo, digestibilidade e metabolismo proteico a aspectos ambientais, como a excreção de nutrientes e a emissão de metano ([Oliveira, 2024](#)). O modelo contempla, entre outros aspectos, a predição das exigências de proteína metabolizável para manutenção e lactação ([Oliveira, 2024](#); [Silva & Oliveira, 2023](#)).

Considerações finais

A predição precisa da produção de proteína microbiana ruminal é indispensável para o manejo nutricional eficiente de ruminantes, promovendo maior desempenho produtivo e sustentabilidade ambiental. Os métodos e modelos atuais representam avanços importantes, mas ainda enfrentam desafios como a variabilidade individual dos animais, a complexidade da microbiota ruminal e a necessidade de integração de dados em tempo real.

Futuros estudos devem focar na incorporação de técnicas moleculares avançadas, modelagem dinâmica e uso de inteligência artificial para melhorar a acurácia e a adaptabilidade dos modelos nutricionais. Além disso, a integração entre nutrição, microbiologia e genética animal promete ampliar as fronteiras do conhecimento, otimizando a produção com menor impacto ambiental.

Nesse cenário, sistemas nutricionais como o BR-Corte, BR-Caprinos & Ovinos e o NS Dairy Cattle apresentam-se como exemplos de inovação aplicada, ao aliar eficiência produtiva e sustentabilidade em sistemas tropicais e não tropicais, consolidando-se como ferramentas relevantes para a pecuária brasileira.

Agradecimentos

A autora agradece o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso e à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de mestrado.

Declaração de uso de ferramentas de IA para edição do texto

A autora declara que usou o ChatGPT (Open IA) com o propósito de correção linguística (gramática, ortografia, fluência, clareza).

Referências

- AFRC. (1993). Energy and protein requirements of ruminants. *Agricultural and Food Research Council*, 1–159.
- Aguiar, S. C., Zeoula, L. M., Moura, L. P. P., Prado, I. N., Paula, L. & Samensari, R. B. (2012). Performance, digestibility, microbial production and carcass characteristics of feedlot young bulls fed diets containing propolis. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 34, 393–400. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i4.15167>.
- Almeida Rufino, L. M., Rodrigues, J. P. P., de Oliveira Franco, M., de Abreu Lima, N. S., de Oliveira Sousa, L. C., Sampaio, C. B. & Detmann, E. (2025). Effects of amount and frequency of nitrogen supplementation on nutritional performance and metabolism in cattle fed medium-quality tropical forage. *Discover Animals*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.1007/s44338-025-00095-6>.
- Alves, E. M., Santos Pedreira, M., Oliveira, C. A. S., Ferreira, D. N., Moreira, B. S., & Freire, L. D. R. (2010). Importância da sincronização do complexo proteína/energia na alimentação de ruminantes. *PUBVET*, 4, 844–849.
- ANUALPEC. (2025). *Anuário da Pecuária Brasileira* (20th ed., Vol. 1). Instituto FNP.
- AOAC. (2005). - Association Official Analytical Chemist. In A. O. A. Chemist (Ed.), *Official Methods of Analysis* (Official M). AOAC.
- Aquino, A. A., Freitas Júnior, J. E., Gandra, J. R., Pereira, A. S. C., Rennó, F. P., & Santos, M. V. (2009). Utilização de nitrogênio não proteico na alimentação de vacas leiteiras: metabolismo, desempenho produtivo e composição do leite. *Veterinária e Zootecnia*, 16(4), 575–591.
- Arcuri, P. B., Lopes, F. C. F., & Carneiro, J. (2011). Microbiologia do rumen. In T. T. Berchielli, A. V. Pires, & S. G. Oliveira (Eds.), *Nutrição de Ruminantes* (Issue 2th ed., pp. 115–148). FUNEP.
- Bandyk, C. A., Cochran, R. C., Wickersham, T. A., Titgemeyer, E. C., Farmer, C. G., & Higgins, J. J. (2001). Effect of ruminal vs postruminal administration of degradable protein on utilization of low-quality forage by beef steers. *Journal of Animal Science*, 79(1), 225. <https://doi.org/10.2527/2001.791225x>.
- Barreto, J. C., Branco, A. F., Santos, G. T., Magalhães, V. J. A., Coneglian, S. M., & Teixeira, S. (2009). Evaluation of different phosphorus sources in the diet on ruminal parameters, microbial synthesis, nutrient apparent digestibility and plasma phosphorus in cattle. *Avaliação dos Efeitos de Fontes de Fósforo na Dieta sobre Parâmetros do Meio Ruminal e Eficiência de Síntese Microbiana, Digestibilidade dos Nutrientes e Fósforo Plasmático em Bovinos*, 38(4), 760–769. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000400024>,
- Barton, B. A., Rosario, H. A., Anderson, G. W., Grindle, B. P., & Carroll, D. J. (1996). Effects of dietary crude protein, breed, parity, and health status on the fertility of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 79(12), 2225–2236. [https://doi.org/0.3168/jds.S0022-0302\(96\)76599-2](https://doi.org/0.3168/jds.S0022-0302(96)76599-2).
- Belanche, A., Weisbjerg, M. R., Allison, G. G., Newbold, C. J., & Moorby, J. M. (2013). Estimation of feed crude protein concentration and rumen degradability by Fourier-transform infrared spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 96(12), 7867–7880. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7127>,
- Berchielli, T. T., Pires, A. V., & Oliveira, S. G. (2011). *Nutrição de Ruminantes*. FUNEP.
- Bergen, W. G. (1979). Factors affecting growth yields of micro-organisms in the rumen. *Tropical Animal Production*, 4:1(January).
- Berndt, A., & Lanna, D. P. D. (2010). Feeding and nutrition. In J. M. B. Duarte & S. Gonzales (Eds.), *Neotropical cervidology: Biology and medicine of latin american deer*. FUNEP.
- Brock, F. M., Forsberg, C. W., & Buchanan-Smith, J. G. (1982). Proteolytic activity of rumen microorganisms and effects of proteinase inhibitors. *Applied and Environmental Microbiology*, 44(3), 561–569. <https://doi.org/10.1128/aem.44.3.561-569.1982>.
- Broderick, G. A., & Clayton, M. K. (1997). A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea Nitrogen. *Journal of Dairy Science*, 80(11), 2964–2971. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76262-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76262-3)

- Broderick, G. A., & Merchen, N. R. (1992). Markers for quantifying microbial protein synthesis in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 75(9), 2964–2971. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)78024-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)78024-2).
- Broderick, G. A., & Reynal, S. M. (2009). Effect of source of rumen-degraded protein on production and ruminal metabolism in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(6), 2822–2834. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3168/jds.2008-1865>
- Caldas Neto, S. F., Zeoula, L. M., Prado, I. N., Branco, A. F., Kazama, R., Geron, L. J. V., Maeda, E. M., & Fereli, F. (2008). Proteína degradável no rúmen na dieta de bovinos: digestibilidades total e parcial dos nutrientes e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 1094–1102. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982008000600021>.
- Cantalapiedra-Hijar G., Martinez-Fernandez G., Forano E., Denman S. E., Morgavi D. & McSweeney C. S. (2023). The extent of nitrogen isotopic fractionation in rumen bacteria is associated with changes in rumen nitrogen metabolism. *PLoS ONE*, 18(9): e0291243. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291243>.
- Casper, D. P., Maiga, H. A., Brouk, M. J., & Schingoethe, D. J. (1999). Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(8), 1779–1790. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75408-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75408-1).
- Costa, P. B., Queiroz, A. C., Magalhães, A. L. R., Zorzi, K., Mello, R. O., & Oliveira, A. A. M. A. (2008). Parâmetros digestivos e produção de proteína microbiana em novilhas em crescimento compensatório. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(5), 1135–1141. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000500015>.
- Dayani, O., Dadvar, P., & Afsharmanesh, M. (2011). Effect of dietary whole cottonseed and crude protein level on blood parameters and performance of fattening lambs. *Small Ruminant Research*, 97(1–3), 48–54. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.02.007>.
- Del Campo, M., Montossi, F., Lima, J. M. S., & Brito, G. (2025). Future cattle production: Animal welfare as a critical component of sustainability and beef quality, a South American perspective. *Meat Science*, 219, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109672>.
- Detman, E., Gionbelli, M. P., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., & Rennó, L. N. (2016). Considerações sobre métodos de pesquisa com ruminantes em pastejo: Consumo, ganho de peso, indicadores, mensurações urinárias. *Nutritime Revista Eletrônica*, 13(3), 411–4731. <https://doi.org/10.4141/A03-076>.
- Detmann, E., & Valadares Filho, S. C. (2010). On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62(4), 980–984.
- Dias, A. V. L., Messana, J. D., Granja-Salcedo, Y. T., Alfonso, Y. F. M., Silva, L. G., Camargo, K. D. V., Alves, K. L. G. C., Gonçalves, P. H., Reis, R. A., & Berchielli, T. T. (2023). Efficiency of amino acid utilization in Nellore cattle grazing low-quality forage supplemented with different sources of nitrogen. *Life*, 13(8), 1622. <https://doi.org/10.3390/life1308162>.
- Dórea, J. R. R., Danés, M. A. C., Zanton, G. I., & Armentano, L. E. (2017). Urinary purine derivatives as a tool to estimate dry matter intake in cattle: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 100, 1–16.
- Doyle, M. P., Beuchat, L. R., & Montville, T. J. (2012). *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. American Society for Microbiology.
- Edmunds, B., Südekum, K. H., Bennett, R., Schröder, A., Spiekers, H., & Schwarz, F. J. (2013). The amino acid composition of rumen-undegradable protein: A comparison between forages. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4568–4577. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6536>.
- Edmunds, B., Südekum, K.-H., Spiekers, H., & Schwarz, F. J. (2012). Estimating ruminal crude protein degradation of forages using in situ and in vitro techniques. *Animal Feed Science and Technology*, 175(3–4), 95–105. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2012.04.003>.
- Egan, J. K., & Doyle, P. T. (1985). Effect of intraruminal infusion of urea on the response in voluntary food intake by sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 36(3). <https://doi.org/10.1071/AR9850483>.

- Faleiro Neto, J., Moreira, E., Reis, R., Sampaio, I., Saturnino, H., Jacob, T., & Reed, A. (2016). Produção de proteína microbiana e derivados de purinas em vacas. *PUBVET*, 10(1), 91–99. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n1.91-99>
- Ferracini, J. G., Pauly, J. F., Freire, H. R., Saraiva, B. R., Vital, A. C. P., & Prado, I. N. (2024). Diferentes sistemas de produção de bovinos de corte em pastagem, confinamento convencional e confinamento a partir do desmame sobre desempenho animal, características de carcaça e custo de produção. *PUBVET*, 18(9), e1660. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v18n09e1660>.
- Ferreira, M. A., Silva, R. R., Ramos, A. O., Vêras, S. C., Melo, A. A. S., & Guimarães, A. V. (2009). Síntese de proteína microbiana e concentrações de uréia em vacas alimentadas com dietas à base de palma forrageira e diferentes volumosos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(1), 159–165.
- Ferreira, M. de A., Valadares Filho, S. dCampos, Marcondes, M. I., Paixão, M. L., Paulino, M. F., & Valadares, R. F. D. (2009). Avaliação de indicadores em estudos com ruminantes: digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(8), 1568–1573. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000800022>.
- 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*, 92(11), 5099–5111. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8098>.
- Galyean, M. L., & Tedeschi, L. O. (2023). Predicting microbial crude protein synthesis in cattle from intakes of dietary energy and crude protein. *Journal of Animal Science*, 101. <https://doi.org/10.1093/jas/skad359>.
- Guangyong, Z. (2000). Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction. *Animal Feed Science and Technology*, 88(3–4). [https://doi.org/10.1016/s0377-8401\(00\)00226-1](https://doi.org/10.1016/s0377-8401(00)00226-1).
- Hassan, Z., Nisa, M., Shahzad, M. A., & Sarwar, M. (2011). Replacing concentrate with wheat straw treated with urea molasses and ensiled with manure: effects on ruminal characteristics, in situ digestion kinetics and nitrogen metabolism of Nili-Ravi buffalo bulls. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(8), 1092–1099. <https://doi.org/http://dix.doi.org/10.5713/ajas.2011.10337>.
- Higgs, R. J., Chase, L. E., Ross, D. A., & Van Amburgh, M. E. (2015). Updating the Cornell Net Carbohydrate and Protein System feed library and analyzing model sensitivity to feed inputs. *Journal of Dairy Science*, 98(9). <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9379>.
- Hobson, P. N., & Stewart, C. S. (2012). *Rumen microbial ecosystem* (2nd ed.). Blackie Academic & Professional.
- Hristov, A. N., Bannink, A., Crompton, L. A., Huhtanen, P., Kreuzer, M., McGee, M., Nozière, P., Reynolds, C. K., Bayat, A. R., Yáñez-Ruiz, D. R., Dijkstra, J., Kebreab, E., Schwarm, A., Shingfield, K. J., & Yu, Z. (2019). Invited review: Nitrogen in ruminant nutrition: A review of measurement techniques. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 5811–5852. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15829>.
- Huhtanen, P., & Hristov, A. N. (2009). A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3222–3232.
- Jo, Y.-H., Kim, W.-S., Kim, Y.-R., Ju, M.-S., Nejad, J. G., & Lee, H.-G. (2024). *Impacts of Protein and Energy Levels on Rumen Fermentation and Microbial Activity Under Different Incubation Temperatures*. *Animals*, 14(21), 3093. <https://doi.org/10.3399/ani14213093>
- Karlsson, L., Hetta, M., Udén, P., & Martinsson, K. (2009). New methodology for estimating rumen protein degradation using the *in vitro* gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, 153(3–4), 193–202. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.06.010>
- Köster, H. H., Cochran, R. C., Titgemeyer, E. C., Vanzant, E. S., Abdelgadir, I., & St-Jean, G. (1996). Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality, Tallgrass-prairie forage by beef cows. *Journal of Animal Science*, 74(10), 2473–2481. <https://doi.org/10.2527/1996.74102473x>.
- Kozloski, G. V. (2011). *Bioquímica dos ruminantes* (3a Ed., Vol. 1). Editora Universidade Federal de Santa Maria.
- Lehninger, N. D. L. (2006). *Princípios de bioquímica*. São Paulo.

- Lentle, R. G., & Janssen, P. W. M. (2011). *The physical processes of digestion*. Springer.
- Lima, J., Ingabire, W., Roehe, R., & Dewhurst, R. J. (2023). Estimating Microbial Protein Synthesis in the Rumen — Can ‘Omics’ Methods Provide New Insights into a Long-Standing Question? *Veterinary Sciences*, 10(12), 679. <https://doi.org/10.3390/vetsci10120679>.
- Liu, Q., Wang, C., Huang, Y. X., Dong, K. H., Yang, W. Z., & Wang, H. (2008). Effects of lanthanum on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and digestibility in steers. *Animal Feed Science and Technology*, 142(1–2), 121–132. <https://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.08.002>.
- Löest, C. A., Gilliam, G. G., Waggoner, J. W., & Turner, J. L. (2018). Post-ruminal branched-chain amino acid supplementation and intravenous lipopolysaccharide infusion alter blood metabolites, rumen fermentation, and nitrogen balance of beef steers. *Journal of Animal Science*, 96(7), 2886–2906.
- Lu, Z., Xu, Z., Shen, Z., Tian, Y., & Shen, H. (2019). Dietary Energy Level Promotes Rumen Microbial Protein Synthesis via Improving Energy Productivity of the Rumen Microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 10, 847. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00847>.
- Maeda, E. M., Zeoula, L. M., Gomes, H. C. C., Jacobi, G., Simioni, F. L., & Oliviera, R. A. (2011). Avaliação de indicadores usados nos estudos de ingestão e digestibilidade em bovinos e bubalinos. *Archivos de Zootecnia*, 60(229), 123–131. <http://8099424f36183a>,
- Mahboobi Z., Karimi N., Jahanbakhshi A. (2023). *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 10(3):385–394. doi:10.5455/javar.2023.j691.
- Martineau, R., Ouellet, D. R., Pellerin, D., Firkins, J. L., Hanigan, M. D., White, R. R., LaPierre, P. A., Van Amburgh, M. E., & Lapierre, H. (2023). Ability of three dairy feed evaluation systems to predict postruminal outflows of nitrogenous compounds in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 106(12), 8583–8610. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-23215>.
- Monteiro, F. A., & Werner, J. C. (1994). Reciclagem de nutrientes em pastagens. *Anais de Campinas*.
- Moraes, E. H. B. K., Paulino, M. F., Zervoudakis, J. T., Detmann, E., Valadares Filho, S. C., Valadares, R. F. D., & Moraes, K. A. K. (2006). Níveis de proteína em suplementos para novilhos mestiços em pastejo durante o período de transição seca/águas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(5), 2135. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000700034>.
- Moreira, F. B., Mizubuti, I. Y., Prado, I. N., Rocha, M. A., Ribeiro, E. L. A., Matsubara, M. T., & Dognani, R. (2006). Níveis de uréia em suplementos protéicos para novilhos mantidos em pastagem de capim Mombaça no inverno. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 28(1), 63–71. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v28i1.665>.
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C., & Newbold, C. J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7), 1024–1036. <https://doi.org/10.1017/S1751731110000546>.
- Moyses, C. D., & Schulte, P. M. (2010). *Princípios de fisiologia animal*. Artmed.
- NASEM – National academies of sciences, engineering, and medicine. (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press, 2021.
- Nousiainen, J., Shingfield, K. J., & Huhtanen, P. (2004). Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science*, 87(2), 386–398. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73178-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73178-1).
- NRC. (1989). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th, Ed.; 7th rev.). Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- NRC. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle, 8th Revised Edition*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/19014>
- Oliveira, A. S. (2024). The Nutrition System for Dairy Cattle (NS Dairy Cattle): A Model of Energy and Nutrients Requirements and Diet Evaluation for Dairy Cattle. *Mendeley Data*, 5. <https://doi.org/10.17632/hvc7smjbb7.5>.

- Oliveira, V. S., Santos, A. C. P. dos, & Valença, R. de L. (2019). Desenvolvimento e fisiologia do trato digestivo de ruminantes. *Ciência Animal*, 29(3), 114–132.
- Oliveira, W. A., Igarasi, M. S., Peres, M. T. G., Gonçalves, J. de O., Pereira, A. M., & Silva, L. V. (2021). Produção de leite de vacas zebuínas manejadas em pastagens tropicais. *PUBVET*, 15(8), 1–8. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n08a896.1-8>.
- Paula, N. F., Zervoudakis, J. T., Silva Cabral, L., Carvalho, D. M. G., Paulino, M. F., Hatamoto-Zervoudakis, L. K., Oliveira, A. A., & Koscheck, J. F. W. (2011). Suplementação infrequente e fontes proteicas para recria de bovinos em pastejo no período seco: parâmetros nutricionais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(4), 882–891.
- Pereira, E. S., Arruda, A. M. V., Miranda, L. F., Mizubuti, I. Y., Muniz, E. B., & Pinto, A. P. (2005). Importância da inter-relação carboidrato e proteína em dietas de ruminantes. *Semina: Ciências Agrárias*, 26(1), 125–134. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n1p125>.
- Pina, D. S., Valadares Filho, S. C., Tedeschi, L. O., Barbosa, A. M., & Valadares, R. F. D. (2009). Influence of different levels of concentrate and ruminally undegraded protein on digestive variables in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 87(3), 1058–1067.
- Pinto, A. P., Nascimento, W. G., Abrahão, J. J. S., Perotto, D., Moletta, J. L., & Lugão, S. M. B. (2009). Digestibilidade, consumo, desempenho e características de carcaça de tourinhos mestiços confinados com cana-de-açúcar ou silagem de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(11), 2258–2263. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001100027>.
- Pires, F. P. A. A., Gonçalves, L. C., Oliveira, A. F., Menezes, G. L., Sousa, P. G., Menezes, R. A., & Ananias, J. V. A. (2021). Ensilagem e os componentes fibrosos dos alimentos volumosos. *PUBVET*, 15(12), 1–8. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n12a983.1-8>.
- Poppi, D. P., & McLennan, S. R. (1995). Protein and energy utilization by ruminants at pasture. In *Journal of Animal Science* (Vol. 73, Issue 1, pp. 278–290). <https://doi.org/10.2527/1995.731278x>.
- Prado, I. N. (2004). *Conceitos sobre a produção com qualidade de carne e leite* (1st ed., Vol. 1). Eduem.
- Prado, I. N. (2010). *Produção de bovinos de corte e qualidade da carne* (Vol. 1, Issue 1). Eduem.
- Queiroz, M. A. Á., Susin, I., Pires, A. V., Ferreira, E. M., Mendes, C. Q., & Mourão, G. B. (2010). Características físico-químicas de fontes proteicas e suas interações sobre a degradação ruminal e a taxa de passagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(7), 1587–1594.
- Rêgo, A. C., Teles, M. M., Neiva, J. N. M., Cândido, M. J. D., Feitosa, J. V., & Gomes, F. H. T. (2009). Degradação da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro de silagens de capim-elefante contendo pedúnculo de caju desidratado. *Ciência Animal Brasileira*, 10(3), 735–744.
- Rennó, L. N., Valadares Filho, S. C., Paulino, M. F., Leão, M. I., Valadares, R. F. D., Rennó, F. P., & Paixão, M. L. (2008). Níveis de uréia na ração de novilhos de quatro grupos genéticos: parâmetros ruminais, uréia plasmática e excreções de uréia e creatinina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(3), 556–562.
- Ribeiro, L. A. C., Menezes, G. L., Bresolin, T., Arriola Apelo, S. I. & Dórea, J. R. R. (2024). Near-infrared spectroscopy analysis to predict urinary allantoin in dairy cows. *JDS Communications*, 6(2), 212–216. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2024-0641>
- Rodrigues, G. H., Susin, I., Pires, A. V., Nussio, L. G., Gentil, R. S., Ferreira, E. M., Biehl, M. V., & Ribeiro, M. F. (2011). Desempenho, características da carcaça, digestibilidade aparente dos nutrientes, metabolismo de nitrogênio e parâmetros ruminais de cordeiros alimentados com rações contendo polpa cítrica úmida semidespectinada e/ou polpa cítrica desidratada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(10), 2252–2261.
- Rosmalia, A.; Permana, I. G.; Despal, D. (2022). *Synchronization of rumen degradable protein with non-fiber carbohydrate on microbial protein synthesis and dairy ration digestibility*. *Veterinary World*, 15(2), 252–261. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.252-261>.
- Salazar, D. R., Cortinhas, C. S., & Júnior José, E. F. (2008). Sincronismo energia - proteína: Assimilação de nitrogênio e síntese de proteína microbiana em ruminantes. *Rev MVZ Cordoba*, 2(15), 1–7.
- Sales, M. F. L., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., Porto, M. O., Moraes, E. H. B. K., & Barros, L. V. (2008). Níveis de uréia em suplementos múltiplos para terminação de novilhos em pastagem de

- capim-braquiária durante o período de transição águas-seca. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(9), 1704–1712. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000900025>.
- Sampaio, C. B., Detmann, E., Paulino, M. F., Filho, S. C. V., Souza, M. A., Lazzarini, I., Rodrigues Paulino, P. V., de Queiroz, A. C., Valadares Filho, S. C., de Souza, M. A., Lazzarini, I., Paulino, P. V. R., & Queiroz, A. C. (2010). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Tropical Animal Health and Production*, 42(7), 1471–1479. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11250-010-9581-7>.
- Santos, A. B., Pereira, M. L. A., Silva, H. G. O., Carvalho, G. G. P., Pereira, T. C. J., Ribeiro, L. S. O., Azevêdo, J. A. G., Costa, M. das G. C. P., Sousa, L. B., & Sousa, L. B. (2016). Intake, digestibility and performance of lambs fed diets containing peach palm meal. *Tropical Animal Health and Production*, 48(3), 509–515. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s11250-015-0982-5>.
- Santos, G. T., Cavalieri, F. L. B., & Modesto, E. C. (2001). Recentes avanços em nitrogênio não protéico na nutrição de vacas leiteiras. *Anais Do 2o Simpósio Internacional Em Bovinocultura de Leite: Novos Conceitos Em Nutrição*, 199–228.
- Santos, S. A., Rotta, P. P., Silva, F. L. C., Menezes, A. C. B., Pina, D. S., & Valadares Filho, S. C. (2023). Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana. In S. C. Valadares Filho, L. F. Cosra e Silva, M. P. Giobelli, P. P. Rotta, M. I. Marcondes, M. L. Chizzotti, & L. F. Prados (Eds.), *Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos BR-Corte* (4a ed., Vol. 1, pp. 45–80). Universidade Federal de Viçosa.
- Shabi, Z., Arieli, A., Bruckental, I., Aharoni, Y., Zamwel, S., Bor, A., & Tagari, H. (1998). Effect of the Synchronization of the Degradation of Dietary Crude Protein and Organic Matter and Feeding Frequency on Ruminal Fermentation and Flow of Digesta in the Abomasum of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 81(7), 1991–2000. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75773-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75773-X).
- Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Liu, Q., Wang, Q., & Shi, L. (2011). Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 163(2–4), 136–142. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.10.016>
- Silva, H. L., França, A. F. S., Ferreira, F. G. C., Fernandes, É. S., Landim, A., & Carvalho, E. R. (2012). Indicadores fecais de bovinos Nelore alimentados com dietas de alta proporção de concentrado. *Ciência Animal Brasileira*, 13(2). <https://doi.org/10.5216/cab.v13i2.5732>.
- Silva, H. M., & Oliveira, A. S. (2023). A new protein requirement system for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(3), 1757–1772. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22348>.
- Silveira, R. N., Berchielli, T. T., Canesin, R. C., Messana, J. D., Fernandes, J. J. R., & Pires, A. V. (2009). Influência do nitrogênio degradável no rúmen sobre a degradabilidade in situ, os parâmetros ruminais e a eficiência de síntese microbiana em novilhos alimentados com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 570–579. <https://doi.org/doi:10.1590/S1516-35982009000300024>.
- Simion, V. E., Parvu, M., Andronie, I., & Amfim, A. (2013). Rumen ecosystem: Conditioning and enrichment. *Current Opinion in Biotechnology*, 24, Supplem, S54. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.05.130>.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. In *Journal of animal science* (Vol. 70, Issue 11, pp. 3562–3577). <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>.
- Stern, M. D., & Hoover, W. H. (1979). Methods for Determining and Factors Affecting Rumen Microbial Protein Synthesis: a Review. *Journal of Animal Science*, 49(6), 1590–1603. <https://doi.org/10.2527/jas1979.4961590x>.
- Tessari, F. A., Marques, R. P. S., & Carvalhal, M. V. L. (2022). Suplementação proteica e nitrogenada vs. reprodução de fêmeas bovinas em pastejo: Revisão. *PUBVET*, 16(8), 1–12. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n08a1193.1-12>.
- Valadares Filho, S. C., Costa e Silva, L. F., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L., & Prados, L. F. (2016). *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzado - BR-Corte* (Vol. 1). Universidade Federal de Viçosa. <https://doi.org/10.5935/978-85-8179-111-1.2016b001>.

- Valadares Filho, S. C., & Pina, D. S. (2011). Fermentação ruminal. In T. T. Berchielli, A. V. Pires, & S. G. Oliveira (Eds.), *Nutrição de Ruminantes* (Issue 2th ed., pp. 161–192). FUNEP.
- Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E., Chase, L. E., Overton, T. R., Mills, J. K., & Foskolos, A. (2015). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science*, 98(9). <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378>.
- Van Kessel, J. A. S., Russell, J. B., Kessel, J. A. S., & Russell, J. B. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*, 20(4), 205–210.
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. In *Nutritional Ecology of the Ruminant* (Vol. 1, Issue 2). Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/9781501732355>.
- Vieira, R. A. M., Cordeiro, C. C., Lima, K. R., Fernandes, A. M., Cabral, L. S., Neves, A. L. A., & Tedeschi, L. O. (2024). Modeling microbial growth based on time-dependent kinetic mechanisms of digestion and passage in the rumen-reticulum. *Animal Feeding Sciences and Technology*, 318, 116–134.
- Wang, C., Liu, Q., Huo, W. J., Yang, W. Z., Dong, K. H., Huang, Y. X., & Guo, G. (2009). Effects of glycerol on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science*, 121(1), 15–20.
- Wang, C., Liu, Q., Pei, C. X., Li, H. Y., Wang, Y. X., Wang, H., Bai, Y. S., Shi, Z. G., Liu, X. N., & Li, P. (2012). Effects of 2-methylbutyrate on rumen fermentation, ruminal enzyme activities, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *Livestock Science*, 145(1–3), 160–166. [dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2012.01.013](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.01.013).
- Wegbecher, F. X. (2009). *Bactérias celulolíticas e o uso de resíduo de maracujá (Passiflora edulis) em rações extrusadas para juvenis de tambaqui (Colossoma macropomum): Vol. PhD*.
- Wolin, M. J., Miller, T. L., & Stewart, C. S. (1997). Microbe-microbe interactions. In P. N. Hobson & C. S. Stewart (Eds.), *The rumen microbial ecosystem* (pp. 467–491). Springer.
- Zeoula, L. M., Borges, I., Branco, A. F., Prado, I. N., Moreira, H. L. M., L. Salina, J., & Moraes, G. V. (1994). Avaliação de indicadores em estudo de digestibilidade de alimento para ruminantes. *Revista Unimar*, 22(3), 165–174.
- Zeoula, L. M., Kassies, M. P., Fregadolli, F. L., Prado, I. N., Caldas Neto, S. F., & Dalponte, A. O. (2000). Uso de indicadores na determinação da digestibilidade parcial e total em bovinos. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 22(3), 771–777.
- Zeoula, L. M., Prado, I. N., Cecato, U., Branco, A. F., Damasceno, J. C., Watanabe, M. M., Fridrich, D., & Biliero, C. L. (1999). Valor nutritivo de rações compostas de fontes de amido e de nitrogênio com alta e baixa degradabilidade ruminal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28(5), 1159–1167. <https://doi.org/10.1590/s1516-35981999000500035>.
- Zeoula, L. M., Prado, I. N., Dian, P. H. M., Geron, L. J. V., Caldas Neto, S. F., Maeda, E. M., Peron, P. D. P., Marques, J. A., & Falcão, A. J. S. (2002). Recuperação fecal de indicadores internos avaliados em ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(4), 1865–1874. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000700030>.
- Zhou, R., Wu, J., Zhang, L., Liu, L., Casper, D. P., Jiao, T., Liu, T., Wang, J., Lang, X., Song, S., & Gong, X. (2019). Effects of oregano essential oil on the ruminal pH and microbial population of sheep. *PloS One*, 14(5), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217054>.
- Zinn, R. A., Alvarez, E., Mendez, M., Montañó, M., Ramirez, E., & Shen, Y. (1997). Influence of Dietary Sulfur Level on Growth Performance and Digestive Function in Feedlot Cattle. *Journal of Animal Science*, 75(7), 1723–1728. <https://doi.org/10.2527/1997.7571723x>.

Histórico do artigo:**Recebido:** 8 de setembro de 2025**Aprovado:** 10 de outubro de 2025**Licenciamento:** Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.