

IMPORTÂNCIA DO pH SOBRE A DINÂMICA FUNCIONAL DO RÚMEN

(Importance of pH on the functional dynamic of rumen)

Emanuel Isaque Cordeiro DA SILVA^{1*}; Eduarda Carvalho da Silva FONTAIN²; Mariana Ribeiro Castellano PEIXOTO³

¹Instituto Agronômico de Pernambuco (UFRPE). Av. Dom Manoel de Medeiros, Dois Irmãos. Recife/PE. CEP: 52.171-900; ²Criação de Caprinos e Ovinos, Belo Jardim; ³Medicina Veterinária (CECA/UFAL). *E-mail: emanuel.isaque@ufrpe.br

RESUMO

O rúmen é um ecossistema e ambiente majoritariamente aquoso e complexo que recebe o alimento ingerido, que é misturado e processado mediante a fermentação para a degradabilidade, digestão e utilização pelo animal. Os microrganismos ruminais (fungos, protozoários e bactérias) são os incumbidos de realizar a fermentação mediante a produção de enzimas que exercem um efeito específico sobre os diferentes constituintes da dieta, tendo como componentes finais os ácidos graxos voláteis (AGVs), amônia (NH₃) e metano (CH₄). A microbiota ruminal depende da estabilidade do ambiente em que vivem para sobreviver, multiplicar-se e realizar a fermentação dos alimentos, porém, cada espécie e tipo de microrganismo presente no rúmen possui uma exigência particular de pH, temperatura, oxigênio e pressão osmótica para tal. A população ruminal depende do tipo de alimentação que o animal recebe, que serve de substrato para a fermentação e determina o tipo e a quantidade de produtos produzidos durante esse processo e, portanto, o pH ruminal ao longo do dia. Dietas ricas em concentrado (amido) e baixa fibra resultam em um baixo pH (ácido), enquanto dietas ricas em fibra e baixo amido (volumosos, por exemplo) produzem um pH elevado (próximo da neutralidade). Este é o escopo desta revisão bibliográfica sistemática: apresentar a importância do pH sobre a dinâmica e fluxo de balanço ruminal para ótimas taxas de fermentação e degradabilidade. Foram avaliados artigos de revista e periódicos selecionados, bem como livros de Nutrição de Ruminantes para embasar o assunto e compilá-los em um único material.

Palavras-chave: Fisiologia, pH, equilíbrio ruminal, fermentação, tamponantes.

ABSTRACT

The rumen is a mostly aqueous and complex ecosystem and environment that receives the ingested food, which it is mixed and processed through fermentation for degradability, digestion, and use by the animal. Rumen microorganisms (fungi, protozoa, and bacteria) are responsible for fermentation through the production of enzymes that exert a specific effect on the different constituents of the diet, presenting as final components volatile fatty acids (VFAs), ammonia (NH₃), and methane (CH₄). The rumen microbiota depends on the stability of the environment in which they live to survive, multiply and ferment food; however, each species and type of microorganism present in the rumen has a particular requirement for pH, temperature, oxygen, and osmotic for this. The rumen population depends on the type of feed the animal receives, which serves as a substrate for fermentation and determines the type and quantity of products produced during this process and, therefore, the rumen pH throughout the day. Diets high in concentrate (starch) and low fiber result in a low pH (acidic), while diets high in fiber and low starch (roughage, for example) produce a high pH (close to neutrality). This is the scope of this systematic bibliographic review: to present the importance of pH on the dynamics and flow of rumen balance for optimal fermentation rates and degradability. Articles from selected journals and periodicals, as well as Ruminant Nutrition books, were evaluated to support the subject and compile them into a single material.

Keywords: Physiology, pH, ruminal balance, fermentation, buffers.

INTRODUÇÃO

Os ruminantes são animais essenciais à vida na Terra, uma vez que, em muitos países são fonte de proteína para alimentação humana, são força de trabalho para a agricultura, turismo e símbolos religiosos. Além disso, são exímios transformadores de alimentos de baixo valor nutricional, como fenos e forragens de baixa qualidade, em produtos de alto valor biológico e

de mercado, como carne, leite e seus subprodutos. Podem obter a energia necessária para manutenção e produção através da celulose, polímero mais abundante na Terra (JANASWAMY *et al.*, 2022), sendo que as forrageiras produzem até 180 bilhões de toneladas ao ano. Os ruminantes podem ainda obter proteínas a partir de fontes de nitrogênio não proteico (NNP), como a ureia, hospedando uma população microbiana nos três primeiros compartimentos estomacais, essencialmente no primeiro, o rúmen (ALI *et al.*, 2023).

O ecossistema ruminal funciona como uma unidade de fermentação biológica, como um “quimioestado”, sob condições definidas que regulam número e atividades bioquímicas da microbiota (UNGERFELD *et al.*, 2024). O rúmen é o ambiente mais importante para os animais ruminantes, pois é neste compartimento estomacal que ocorrem diversos processos biológicos desde a fermentação até a simbiótica entre os microrganismos existentes e o hospedeiro. O conteúdo ruminal é heterogêneo, sendo que a forragem pode flutuar e os grãos sedimentar no fundo, dependendo da densidade do alimento e que, através dos movimentos normais do compartimento, são expostos aos microrganismos e, por fim, transformados em produtos de importância fisiológica ao animal (MIZRAHI *et al.*, 2021).

Cada microrganismo necessita de uma escala ótima de pH para se desenvolver e realizar suas funções. A flora ruminal desenvolve-se a uma escala de pH entre 5,5 a 6,9 (CAÑAVERAL-MARTÍNEZ *et al.*, 2023). Fora desta faixa, o pH extremo para mais ou para menos favorece o desenvolvimento de outros microrganismos que alteram o padrão metabólico do rúmen e podem desenvolver distúrbios metabólicos com a morte do animal como, por exemplo, para Monteiro e Faciola (2020) um caso grave de acidose (pH muito ácido em dietas ricas em grãos). A quantidade de H^+ produzido vai depender do tipo de dieta e do tipo de microrganismo que processam os nutrientes da dieta, o que também determinará a “eficiência” desta dieta através da produção de CH_4 e do tipo de AGV produzido (WANG *et al.*, 2020a).

Em muitos trabalhos, os autores buscam uma relação absoluta do pH e suas variações sobre a população microbiana ruminal e a produção dos produtos finais da fermentação como os AGVs e a influência destes sobre o pH e a flora microbiana através de dietas com diferentes ingredientes, relações de volumosos e concentrados e adição ou não de microingredientes como aditivos, premixes etc. Por exemplo, Palmonari *et al.* (2023) avaliaram o impacto da inclusão de melaço de cana sobre a produção de AGVs e a microbiota. Eles afirmaram que um nível de inclusão satisfatório teve efeito significativo para a produção dos ácidos em diferentes proporções, bem como efeito na população de uma série de famílias de bactérias. Os autores atentam-se a ingredientes e formulação de dietas e como estas interferem em um dado parâmetro fisiológico e dinâmica ruminal. Busca-se com este trabalho compilar dados atualizados acerca da influência do pH sobre o *status* ruminal e a atividade do microbioma existente no rúmen, avaliando possíveis causas de mudanças no pH e seus efeitos na fisiologia digestiva dos ruminantes.

DESENVOLVIMENTO

Equilíbrio ruminal

Em condições normais de bem-estar animal, o pH ruminal encontra-se entre 5,5 e 6,9 (CAÑAVERAL-MARTÍNEZ *et al.*, 2023), todavia pode-se considerar que a variação do pH ruminal seja um processo normal ao longo do dia e varia em função da quantidade de AGV

presente em um determinado momento desde a ingestão do alimento até sua ruminação e fermentação (SOLTIS *et al.*, 2023). O pH ruminal diminui quando o alimento é fermentado e, através desse processo, se produzem os AGVs, mas aumenta rapidamente quando a taxa de fermentação diminui e os AGVs produzidos sejam absorvidos pelo epitélio ruminal e removidos do rúmen, o que mantém o equilíbrio ruminal (LI *et al.*, 2022).

Quando são produzidos mais AGVs no rúmen do qual podem ser absorvidos e utilizados a uma velocidade maior a qual possam ser utilizados ou quando, por alguma razão normal, adquirida ou fisiológica, os mecanismos tamponantes falham o pH tende a ser inferior a 5,8, por períodos prolongados de tempo (SHI *et al.*, 2020).

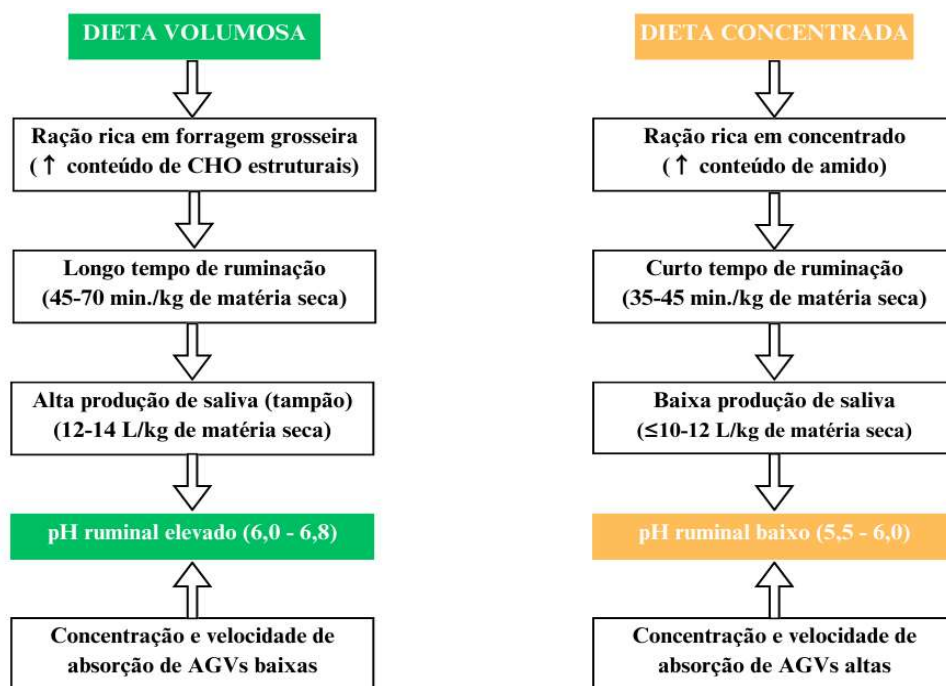
Para entender o processo de regulação do pH para o rúmen manter-se em equidade em função do tipo de dieta (forragens, concentrados, forragens + concentrado etc.), deve-se compreender a importância relativa de cada fator intrínseco às dietas em que se predomina volumosos e que requer uma digestão em pH ruminal maior que 6,0, o que facilita o desenvolvimento da microbiota celulolítica e, por outro lado, o mesmo em dietas concentradas com altas concentrações de amido, o qual necessita de um pH inferior a 6,0, faixa ótima para a atividade da microbiota amilolítica (Tab. 01).

Tabela 01: Características funcionais de microrganismos ruminais.

Microrganismo	pH ideal	Substrato	Requerimento	Produtos da fermentação	Referência
<i>Clostridium aminophilum</i>	6,0 - 7,0	Proteínas	Proteína, peptídeos, NH ₃	NH ₃ , isoácidos (acetato, butirato)	ZAPATA <i>et al.</i> (2021)
<i>Streptococcus bovis</i>	5,5 - 6,5	Amido e açúcares	Peptídeos, aminoácidos, NH ₃	Propionato, lactato, acetato, formato, etanol	KIM <i>et al.</i> (2021)
<i>Megasphaera elsdenii</i>	6,0 - 6,8	Ácido láctico	Peptídeos, aminoácidos, malato, lactato	Propionato, CH ₄ , acetato, butirato, AGVCR ^a	CABRAL e WEIMER (2024)
Protozoários	6,3 - 7,0	Amido e açúcares	Peptídeos, aminoácidos, bactérias	Propionato, H ₂	SUARJANA <i>et al.</i> (2021)
Fungos	6,0 - 7,0	Fibra	Aminoácidos, açúcares, NH ₃	Acetato, lactato, H ₂	KRÓL <i>et al.</i> (2023)

^aAGVCR, ácidos graxos voláteis de cadeia ramificada.

Como consequência das interações entre dieta e pH podem ser observados na Fig. 01.



(Fonte: Adaptado de FROSSASCO-DAVICINI e ELIZONDO-SALAZAR, 2020)

Figura 01: Interação dos fatores reguladores do pH ruminal inerentes à dieta.

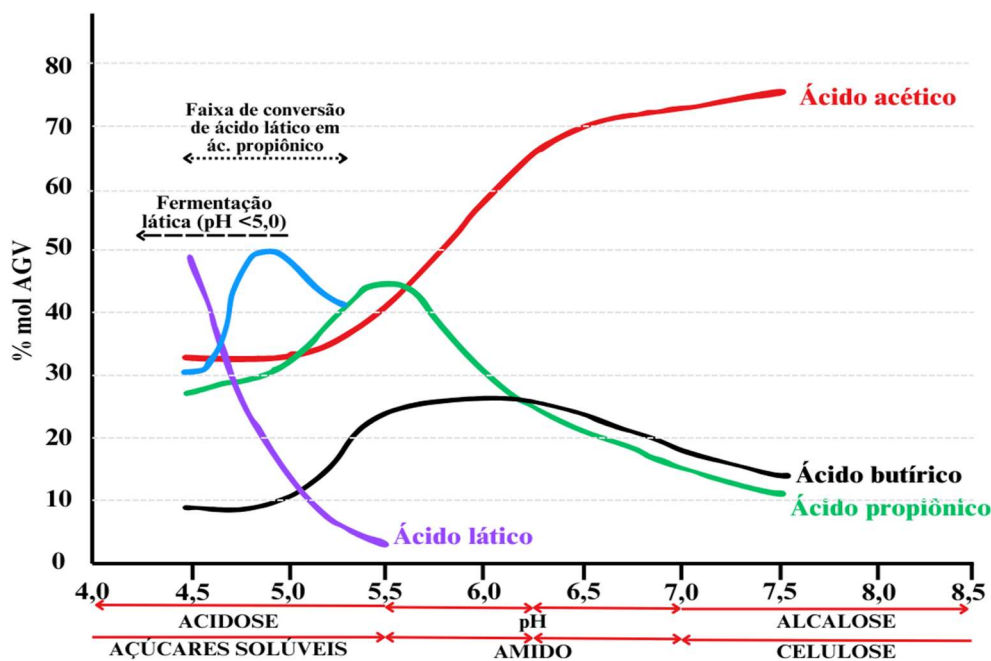
Sabe-se, portanto, que o pH ruminal está associado ao tipo de dieta e ao tipo de microbiota que se desenvolve e está associado também ao tipo de AGV produzido (VARGAS *et al.*, 2023), aumentando a proporção de acetato à medida que o pH fica próximo de 6,9 e aumentando a proporção de propionato quando o pH está próximo ao extremo, ou seja, pH favorecendo um ambiente ruminal mais ácido ($\text{pH} \leq 5,5$). Tal premissa é corroborada por Jiang *et al.* (2022), que afirmam que uma dieta rica em amido (concentrada) favorece o aumento em 10% na produção de propionato no rúmen.

Desse pressuposto, nota-se que os carboidratos (CHO) representam o componente mais abundante na dieta dos ruminantes (SUN *et al.*, 2022). O tipo de CHO predominante na dieta é quem condiciona o desenvolvimento do tipo de microbiota adequada para sua fermentação e ajuste do pH para condição fisiológica ideal (MACÊDO *et al.*, 2022). Assim sendo, uma ração rica em amido é fermentada pela flora amilolítica que se desenvolve a um pH entre 5,5 e 6,0 enquanto uma dieta rica em forragem com alto teor de CHO estruturais (celulose, hemicelulose e pectinas) será fermentada pela microbiota celulolítica que se desenvolve melhor em pH entre 6,0 e 6,9. Para haver adequação do pH ruminal à dieta, existem fatores inerentes ao animal que modificam o pH, sendo eles a saliva, a produção de AGVs (Fig. 02) e a absorção dos AGVs (DIJKSTRA *et al.*, 2020).

Esta alteração do equilíbrio do pH ruminal provoca modificações na flora microbiana o que estimula o crescimento de populações de bactérias que irão modificar o padrão de fermentação e de bactérias que utilizam vias alternativas de biohidrogenação (GUNUN *et al.*, 2022). Por exemplo, se o pH ruminal modifica-se de tal forma que, quando inferior a 5,5, desenvolvem-se bactérias lactogênicas, produtoras de lactato, que causa acidose ruminal (ELMNHADI *et al.*, 2022), enquanto um pH inferior a 7,0 pode colonizar o rúmen com

microrganismos nocivos como *Escherichia coli* e *Proteus* spp. (CECONI *et al.*, 2022) (Fig. 02). Isso tem como consequência a diminuição da ingestão de alimento e a manifestação de problemas metabólicos e produtivos como a diminuição da degradabilidade e digestão da fibra (FDN e FDA), bem como a produção de depressão na gordura do leite, em ruminantes leiteiros, principalmente em vacas de alta produção (>25 L/dia).

A diminuição do pH pode, também, ocasionar problemas como acidose, rumenite, paraqueratose e laminite (ELMNHADI *et al.*, 2022). Em casos graves, pode manifestar o complexo paraqueratose-rumenite-abscesso hepático do qual através da mucosa e parede ruminal danificadas bactérias, como *Fusobacterium necrophorum* e *Trueperella pyogenes*, chegam ao fígado via porta e ocasiona abscessos (AMACHAWADI e NAGARAJA, 2022). Em seguida, os abscessos podem metastatizar-se para o pulmão causando insuficiência respiratória, ruptura de veias e capilares pulmonares com presença de epistaxe e hemoptise, podendo progredir até o desenvolvimento da síndrome da veia cava caudal e morte súbita (KOVÁCS *et al.*, 2020). No pulmão, ainda podem se associar com *Pasteurella* spp., *Mycoplasma* spp., *Histophilus somni* e *Mannheimia haemolytica*, causando pneumonia (KAMEL *et al.*, 2024).



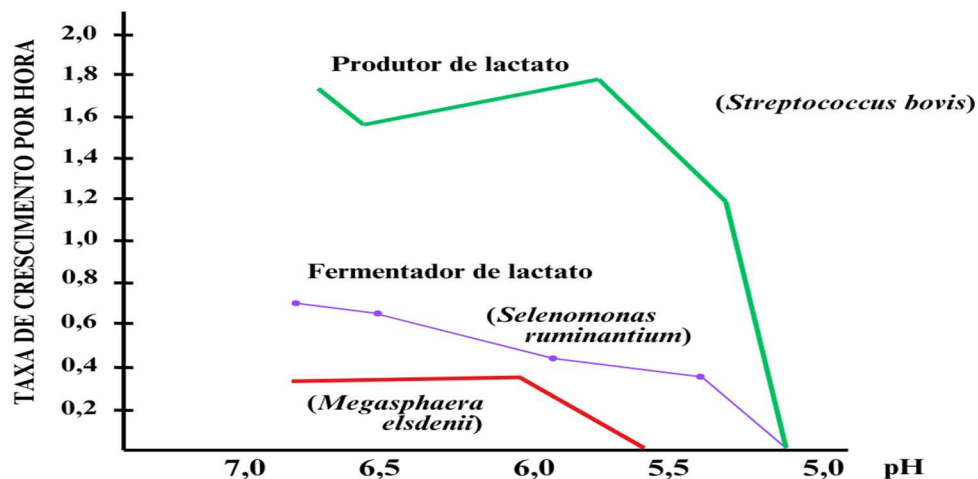
(Fonte: Adaptado de Prasanth e Ajithkumar, 2016).

Figura 02: Produção de AGV e sua relação com o pH ruminal.

Um pH entre 6,0 e 7,0 é considerado de neutro a ligeiramente ácido, faixa ideal para o desenvolvimento de todos os microrganismos ruminais, quando se pode afirmar que é um pH adequado. Se o pH diminuir abaixo de 6,0, a população de bactérias fibrinolíticas diminui significativamente; um pH de 5,8 acelera a morte destas mesmas bactérias e protozoários, diminuindo a eficiência da ação de suas enzimas, sendo considerado, portanto, o limite no qual se manifestam quadros de SARA (acidose ruminal subaguda) e acidose clínica (PRASANTH e AJITHKUMAR, 2016).

Finalmente, em um pH inferior a 5,4, considerado muito ácido para a microbiota benéfica ao rúmen, ocorre a morte da população de bactérias fibrinolíticas e de bactérias

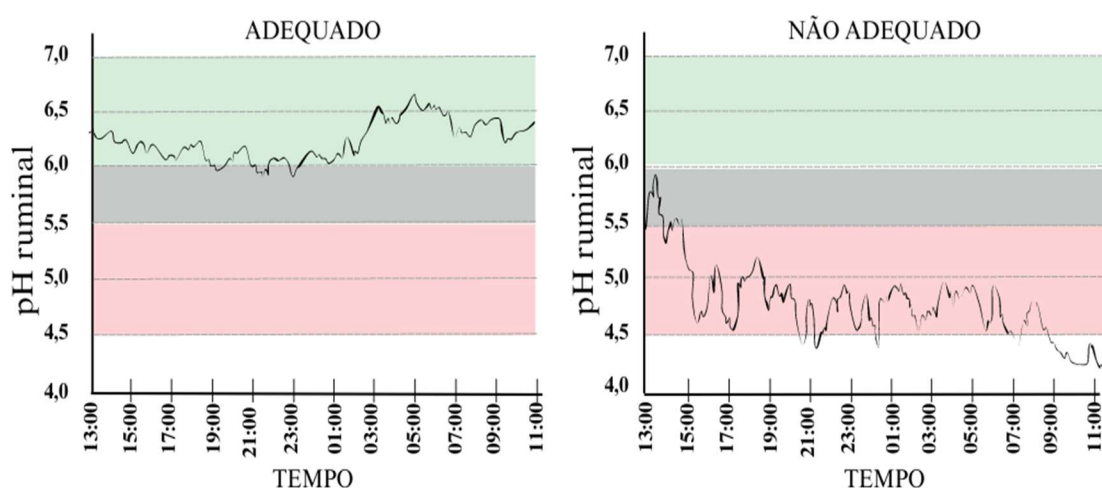
consumidoras de ácido láctico, como *M. elsdenii* e *Selenomonas ruminantium*, essenciais para a conversão de lactato a piruvato, além disso ocorre o aumento da população de bactérias produtoras de lactato como *S. bovis* e *Lactobacillus* spp., o que provoca uma maior diminuição do pH ruminal, devido a suas atividades fisiológicas (Fig. 03).



(Fonte: Adaptado de KAUFMANN *et al.*, 1980).

Figura 03: Influência do pH sobre algumas cepas produtoras e fermentadoras de lactato.

A Fig. 03 demonstra que em um pH abaixo de 5,5 não há conversão adicional do ácido láctico. Esta mudança da flora ruminal pode ser considerada não apenas como uma adaptação por meio da influência do pH no tipo de CHO fornecido, mas também como exercendo um efeito retardador na queda do pH através da conversão do ácido láctico (KAUFMANN *et al.*, 1980; ZHANG *et al.*, 2020). O pH ruminal, portanto, assume um papel de destaque na eficiência ou desbalanço do equilíbrio da dinâmica funcional do rúmen. A Fig. 04 apresenta uma comparação entre um pH ruminal considerado ideal para os ruminantes se manterem saudáveis e produtivos e uma condição de alerta para possíveis distúrbios metabólicos.

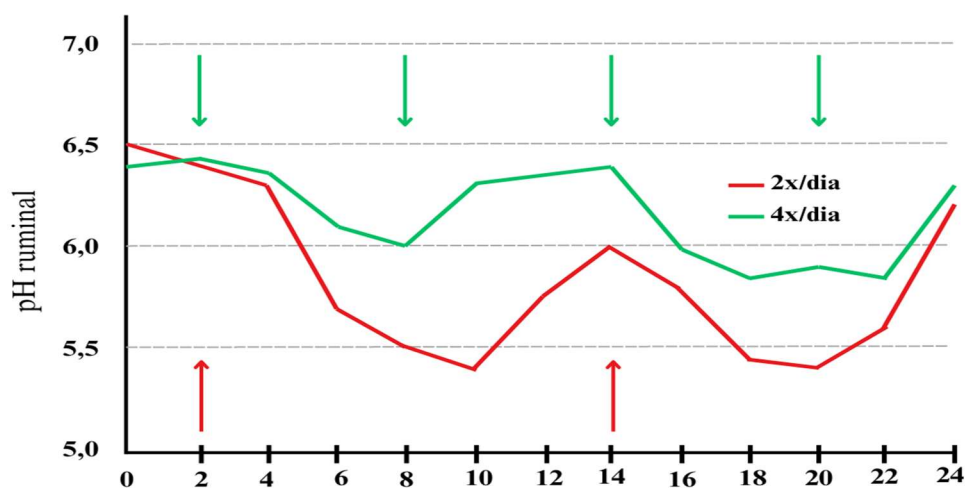


(Fonte: Adaptado de GÜNDÜZ e BAŞÇİFTÇİ, 2022).

Figura 04: Comparativo entre um pH ruminal adequado e um pH não adequado.

O equilíbrio do pH ruminal pode sofrer alteração por diferentes fatores:

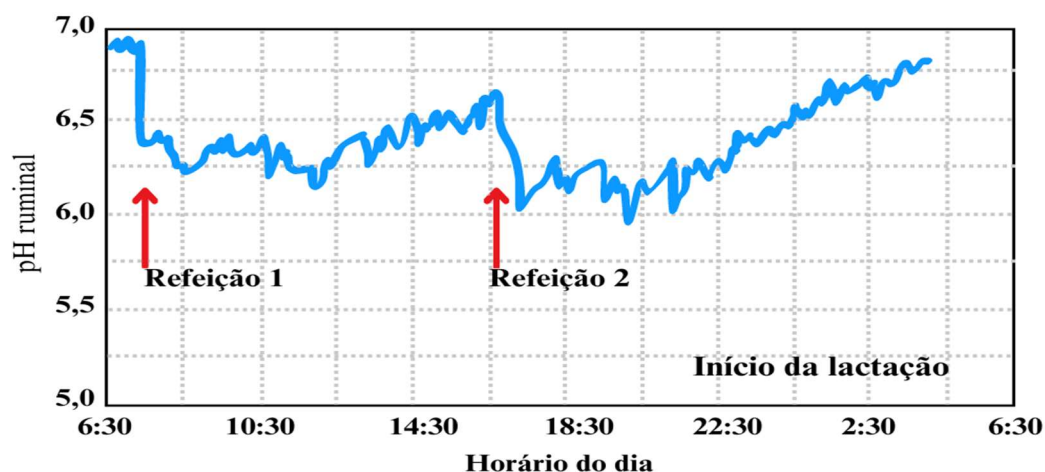
- a) Inconsistências no tempo e na hora de alimentação, oferecer a ração em diferentes horas a cada dia e variações no tempo em que a ração permanece disponível no cocho para consumo (DIJKSTRA *et al.*, 2020).
- b) Consumo de grandes quantidades de ração, alto consumo de matéria seca (CMS), em um período muito curto ou depois de um período prolongado de jejum (LI *et al.*, 2020).
- c) Baixo consumo de ração devido ao transporte, doença, lesões, estresse calórico, estresse pelo frio e instalações úmidas e sem higiene (CUSACK *et al.*, 2021).
- d) Baixo consumo de água, intermitência na disponibilidade e, conseqüentemente no consumo de água (MENSCHING *et al.*, 2020).
- e) Frequência de alimentação, um baixo número de arraçoamento predispõe a uma maior diminuição do pH, permanecendo nessa condição por mais tempo, em comparação com uma maior frequência de arraçoamento (Figs. 05 e 06). Com uma alimentação distribuída em diversas refeições ao dia o rúmen permanece mais estável e menos exposto a um pH baixo, o que pode ser danoso à sua dinâmica funcional (MACLEOD *et al.*, 1994; DIJKSTRA *et al.*, 2020; CUSACK *et al.*, 2021).



(Fonte: Adaptado de KAUFMANN *et al.*, 1980; WANG *et al.*, 2020b)

Figura 05: Variação do pH ruminal em função do número de refeições (arraçoamento) ao dia em bovinos.

- a) Deficiência de fibras (bruta (FB) e efetiva (FB_{ef}), pois para cada 1% de diminuição da fibra bruta e da fibra em detergente ácido (FDA) da dieta o pH diminui cerca de 0,066 e 0,056 unidades, respectivamente (MOHARRERY, 2007); enquanto a digestibilidade da FDA aumenta cerca de 3,6% para cada 0,1 unidades de aumento de pH ruminal (WANAPAT *et al.*, 2021).
- b) O consumo de dietas com elevado conteúdo de CHO fermentáveis e/ou forragens com CHO solúveis e rapidamente fermentáveis, o que aumenta a quantidade de ácidos e AGVs produzidos e, conseqüentemente, interfere no pH ruminal (WANG *et al.*, 2020a).
- c) Mudanças abruptas na dieta dos animais (ELMNHADI *et al.*, 2022).
- d) Baixa capacidade tamponante do animal e da dieta (KAZEMI e MOKHTARPOUR, 2022).



(Fonte: Adaptado de OETZEL, 2007)

Figura 06: Variação do pH ruminal em vaca holandesa no início de lactação alimentada com ração total misturada (volumoso + concentrado) e 2 arraçoamentos/dia.

Um fornecimento de ração 2 vezes ao dia implica um menor tempo de acesso ao alimento, maior diminuição do pH, maior tempo com pH numa condição $<6,0$, aumenta-se a prevalência de manifestação de acidose aguda ($\text{pH} < 5,5$) e subaguda ($\text{pH} 5,5$ e $6,0$). Em contrapartida, um arraçoamento quatro vezes ao dia implica um maior tempo de acesso ao alimento, maior estabilidade do ambiente e dinâmica ruminal, menor diminuição do pH, menor tempo em condição de $\text{pH} < 6,0$, ótimo desenvolvimento microbiano, rúmen mais saudável e, consequentemente incremento no consumo de alimento.

Mecanismos tamponantes dos ruminantes

Os ruminantes dependem, em grande parte, de dois mecanismos para manter a estabilidade do pH e reduzir o efeito dos ácidos produzidos no rúmen ou ingeridos na dieta: 1) os agentes tamponadores, ou tampões, presentes naturalmente na saliva e que se pode considerar como fisiológico e, 2) a capacidade tamponante do alimento ou ração consumida, por exemplo, soluções alcalinizantes como fosfatos e bicarbonatos adicionados em concentrações $\leq 2,0\%$ da dieta total (DA SILVA, 2021).

Saliva

O fluxo de saliva em direção ao rúmen é um mecanismo fisiológico que colabora com a regulação do pH ruminal (CASTILLO-LOPEZ *et al.*, 2021). A saliva possui um pH entre 7,7 a 8,7 e contém ácido fosfórico ou ácido ortofosfórico (H_2PO_4) e bicarbonato de sódio (NaHCO_3), dois compostos com capacidade tamponante; além de cálcio, magnésio e potássio que possuem efeito neutralizador de ácidos e alcalinizante (LIAO e YANG, 2022). Em bovinos de corte o fluxo de saliva para o rúmen é de 108 L/dia e em bovinos leiteiros de 308 L/dia, o que representa um fornecimento de 0,39 a 1,12kg de H_2PO_4 e 1,13 a 3,23kg de NaHCO_3 (MAPHAM e VORSTER, 2017). Em uma medição de miliequivalentes, a saliva dos bovinos contém 103 a 125mEq/L de bicarbonato (HCO_3) e 25 a 64mEq/L de ácido fosfórico ou hidrogenofosfato (HPO_4) (VASILEVSKIY e YELETSKAYA, 2019).

A quantidade de saliva produzida varia em função do conteúdo de forragem da dieta, da matéria seca consumida e do tamanho da partícula do alimento. Estudo realizado por Erdman (1988) revelou que quanto maior a proporção de forragem na dieta (relação volumoso:concentrado) e o tamanho da partícula da forragem picada, maior será a produção de saliva, e vice-versa (Tab. 02). Em contrapartida, a composição da saliva não é afetada pela dieta ou pelo consumo de ração. Somente em condições em que haja deficiência mineral (Ca, K, Mg, Na) pode se manifestar uma alteração na concentração mineral da saliva, porém não no conteúdo total de HCO_3 ou HPO_4 (ERDMAN, 1988; FROSSASCO-DAVICINI e ELIZONDO-SALAZAR, 2020; IZADBAKHS et al., 2024).

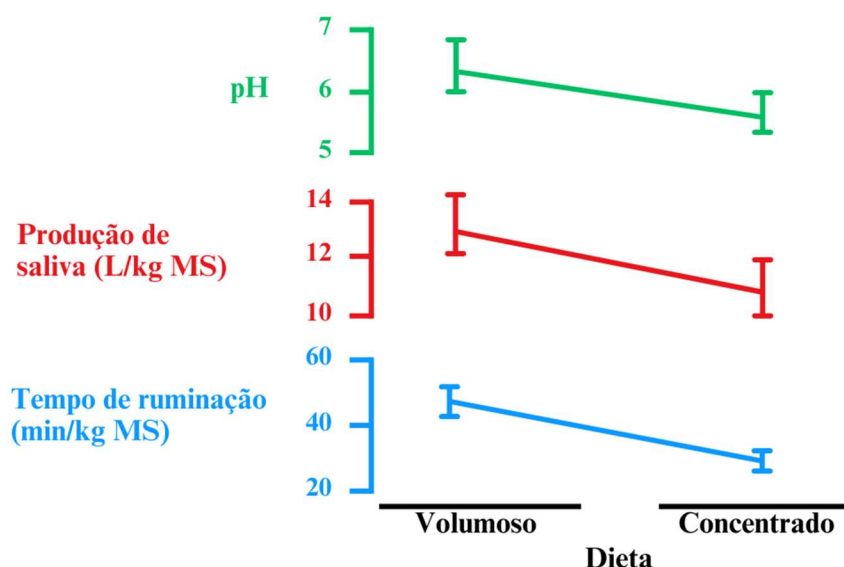
Tabela 02: Produção de saliva e utilização de NaHCO_3 em função do nível de volumoso na dieta.

Saliva pH 8,2-8,4	% de volumoso na dieta		
	30	50	70
CMS, $\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$	20	20	20
Tempo de ruminação, $\text{min} \cdot \text{dia}^{-1}$	594	676	768
Saliva, $\text{L} \cdot \text{dia}^{-1}$	276	284	292
Saliva, $\text{L} \cdot \text{kg MS}^{-1}$	13,80	14,20	14,60
Saliva NaHCO_3, $\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$	2,898	2,982	3,066
Saliva Na_2HPO_4, $\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$	999	1,028	1,057
Total NaHCO_3 equivalente, $\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$	3,418	3,517	3,617
Diferença total NaHCO_3 equivalente, $\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$	199	100	-
NaHCO_3 equivalente, $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ de saliva	12,384	12,384	12,387

(Fonte: ERDMAN, 1988)

O período de ruminação varia entre 0 e 12 horas (MIKUŁA et al., 2022) por dia, dependendo da relação direta com a quantidade de volumoso grosseiro na dieta. Quanto maior a quantidade de CHO estruturais maior é o tempo de ruminação (Tab. 02), porém essa fibra necessita ter um tamanho adequado para estimular a ruminação (VENTER, 2020).

Uma prática comum em dietas de alto concentrado, em confinamentos por exemplo, agrega-se algum tipo de volumoso como feno de gramíneas ou outro componente rico em CHO estruturais, com a finalidade de aumentar o tempo de ruminação do animal e, como consequência, aumentar a quantidade de saliva produzida (XIAO et al., 2021) para haver manutenção do equilíbrio ruminal com relação ao pH e sua influência sobre a microbiota; portanto, há uma relação direta entre o pH ruminal com a produção de saliva e o tempo de ruminação em detrimento da composição da dieta (Fig. 07).



(Fonte: Adaptado de KAUFMANN *et al.*, 1980).

Figura 07: Relação entre pH ruminal, produção de saliva e tempo de ruminação com a composição da dieta.

Capacidade tampão (CT) do alimento

Os alimentos consumidos pelos ruminantes apresentam algum grau de CT, isto é, capacidade para neutralizar ácidos ou atividade alcalinizante. De modo geral, a CT de ingredientes com elevado conteúdo energético é baixa, a exemplo do milho; para ingredientes com baixo teor proteico (5 a 35% proteína bruta (PB)) e a maioria das forrageiras tropicais (gramíneas) a CT é intermediária; já para ingredientes com elevado teor de PB (>35% PB), a exemplo do farelo de soja e muitas leguminosas, a CT é considerada alta (FADAEE *et al.*, 2021). Não obstante, a CT é muito variável dentro de um mesmo grupo de ingredientes; tal variação depende do tipo de alimento, do tamanho da partícula e de sua composição química (KAZEMI *et al.*, 2022; MIHOK *et al.*, 2022). Adicionalmente, a composição química dos ingredientes vegetais também varia em função do tipo de solo em que o vegetal foi cultivado, a fertilidade do solo, a taxa de fertilização e a etapa fenológica no momento da colheita, visto que tais fatores intervêm de forma direta na composição bromatológica do vegetal (DVOŘÁČKOVÁ *et al.*, 2022).

O conteúdo mineral é um dos principais fatores que determina a CT dos ingredientes; está relacionado com o conteúdo de íons que, por sua vez, depende do processamento e, em caso de forrageiras, também de sua origem. O conteúdo proteico elevado de um ingrediente ou alimento faz com que aumente o pH devido à CT dos grupos amino da proteína e da NH_3 produzidos durante a desaminação, que liga os ácidos livres no rúmen (HASSAN *et al.*, 2021). A CT da fibra deve-se à capacidade de mudança catiônica da matriz da fibra, sendo aplicável tanto para forragens como para subprodutos vegetais como a polpa cítrica (SOUZA *et al.*, 2022).

Ferramentas para manter a estabilidade e equilíbrio do pH ruminal

Mesmo quando a dieta seja adequadamente formulada para manter a estabilidade ruminal, existem condições que representam riscos de alteração do pH. Por exemplo, situações

de manejo e ambiente que alterem o padrão de consumo de alimento (frequência de arração, disponibilidade de água, superpopulação de confinamentos, estresse calórico etc.), a quantidade de forragem e silagem (qualidade do processo e manejo da silagem, além do tipo de fermentação obtida, variação no conteúdo de fibra efetiva e tamanho da partícula) e, por fim, variações na qualidade dos ingredientes e na variabilidade na mistura da dieta são alguns dos fatores que não são totalmente controlados e, como consequência, podem ocasionar distúrbios e variação do pH ruminal (CUSACK *et al.*, 2021).

A estes cenários soma-se o fato de que a necessidade energética para os níveis de produção contemporâneos seja muito elevada, o que implica que as dietas contenham níveis de concentrado e CHO fermentáveis elevados e níveis de volumoso relativamente reduzidos, com uma relação volumoso:concentrado de 60:40 ou 40:60, ou até mais, dependendo do nível de produção esperado, ganho de peso e objetivo final da produção. Pelo exposto supra, a manutenção da estabilidade ruminal em situações de campo encontradas corriqueiramente em currais de engorda ou mesmo nos estábulos é um assunto significativamente complexo; entretanto, existem certas ferramentas que podem auxiliar a mitigar os impactos de situações que afetem, de certa forma, o ambiente e a dinâmica funcional do rúmen (FADAEE *et al.*, 2021).

Agentes tamponantes

Um agente tamponante, tampão ou tamponante, é uma solução ou composto que ao entrar em contato com uma solução aquosa impede a mudança de pH do meio ao agregar-se a um ácido ou uma base. Para que um composto possa ser considerado um tamponante sob condições fisiológicas deve cumprir três requisitos básicos: 1. ser solúvel em água, 2. ser um ácido fraco, uma base ou um sal e 3. seu ponto de equivalência (pKa) ser igual ou próximo ao pH fisiológico do sistema que se pretende tamponar (FADAEE *et al.*, 2021). Por isso, em dietas para vacas leiteiras de grande produção e confinadas, é comum o uso de bicarbonatos em 2% da dieta total para manter a dinâmica ruminal saudável.

Muitos compostos e minerais são considerados como tamponantes, todavia, na realidade atuam como alcalinizantes, consumidores de ácidos ou agentes neutralizantes; seu efeito no aumento do pH é produzido a curto prazo e, uma vez esgotado depois de reagir no meio, o pH retornará para seu nível inicial, apresentando uma baixa atividade tamponante real a nível ruminal. Este é o caso do óxido de magnésio (MgO), carbonato de cálcio (CaCO₃), carbonato de magnésio (MgCO₃), carbonato de potássio (K₂CO₃), carbonato de sódio (Na₂CO₃) e fosfatos em geral. Embora estes minerais atuem eficazmente como agentes neutralizantes ou alcalinizantes não possuem um pKa definido, são relativamente insolúveis em água e apresentam uma atividade tamponante muito baixa (MONTAÑO *et al.*, 2022).

Neville *et al.* (2019), em estudo com calcário de alga marinha (*Lithothamnium*) (CAM) e óxido de magnésio marinho (OMM), demonstraram que tais agentes tampão foram mais eficazes que o bicarbonato de sódio em relação ao pH ruminal em horas após o consumo de ração. Segundo os autores, com a utilização do CAM e OMM o pH ruminal esteve numa condição ácida ($\leq 5,5$) apenas em 0,77 e 0,67 horas, respectivamente, sendo, portanto, 310% e 370% mais eficazes, respectivamente, que o bicarbonato de sódio na dieta de vacas leiteiras.

Capacidade tamponante (CT)

A CT quantifica a resistência à mudança de pH por meio da absorção ou adsorção de íons H^+ e/ou HO , sendo definida como o número de mols de um ácido ou base que são necessários para agregar-se ao tampão para causar efeito no pH em 1 unidade. Quando o pH ruminal estabiliza e diminui-se o nível de acidez do meio o tampão também limita e diminui o crescimento de microrganismos ácido tolerantes que se multiplicam em um pH ácido. Entretanto, uma excessiva neutralização implica a diminuição na absorção de AGVs. Embora a absorção de AGVs seja maior pouco depois do consumo, se o pH ruminal eleva-se de forma demasiada, a fermentação e a absorção de AGV podem ser prejudicadas. Cerca de 95% do ácido acético e 93% dos ácidos propiônico e butírico são dissociados em pH 6,0, e não são absorvidos com a mesma eficiência que os AGVs sem se dissociar (MOHARRERY, 2007).

A melhor estratégia é a utilização de um tampão capaz de impedir que as mudanças de pH a médio e longo prazo, como o $NaHCO_3$ e $KHCO_3$, combinado com um alcalinizante que aumentará o pH de forma rápida como o $CaCO_3$, K_2CO_3 , $MgCO_3$, MgO o Na_2CO_3 . O efeito de um tampão é mais eficiente após 2 a 8 horas do consumo, quando o pH é encontrado em um nível mais baixo (Figs. 05 e 06).

Ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos (AO) estimulam rotas metabólicas específicas dos microrganismos ruminais, sendo os dicarboxílicos, como o ácido málico e fumárico, componentes intermediários do ciclo do ácido cítrico e da via succinato-propionato de bactérias ruminais como *Selenomonas ruminantium*, que aumentam o pH ruminal, a digestibilidade da MS, FDN e hemicelulose e diminuem a produção de metano. O ácido málico estimula a utilização de lactato pela *S. ruminantium* diminuindo seu acúmulo no rúmen e aumentando a produção de AGVs, especialmente o propionato (FADAEE *et al.*, 2021).

Fitobióticos

São compostos bioativos derivados de plantas que possuem a capacidade de otimizar a fermentação ruminal, manter a estabilidade do rúmen e diminuir a produção de metano através da modificação e modulação da população ruminal. Além disso, diminuem a população de bactérias Gram⁺ como *S. bovis* e *Lactobacillus* spp., produtoras de ácido lático e permitem o aumento de bactérias Gram⁻ como *M. elsdenii* e *S. ruminantium*, produtoras de ácido propiônico e consumidoras de ácido lático (Tab. 01) (NEVILLE *et al.*, 2019).

Leveduras vivas

Leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae*, quando presentes no rúmen aumentam a digestibilidade da matéria orgânica, diminuem a concentração de O_2 que favorece o desenvolvimento de fungos degradadores de lignina, estimulam o crescimento de bactérias celulolíticas aumentando a degradabilidade e digestibilidade da fibra e estimulam o desenvolvimento de bactérias que utilizam ácido lático como substrato, diminuindo a variação do pH ou aumentando-o (0,03 unidades), aumentando, além disso, a produção de AGVs (PHESATCHA *et al.*, 2022).

CONCLUSÕES

A estabilidade ruminal é um dos principais fatores a considerar na alimentação de ruminantes. Não obstante, como supracitado, existem situações e fatores que não podem ser controlados e podem ocasionar mudanças no pH e alterar o equilíbrio ruminal ocasionando a manifestação de distúrbios metabólicos e produtivos. Graças ao avanço dos estudos na área animal, atualmente se encontram ferramentas capazes de serem utilizadas de maneira individual ou em conjunto com o objetivo de estabilizar e/ou aumentar o pH ruminal quando a produção de saliva e seu fluxo em direção ao rúmen estiverem reduzidos ou não sejam suficientes para manter o equilíbrio do pH e neutralizar grandes quantidades de ácidos no rúmen. Embora a adoção destas ferramentas tenha demonstrado eficiência e que podem ser utilizadas em qualquer sistema de produção, sempre convém utilizá-las em conjunto com uma formulação de ração correta e a implementação adequada de práticas de manejo alimentar em função do nível de produção, espécie, estado fisiológico da espécie, disponibilidade de alimentos etc.

REFERÊNCIAS

- ALI, S.Z.; NAHIAN, M.K.; HOQUE, M.E. **Extraction of cellulose from agro-industrial wastes**. In: BHAWANI, S.A.; KHAN, A.; AHMAD, F.B. *Extraction of Natural Products from Agro-Industrial Wastes*. 1. ed., Cambridge: Elsevier, cap.19, p.319-348, 2023.
- AMACHAWADI, R.G.; NAGARAJA, T.G. Pathogenesis of liver abscesses in cattle. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice**, v.38, n.3, p.335-346, 2022.
- CABRAL, L.S.; WEIMER, P.J. *Megasphaera elsdenii*: Its role in ruminant nutrition and its potential industrial application for organic acid biosynthesis. **Animals**, v.12, n.1, p.2019, 2024.
- CAÑAVERAL-MARTÍNEZ, U.R.; SÁNCHEZ-SANTILLÁN, P.; TORRES-SALADO, N.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, D.; HERRERA-PÉREZ, J.; AYALA-MONTER, M.A. Effect of waste mango silage on the *in vitro* gas production, *in situ* digestibility, intake, apparent digestibility, and ruminal characteristics in calf diets. **Veterinary World**, v.16, n.3, p.421-430, 2023.
- CASTILLO-LOPEZ, E.; PETRI, R.M.; RICCI, S.; RIVERA-CHACON, R.; SENER-AYDEMIR, A.; SHARMA, S.; REISINGER, S.; ZEBELI, Q. Dynamic changes in salivation, salivary composition, and rumen fermentation associated with duration of high-grain feeding in cows. **Journal of Dairy Science**, v.104, n.4, p.4875-4892, 2021.
- CECONI, I.; VIANO, S.A.; MÉNDEZ, D.G.; GONZÁLEZ, L.; DAVIES, P.; ELIZALDE, J.C.; BRESSAN, E.; GRANDINI, D.; NAGARAJA, T.G.; TEDESCHI, L.O. Combined use of monensin and virginiamycin to improve rumen and liver health and performance of feedlot-finished steers. **Translational Animal Science**, v.6, n.4, p.1-9, 2022.
- CUSACK, P.M.V.; DELL'OSA, D.; WILKES, G.; GRANDINI, D.; TEDESCHI, L.O. Ruminal pH and its relationship with dry matter intake, growth rate, and feed conversion ratio in commercial Australian feedlot cattle fed for 148 days. **Australian Veterinary Journal**, v.99, n.8, p.319-325, 2021.

DA SILVA, E.I.C. **Formulação e fabricação de rações para ruminantes**. 1. ed., Belo Jardim: Emanuel Isaque Cordeiro da Silva, 2021.

DIJKSTRA, J.; VAN GASTELEN, S.; DIEHO, K.; NICHOLS, K.; BANNIK, A. Review: Rumen sensors: data and interpretation for key rumen metabolic processes. **Animal**, v.14, n.S1, p.176-186, 2020.

DVOŘÁČKOVÁ, H.; DVOŘÁČEK, J.; GONZÁLEZ, P.H.; VLČEK, V. Effect of different soil amendments on soil buffering capacity. **PLoS ONE**, v.17, n.2, p.e0263456, 2022.

ELMHADI, M.E.; ALI, D.K.; KHOGALI, M.K.; WANG, H. Subacute ruminal acidosis in dairy herds: Microbiological and nutritional causes, consequences, and prevention strategies. **Animal Nutrition**, v.10, n.1, p.148-155, 2022.

ERDMAN, R.A. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, n.12, p.3246-3266, 1988.

FADAEI, S.; DANESH MESGARAN, M.; VAKILI, A. *In vitro* effect of the inorganic buffers in the diets of holstein dairy cow varying in forage:concentrate ratios on the rumen acid load and methane emission. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, v.11, n.3, p.485-496, 2021.

FROSSASCO-DAVICINI, G.P.; ELIZONDO-SALAZAR, J.A. Efecto de distintas dietas sobre el tiempo de rumia durante el periodo de predestete en reemplazos de lechería. **Nutrición Animal Tropical**, v.14, n.1, p.50-74, 2020.

GÜNDÜZ, K.A.; BAŞÇİFTÇİ, F. IoT-Based pH monitoring for detection of rumen acidosis. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.74, n.3, p.457-472, 2022.

GUNUN, N.; WANAPAT, M.; KAEWPILA, C.; KHOTA, W.; POLYORACH, S.; CHERDTHONG, A.; SUWANNASING, R.; PATARAPREECHA, P.; KESORN, P.; INTARAPANICH, P.; VIRIYAWATTANA, N.; GUNUN, P. Effect of heat processing of rubber seed kernel on *in vitro* rumen biohydrogenation of fatty acids and fermentation. **Fermentation**, v.9, n.2, p.143-154, 2022.

HASSAN, F.; GUO, Y.; LI, M.; TANG, Z.; PENG, L.; LIANG, X.; YANG, C. Effect of methionine supplementation on rumen microbiota, fermentation, and amino acid metabolism in *in vitro* cultures containing nitrate. **Microorganisms**, v.9, n.8, p.1717-1742, 2021.

IZADBAKHSH, M-H.; HASHEMZADEH, F.; ALIKHANI, M.; GHORBANI, G-R.; KHORVASH, M.; HEIDARI, M.; GHAFFARI, M.H.; AHMADI, F. Effects of dietary fiber level and forage particle size on growth, nutrient digestion, ruminal fermentation, and behavior of weaned holstein calves under heat stress. **Animals**, v.14, n.2, p.275-293, 2024.

JANASWAMY, S.; YADAV, M.P.; HOQUE, M.; BHATTARAI, S.; AHMED, S. Cellulosic fraction from agricultural biomass as a viable alternative for plastics and plastic products. **Industrial Crops and Products**, v.179, n.1, p.114692-114700, 2022.

JIANG, Y.; DAI, P.; DAI, Q.; MA, J.; WANF, Z.; HU, R.; ZOU, H.; PENG, Q.; WANG, L.; XUE, B. Effects of the higher concentrate ratio on the production performance, ruminal fermentation, and morphological structure in male cattle-yaks. **Veterinary Medicine and Science**, v.8, n.2, p.771-780, 2022.

KAMEL, M.S.; DAVIDSON, J.L.; VERMA, M.S. Strategies for bovine respiratory disease (BRD) diagnosis and prognosis: A comprehensive overview. **Animals**, v.14, n.4, p.627, 2024.

KAUFMANN, W.; HAGEMEISTER, H.; DIRKSEN, G. **Adaptation to changes in dietary composition, level and frequency of feeding**. In: RUCKEBUSCH, Y.; THIVEND, P. Digestive physiology and metabolism in ruminants. 1. ed., Lancaster: MTP Press Limited, cap.28, 1980. p.587-602.

KAZEMI, M.; MOKHTARPOUR, A. Chemical, mineral composition, *in vitro* ruminal fermentation and buffering capacity of some rangeland-medicinal plants. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.44, n.1, p.e55909, 2022.

KIM, H.; PARK, T.; KWON, I.; SEO, J. Specific inhibition of *Streptococcus bovis* by endolysin LyJH307 supplementation shifts the rumen microbiota and metabolic pathways related to carbohydrate metabolism. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.12, n.1, p.93, 2021.

KOVÁCS, L.; RÓZSA, L.; PÁLFFY, M.; HEJEL, P.; BAUMGARTNER, W.; SZENCI, O. Subacute ruminal acidosis in dairy cows - physiological background, risk factors and diagnostic methods. **Veterinarska Stanica**, v.51, n.1, p.5-17, 2020.

KRÓL, B.; ŚLUPCZYŃSKA, M.W.; WILK, M.; ASGHAR, M.; CWYNAR, P. Anaerobic rumen fungi and fungal direct-fed microbials in ruminant feeding. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v.32, n.1, p.3-16, 2023.

LIAO, Y.L.; YAND, J. The release process of Cd on microplastics in a ruminant digestion *in-vitro* method. **Process Safety and Environmental Protection**, v.157, n.1, p.266-272, 2022.

LI, C.; BEAUCHEMIN, K.A.; WANG, W. Feeding diets varying in forage proportion and particle length to lactating dairy cows: I. Effects on ruminal pH and fermentation, microbial protein synthesis, digestibility, and milk production. **Journal of Dairy Science**, v.103, n.5, p.4340-4354, 2020.

LI, M.M.; GHIMIRE, S.; WENNER, B.A.; KOHN, R.A.; FIRKINS, J.L.; GILL, B.; HANIGAN, M.D. Effects of acetate, propionate, and pH on volatile fatty acid thermodynamics in continuous cultures of ruminal contents. **Journal of Dairy Science**, v.105, n.11, p.8879-8897, 2022.

MACÊDO, A.J.S.; CAMPOS, A.C.; COUTINHO, D.N.; FREITAS, C.A.S.; ANJOS, A.J.; BEZERRA, L.R. Effect of the diet on ruminal parameters and rumen microbiota: review. **Revista Colombiana de Ciencia Animal. RECIA**, v.14, n.1, p.e886, 2022.

MACLEOD, G.K.; COLUCCI, P.E.; MOORE, A.D.; GRIEVE, D.G.; LEWIS, N. The effects of feeding frequency of concentrates and feeding sequence of hay on eating behavior, ruminal environment and milk production in dairy cows. **Canadian Journal of Animal Science**, v.74, n.1, p.103-113, 1994.

MAPHAM, P.H.; VORSTER, J.H. **Heat stress in cattle**, 2017. Disponível em: https://www.cpd solutions.co.za/Publications/article_uploads/Heat_stress_in_cattle.pdf. Acesso em: 26 jun. 2024.

MENSCHING, A.; BÜNEMANN, K.; MEYER, U.; VON SOOSTEN, D.; HUMMEL, J.; SCHMITT, A.O.; SHARIFI, A.R.; DÄNICKE, S. Modeling reticular and ventral ruminal pH of lactating dairy cows using ingestion and rumination behavior. **Journal of Dairy Science**, v.103, n.8, p.7260-7275, 2020.

MIHOK, T.; HREŠKO ŠAMUDOVSKÁ, A.; BUJŇÁK, L.; TIMKOVIČOVÁ LACKOVÁ, P. Determination of buffering capacity of the selected feeds used in swine nutrition. **Journal of Central European Agriculture**, v.23, n.4, p.732-738, 2022.

MIKUŁA, R.; PSZCZOLA, M.; RZEWUSKA, K.; MUCHA, S.; NOWAK, W.; STRABEL, T. The effect of rumination time on milk performance and methane emission of dairy cows fed partial mixed ration based on maize silage. **Animals**, v.12, n.1, p.50, 2022.

MIZRAHI, I.; WALLACE, R.J.; MORAIS, S. The rumen microbiome: balancing food security and environmental impacts. **Nature Reviews Microbiology**, v.19, n.9, p.553-566, 2021.

MOHARRERY, A. The determination of buffering capacity of some ruminant's feedstuffs and their cumulative effects on TMR ration. **American Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v.2, n.4, p.72-72, 2007.

MONTAÑO, M.F.; CHIRINO, J.O.; SALINAS-CHAVIRA, J.; ZINN PAS, R.A. Ruminal alkalizing potential of brucite and sodium bicarbonate in feedlot cattle diets. **Applied Animal Science**, v.38, n.4, p.326-334, 2022.

MONTEIRO, H.F.; FACIOLA, A.P. Ruminal acidosis, bacterial changes, and lipopolysaccharides. **Journal of Animal Science**, v.98, n.8, p.1-9, 2020.

NEVILLE, E.W.; FAHEY, A.G.; GATH, V.P.; MOLLOY, B.P.; TAYLOR, S.J.; MULLIGAN, F.J. The effect of calcareous marine algae, with or without marine magnesium oxide, and sodium bicarbonate on rumen pH and milk production in mid-lactation dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.102, n.9, p.8027-8039, 2019.

OETZEL, G.R. **Subacute ruminal acidosis in dairy herds: physiology, pathophysiology, milk fat responses, and nutritional management**, Vancouver, BC, Canadá. In: 40th Annual Conference, 40, 2007, Anais... Vancouver: American Association of Bovine Practitioners, v.40, p.89-119, 2007.

PALMONARI, A.; FEDERICONI, A.; CAVALLINI, D.; SNIFFEN, C.J.; MAMMI, L.; TURRONI, S.; D'AMICO, F.; HOLDER, P.; FORMIGONI, A. Impact of molasses on ruminal volatile fatty acid production and microbiota composition *in vitro*. **Animals**, v.13, n.4, p.728, 2023.

PHESATCHA, K.; PHESATCHA, B.; WANAPAT, M.; CHERDTHONG, A. The effect of yeast and roughage concentrate ratio on ruminal pH and protozoal population in Thai native beef cattle. **Animals**, v.12, n.1, p.53-63, 2022.

PRASANTH, C.R.; AJITHKUMAR, S. Effect of sub-acute ruminal acidosis (SARA) on milk quality and production performances in commercial dairy farms-A review. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v.5, n.6, p.3731-3741, 2016.

SHI, W.; HAISAN, J.; INABU, Y.; SUGINO, T.; OBA, M. Effects of starch concentration of close-up diets on rumen pH and plasma metabolite responses of dairy cows to grain challenges after calving. **Journal of Dairy Science**, v.103, n.12, p.11461-11471, 2020.

SOLTIS, M.P.; MOOREY, S.E.; EGERT-McLEAN, A.M.; VOY, B.H.; SHEPHERD, E.A.; MYER, P.R. Rumen biogeographical regions and microbiome variation. **Microorganisms**, v.11, n.3, p.747-758, 2023.

SOUZA, A.O.; TAVEIRA, J.H.S.; FERNANDES, P.B.; COSTA, K.A.P.; COSTA, C.M.; GURGEL, A.L.C.; SILVA, A.C.G.; COSTA, J.V.C.P. Chemical composition and fermentation characteristics of maize silage with citrus pulp. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.23, n.6, p.e21352022, 2022.

SUARJANA, I.G.K; PG, K.T.; SUDIPA, P.H. Characteristics of rumen fluid, pH and number of microbia. **Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v.4, n.1, p.6-10, 2021.

SUN, X.; CHENG, L.; JONKER, A.; MUNIDASA, S.; PACHECO, D. A review: Plant carbohydrate types—The potential impact on ruminant methane emissions. **Frontiers in Veterinary Science**, v.9, n.1, p.880115-880129, 2022.

UNGERFELD, E.M.; CANCINO-PADILLA, N.; VERA-AGUILERA, N.; SCORCIONE, M.C.; SALDIVIA, M.; LAGOS-PAILLA, L.; VERA, M.; CERDA, C.; MUÑOZ, C.; URRUTIA, N.; MARTÍNEZ, E.D. Effects of type of substrate and dilution rate on fermentation in serial rumen mixed cultures. **Frontiers in Microbiology**, v.15, n.1, p.1356966-1356986, 2024.

VARGAS, J.E.; LÓPEZ-FERRERAS, L.; ANDRÉS, S.; MATEOS, I.; HORST, E.H.; LÓPEZ, S. Differential diet and pH effects on ruminal microbiota, fermentation pattern and fatty acid hydrogenation in RUSITEC continuous cultures. **Fermentation**, v.4, n.4, p.320-338, 2023.

VASILEVSKIY, N.V.; YELETSKAYA, T.A. Physiological aspects of complete mixed diet digestion in complex stomach of ruminants on the example of cattle (*Bos taurus taurus*). **Agricultural Biology**, v.54, n.4, p.787-797, 2019.

VENTER, C. The role of particle length in feed rations. **Stockfarm**, v.10, n.5, p.38-39, 2020.

WANAPAT, M.; VIENNASAY, B.; MATRA, M.; TOTAKUL, P.; PHESATCHA, B.; Ampapon, T.; WANAPAT, S. Supplementation of fruit peel pellet containing phytonutrients to manipulate rumen pH, fermentation efficiency, nutrient digestibility and microbial protein synthesis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.101, n.11, p.4543-4550, 2021.

WANG, L.; ZHANG, G.; LI, Y.; ZHANG, Y. Effects of high forage/concentrate diet on volatile fatty acid production and the microorganisms involved in VFA production in cow rumen. **Animals**, v.10, n.2, p.223-234, 2020a.

WANG, L.; LI, Y.; ZHANG, Y.; WANG, L. The effects of different concentrate-to-forage ratio diets on rumen bacterial microbiota and the structures of holstein cows during the feeding cycle. **Animals**, v.10, n.6, p.957-974, 2020b.

XIAO, J.; CHEN, T.; ALUGONGO, G.M.; KHAN, M.Z.; LI, T.; MA, J.; LIU, S.; WANG, W.; WANG, Y.; LI, S.; CAO, Z. Effect of the length of oat hay on growth performance, health status, behavior parameters and rumen fermentation of holstein female calves. **Metabolites**, v.11, n.12, p.890, 2021.

ZAPATA, O.; CERVANTES, A.; BARRERAS, A.; MONGE-NAVARRO, F.; GONZÁLEZ-VIZCARRA, V.M.; ESTRADA-ANGULO, A.; URÍAS-ESTRADA, J.D., CORONA, L.; ZINN, R.A.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, I.G.; PLASCENCIA, A. Effects of single or combined supplementation of probiotics and prebiotics on ruminal fermentation, ruminal bacteria and total tract digestion in lambs. **Small Ruminant Research**, v.204, n.1, p.106538-106543, 2021.

ZHANG, Z.; LI, Y.; ZHANG, J.; PENG, N.; LIANG, Y.; ZHAO, S. High-Titer lactic acid production by *Pediococcus acidilactici* PA204 from corn stover through fed-batch simultaneous saccharification and fermentation. **Microorganisms**, v.8, n.10, p.1491-1499, 2020.