

ARTIGO DE REVISÃO

Estratégias nutricionais para potencializar o uso do nitrogênio em ruminantes

Nutritional Strategies to Enhance Nitrogen Utilization in Ruminants

Renata Santos Fróes¹ e Diego Novais Pinheiro²

¹Instituto Federal Baiano, *Campus* Santa Inês, BR-420, s/n - Área Rural, CEP: 45320-000, Santa Inês, Bahia, Brasil, e-mail: renata.froes@ifbaiano.edu.br; ²Instituto Federal do Piauí, *Campus* Uruçuí, PI-247, s/n - Portal dos Cerrados, CEP: 64860-000, Uruçuí, Piauí, Brasil

Recebido: 14 setembro 2023;

Aceito: 20 setembro 2023;

Publicado: 21 setembro 2023.

Como citar:

FRÓES, R. S.; PINHEIRO, D. N. Estratégias nutricionais para potencializar o uso do nitrogênio em ruminantes. *Boletim Científico Agrônômico do CCAAB/UFRB*, v. 1, e2258, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17014911>.

Resumo: Este artigo de revisão analisou estratégias alimentares para otimizar o uso do nitrogênio por ruminantes, visando à produção animal sustentável e à redução dos impactos ambientais na pecuária intensiva. Foram abordadas as manipulações da dieta e nutrição, como o uso de saponinas, óleos essenciais e extrato de própolis. As saponinas, substâncias fitoquímicas presentes em plantas, foram destacadas por sua capacidade de inibir protozoários ruminais, contribuindo para a redução da emissão de metano e a melhoria da eficiência da síntese de proteína microbiana. Já os óleos essenciais, compostos aromáticos voláteis, mostraram-se eficazes na modulação da fermentação ruminal, redução da produção de metano e aumento da eficiência energética. O extrato de própolis, uma substância resinosa produzida por abelhas, foi discutido devido às suas propriedades antimicrobianas seletivas, que impactam positivamente a fermentação ruminal, reduzindo a degradação de proteínas e a produção de amônia. Em última análise, a otimização do uso do nitrogênio por ruminantes é essencial para a sustentabilidade da produção animal. As estratégias alimentares apresentadas oferecem oportunidades promissoras para melhorar a eficiência produtiva e reduzir o impacto ambiental, contribuindo para um futuro mais sustentável na pecuária. No entanto, a pesquisa contínua e a colaboração entre cientistas, produtores e formuladores de políticas são necessárias para avançar nesse campo e alcançar soluções práticas e eficazes.

Palavras-chave: Saponinas. Óleos essenciais. Extrato de própolis. Nutrição animal. Sustentabilidade.

Abstract: This review article examined dietary strategies to optimize nitrogen utilization in ruminants, aiming for sustainable animal production and reduced environmental impacts in intensive livestock farming. Dietary and nutritional manipulations, such as the use of saponins, essential oils, and propolis extract, were discussed. Saponins, phytochemical substances found in plants, were highlighted for their ability to inhibit ruminal protozoa, contributing to methane emission reduction and improved microbial protein synthesis efficiency. Essential oils, volatile aromatic compounds, proved effective in modulating ruminal fermentation, reducing methane production, and enhancing energy efficiency. Propolis extract, a resinous substance produced by bees, was explored due to its selective antimicrobial properties, positively impacting ruminal fermentation by reducing protein degradation and ammonia production. Ultimately, optimizing nitrogen utilization in ruminants is crucial for the sustainability of animal production. The presented dietary strategies offer promising opportunities to enhance productivity and reduce environmental impact, contributing to a more sustainable future in livestock farming. However, ongoing research and collaboration among scientists, producers, and policymakers are necessary to advance this field and achieve practical and effective solutions.

Keywords: Saponins. Essential oils. Propolis extract. Animal nutrition.

1. Introdução

As emissões de metano provenientes das atividades de produção pecuária constituem uma fonte significativa de emissões de gases de efeito estufa, as quais estão indiscutivelmente associadas às mudanças climáticas. As emissões de amônia no setor agrícola, embora não sejam diretamente responsáveis pelo efeito estufa, também são

motivo de preocupação devido aos seus efeitos adversos no meio ambiente. A emissão excessiva de amônia por ruminantes está diretamente relacionada à utilização ineficiente de nitrogênio proveniente da alimentação, resultando no desperdício desse nutriente vital. Além disso, as emissões de metano acarretam prejuízos econômicos, uma vez que podem representar uma considerável perda de energia proveniente da ração ingerida pelos ruminantes, afetando negativamente o

ARTIGO DE REVISÃO

potencial de conversão de energia alimentar em energia metabolizável.

A capacidade dos ruminantes de utilizar eficientemente os nutrientes presentes em sua dieta está intrinsecamente ligada à composição e estrutura dos microrganismos presentes no rúmen, bem como aos ingredientes contidos em sua alimentação. Portanto, uma abordagem para mitigar os problemas mencionados acima envolve a otimização da eficiência energética dos animais, particularmente a eficiência com que convertem o alimento em energia e proteína.

Nesse sentido, a pesquisa científica tem se dedicado a oferecer possibilidades para modular a microbiota ruminal, otimizar o uso do nitrogênio e reduzir a produção de CH₄ (metano). Um exemplo dessas estratégias alimentares inclui o uso de tanino condensado, saponinas, óleos essenciais e extrato de própolis. O objetivo deste artigo é apresentar uma revisão abrangente sobre essas estratégias e seu impacto na otimização do uso do nitrogênio por ruminantes.

2. Taninos condensados

Taninos são compostos fenólicos presentes em plantas, onde desempenham um papel crucial como parte do sistema de defesa química contra patógenos e herbívoros invasores. Esses compostos fenólicos, que constituem os taninos, possuem uma natureza heterogênea com alto peso molecular, caracterizada por conter pelo menos uma hidroxila ligada ao anel benzênico (fenol) e a possibilidade de outros constituintes, como açúcares ou ácidos orgânicos (Cieslak *et al.*, 2012; Das *et al.*, 2020).

Os taninos são classificados com base em sua estrutura molecular em hidrolisáveis (TH - poliésteres de ácido gálico e açúcares) e condensados (TC - polímeros de flavonoides). Notavelmente, os taninos condensados são a forma mais comum de taninos encontrada em forrageiras (McSweeney *et al.*, 2001). Eles ganham esse nome devido à sua estrutura química condensada, o que lhes confere maior resistência à degradação, ao contrário dos taninos hidrolisáveis, que são sensíveis a substâncias básicas, ácidas e esterases (Addisu, 2016; Naumann *et al.*, 2017).

Os taninos condensados presentes nas forrageiras podem exercer efeitos tanto positivos quanto negativos na digestibilidade dos alimentos e no desempenho dos animais. Sua influência na alimentação de ruminantes depende da quantidade presente e de sua atividade biológica (Piluzza *et al.*, 2014; Fernandes *et al.*, 2021). Essas variações estão relacionadas às diferentes estruturas que os taninos condensados podem apresentar, como o número e a posição das hidroxilas, o tipo e a localização das ligações entre as unidades monoméricas e o grau de polimerização (Das *et al.*, 2020).

Pesquisas dedicadas a analisar os efeitos dos taninos condensados na dieta de ruminantes indicam que, quando presentes em concentrações moderadas a baixas (2 a 5% da matéria seca), esses compostos reduzem a proteólise ruminal. Isso ocorre devido à capacidade dos taninos de formar

complexos com as proteínas provenientes da dieta, tornando-as indisponíveis para a microbiota ruminal (Dentinho *et al.*, 2018; Mergedut *et al.*, 2020). Essa interação se dá por meio da formação de pontes de hidrogênio entre as subunidades fenólicas do polímero tanínico e os grupos carboxilas dos peptídeos das proteínas (Huang *et al.*, 2018).

No entanto, a natureza da interação entre proteínas e taninos é influenciada pela concentração e estrutura de ambos. A estrutura dos taninos pode variar em relação ao peso molecular, conformação, flexibilidade e solubilidade em água, enquanto a estrutura das proteínas varia em termos de tamanho e composição de aminoácidos (Rodríguez *et al.*, 2014). Proteínas maiores, com estruturas abertas e flexíveis e alto conteúdo de prolina e outros aminoácidos hidrofóbicos, têm uma afinidade maior pelos taninos do que proteínas menores com estruturas globulares compactas (Le Bourvellec e Renarda, 2012). Um mol de tanino condensado pode se ligar a até 12 mols de proteína, formando ligações de hidrogênio entre os grupos fenólicos dos taninos e determinados sítios nas proteínas. Essa complexação ocorre nos espaços interfibrilares das proteínas, impedindo a aderência da microbiota ruminal a esses constituintes e, assim, protegendo a proteína dietética da degradação ruminal (Mergedut *et al.*, 2020).

A natureza do meio em que ocorrem essas interações, como temperatura e pH, também desempenha um papel importante. Entre esses fatores, o pH do meio é o mais relevante, com a interação entre proteínas e taninos condensados ocorrendo em condições de pH variando entre 3,5 e 7 (Le Bourvellec e Renarda, 2012). Nessas condições, ocorre a formação de complexos estáveis entre o tanino condensado e a proteína. Esses complexos se dissociam quando o pH cai abaixo de 3,5, como no abomaso (pH 2,5-3), ou quando é superior a 7, como no duodeno (pH 8). Assim, a proteína ingerida pode ser protegida da degradação ruminal e disponibilizada para absorção no intestino (Min *et al.*, 2003; Kyriazakis *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2018).

Estudos *in vivo* e *in vitro* confirmaram a redução da degradabilidade efetiva da proteína induzida pela presença de taninos condensados na dieta de ruminantes, principalmente devido à redução na solubilização inicial e à diminuição da taxa fracionária de degradação, resultando no aumento do fluxo de proteína não degradada no rúmen da dieta, sem prejudicar a digestão pós-ruminal (Min *et al.*, 2003; Theodoridou *et al.*, 2010).

Além dos benefícios relacionados à otimização do uso de nitrogênio, a utilização de dietas contendo taninos pode influenciar positivamente os perfis de fermentação ruminal e a diversidade da comunidade microbiana no rúmen, contribuindo para a redução da produção de metano. Estudos *in vivo* e *in vitro* demonstraram ação bactericida e bacteriostática dos taninos condensados sobre microrganismos metanogênicos (Haque, 2018). Os taninos podem inibir enzimas bacterianas e fúngicas por meio da complexação com os substratos dessas enzimas e

ARTIGO DE REVISÃO

também afetar as membranas celulares dos microrganismos, alterando seu metabolismo (Scalbert, 1991).

Os taninos têm um efeito inibitório, principalmente sobre protozoários e bactérias metanogênicas, resultando na redução da produção de amônia (N-NH₃), metano (CH₄) e na proporção de acetato para propionato (Dschaak *et al.*, 2011; Cieslak *et al.*, 2012). Vasta *et al.* (2019) concluíram que os taninos de plantas podem inibir diretamente a produção de CH₄, reduzindo as vias de metanogênese e a atividade de microrganismos ruminais, como bactérias celulolíticas e protozoários, que influenciam a conversão do substrato em H₂ e acetato.

Dessa forma, os taninos têm o potencial de limitar a proliferação de protozoários, afetando diretamente o fornecimento de H₂ para a metanogênese (Min *et al.*, 2020; Adejoro *et al.*, 2019). À medida que a produção ruminal de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) é direcionada para uma menor produção de acetato em relação ao propionato, as concentrações líquidas de H₂ no rúmen diminuem, resultando em uma redução da formação de CH₄. Essa mudança ocorre devido à diminuição na digestibilidade da fibra dietética, uma vez que a degradação da fibra fornece H₂ como substrato para a metanogênese na formação de acetato a partir do piruvato, e sua supressão pode favorecer a redução da metanogênese (Min *et al.*, 2020). No entanto, a digestibilidade da fibra é pouco afetada, e não há interferência negativa na nutrição e desempenho dos animais quando o tanino é fornecido em quantidades adequadas (Adejoro *et al.*, 2019).

Costa *et al.* (2021) avaliaram a inclusão de tanino condensado de *Acacia mearnsii* na dieta de cordeiros de corte e relataram que o tanino condensado pode ser adicionado até o nível de 20 g / kg de matéria seca, pois melhora o consumo de matéria seca, o peso de abate e aumenta a rentabilidade de cortes comerciais, além de aprimorar as características da carne de cordeiro.

Portanto, ao implementar essa estratégia, é fundamental considerar principalmente a dosagem, pois concentrações mais elevadas de taninos podem apresentar características antinutricionais. O objetivo é encontrar um equilíbrio entre a redução benéfica de CH₄ e a utilização ideal dos nutrientes.

3. Saponinas

Saponinas são fitoquímicos resultantes do metabolismo secundário das plantas, desempenhando um papel relacionado à defesa do organismo vegetal (Almeida *et al.*, 2021). Elas são especialmente encontradas nos tecidos mais suscetíveis a ataques de patógenos ou predadores, como insetos (Dabestani *et al.*, 2021). Pertencendo ao grupo dos glicosídeos, as saponinas consistem em um ou mais monossacarídeos (glicose, galactose, arabinose ou xilose) unidos por uma ligação glicosídica a uma aglicona hidrofóbica, também conhecida como sapogenina. Esta aglicona pode ser de natureza triterpenoide ou esteróide (Vincken *et al.*, 2007; Góral *et al.*, 2021).

O nome "saponina" deriva da característica única dessas substâncias, que, quando em solução aquosa, têm a capacidade

de formar uma espuma estável, semelhante à produzida pelo sabão, desempenhando assim funções detergentes e emulsificantes (Francis *et al.*, 2002). Essa propriedade é consequência da estrutura molecular das saponinas, que possuem uma parte hidrofílica, composta pelos monossacarídeos, e uma parte lipofílica, composta pela aglicona, seja ela esteróide ou triterpenoide (Dabestani *et al.*, 2021).

As saponinas esteroidais são compostas por 27 carbonos e são encontradas principalmente em espécies forrageiras monocotiledôneas. Por outro lado, as saponinas triterpênicas são predominantemente encontradas em dicotiledôneas e são mais amplamente distribuídas na natureza (Wina *et al.*, 2005). Pesquisas têm apontado que essas substâncias atuam como inibidores do crescimento de protozoários ruminais e moduladoras da fermentação no rúmen, com impacto direto na redução da população de protozoários ruminais (Almeida *et al.*, 2021). Esse efeito é possível devido à ação detergente das saponinas, que emulsificam os lipídios presentes na membrana celular dos protozoários, alterando sua permeabilidade (Góral *et al.*, 2021). As saponinas interagem com os esteróis presentes na membrana plasmática das células, causando mudanças em sua conformação e aumento na permeabilidade da membrana. Isso resulta na formação de poros na membrana, permitindo a entrada de íons e água no interior da célula e, por fim, levando à ruptura das células (Wina *et al.*, 2005).

É importante observar que, dentre os microrganismos ruminais, os protozoários são os que possuem esteróis em suas membranas plasmáticas, tornando-os suscetíveis à interação com as saponinas e à subsequente alteração em sua permeabilidade celular. Isso afeta suas atividades e, eventualmente, sua sobrevivência (Russell, 2002). Portanto, as saponinas podem ser utilizadas na alimentação de ruminantes como uma estratégia para otimizar a utilização do nitrogênio e reduzir a emissão de metano.

As propriedades mitigadoras de CH₄ das forragens ricas em saponinas estão diretamente relacionadas à inibição dos protozoários ciliados do rúmen, o que pode aumentar a eficiência da síntese de proteína microbiana (Patra e Saxena, 2009). Uma vez que os protozoários contribuem significativamente para a metanogênese ao fornecer hidrogênio, produzido durante a fermentação dos carboidratos, e servir de hospedeiros para aproximadamente 30% das bactérias metanogênicas (Tavendale *et al.*, 2005).

Além disso, os protozoários no rúmen desempenham um papel fundamental na reciclagem de nitrogênio, pois são predadores de bactérias e obtêm grande parte de seu suprimento proteico por meio da lise de células bacterianas. Isso resulta em um aumento da amônia ruminal e uma redução no fluxo de nitrogênio microbiano para o duodeno. Assim, a defaunação ruminal pode promover um maior escape de proteína microbiana e uma menor produção de amônia, devido ao aumento da passagem de bactérias para o intestino (Russell, 2002).

ARTIGO DE REVISÃO

Como resultado do efeito sobre a população de protozoários, o uso de saponinas como reguladores da fermentação ruminal pode, secundariamente, levar à redução na produção de amônia, ao aumento na utilização do nitrogênio da dieta, ao aumento na eficiência de síntese de proteína microbiana, à modificação do perfil de ácidos graxos voláteis e à diminuição da metanogênese. A alteração no perfil dos ácidos graxos voláteis é um dos efeitos relevantes das saponinas na fermentação ruminal, resultando em um aumento na proporção de propionato e uma redução na relação acetato:propionato (Wang *et al.*, 2009).

Molina-Botero *et al.* (2019) conduziram um estudo avaliando uma mistura de forragens ricas em tanino condensado e saponinas na dieta de novilhas de corte. Eles observaram que o aumento na inclusão dessa mistura forrageira em até 30% da alimentação volumosa resultou em uma redução nas emissões de metano e um aumento no consumo de proteína bruta digestível, o que consequentemente aumentou a produtividade.

Outro estudo realizado por Albores-Moreno *et al.* (2017) utilizou vagens de *E. cyclocarpum* como fonte de saponina na dieta de cordeiros machos e relatou uma redução nas emissões de metano, um aumento na produção de propionato e melhorias no desempenho dos animais. Os autores sugeriram que, para otimizar a alimentação de ovinos alimentados com gramíneas tropicais, a suplementação com até 0,30 kg de matéria seca de fontes de saponinas pode ser aconselhável, devido ao potencial de melhor aproveitamento dos nutrientes.

4. Óleos essenciais

Os óleos essenciais representam compostos aromáticos voláteis produzidos pelas plantas durante o seu metabolismo secundário, e são responsáveis pela cor e aroma característicos das espécies produtoras. Além disso, desempenham diversas funções no contexto da sobrevivência vegetal, incluindo a proteção contra predadores e microrganismos patogênicos, bem como a atuação como sinalizadores químicos para atrair polinizadores e aves dispersoras de sementes (Passos *et al.*, 2021).

Essas substâncias, de natureza lipofílica, são líquidas e voláteis, sendo extraídas por meio de processos como a destilação a vapor ou o uso de solventes. A extração pode ser realizada a partir de diferentes partes da planta, tais como folhas, raízes e caules, e a composição dos óleos essenciais pode variar conforme a parte da planta e o local de extração (Patra e Saxena, 2010). Sua composição química pode abranger uma ampla gama de componentes, como álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos, ácidos orgânicos, ésteres e compostos contendo nitrogênio e enxofre, além de cumarinas, homólogos de fenilpropanoides, ésteres acíclicos e éteres (Benchaar *et al.*, 2008).

Devido à diversidade de componentes químicos presentes, os óleos essenciais podem exibir propriedades antissépticas em diferentes graus (Noirot *et al.*, 2007), sendo que suas atividades antimicrobianas podem variar dependendo da composição

química, incluindo tanto os componentes presentes quanto suas proporções relativas (Klevenhusen *et al.*, 2012). Especificamente em relação à microbiota ruminal, esses compostos apresentam vários mecanismos de ação, com potencial atividade antioxidante, antisséptica e antimicrobiana em diversos níveis (Cobellis *et al.*, 2016).

As propriedades antibacterianas, antifúngicas e antioxidantes dos óleos essenciais os tornam úteis como aditivos naturais em dietas para ruminantes. Seus componentes ativos desestabilizam a membrana dos microrganismos ruminais de forma semelhante aos ionóforos (Arteaga-Wences *et al.*, 2021), podendo, em alguns casos, demonstrar resultados superiores.

Toseti *et al.* (2020) conduziram um estudo no qual avaliaram a adição de uma mistura de óleos essenciais na dieta de touros em comparação com a adição de monensina sódica. Os resultados indicaram que a adição dos óleos essenciais foi mais eficaz no que diz respeito ao desempenho animal e às características de carcaça em comparação com a monensina sódica.

De maneira geral, os óleos essenciais atuam danificando a membrana proteica e citoplasmática dos microrganismos, coagulando o citoplasma, destruindo a parede celular e aumentando a permeabilidade da membrana celular, facilitando o extravasamento do conteúdo citoplasmático (Khorshidian *et al.*, 2018). Devido à sua característica lipofílica, a permeabilidade da membrana pode interferir em várias reações dependentes de proteínas ou enzimas essenciais, como o transporte de elétrons, a manutenção de gradientes de íons, a translocação de proteínas, a fosforilação, a produção de ATP e até mesmo a lise celular (Cobellis *et al.*, 2016).

Alguns compostos presentes nos óleos essenciais, como os aldeídos, têm a capacidade de inativar micro-organismos por meio da interação direta com o ácido nucleico e proteínas. Substâncias como carvacrol, eugenol e timol podem interagir com transportadores através da membrana celular e enzimas microbianas, desempenhando efetivamente o papel de agentes antimicrobianos (Patra *et al.*, 2010).

Além disso, a ação de certos óleos essenciais parece estar associada a um efeito seletivo sobre as bactérias produtoras de amônia, proteolíticas, metanogênicas e protozoários (Khorshidian *et al.*, 2018). Como resultado, os óleos essenciais podem levar à peptidólise, deaminação e redução da metanogênese no rúmen (Patra *et al.*, 2010).

Portanto, os óleos essenciais têm se mostrado fontes promissoras de compostos ativos capazes de afetar a degradação de proteínas no rúmen, aumentando o fluxo de proteínas para o intestino delgado do animal hospedeiro. Isso não apenas torna a proteína não degradada disponível para utilização no intestino delgado, mas também apresenta benefícios ambientais significativos devido à redução da excreção de nitrogênio e amônia (Cobellis *et al.*, 2016).

Além disso, alguns óleos essenciais podem inibir diretamente as arqueias metanogênicas, causar alterações na

ARTIGO DE REVISÃO

estrutura de suas colônias e/ou na atividade da via de metanogênese, resultando na redução da produção de metano (Khiaosa-Ard e Zebeli, 2013).

Os óleos essenciais representam, portanto, substâncias naturais promissoras para a mitigação da produção de metano e amônia no rúmen, melhoria da fermentação ruminal e redução do impacto ambiental da produção de ruminantes. No entanto, pesquisas adicionais são necessárias para determinar os compostos ativos, doses eficazes, modo de ação, efeito nas características organolépticas dos produtos animais e relação custo-benefício.

5. Extrato de própolis

O extrato de própolis é um produto derivado da própolis, que é uma substância produzida pelas abelhas da espécie *Apis mellifera*. Para a sua produção, as abelhas coletam exsudatos de diversas espécies de plantas, que são misturados com cera e pólen. Em seguida, as abelhas secretam enzimas que resultam em uma substância resinosa. Essa própolis serve principalmente para proteger a colmeia contra invasores e agentes patogênicos (Kocot *et al.*, 2018).

A composição da própolis é notavelmente heterogênea, com mais de 300 constituintes já identificados e caracterizados em diferentes amostras. Ela é composta por uma variedade de componentes, incluindo 50-60% de resinas e bálsamos, 30-40% de ceras, 5-10% de óleos essenciais, 5% de grãos de pólen e pequenas quantidades de vitaminas e minerais (Soares *et al.*, 2015).

A composição química da própolis pode variar dependendo da espécie de planta da qual é coletada e da região geográfica em que as abelhas a obtêm, resultando em efeitos biológicos diversos. A própolis é rica em componentes bioativos eficazes, como flavonoides, terpenos, ácidos fenólicos, ácidos graxos, esteroides, álcoois e cetonas (Silva *et al.*, 2019), e possui propriedades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, antivirais, anti-inflamatórias, antiparasitárias, antimetanogênicas e imunomodulatórias (Soltan e Patra, 2020).

Devido à variação em sua composição, a própolis pode apresentar diferentes cores, como marrom escuro, verde, amarelo, vermelho, preto e branco. Essas variações estão relacionadas às fontes de resinas disponíveis nos locais de inserção das colmeias e à área geográfica das plantas visitadas pelas abelhas (Rufatto *et al.*, 2018).

Para a utilização da própolis, que não deve ser administrada em sua forma bruta devido à sua natureza pegajosa, é comum realizar a extração com um solvente apropriado. O etanol é geralmente o solvente mais eficaz e, portanto, o mais utilizado, resultando na obtenção do extrato de própolis (Morsy *et al.*, 2015).

Os efeitos antibacterianos do extrato de própolis ocorrem por meio da alteração dos sistemas de transporte de nutrientes nas células bacterianas e da estrutura de compostos orgânicos, o que limita o crescimento bacteriano e interrompe a divisão celular (Seven *et al.*, 2018). No entanto, esses efeitos são

seletivos entre os microrganismos ruminais, sendo mais eficazes contra as bactérias Gram-positivas do que as Gram-negativas devido às características das paredes celulares e membranas externas (Hasan *et al.*, 2021).

As bactérias Gram-positivas produzem mais amônia, hidrogênio e lactato do que as bactérias Gram-negativas. A adição do extrato de própolis na dieta reduz o crescimento de bactérias proteolíticas, diminuindo a proteólise e a desaminação (Hino e Russell, 1986). Além disso, o extrato pode afetar as bactérias celulolíticas, modificando a fermentação microbiana no rúmen e aumentando a eficiência alimentar (Soltan e Patra, 2020).

O extrato de própolis também demonstrou eficácia contra bactérias produtoras de amônia, como *Clostridium aminophilum* e *Peptostreptococcus* sp., levando à redução das concentrações de amônia ruminal em alguns estudos (Ozturk *et al.*, 2010; de Aguiar *et al.*, 2014; Ehtesham *et al.*, 2018).

Com relação à produção de ácidos graxos voláteis, a adição de extrato de própolis pode aumentar a produção de propionato, resultando em uma redução na relação acetato:propionato no rúmen (Santos *et al.*, 2016). Essa maior proporção de propionato é benéfica, pois reduz a produção de metano, aumentando a eficiência energética e melhorando o desempenho animal.

Além disso, o extrato de própolis pode afetar a metanogênese devido ao seu efeito antiprotozoário, uma vez que os protozoários produzem hidrogênio, um substrato para os metanogênicos (Morsy *et al.*, 2015).

Estudos com extratos de própolis brasileiros suplementados para vacas leiteiras demonstraram redução na degradabilidade da proteína bruta da dieta e na concentração de amônia, ao mesmo tempo em que aumentaram a digestibilidade intestinal da proteína bruta (Ozturk *et al.*, 2010; Aguiar *et al.*, 2014).

6. Considerações

Nesta revisão, foram examinadas diversas estratégias alimentares com o objetivo de otimizar o uso do nitrogênio por ruminantes, um tema de importância crítica para a produção animal sustentável e a redução dos impactos ambientais associados à pecuária intensiva. Conclui-se que a manipulação cuidadosa da dieta e da nutrição dos ruminantes pode ter um impacto significativo na eficiência do uso do nitrogênio, tanto em termos de desempenho animal quanto na redução das perdas ambientais.

Em última análise, a otimização do uso do nitrogênio por ruminantes representa um desafio complexo, porém essencial, à medida que buscamos alimentar uma população global em crescimento de forma sustentável. As estratégias alimentares discutidas neste artigo oferecem oportunidades valiosas para melhorar a eficiência da produção animal, reduzir os impactos ambientais e contribuir para um futuro mais sustentável. Contudo, é imperativo destacar que a pesquisa contínua e a colaboração entre cientistas, produtores e formuladores de

ARTIGO DE REVISÃO

políticas são fundamentais para avançar ainda mais neste campo e alcançar soluções práticas e eficazes.

7. Referências

ADDISU, S. Effect of dietary tannin source feeds on ruminal fermentation and production of cattle; a review. Online **Journal of Animal and Feed Research**, v. 6, n. 2, p 45-56, 2016.

Disponível em:

[https://www.ojafr.ir/main/attachments/article/120/Online%20J.%20Anim.%20Feed%20Res.,%206\(2\)%2045-56,%202016.pdf](https://www.ojafr.ir/main/attachments/article/120/Online%20J.%20Anim.%20Feed%20Res.,%206(2)%2045-56,%202016.pdf).

Acesso em: 12 set. 2023.

ADEJORO, F. A.; HASSEN, A.; AKANMU, A. M. Effect of Lipid-Encapsulated Acacia Tannin Extract on Feed Intake, Nutrient Digestibility and Methane Emission in Sheep. **Animals**, v. 9, n. 11, p. 863, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9110863>.

AGUIAR, S.C.D.; DE PAULA, E.M.; YOSHIMURA, E.H.; DOS SANTOS, W.B.R.; MACHADO E. Effects of phenolic compounds in propolis on digestive and ruminal parameters in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43 n. 4, p. 197-206. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000400006>.

ALBORES-MORENO, S.; ALAYÓN-GAMBOA, J. A.; AYALA-BURGOS, A. J.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J.; AGUILAR-PÉREZ, C. F.; OLIVERA-CASTILLO, L.; KU-VERA, J. C. Effects of feeding ground pods of *Enterolobium cyclocarpum* Jacq. Griseb on dry matter intake, rumen fermentation, and enteric methane production by Pelibuey sheep fed tropical grass. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, n. 4, p. 857-866, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1275-y>.

ALMEIDA, A. K.; HEGARTY, R. S.; COWIE, A. Meta-analysis quantifying the potential of dietary additives and rumen modifiers for methane mitigation in ruminant production systems. **Animal Nutrition**, v. 7, n. 4, p. 1219-1230, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.09.005>.

ARTEAGA-WENCES, Y.J.; ESTRADA-ANGULO, A.; RÍOS-RINCÓN, F.G. Gerardo; CASTRO-PÉREZ, B.I.; MENDOZA-CORTÉZ, D.A.; MANRIQUEZ-NÓÑEZ, O.M.; BARRERAS, A.; CORONA-GOCHI, L.; ZINN, R.A.; PEREA-DOMÍNGUEZ, X.P. The effects of feeding a standardized mixture of essential oils vs monensin on growth performance, dietary energy and carcass characteristics of lambs fed a high-energy finishing diet. **Small Ruminant Research**, v. 205, p. 106557, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106557>.

BENCHAAR, C.; CALSAMIGLIA, S.; CHAVES, A. V.; FRASER, G. R.; COLOMBATTO, D., MCALLISTER, T. A.; BEAUCHEMIN, K. A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. **Animal Feed Science and Technology**, v. 145, p. 1–4, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.07.006>.

CIESLAK, A.; ZMORA, P.; PERS-KAMCZYC, E.; SZUMACHER-STRABEL, M. Effects of tannins source (*Vaccinium vitis idaea* L.)

on rumen microbial fermentation in vivo. **Animal Feed Science and Technology**, v. 176, n. 1-4, p. 102-106, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.012>.

COBELLIS, G.; TRABALZA-MARINUCCIA, M.; MARCOTULLIO, M. C.; YUB, Z. Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria in vitro. **Animal Feed Science and Technology**, v. 215, p. 25-36, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.008>.

COSTA, E. I. DE S.; RIBEIRO, C. V. DI M.; SILVA, T. M.; BATISTA, A. S. M.; VIEIRA, J. F.; BARBOSA, A. M.; SILVA JÚNIOR, J. M. DA; BEZERRA, L.R.; PEREIRA, E.S.; OLIVEIRA, R.L. Effect of dietary condensed tannins inclusion from *Acacia mearnsii* extract on the growth performance, carcass traits and meat quality of lambs. **Livestock Science**, v. 253, p. 104717, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104717>.

DABESTANI, M.; YEGANEHZAD, S.; MILLER, R. A natural source of saponin: comprehensive study on interfacial properties of chubak (*acanthophyllum glandulosum*) root extract and related saponins. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 630, p. 127594, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127594>.

DAS, A. K.; ISLAM, M. D. N.; FARUK, M.D.; O, ASHADUZZAMA, M.D.; DUNGANI, R. Review on tannins: extraction processes, applications and possibilities. **South African Journal of Botany**, v. 135, p. 58-70, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>.

DENTINHO, M. T. P.; PAULO, K.; PORTUGAL, P. V.; MOREIRA, O. C.; SANTOS-SILVA, J.; BESSA, R. J. B. Proteolysis and in situ ruminal degradation of lucerne ensiled with *Cistus ladanifer* tannins. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 1, p. 78-85, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12394>.

DSCHAAK, C. M.; WILLIAMS, C. M.; HOLT, M. S.; EUN, J.-S.; YOUNG, A. J.; MIIN, B. R. Effects of supplementing condensed tannin extract on intake, digestion, ruminal fermentation, and milk production of lactating dairy cows. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 94, p. 2508-2519, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3818>.

EHTESHAM, S.; VAKILI A.R.; DANESH, M. M.; ANDBANKOVA, V. The Effects of phenolic compounds in Iranian propolis extracts on *in* and microbial population. **Iran Journal Applied Animal Science**, v. 8, n. 1, p. 33-41, 2018. Disponível em: https://ijas.rasht.iau.ir/article_538743_e3a6819de5b2aef135f1195819d12a9a.pdf. Acesso em: 12 set. 2023.

FERNANDES, J.; PEREIRA F. J.; M, D.; CALDAS, A. C.; CAVALCANTE, I.; OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA, R. L.; SILVA JÚNIOR, J.; CÉZAR, M.; BEZERRA, L.; Carcass and meat quality in lambs receiving natural tannins from *Mimosa tenuiflora* hay. **Small**

ARTIGO DE REVISÃO

Ruminant Research, v. 198, p. 106362, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106362>.

FRANCIS, G.; KEREM, Z.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. The biological frontier in flavonoid research **New Phytologist** v. 165, p.9-28, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01217.x>.

GÓRAL, I.; STOCHMAL, A.; WOJCIECHOWSKI, K. Surface activity of the oat, horse chestnut, cowherb, soybean, quinoa and soapwort extracts – Is it only due to saponins? **Colloid And Interface Science Communications**, v. 42, p. 10040. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2021.100400>.

HAQUE, M. N. Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 60, n. 15, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40781-018-0175-7>.

HASAN, A.E.Z.; AMBARSARI, L.; WIDJAJA, W.K.; PRASETYO, R. Potency of nanopropolis stingless bee *Trigona* spp Indonesia as antibacterial agent. **IOSR Journal Pharm**, v. 4, n. 2 p. 1-9, 2021. Disponível em: <http://www.iosrphr.org/papers/v4i12/Version-2/A041220109.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

HINO, T.; RUSSELL, J.B. Relative contributions of ruminal bacteria and protozoa to the degradation of protein *in vitro*. **Journal of Animal Science**, v. 64, p. 261-270, 1986. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1987.641261x>.

HUANG, Q.; LIU, X.; ZHAO, G.; HU, T.; WANG, Y. Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 137-150, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.004>.

KLEVENHUSEN, F. A.; MURO-REYES, R.; KHIAOSA-ARD, B. U.; METZLER, Z.; ZEBELI, Q. A meta-analysis of effects of chemical composition of incubated diet and bioactive compounds on *in vitro* ruminal fermentation. **Animal Feed Science. Technology**. V. 176, p.61–69, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.008>.

KHORSHIDIAN, N.; YOUSEFI, M.; KHANNIRI, E.; MORTAZAVIAN, A. M. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 45, p. 62–72, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.09.020>.

KHIAOSA-ARD, R.; ZEBELI, Q. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants1. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 4, p. 1819-1830, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5691>.

KOCOT, J.; KI, C. M.; LUCHOWSKA-KOCOT, D.; KURZEPA, J.; MUSIK, I. Antioxidant potential of propolis, bee pollen, and royal jelly: possible medical application. **Oxidative Medicine**

and Cellular Longevity, v. 2018, 7074209, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1155/2018/7074209>.

KYRIAZAKIS, I.; ATHANASIADOU, S.; GIANNENAS, I. Nutritional strategies to control gastrointestinal parasitism in small ruminants. **Advances in Animal Biosciences**, v. 1, n. 2, p. 390-391, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1017/S204047001000018X>.

LE BOURVELLEC, C.; RENARD, C. M. G. C. Interactions between Polyphenols and Macromolecules: Quantification Methods and Mechanisms. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 52, n. 3, p. 213–248, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499808>.

MCSWEENEY, C.S.; PALMER, B.; MCNEILL, D.M.; KRAUSE, D.O. Microbial interactions with tannins: nutritional consequences for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 91, n. 1-2, p. 83-93, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00232-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00232-2).

MERGEDUŁ, A.; PENKOVÁ, M.; JANŽEKOVI, M. Tannins and their Effect on Production Efficiency of Ruminants. **Agricultura**, v. 12, n. 1-2, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18690/agricultura.15.1-2.1-11.2018>.

MIN, B.R.; BARRY, T.N.; ATTWOOD, G.T.; MCNABB, W.C. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 106, n. 1-4, p. 3-19, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00041-5).

MIN, B.; SOLAIMAN, S.; WALDRIP, H. M.; PARKER, D.; TODD, R. W.; BRAUER, D. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: a review of plant tannin mitigation options. **Animal Nutrition**, v. 6, n. 3, p. 231-246, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002>.

MOLINA-BOTERO, I. C.; ARROYAVE-JARAMILLO, J.; VALENCIA-SALAZAR, S.; BARAHONA-ROSALES, R.; AGUILAR-PÉREZ, C. F.; BURGOS, A. A.; ARANGO, J.; KU-VERA, J. C. Effects of tannins and saponins contained in foliage of *Gliricidia sepium* and pods of *Enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. **Animal Feed Science and Technology**, v. 251, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.011>.

MORSY, A.S.; SOLTAN, Y.A.; SALLAM, S.M.A.; KREUZER, M.; ALENCAR, S.M. Comparison of the *in vitro* efficiency of supplementary bee propolis of different origin in enhancing ruminal nutriente degradation and mitigating methane formation. **Animinal Feed Science and Technology**, v. 199, n. 1, p. 51-60, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.004>.

NAUMANN, H. D.; TEDESCHI, L. O.; ZELLER, W. E.; HUNTLEY, N. F. The role of condensed tannins in ruminant animal production: advances, limitations and future directions. **Revista**

ARTIGO DE REVISÃO

Brasileira de Zootecnia, v. 46, n. 12, p. 929-949, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001200009>.

NOIROT, V. R.; MONCOULON, D.; SAUVANT, C. BAYOURTHE. Effect of essential oils and essential oils compounds supplementations in ruminant species: statistical analysis. **Revue Médecine Vétérinaire**, v. 158, p. 589-597, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286360467_Effect_of_essential_oils_and_essential_oils_compounds_supplementations_in_ruminant_species_Statistical_analysis. Acesso em: 12 set. 2023.

OZTURK, H.; PEKCAN, M.; SIRELI, M.; FIDANCI, U.R. Effects of propolis on *in vitro* rumen microbial fermentation. **Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi**, v. 57, n. 1, p. 217-221, 2010. DOI: https://doi.org/10.1501/Vetfak_0000002428.

PASSOS, B. G.; ALBUQUERQUE, R. D. D. G.; MUÑOZ-ACEVEDO, A.; ECHEVERRIA, J.; LLAURE-MORA, A. M.; GANOZA-YUPANQUI, M. L.; ROCHA, L. Essential oils from *Ocotea* species: chemical variety, biological activities and geographic availability. **Fitoterapia**, p. 105065, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2021.105065>.

PATRA, A. K.; SAXENA, J. Review: A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. **Phytochemistry**, v. 71, p. 1198-1222, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.010>.

PILUZZA, G.; SULAS, L.; BULLITTA, S. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: A review. **Grass and Forage Science**, v. 69, n. 1, p. 32-48, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12053>.

RODRÍGUEZ, R.; DE LA FUENTE, G.; GOMEZ, S.; FONDEVILA, M. Biological effect of tannins from different vegetal origin on microbial and fermentation traits *in vitro*. **Animal Product Science**, v. 54, n. 8, p. 1039-1046, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12053>.

RUFATTO, L.C.; PAOLA, L.; CHARLENE, G.; CHRISTINE, T.; SYLVIE, B. Brazilian red propolis: Chemical composition and antibacterial activity determined using bio guided fractionation. **Microbiol Reserch**, v. 214, p. 74-82, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.05.003>.

RUSSELL, J. B. **Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition**. 2002. 119 p.

SANTOS, N.W.; ZEOULA, L.M.; YOSHIMURA, E. H.; MACHADO, E.; MACHEBOEUF, D. Brazilian própolis extract used as an additive to decrease methane emissions from the rumen microbial population *in vitro*. **Tropical Animal Health Produce**, v. 48, n. 5, p. 1051- 1056, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1062-1>.

SEVEN, P.T.; SEVEN, I.; BAYKALIR, B.G.; MUTLU, S.I.; SALEM, A.Z.M. Nanotechnology and nanopolis in animal production and health: na overview. **Italian Journal Animal Science**, v. 17, n. 4, p.921-930, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1448726>.

SCALBERT, A. Antimicrobial properties of tannins. **Phytochemistry, Chichester**, v.30, n.12, p.3875-3883, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83426-L](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83426-L).

SILVA, J. A. da; ÍTAVO, C.C.B.F.; ÍTAVO, L.C.V.; DA GRAÇA, M. M.; DA SILVA, P.C.G. Dietary addition of crude form or ethanol extract of brown propolis as nutritional additive on behaviour, productive performance and carcass traits of lambs in feedlot. **Animal Feed Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 31-40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22358/jafs/105442/2019>.

SOARES, M. S. S.; SILVA, L. G.; FRAZÃO, O. S.; SILVA, A. L. N. Aditivos alimentares na nutrição de ruminantes. **Revista eletrônica nutritime**, v. 12, n. 4, p. 4162- 4174, 2015. Disponível em: <https://nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-314.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

SOLTAN, Y. A.; PATRA, A. K. Bee propolis as a natural feed additive: bioactive compounds and effects on ruminal fermentation pattern as well as productivity of ruminants. **Indian Journal Of Animal Health**, v. 59, n. 2-, p. 50-61, 1 dez. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.36062/ijah.59.2spl.2020.50-61>.

TAVENDALE, M. H.; MEAGHER, L. P.; PACHECO, D.; WALKER, N.; ATTWOOD, G. T.; SIVAKUMARAN, S. Methane production from *in vitro* rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. **Animal Feed Science and Technology**, v. 123-124, p. 403-419, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.037>.

THEODORIDOU, K.; AUFRÈRE, J.; ANDUEZA, D.; POURRAT, J.; LE MORVAN, A.; STRINGANO, E.; BAUMONT, R. Effects of condensed tannins in fresh sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on *in vivo* and *in situ* digestion in sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v. 160, n. 1, p. 23-38, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.06.007>.

TOSSETI, L. B.; GOULART, R. S.; GOUVÊA, V. N.; ACEDO, T. S.; VASCONCELLOS, G. S. F. M.; PIRES, A. V.; LEME, P. R.; SARAN, A.; SILVA, S. L. Effects of a blend of essential oils and exogenous α -amylase in diets containing different roughage sources for finishing beef cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114643, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114643>.

VASTA, V.; DAGHIO, M.; CAPPUCCI, A.; BUCCIONI, A.; SERRA, A.; VITI, C.; MELE, M. Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: experimental evidence and

ARTIGO DE REVISÃO

methodological approaches. **Journal Dairy Science**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>.

VINCKEN, J. P.; HENG, L.; GROOT, A.; GRUPPEN, A. Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. **Phytochemistry**, v. 68, p. 275-297, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.10.008>.

WINA, E.; MUETZEL, S.; BECKER, K. The impact of saponins or saponincontaining plant materials on ruminant productions: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 8093-8105, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf048053d>.