



**CORRELAÇÃO DE ACÚMULO DE CORPOS CETÔNICOS, NITROGÊNIO  
UREICO NO LEITE E INCIDÊNCIA DE CLAUDICAÇÃO EM BOVINOS  
LEITEIROS**

***CORRELATION OF ACCUMULATION OF KETONE BODIES, UREA NITROGEN IN  
MILK AND INCIDENCE OF LAMENESS IN DAIRY CATTLE***

Natália Dantas Souza<sup>1</sup>; Caíque Campos João Silva<sup>1</sup>; Gabriel Pires Venga<sup>1</sup>; Bárbara Fonseca Vilela<sup>1</sup>; João Pedro Rocha Costa<sup>1</sup>; Elizângela Guedes<sup>2</sup>; José Oswaldo de Souza Scarpa<sup>3</sup>; Breno Henrique Alves<sup>4</sup>

**Resumo:** A claudicação em vacas leiteiras é uma condição frequente e multifatorial que impacta negativamente a produtividade, o bem-estar animal e a rentabilidade dos sistemas de produção. Esta revisão de literatura tem como objetivo explorar a correlação entre o acúmulo de corpos cetônicos, os níveis de nitrogênio ureico no leite (NUL) e a incidência de claudicação em bovinos leiteiros. Estudos apontam que distúrbios metabólicos como a cetose e desbalanços nutricionais, refletidos por níveis elevados de NUL, podem ajudar na o desenvolvimento de laminite e, conseqüentemente, da claudicação. A etapa seguinte deste trabalho consistirá na avaliação de vacas leiteiras com diferentes graus de claudicação, análise de histórico clínico quanto à ocorrência de cetose e realização de testes de NUL no leite de animais afetados. A proposta visa identificar possíveis relações entre os parâmetros metabólicos e locomotores, contribuindo para ações de prevenção e de manejo nutricional mais eficientes.

**Palavras-chave:** Distúrbios metabólicos; Saúde locomotora; Nutrição de ruminantes; Laminite bovina; Manejo alimentar.

**Abstract:** Lameness in dairy cows is a common and multifactorial condition that negatively affects productivity, animal welfare, and the profitability of production systems. This literature review aims to explore the correlation between the accumulation of ketone bodies, milk urea nitrogen (MUN) levels, and the incidence of lameness in dairy cattle. Studies indicate that metabolic disorders such as ketosis and nutritional imbalances, reflected by elevated MUN levels, may contribute to the development of laminitis and, consequently, lameness. The next stage of this work will consist of evaluating dairy cows with varying degrees of lameness, analyzing clinical history regarding ketosis occurrence, and conducting MUN tests on milk from affected animals. This proposal seeks to identify possible relationships between metabolic and locomotor parameters, contributing to more effective preventive and nutritional

management strategies.

**Keywords:** Metabolic disorders; Locomotor health; Ruminant nutrition; Bovine laminitis; Nutritional management.

## INTRODUÇÃO

A claudicação em vacas leiteiras é uma das principais causas de perdas econômicas e de comprometimento do bem-estar animal nos sistemas de produção intensiva. Estima-se que até 30% dos animais em rebanhos leiteiros podem apresentar algum grau de claudicação ao longo da lactação, o que reduz a produção de leite, interfere negativamente na reprodução e eleva os índices de descarte involuntário (Silva *et al.*, 2020). Embora os fatores envolvidos na claudicação sejam multifatoriais, distúrbios metabólicos e nutricionais vêm sendo cada vez mais associados ao surgimento e agravamento dessa condição (Zebeli; Metzler-Zebeli, 2012).

Entre esses distúrbios, a cetose e os níveis elevados de nitrogênio ureico no leite (NUL) se destacam como potenciais indicadores de desequilíbrios na dieta e no metabolismo energético das vacas em lactação. A cetose, desencadeada pelo déficit energético no período de transição, pode levar ao acúmulo de corpos cetônicos e afetar a função hepática, enquanto valores altos de NUL podem refletir excesso de proteína e baixa eficiência na utilização de nitrogênio, o que também pode influenciar na saúde sistêmica dos animais (Duffield *et al.*, 2009; Broderick; Clayton, 1997).

A necessidade de investigar possíveis correlações entre esses parâmetros metabólicos e a incidência de claudicação justifica-se tanto pelos estudos integrados sobre o tema quanto pela importância de aprimorar as estratégias de manejo nutricional e preventivo nos rebanhos leiteiros. Dessa forma esta pesquisa pretende investigar a possível correlação entre o acúmulo de corpos cetônicos, os níveis de nitrogênio ureico no leite (NUL) e a incidência de claudicação em vacas leiteiras, visando compreender como distúrbios metabólicos e nutricionais podem influenciar na saúde locomotora dos animais e contribuir para a formulação de estratégias preventivas mais eficazes no manejo do rebanho.

## REVISÃO DE LITERATURA

### Claudicação em Bovinos

A claudicação é uma das principais causas de prejuízos econômicos na bovinocultura de leite, pois compromete diretamente a produção, a reprodução e o descarte de animais. Esse problema reduz a produção de leite, aumenta o descarte precoce e eleva os custos com tratamentos e manejo especializado. Além dos impactos diretos, há também perdas indiretas, como o maior tempo gasto no manejo e a necessidade de mão de obra mais qualificada. Estima-se que uma vaca que apresenta claudicação moderada a grave possa ter perdas de até 30% na produção diária de leite, o que torna a claudicação não apenas um problema de bem-estar animal, mas também uma ameaça à viabilidade econômica da atividade leiteira (Silva *et al.*, 2020).

A claudicação é caracterizada por alterações no padrão normal de locomoção, decorrentes de dor, desconforto ou comprometimento estrutural nos membros, principalmente nos cascos. Os sinais clínicos mais comuns incluem marcha irregular, encurtamento de passo, apoio reduzido no membro afetado, rigidez, arqueamento do dorso e relutância em se locomover. Em situações mais graves, os animais passam mais tempo deitados e apresentam queda acentuada na produção de leite devido à dor e à redução na ingestão alimentar (Ferreira *et al.*, 2019). A observação visual da marcha e da postura do animal, aliada à inspeção dos membros e cascos, é essencial para a detecção precoce da claudicação e adoção de medidas corretivas antes que o quadro evolua.

A dor associada à claudicação é do tipo nociceptiva, resultante da estimulação de receptores periféricos por lesões físicas, inflamatórias ou metabólicas. Em bovinos, a dor é muitas vezes subestimada, pois a espécie tende a mascarar sinais evidentes de sofrimento, o que exige do avaliador atenção aos comportamentos sutis. Sinais como apatia, redução no tempo em estação, posicionamento anormal dos membros, vocalização ao se mover e alteração no comportamento alimentar são indícios importantes (Whay *et al.*, 2003). Além disso, a dor crônica pode comprometer o sistema neuroendócrino, interferindo na imunidade, na fertilidade e no desempenho produtivo, tornando sua identificação e tratamento prioritários em sistemas de produção intensiva (Andersen *et al.*, 2011).

### **Graus de Claudicação e Classificação**

A avaliação da claudicação é um desafio prático e técnico no manejo diário dos rebanhos. Como o desconforto locomotor pode variar de forma sutil até casos extremos de incapacidade de locomoção, tornou-se essencial utilizar sistemas padronizados que

auxiliem na identificação precoce desses sinais. O sistema de pontuação mais utilizado mundialmente foi desenvolvido por Sprecher, Hostetler e Kaneene (1997), e classifica o grau de claudicação em uma escala de 1 a 5 com base na postura corporal e no padrão de marcha do animal.

No grau 1, o animal é considerado normal. O bovino caminha com os passos simétricos e firmes, e mantém o dorso reto tanto em estação quanto em movimento. Ele se locomove com naturalidade, sem indícios de desconforto ou alteração postural. Esse escore é o desejável em qualquer rebanho e serve como base de comparação para os demais graus (Sprecher; Hostetler; Kaneene, 1997; Rehagro, 2023).

No grau 2, começam a aparecer os primeiros sinais de alteração locomotora. O animal ainda está funcional, mas durante o movimento seu dorso tende a se arquear levemente, o que pode indicar o início de algum desconforto nos membros. Apesar disso, geralmente continua a andar normalmente e não demonstra relutância ou dor visível, sendo um grau que exige atenção para evitar evolução clínica (Ferreira *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2006).

O grau 3 é considerado intermediário e já representa uma claudicação moderada. O dorso permanece arqueado tanto em repouso quanto em movimento, e os passos tornam-se visivelmente assimétricos. Nessa fase, o animal mostra sinais claros de dor e tende a apoiar menos o membro afetado. Muitas vezes, há hesitação ao andar, e o tempo em estação pode diminuir (Andover *et al.*, 2011). A partir desse grau, a claudicação começa a afetar diretamente o bem-estar do animal e, se não tratada, pode comprometer também sua ingestão alimentar e produtividade.

No grau 4, a claudicação se torna evidente. O bovino mostra relutância em apoiar o membro lesionado, o arqueamento do dorso é acentuado e constante, e o animal tende a mancar com intensidade. A distribuição de peso entre os membros é claramente desigual, e muitas vezes o animal prefere ficar deitado por mais tempo. Este grau já demanda intervenção imediata, pois a dor é intensa e o risco de agravamento é alto (Booth *et al.*, 2004; Whay *et al.*, 2003).

Por fim, o grau 5 representa a claudicação severa. O animal evita completamente apoiar um dos membros, movimenta-se com extrema dificuldade ou simplesmente se recusa a andar. O dorso permanece arqueado mesmo em repouso, e há sofrimento evidente. Nesse estágio, a dor é incapacitante, e o prognóstico pode ser reservado, dependendo da causa da lesão (Capion *et al.*, 2008). Animais nesse grau geralmente

precisam ser isolados, receber tratamento intensivo e, em alguns casos, podem ser descartados do rebanho.

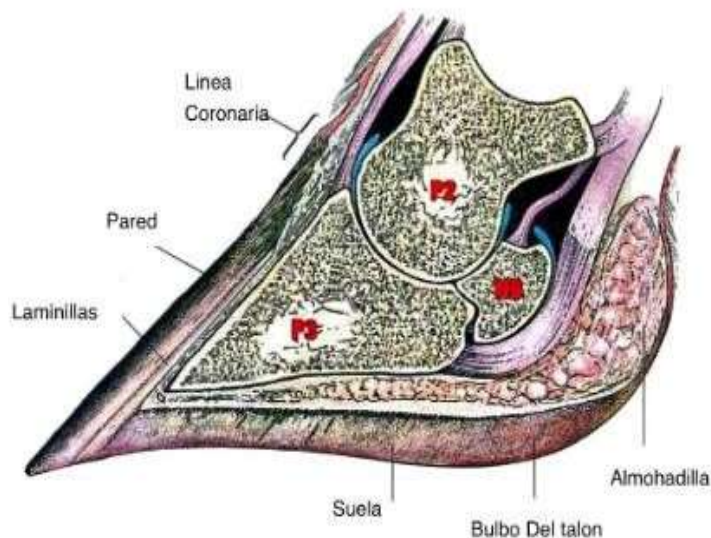
### **Fatores Predisponentes de Claudicação em Bovinos**

A claudicação é uma condição multifatorial, podendo ser desencadeada por diferentes fatores predisponentes. Entre os principais estão: manejo inadequado, como pisos escorregadios ou abrasivos; dietas desequilibradas, ricas em carboidratos não estruturais e pobres em fibra, que favorecem quadros de laminite; fatores genéticos, com animais de alta produção sendo mais suscetíveis; e condições ambientais desfavoráveis, como alta lotação e instalações com baixa higiene. A falta de casqueamento preventivo e a permanência em locais úmidos também elevam significativamente o risco de lesões nos cascos. Esses fatores podem atuar isoladamente ou em conjunto, afetando o bem-estar e a performance dos animais (González *et al.*, 2021).

### **Anatomia do Casco Bovino**

O casco dos bovinos é uma estrutura altamente especializada, cuja função principal é sustentar o peso corporal e permitir a locomoção eficiente dos animais. Cada membro termina em dois dígitos ou "unhas", formadas por tecidos duros e moles, que trabalham em conjunto para absorver o impacto e distribuir a carga durante o movimento. A integridade anatômica do casco é fundamental para o bem-estar e o desempenho produtivo do animal (Blowey, 2015).

**Figura 1 – Anatomia do casco bovino.** Representação esquemática das estruturas anatômicas do casco bovino, incluindo parede, sola, talão e tecido laminar.



Fonte: KÖNIG; LIEBICH, 2016.

Externamente, o casco é revestido por uma cápsula córnea composta por queratina, produzida pela epiderme da lâmina coronária. Essa cápsula é dividida em três regiões principais: a parede, a sola e o talão. A parede é a região mais visível e se estende da coroa (borda superior) até o chão, envolvendo as faces laterais e frontais do dígito. A sola cobre a superfície inferior e entra em contato direto com o solo, sendo mais fina e suscetível a desgaste ou lesões. Já o talão, localizado na parte posterior do casco, é composto por tecido mais flexível e atua como amortecedor natural, absorvendo parte da energia do impacto com o solo (Greenough, 2007; Blowey, 2015).

Internamente, o casco possui uma estrutura óssea chamada terceira falange (ou falange distal), que se articula com as demais falanges do membro. Envolvendo essa estrutura, encontra-se o tecido sensível da lâmina dérmica, altamente vascularizado e inervado, responsável pela nutrição da cápsula córnea. Entre a sola e a falange distal, há a almofada digital – um tecido fibroelástico que atua como amortecedor, ajudando a dissipar as forças de impacto e proteger as estruturas internas do casco (Blowey, 2015; Laufer *et al.*, 2020).

Essa anatomia complexa torna o casco vulnerável a uma série de lesões quando exposto a fatores de risco como pisos abrasivos, umidade excessiva, dietas desbalanceadas ou falta de casqueamento. Qualquer alteração na estrutura ou biomecânica do casco pode levar à inflamação, dor e claudicação. Por isso, a

manutenção da integridade anatômica do casco é essencial não apenas para a saúde locomotora, mas também para o desempenho zootécnico e reprodutivo do animal (Cook *et al.*, 2016).

### **Particularidades da Deambulação Bovina**

A deambulação dos bovinos possui características anatômicas e biomecânicas próprias da espécie, que influenciam diretamente na distribuição de peso, nas exigências do aparelho locomotor e na predisposição a distúrbios locomotores. Por serem animais digitígrados e artiodáctilos, os bovinos apoiam-se sobre a extremidade distal de dois dígitos (unhas), e todo o peso corporal é concentrado sobre uma área relativamente pequena, o que exige uma estrutura podal robusta e eficiente (Greenough, 2007).

Em condições normais, os bovinos apresentam uma marcha ritmada, com apoio alternado dos membros e movimentação sincronizada do tronco. O deslocamento inicia-se com o apoio do membro torácico contralateral ao pélvico que se move, seguido pela oscilação controlada da cabeça e arqueamento do dorso, o que permite o equilíbrio dinâmico do corpo. Essa mecânica de movimento é essencial para manter a estabilidade e a eficiência locomotora, principalmente em pisos irregulares ou com declividade (Blowey, 2015; Whay *et al.*, 2003).

A distribuição do peso corporal em bovinos é um fator crucial tanto para o entendimento da biomecânica da locomoção quanto para a prevenção de doenças musculoesqueléticas, como a claudicação. De maneira geral, admite-se que em estação, ocorre uma repartição do peso desigualmente equilibrada entre os membros torácicos e pélvicos, com aproximadamente 60% a 65% do peso total sendo sustentado pelos membros torácicos e os 35% a 40% restantes pelos membros pélvicos (König & Liebich, 2016; Frandson *et al.*, 2017).

Essa distribuição é determinada principalmente pela posição anatômica do centro de gravidade, que nos bovinos se localiza cranialmente ao umbigo, próximo à transição toracolombar, mais especificamente à frente do osso íliaco, o que desloca a maior parte da carga para os membros anteriores (König & Liebich, 2016).

Tal configuração anatômica e funcional faz com que os membros torácicos, apesar de não estarem diretamente conectados ao esqueleto axial por uma articulação óssea verdadeira — mas sim por músculos e fâscias (estrutura denominada de sinsarcoses) — sejam altamente exigidos em termos de sustentação e absorção de

impacto, especialmente durante o repouso e a locomoção (Frandsen *et al.*, 2017).

Por outro lado, os membros pélvicos desempenham papel preponderante na propulsão do animal, especialmente durante o deslocamento. Sua menor participação no suporte do peso estático não os isenta de sobrecarga funcional, principalmente em situações de pisos irregulares, doenças podais, ou alterações biomecânicas compensatórias (König & Liebich, 2016; Frandsen *et al.*, 2017).

Apesar da distribuição do peso corporal em bovinos ter sido tradicionalmente descrita como predominantemente suportada pelos membros torácicos (Silva *et al.*, 2020). Essa divisão, no entanto, não é fixa e pode sofrer alterações em função da fisiologia do animal, especialmente em vacas de raças leiteiras durante a lactação, pois, durante o período de maior produção, o úbere torna-se significativamente mais desenvolvido e volumoso, o que influencia a biomecânica da locomoção e a distribuição da carga corporal. Estudos demonstram que, imediatamente antes da ordenha, aproximadamente 89% do peso do leite acumulado no úbere é suportado pelos membros pélvicos (Chapinal *et al.*, 2009). Essa sobrecarga transitória pode aumentar a pressão exercida sobre os cascos posteriores, favorecendo o surgimento de afecções podais, como laminite ou erosão de talão, especialmente em sistemas de manejo intensivo. Além disso, os membros pélvicos, por sua conexão mais rígida ao esqueleto axial e menor capacidade de absorção de impacto, estão mais sujeitos a sobrecargas localizadas (Carvalho *et al.*, 2019).

### **Outros Fatores Predisponentes**

Vacas leiteiras de alta produção estão mais suscetíveis à claudicação devido à elevada exigência metabólica, especialmente no início da lactação. O pico produtivo geralmente ocorre entre a 8<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semana pós-parto, momento em que o animal apresenta balanço energético negativo acentuado. Esse quadro resulta na mobilização de reservas corporais, comprometendo a integridade de tecidos como o do casco, além de favorecer distúrbios metabólicos como a cetose, que também está associada à ocorrência de laminite e, por consequência, claudicação (Duke, 2017; Reece; Church, 2013).

Já o período de transição, que compreende as três semanas antes e após o parto, é crítico para o bovino leiteiro. Nesta fase, além das alterações hormonais e do estresse do parto, há uma abrupta demanda por nutrientes que pode levar a quadros de hipocalcemia, cetose e lipomobilização excessiva. Essas condições favorecem alterações metabólicas

que, associadas à sobrecarga em membros posteriores, contribuem diretamente para o desenvolvimento de laminite e lesões podais (Duke, 2017; Reece; Church, 2013).

Ademais, o metabolismo ruminal é essencial para a digestão e aproveitamento dos nutrientes em bovinos, especialmente a fibra da dieta, através da ação de microrganismos que produzem ácidos graxos voláteis (AGVs) como principal fonte de energia. Durante o período de transição — que compreende as semanas anteriores e posteriores ao parto — a ingestão de matéria seca diminui ao mesmo tempo em que a demanda energética aumenta consideravelmente devido ao início da lactação. Essa discrepância entre oferta e demanda energética leva à mobilização de gordura corporal, aumentando a concentração de ácidos graxos não esterificados (AGNEs) no sangue. Quando essa mobilização é excessiva, o fígado, sobrecarregado, converte esses AGNEs em corpos cetônicos como beta- hidroxibutirato (BHB), acetoacetato e acetona, caracterizando o início da cetose (Grande; Ribeiro Filho, 2019; Cardoso *et al.*, 2022).

Dietas desbalanceadas, especialmente aquelas com excesso de concentrados e baixa fibra efetiva, alteram o pH ruminal e favorecem quadros de acidose subclínica. Essa acidose reduz a formação de queratina de boa qualidade no casco e prejudica a irrigação da lâmina dérmica, predispondo o animal a quadros de laminite. A fisiopatogenia dessas lesões envolve necrose laminar secundária à liberação de endotoxinas pela flora ruminal desestabilizada, além da formação de corpos cetônicos em excesso, que agravam o quadro metabólico e interferem na locomoção (Reece; Church, 2013; Duke, 2017; König; Liebich, 2011).

O ambiente em que o rebanho é mantido também exerce influência direta sobre a saúde podal. Pisos úmidos e mal drenados, comuns em épocas chuvosas, favorecem o amolecimento da camada córnea e o desenvolvimento de lesões como dermatites e erosões no talão. Além disso, o clima quente associado à alta umidade favorece a proliferação de patógenos que afetam a integridade do casco (Reece; Church, 2013; König; Liebich, 2011).

Outro fator predisponente é a conformação dos membros e a qualidade do tecido córneo, que são características parcialmente herdáveis. Algumas linhagens de gado leiteiro, como a raça Holandesa, apresentam maior incidência de alterações anatômicas predisponentes à claudicação, como aprumos desfavoráveis e paredes do casco menos resistentes. A idade também é um fator de risco, uma vez que vacas mais velhas acumulam histórico de lesões articulares, inflamações recorrentes e desgaste estrutural

dos cascos, o que aumenta a probabilidade de claudicação crônica (Reece; Church, 2013; König; Liebich, 2011).

### **Cetose e Acúmulo de Corpos Cetônicos**

A cetose é um distúrbio metabólico comum em vacas leiteiras de alta produção, especialmente durante o período de transição, caracterizado pela elevação anormal da concentração de corpos cetônicos no sangue, leite e urina. Essa condição decorre de um desequilíbrio energético, no qual a ingestão de nutrientes é insuficiente para suprir a elevada demanda de glicose exigida pela lactação. Em resposta a esse déficit, o organismo mobiliza reservas lipídicas, gerando ácidos graxos que são metabolizados pelo fígado em corpos cetônicos, como o beta-hidroxibutirato (BHB), a acetona e o acetoacetato. Embora a produção moderada desses compostos seja fisiológica, seu acúmulo excessivo leva a efeitos deletérios sobre a saúde do animal, com impacto negativo na produtividade, na reprodução e no sistema imune (Oetzel, 2004; Duffield *et al.*, 2009; González *et al.*, 2001).

### **Fisiopatogenia**

Na patogenia da cetose, a falha em manter o balanço energético positivo leva à lipólise intensa e à superprodução de corpos cetônicos pelo fígado. Para compensar essa deficiência energética, o organismo mobiliza as reservas de gordura corporal, liberando ácidos graxos não esterificados (AGNEs) na corrente sanguínea. Esses AGNEs são captados pelo fígado e, idealmente, convertidos em energia via ciclo de Krebs. No entanto, quando a oferta de oxaloacetato – necessário para a entrada do acetil-CoA no ciclo – está limitada, o fígado passa a converter os AGNEs em corpos cetônicos: beta-hidroxibutirato (BHB), acetoacetato e acetona (González *et al.*, 2001).

O acúmulo desses compostos caracteriza a cetose. Quando os níveis de corpos cetônicos no sangue ultrapassam a capacidade de metabolização dos tecidos periféricos, ocorrem efeitos tóxicos sistêmicos, incluindo anorexia, perda de condição corporal, imunossupressão e prejuízo reprodutivo (Duffield *et al.*, 2009). O fígado, sobrecarregado com a grande quantidade de AGNEs, pode também desenvolver lipomobilização hepática, resultando em esteatose, que agrava ainda mais a condição clínica do animal (Oetzel, 2004).

Quando os níveis de BHB no sangue ultrapassam 1,2 mmol/L, já se considera

cetose subclínica, e acima de 3,0 mmol/L, clínica. O excesso de corpos cetônicos, além de reduzir o apetite e agravar o quadro de déficit energético, também prejudica a função hepática, compromete a imunidade e aumenta a suscetibilidade a outras doenças no pós-parto, como metrite, mastite e deslocamento de abomaso (Duffield *et al.*, 2009; Leblanc, 2010).

### **Correlação do Acúmulo de Corpos Cetônicos e Afecções Podais**

A presença elevada de corpos cetônicos, principalmente o beta-hidroxibutirato (BHB), não apenas caracteriza o quadro clínico da cetose, mas também possui implicações indiretas sobre a saúde locomotora de vacas leiteiras. Estudos recentes têm demonstrado que vacas com cetose clínica ou subclínica apresentam maior risco de desenvolver afecções podais, como a laminite, devido ao efeito sistêmico do distúrbio metabólico sobre os tecidos sensíveis dos cascos (Ranjan *et al.*, 2022; Sordillo, 2016).

A correlação entre cetose e lesões podais decorre de múltiplos mecanismos fisiopatológicos. A mobilização exacerbada de ácidos graxos não esterificados (AGNEs) compromete o metabolismo hepático e favorece a inflamação sistêmica, a qual afeta diretamente a perfusão sanguínea dos tecidos laminares do casco (Zebeli; Metzler-Zebeli, 2012). Essa redução na irrigação compromete a nutrição e a integridade da lâmina dérmica, o que pode resultar na separação da parede do casco e no desenvolvimento de claudicação. Além disso, o excesso de corpos cetônicos afeta o apetite, levando à redução do consumo de matéria seca e aumentando o risco de acidose ruminal subclínica – outro fator comumente associado à laminite (González *et al.*, 2001; Oetzel, 2004).

A laminite, por sua vez, representa uma inflamação dolorosa da lâmina dérmica que conecta o casco à terceira falange. Ela pode ser aguda ou crônica, sendo responsável por alterações estruturais irreversíveis que impactam diretamente a locomoção e o bem-estar do animal. A literatura sugere que vacas com cetose têm até duas vezes mais chances de desenvolver laminite em comparação com vacas metabolicamente estáveis (Espejo *et al.*, 2006).

### **Nitrogênio Ureico no Leite**

O nitrogênio ureico no leite (NUL) é um importante indicador do balanço nutricional entre proteína e energia na dieta de vacas leiteiras. A ureia presente no leite é derivada da ureia plasmática, que, por sua vez, resulta do metabolismo do nitrogênio

oriundo da degradação de proteínas no rúmen e da eficiência de utilização dos compostos nitrogenados pela microbiota ruminal. Quando há desbalanceamento entre o fornecimento de proteína degradável no rúmen (PDR) e a disponibilidade de energia fermentável, ocorre acúmulo de amônia ruminal, que é convertida em ureia no fígado e excretada no leite. Níveis elevados de NUL são indicativos de desperdício proteico, menor eficiência alimentar, impacto ambiental e até mesmo comprometimento reprodutivo nos rebanhos (Wattiaux, 1996; Broderick; Clayton, 1997; González *et al.*, 2001).

### **Fisiopatogenia do Excesso de Proteína na Dieta**

O fornecimento de proteína acima das exigências nutricionais de vacas leiteiras, especialmente na forma de proteína degradável no rúmen (PDR), pode desencadear uma série de respostas fisiopatológicas prejudiciais ao desempenho produtivo e à saúde dos animais. Em um rúmen funcional, a proteína da dieta é degradada pelos microrganismos, liberando amônia (NH<sub>3</sub>), que é posteriormente utilizada para a síntese de proteína microbiana, desde que haja disponibilidade adequada de energia fermentável. No entanto, quando há excesso de proteína ou insuficiência energética, o acúmulo de amônia excede a capacidade de aproveitamento microbiano (González *et al.*, 2001).

A amônia excedente é absorvida pela parede ruminal e transportada até o fígado, onde é convertida em ureia. Parte dessa ureia é recirculada via saliva ou excretada pela urina e pelo leite. Quando o excesso é contínuo, sobrecarrega-se o metabolismo hepático, o que pode afetar negativamente a função hepática e elevar os níveis de ureia no sangue e no leite – caracterizando concentrações elevadas de Nitrogênio Ureico no Leite (NUL) (Broderick; Clayton, 1997; Wattiaux, 1996).

Do ponto de vista sistêmico, a alta concentração de ureia plasmática altera o ambiente uterino, reduzindo as taxas de concepção, aumentando a incidência de perdas embrionárias precoces e comprometendo a eficiência reprodutiva do rebanho. Além disso, a excreção aumentada de ureia urinária contribui significativamente para a emissão de nitrogênio reativo no ambiente, o que representa um desafio adicional em termos de sustentabilidade ambiental na pecuária leiteira intensiva (Huhtanen *et al.*, 2015; Speck *et al.*, 2013).

### **Correlação do Excesso de NUL e Afecções Podais**

Embora o nitrogênio ureico no leite (NUL) seja amplamente utilizado como indicador da eficiência proteica da dieta e do balanço entre proteína e energia no rúmen, estudos recentes também apontam possíveis associações indiretas entre níveis elevados de NUL e a ocorrência de distúrbios locomotores, especialmente afecções podais. O excesso de proteína na dieta leva à produção elevada de amônia no rúmen, que, quando não utilizada eficientemente pelos microrganismos ruminais devido à limitação energética, é convertida em ureia no fígado e, em parte, excretada pelo leite (González *et al.*, 2001; Broderick; Clayton, 1997).

Esse processo tem implicações sistêmicas, uma vez que o acúmulo de ureia e seus metabólitos, além de representar sobrecarga hepática e renal, também contribui para a acidificação do meio ruminal, especialmente quando associado a dietas ricas em carboidratos fermentáveis. A acidose ruminal subclínica (SARA) favorece a translocação de endotoxinas e a ativação de mediadores inflamatórios, comprometendo a microcirculação dos tecidos laminares dos cascos e predispondo os animais ao desenvolvimento de laminite e claudicação (Zebeli; Metzler-Zebeli, 2012; Nocek, 1997).

Além disso, a redução da eficiência de utilização de nutrientes pode impactar negativamente o escore corporal e o estado imunológico do animal, tornando-o mais vulnerável a infecções secundárias como dermatite digital e erosões de talão, que também afetam diretamente a locomoção (Huhtanen *et al.*, 2015). Embora a relação entre NUL elevado e lesões podais ainda esteja em investigação, o excesso proteico na dieta e seus efeitos colaterais no metabolismo ruminal e sistêmico indicam um elo fisiopatológico relevante entre o manejo nutricional inadequado e a saúde locomotora das vacas leiteiras.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A claudicação em vacas leiteiras é um problema multifatorial que compromete significativamente o bem-estar animal, a produtividade e a viabilidade econômica da atividade leiteira. Este artigo permitiu reunir informações importantes sobre possíveis relações entre distúrbios metabólicos — como a cetose —, alterações nutricionais e a manifestação de afecções podais. Embora os níveis de nitrogênio ureico no leite (NUL) sejam utilizados como indicadores do equilíbrio proteína-energia na dieta, ainda não há evidências conclusivas que comprovem sua associação direta com a claudicação na literatura.

No entanto, é plausível considerar que desequilíbrios alimentares que levam à elevação do NUL possam contribuir indiretamente para alterações metabólicas que impactam a integridade dos cascos. Diante disso, a etapa experimental sequencial proposta neste trabalho buscará avaliar vacas leiteiras com diferentes graus de claudicação, analisando o histórico clínico quanto à cetose e os níveis de NUL no leite. Espera-se, com isso, gerar dados que contribuam para uma melhor compreensão dos fatores envolvidos e para o aprimoramento das estratégias de manejo nutricional e preventivo nos rebanhos leiteiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, P. H.; BERG, J. S.; THOMSEN, P. T. Evaluation of pain and inflammation associated with lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 94, n. 11, p. 5383–5388, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4455>. Acesso em: 04 abr. 2025.

ANDRADE, L. M. de *et al.* Efeitos genéticos e de ambiente sobre a produção de leite e a contagem de células somáticas em vacas holandesas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 8, p. 1745-1751, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/MWW6Yps4x3jRxrPxvGLZZMs/?lang=pt>. Acesso em: 2 jun. 2025.

BLOWEY, R. W. *Claw disorders and lameness in cattle*. 2. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2015.

BOOTH, C. J. *et al.* Lameness in dairy cattle: use of force plate to compare locomotion scores. *Veterinary Record*, v. 155, n. 23, p. 759–764, 2004.

BRODERICK, G. A.; CLAYTON, M. K. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, v. 80, n. 11, p. 2964–2971, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76261-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76261-2). Acesso em: 04 abr. 2025.

BUNNENBERG, M. *et al.* Nitrogen efficiency and milk urea concentration in dairy cows fed with diets of varying protein levels. *Animals*, Basel, v. 12, n. 3, p. 295-305, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12030295>. Acesso em: 04 abr. 2025.

CAPION, N.; THOMSEN, P. T.; MADSEN, A. M. Lameness scoring in dairy cows: interobserver variation and correlation to lesion type. *Acta Veterinaria Scandinavica*,

v. 50, n. 1, p. 1–7, 2008.

CARDOSO, L. L.; GONZÁLEZ, F. H. D.; MÜLLER, C. E. Metabolismo ruminal e suas implicações na saúde de vacas leiteiras. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, Rio de Janeiro, v. 44, n. 1, p. 1-10, 2022. Disponível em: <https://rbmv.org.br>. Acesso em: 04 abr. 2025.

CARVALHO, A. U. *et al.* Anatomia funcional dos membros locomotores em bovinos e suas implicações clínicas. *Ciência Animal*, v. 29, n. 2, p. 89–99, 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/download/9592/7768/36950>. Acesso em: 03 jun. 2025.

CHAPINAL, N. *et al.* Pain sensitivity and hoof pathologies in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 5, p. 1900–1905, 2009. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-99FGCW/5/5\\_texto\\_tese.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-99FGCW/5/5_texto_tese.pdf). Acesso em: 03 jun. 2025.

COOK, N. B.; NORDLUND, K. V. The influence of the environment on dairy cow behavior, claw health and herd lameness dynamics. *Veterinary Journal*, v. 197, n. 2, p. 139–147, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.03.012>. Acesso em: 04 abr. 2025.

DUFFIELD, T. F. *et al.* Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 92, n. 2, p. 571–580, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1507>. Acesso em: 04 abr. 2025.

EMBRAPA. *Bioclimatologia Aplicada à Produção de Bovinos Leiteiros nos Trópicos*. 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664507/1/documento188.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ESPEJO, L. A.; ENDRES, M. I.; SALFER, J. A. Prevalence of lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns in Minnesota. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v. 89, n. 8, p. 3052–3058, 2006. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72579-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72579-6). Acesso em: 04 abr. 2025.

FERREIRA, M. A.; SANTOS, V. P.; ALMEIDA, G. L. Sinais clínicos e manejo da claudicação em bovinos leiteiros. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, Seropédica, v. 39, n. 7, p. 520-528, 2019. Disponível em: <https://www.pvb.com.br>. Acesso em: 04 abr. 2025.

FRANDSON, R. D.; WILKE, W. L.; FOTH, E. A. *Anatomia e Fisiologia dos Animais Domésticos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2017.

GONZÁLEZ, F. H. D. *et al.* *Uso do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras*. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

GONZÁLEZ, F. H. D.; LOPES, M. A.; SOUZA, R. C. Fatores predisponentes da claudicação em vacas leiteiras: uma revisão. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 73, n. 2, p. 295-304, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz>. Acesso em: 04 abr. 2025.

GRANDE, P. A.; RIBEIRO FILHO, A. L. Aspectos metabólicos e nutricionais da cetose bovina. *Revista Brasileira de Medicina Veterinária*, Rio de Janeiro, v. 41, n. 1, p. 37–44, 2019. Disponível em: <https://rbmv.org.br>. Acesso em: 04 abr. 2025.

GREENOUGH, P. R. *Bovine laminitis and lameness: a hands-on approach*. Philadelphia: Saunders Elsevier, 2007.

GRÖHN, Y. T. *et al.* Effect of diseases on the culling of dairy cows: A review. *Preventive Veterinary Medicine*, Amsterdam, v. 66, n. 1-4, p. 103–119, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.09.002>. Acesso em: 04 abr. 2025.

HUHTANEN, P. *et al.* Milk urea nitrogen concentration as a useful indicator of nutritional status in dairy herds. *Animal*, v. 9, n. 8, p. 1237–1243, 2015. DOI: 10.1017/S1751731115000446.

KÖNIG, H. E.; LIEBICH, H.-G. *Anatomia dos Animais Domésticos: Texto e Atlas Colorido*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

LAUFER, A. P. *et al.* Histological and morphological aspects of bovine digital cushion under different conditions. *Journal of Dairy Science*, v. 103, n. 5, p. 4455–4464, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17720>. Acesso em: 04 abr. 2025.

LEBLANC, S. J. Monitoring metabolic health of dairy cattle in the transition period. *Journal of Reproduction and Development*, Tokyo, v. 56, p. S29–S35, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1262/jrd.1056S29>. Acesso em: 04 abr. 2025.

NOCEK, J. E. Bovine acidosis: implications on laminitis. *Journal of Dairy Science*, v. 80, n. 5, p. 1005–1028, 1997.

OETZEL, G. R. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 20, n. 3, p. 651–674, 2004.

RANJAN, R. *et al.* Impact of subclinical ketosis on the occurrence of lameness in dairy cows: A longitudinal study. *Veterinary World*, v. 15, n. 3, p. 569–575, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.569-575>. Acesso em: 2 jun. 2025.

REHAGRO. Escore de claudicação em vacas leiteiras: avaliação e manejo. 2023. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/escore-de-claudicacao/>. Acesso em: 04 abr. 2025.

SILVA, L. A.; OLIVEIRA, R. M.; COSTA, A. L. Impactos econômicos da claudicação em bovinos leiteiros. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, Niterói, v. 27, n. 1, p. 45-52, 2020. Disponível em: <https://www.rbcveterinaria.org.br>. Acesso em: 04 abr. 2025.

SOUZA, F. H. *et al.* Perdas econômicas ocasionadas pelas enfermidades podais em vacas leiteiras criadas em sistema de free stall. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 58, n. 6, p. 982–987, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/kGJZYhjD5nntYMzzFJWCwNp>. Acesso em: 04 abr. 2025.

SPEK, J. W. *et al.* Effects of dietary crude protein concentration and rumen degradability on milk urea nitrogen and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 9, p. 5544–5558, 2013. DOI: 10.3168/jds.2012-6123.

SPRECHER, D. J.; HOSTETLER, D. E.; KANEENE, J. B. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology*, v. 47, n. 6, p. 1179–1187, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00098-8). Acesso em: 04 abr. 2025.

UFG. *Uso da terapia celular em lesões digitais induzidas por acidose ruminal em bovinos*. 2012. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/teseserver/api/core/bitstreams/1c4fdc94-b79f-486c-b568-67eb2e0d1595/content>. Acesso em: 2 jun. 2025.

UFRGS. *Transtornos metabólicos nos animais domésticos*. 2. ed. 2014. Disponível em: [https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wpcontent/uploads/2022/07/transtornos\\_metabolicos\\_ufrgs2014.pdf](https://www.ufrgs.br/lacvet/site/wpcontent/uploads/2022/07/transtornos_metabolicos_ufrgs2014.pdf). Acesso em: 2 jun. 2025.

VAN METRE, D. C.; *et al.* Lameness in dairy cattle: Pathogenesis, prevention and treatment. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, v. 21, n. 2, p. 471–496, 2005.

WATTIAUX, M. A. Milk urea nitrogen (MUN) as a management tool. *University of Wisconsin Extension*, 1996. Disponível em: <https://dairy.extension.wisc.edu/articles/milk-urea-nitrogen-mun-as-a-management-tool/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

WHAY, H. R. *et al.* Assessment of the welfare of dairy cattle using animal-based measurements: direct observations and scoring of locomotion, body condition, and behavior. *Animal Welfare*, Potters Bar, v. 12, n. 4, p. 565–576, 2003.

ZEBELI, Q.; METZLER-ZEBELI, B. U. Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation in dairy cattle. *Research in Veterinary Science*, v. 93, n. 3, p. 1099–1108, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2012.05.004>. Acesso em: 04 abr. 2025.