

Campus Cacoal
Coordenação do Curso Zootecnia

LUANA ALCANTARA ROCKER

TÍTULO:

**GERMEN DE MILHO COMO ALTERNATIVA ESTRATEGICA NA DIETA DE
VACAS LEITEIRAS EM RONDONIA: REVISAO SISTEMATICA DE LITERATURA
CIENTIFICA**

CACOAL

2026

LUANA ALCANTARA ROECKER

TÍTULO:

**GERMEN DE MILHO COMO ALTERNATIVA ESTRATEGICA NA DIETA DE
VACAS LEITEIRAS EM RONDONIA: REVISAO SISTEMATICA DE LITERATURA
CIENTIFICA**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Cacoal, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado, junto ao Curso Zootecnia sob a orientação do professor Dr Henrique Silva Sérvio

CACOAL
2026

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO.

Roecker, Luana Alcantara.

Gérmen de milho como alternativa estratégica na dieta de vacas leiteiras em Rondônia: revisão sistemática da literatura científica / Luana Alcantara Roecker. - Cacoal, 2026.
23 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Henrique Silva Sérvio.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Cacoal, 2026.

1. Coprodutos. 2. Lactação. 3. Nutrição animal. 4. Ruminantes. I. Sérvio, Henrique Silva (orient.). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. III. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Priscila Gomes de Sousa, CRB-11/1121

LUANA ALCANTARA ROECKER

TÍTULO:

**GERMEN DE MILHO COMO ALTERNATIVA ESTRATEGICA NA DIETA DE
VACAS LEITEIRAS EM RONDONIA: REVISAO SISTEMATICA DE LITERATURA
CIENTIFICA**

Artigo entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus Cacoal*, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharelado junto ao Curso Zootecnia, sob a orientação do professor Dr Henrique Silva Sérvio

Aprovado em: 10/06/2026 aprovado pelo Colegiado do Curso de Bacharelado em Zootecnia, conforme ATA DE REUNIÃO 3057041 sendo realizada dispensa de defesa pública conforme Resolução no 28/REIT-CONSUP/IFRO, de 04 de abril de 2025



Documento assinado digitalmente

HENRIQUE SILVA SERVIO

Data: 01/07/2026 09:49:47-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr Henrique Silva Sérvio

Gérmen de milho como alternativa estratégica na dieta de vacas leiteiras em Rondônia: revisão sistemática da literatura científica

Corn germ as a strategic alternative in the diet of dairy cows in Rondônia: a systematic review of the scientific literature

Germen de maíz como alternativa estratégica en la dieta de vacas lecheras en Rondônia: revisión sistemática de la literatura científica

DOI: 10.34188/bjaerv9n2-108

Submitted: Mar 20th, 2026

Approved: Apr 2nd, 2026

Luana Alcantara Roecker

Bacharel em Zootecnia

Instituto Federal de Rondônia – Campus Cacoal

Cacoal, RO. Brasil

E-mail: luanaroecker123@gmail.com

Henrique Silva Sérvio

Doutor em Zootecnia

Instituto Federal de Rondônia – Campus Porto Velho-Calama

Porto Velho, RO. Brasil

E-mail: henrique.servio@ifro.edu.br

RESUMO

A substituição parcial do milho moído por gérmen de milho integral (FFCG) em dietas de vacas leiteiras tem sido proposta como estratégia nutricional para aumentar a eficiência alimentar e reduzir custos, especialmente em regiões tropicais como Rondônia. Esta revisão sistemática analisou estudos publicados entre 2015 e 2025 sobre os efeitos zootécnicos e metabólicos da inclusão de FFCG na alimentação de vacas leiteiras. Foram incluídos sete estudos que avaliaram parâmetros como digestibilidade, consumo, produção e composição do leite, além de metabólitos sanguíneos. Os resultados indicaram que inclusões de até 50% de FFCG proporcionam aumento na produção de leite (até 25,5 kg/dia), na eficiência alimentar, com manutenção da digestibilidade e estabilidade metabólica. Entretanto, níveis superiores (75–100%) estiveram associados à redução no consumo de matéria seca, digestibilidade, sólidos do leite e aumento significativo no colesterol sérico. O perfil nutricional do FFCG — mais proteico, lipídico e fibroso que o milho — exige formulações específicas e equilíbrio com ingredientes fermentáveis. Conclui-se que o FFCG pode substituir o milho com segurança e benefícios até 50% da dieta total, sendo necessário cautela em inclusões superiores. Novos estudos devem explorar aspectos reprodutivos, genéticos e de viabilidade econômica.

Palavras-chave: coprodutos, lactação, nutrição animal, ruminantes

ABSTRACT

The partial replacement of ground corn with full-fat corn germ (FFCG) in dairy cow diets has been proposed as a nutritional strategy to enhance feed efficiency and reduce costs, particularly in tropical regions such as Rondônia. This systematic review analyzed studies published between 2015 and 2025 regarding the zootechnical and metabolic effects of including FFCG in dairy cow diets. Seven

studies were included, evaluating parameters such as digestibility, intake, milk yield and composition, as well as blood metabolites. Results indicated that inclusion levels up to 50% of FFCCG promote increased milk production (up to 25.5 kg/day), improved feed efficiency, while maintaining digestibility and metabolic stability. However, higher inclusion levels (75–100%) were associated with decreased dry matter intake, nutrient digestibility, milk solids content, and a significant increase in serum cholesterol. The nutritional profile of FFCCG—richer in protein, lipids, and fiber than corn grain—requires specific formulations and a proper balance with fermentable ingredients. It is concluded that FFCCG can safely and effectively replace corn grain up to 50% of the total diet, with caution advised at higher inclusion rates. Future research should explore reproductive performance, genetic variability, and the economic feasibility of FFCCG use.

Keywords: byproducts, lactation, animal nutrition, ruminants

RESUMEN

La sustitución parcial del maíz molido por germen de maíz integral (FFCCG) en dietas de vacas lecheras ha sido propuesta como una estrategia nutricional para mejorar la eficiencia alimentaria y reducir costos, especialmente en regiones tropicales como Rondônia. Esta revisión sistemática analizó estudios publicados entre 2015 y 2025 sobre los efectos zootécnicos y metabólicos de la inclusión de FFCCG en la alimentación de vacas lecheras. Se incluyeron siete estudios que evaluaron parámetros como digestibilidad, consumo de materia seca, producción y composición de la leche, así como metabolitos sanguíneos. Los resultados indicaron que niveles de inclusión de hasta 50% de FFCCG incrementan la producción de leche (hasta 25,5 kg/día) y la eficiencia alimentaria, manteniendo la digestibilidad y la estabilidad metabólica. Sin embargo, niveles más altos (75–100%) se asociaron con una reducción en el consumo de materia seca, digestibilidad, sólidos lácteos y un aumento significativo del colesterol sérico. El perfil nutricional del FFCCG—más rico en proteínas, lípidos y fibra que el maíz—requiere formulaciones dietéticas específicas y un adecuado equilibrio con ingredientes fermentables. Se concluye que el FFCCG puede sustituir al maíz de forma segura y con beneficios hasta un 50% de la dieta total, siendo necesaria precaución en niveles superiores. Se requieren nuevos estudios que exploren aspectos reproductivos, genéticos y de viabilidad económica.

Palabras clave: coproductos, lactación, nutrición animal, rumiantes

1 INTRODUÇÃO

A produção leiteira é uma das principais atividades agropecuárias de Rondônia, exercendo papel estratégico na geração de renda rural, sobretudo entre pequenos e médios produtores em sistemas de agricultura familiar. Dados do Anuário do Leite 2024 indicam que o estado produziu aproximadamente 655,8 milhões de litros em 2021, representando 1,89% da produção nacional, e registrou 564 milhões de litros de leite inspecionado em 2022, com crescimento de 10,1% em relação ao ano anterior (EMBRAPA, 2024).

Apesar desses avanços, o rebanho leiteiro tem apresentado queda contínua, passando de 3,38 milhões em 2019 para 2,85 milhões em 2023, o que representa uma redução de 15,8% no período, segundo o Relatório da Agência de Defesa Sanitária Agropecuária de Rondônia (2024). Em contraste, o rebanho de corte teve expansão de 39,75% entre 2018 e 2023, atingindo mais de 15,3

milhões de cabeças e respondendo por 84,27% do rebanho total de bovídeos no estado. Esse cenário sugere uma progressiva conversão produtiva da pecuária leiteira para a pecuária de corte, impulsionada possivelmente por fatores como maior rentabilidade do boi gordo, menor exigência de manejo técnico e custos reduzidos com alimentação e mão de obra especializada (IDARON, 2024).

Além disso, o clima tropical úmido de Rondônia — com alta pluviosidade e umidade relativa — impõe desafios à conservação de volumosos e à estabilidade de rações convencionais como milho e farelo de soja, elevando os custos de produção. Com média de 160 cabeças de bovídeos por propriedade em 2023 e 113 mil propriedades com bovinos no estado, a adoção de estratégias alimentares mais eficientes, como o uso de subprodutos agroindustriais regionais (ex: gérmen de milho), pode representar uma oportunidade para reverter a tendência de declínio da atividade leiteira, especialmente entre produtores familiares.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática da literatura científica para avaliar os efeitos zootécnicos, nutricionais e metabólicos da substituição do milho moído pelo gérmen de milho em dietas de vacas leiteiras, com foco em variáveis como consumo de matéria seca, digestibilidade dos nutrientes, produção e composição do leite, eficiência alimentar e parâmetros bioquímicos sanguíneos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão sistemática identificou, selecionou e analisou criticamente estudos publicados entre 2015 e 2025 (últimos 10 anos) que investigaram os efeitos da inclusão de gérmen de milho na alimentação de vacas leiteiras. A condução da revisão seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page *et al*, 2020), com adaptações pertinentes ao escopo da pesquisa em nutrição animal.

As buscas foram realizadas entre janeiro e julho de 2025 nas seguintes bases de dados científicas: PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO, Google Scholar e no repositório da Embrapa (BDPA). Foram utilizados descritores em português e inglês, combinados com operadores booleanos. As principais expressões de busca aplicadas incluíram: “corn germ” AND “dairy cows”, “corn germ” AND “milk production”, “gérmen de milho” AND “vacas leiteiras” e “gérmen de milho” AND “produção de leite”. A estratégia de busca foi adaptada a cada base, considerando as especificidades de indexação e idioma.

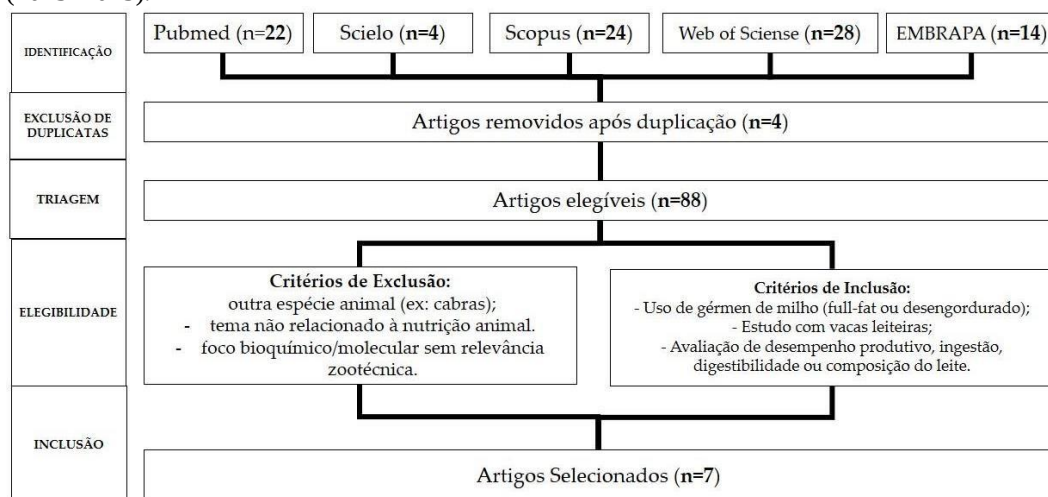
Os critérios de inclusão abrangeram estudos originais com vacas leiteiras submetidas a dietas contendo gérmen de milho integral ou desengordurado, com avaliação de pelo menos uma variável zootécnica ou nutricional, como consumo de matéria seca, digestibilidade, produção e composição

do leite, parâmetros ruminais ou eficiência alimentar. Apenas estudos com delineamento experimental claro, publicados em periódicos com revisão por pares e com acesso ao texto completo foram considerados. Foram excluídos estudos que utilizaram outras espécies (como cabras, cordeiros ou camelas), trabalhos com ingredientes distintos do gérmen de milho (ex.: glicerina, bagaço de cana de açúcar, palma forrageira entre outros), revisões narrativas, resumos de congresso, dissertações, teses, estudos puramente laboratoriais sem uso de animais e artigos duplicados entre bases.

O processo de triagem ocorreu em três etapas sucessivas: leitura dos títulos, leitura dos resumos e leitura integral dos textos potencialmente elegíveis. Dois revisores realizaram a triagem de forma independente, sendo as divergências resolvidas por consenso com um terceiro avaliador. Os dados extraídos dos artigos incluíram: autoria, ano de publicação, país, tipo de gérmen de milho utilizado, categoria animal, proporção de inclusão do ingrediente na dieta, variáveis avaliadas e principais achados.

Ao final da triagem, foram identificados 88 artigos, dos quais 7 atenderam integralmente aos critérios de inclusão e foram incorporados à revisão e 81 foram excluídos com base nos critérios previamente definidos (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma do processo de triagem e seleção de estudos incluídos na revisão sistemática, conforme protocolo PRISMA (2015–2025).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Como se trata de uma revisão sistemática baseada em dados secundários já publicados, esta pesquisa não exigiu aprovação por comitê de ética. Todas as informações extraídas estão arquivadas em planilha eletrônica e poderão ser disponibilizadas aos editores e revisores mediante solicitação.

3 RESULTADOS

3.1 ESTUDOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA

Foram incluídos sete estudos científicos na revisão sistemática, com publicações compreendidas entre os anos de 2015 e 2024. A maioria dos trabalhos foi conduzida no Brasil, enquanto dois estudos foram realizados no Irã, evidenciando o interesse internacional pelo uso do gérmen de milho na alimentação de vacas leiteiras. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos estudos de acordo com a autoria, país de origem, tipo de gérmen de milho utilizado, categoria animal avaliada, proporção de inclusão na dieta e variáveis investigadas.

Tabela 1. Estudos incluídos na revisão sistemática: autoria, origem, tipo de gérmen de milho e variáveis avaliadas

Autoria (Ano)	Título do artigo	País	Tipo de Gérmen	Categoria animal	Inclusão de Germen (%)	Variáveis avaliadas
Silva et al. (2023)	Exogenous amylase increases gas production...	Brasil	FFCG	Não se aplica (in vitro)	0, 25, 50, 75, 100	Digestibilidade in vitro, produção de gases
Ferreira et al. (2015)	Site and extent of amino acid digestion...	Brasil	Gérmen de milho desengordurado	Vacas Holandesas	100	Digestão ruminal, intestinal e total de aminoácidos
Netto et al. (2023)	Full-fat corn germ in diets for dairy cows...	Brasil	FFCG	Vacas Holandesas	0 a 100	Consumo, digestibilidade, produção e composição do leite
Noormohammadi et al. (2022)	Feeding corn germ instead of corn grain...	Irã	Gérmen de milho desengordurado	Vacas Holandesas	100	Consumo, produção de leite, eficiência alimentar humana
da Silva et al. (2023)	Nutritional quality of milk fat from cows...	Brasil	FFCG	Vacas Girolando	0 a 100	Perfil de ácidos graxos do leite
Erfani et al. (2024)	Effects of complete substitution of dietary grain...	Irã	Subprodutos à base de gérmen de milho	Vacas Holandesas	100	Produção e metabolismo sob estresse térmico
da Silva et al. (2024)	Full-fat corn germ improves the performance...	Brasil	FFCG	Vacas Girolando	0 a 100	Produção de leite, gordura e desempenho

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Quanto ao tipo de ingrediente avaliado, quatro estudos utilizaram o gérmen de milho full-fat (FFCG) conhecido no Brasil por gérmen de milho integral, enquanto três trabalhos investigaram o gérmen desengordurado ou subprodutos à base de gérmen de milho. As categorias animais avaliadas foram predominantemente vacas leiteiras da raça Holandesa e Girolando, com exceção de um estudo que não especificou o grupo racial por ter sido realizado testes in vitro. As proporções de inclusão do gérmen de milho nas dietas variaram de 0 a 100%, refletindo diferentes estratégias de substituição do milho convencional.

As variáveis mais frequentemente analisadas envolveram indicadores de desempenho produtivo, como produção e composição do leite, consumo alimentar, digestibilidade de nutrientes, perfil de ácidos graxos do leite e digestão de aminoácidos. Adicionalmente, parâmetros bioquímicos

sanguíneos e produção de gordura também foram abordados em alguns estudos.

Essa diversidade de abordagens demonstra a abrangência dos efeitos potenciais da substituição do milho pelo gérmen de milho na nutrição de vacas leiteiras, tanto sob a perspectiva de desempenho zootécnico quanto de implicações ambientais e metabólicas.

3.2 COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA MÉDIA DO GÉRMEN DE MILHO EM COMPARAÇÃO AO MILHO COMUM

A comparação entre a composição bromatológica média do gérmen de milho e do milho comum permite observar tendências importantes no perfil nutricional desses ingredientes (Tabela 2).

Tabela 2. Composição bromatológica média do gérmen de milho em comparação ao milho comum (g/kg de matéria seca).

Composição bromatológica	Milho comum	Gérmen de Milho
Matéria seca (g/kg)	870,0	930,7
Matéria orgânica (g/kg)	980,0	932,7
Extrato etéreo (g/kg)	40,0	117,9
Proteína bruta (g/kg)	80,0	139,7
FDN (g/kg)	220,0	372,8
Carboidratos não fibrosos (g/kg)	660,0	413,6
Nutrientes digestíveis totais (g/kg)	840,0	728,1
Ácidos graxos totais (g/kg)	35,0	61,3
C16:0 (g/kg)	12,0	9,85
C18:0 (g/kg)	1,0	2,6
C18:1 cis-9 (g/kg)	15,0	28,9
C18:2 n-6 (g/kg)	20,0	18,4
C18:3 n-3 (g/kg)	1,0	1,4

Obs: C16:0 (ácido palmítico), C18:0 (ácido esteárico), C18:1 cis-9 (ácido oleico), C18:2 n-6 (ácido linoleico), C18:3 n-3 (ácido α -linolênico).

Fonte: Os valores referentes ao gérmen de milho representam a média dos estudos incluídos. Os valores do milho comum foram obtidos de fontes de literatura padrão adaptado de Valadares Filho *et al*, NRC, 2001.

De modo geral, o gérmen de milho apresenta maiores teores médios de matéria seca (930,7 g/kg), extrato etéreo (117,9 g/kg) e proteína bruta (139,7 g/kg), quando comparado ao milho comum. Esses valores sugerem um potencial energético e proteico mais elevado no gérmen de milho, especialmente pela presença acentuada de lipídios.

Observa-se ainda um maior teor de fibra em detergente neutro (FDN) no gérmen de milho (372,8 g/kg), o que indica uma fração fibrosa mais expressiva, em contraste com a menor concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) (413,8 g/kg), quando comparado ao milho (660,0 g/kg). Essa diferença pode impactar a dinâmica de fermentação ruminal e a produção de ácidos graxos voláteis.

Em relação ao teor de ácidos graxos totais, o gérmen de milho mostra uma concentração

média superior (61,3 g/kg) em comparação ao milho comum (35,0 g/kg). Destaca-se o ácido oleico (C18:1 cis-9), cuja média foi cerca de 28,9 g/kg no gérmen de milho, valor consideravelmente mais alto que o observado no milho comum (15,0 g/kg). Também foram encontrados teores levemente mais elevados de ácido α -linolênico (C18:3 n-3) no gérmen (1,4 g/kg vs. 1,0 g/kg). Por outro lado, o ácido palmítico (C16:0) teve média ligeiramente inferior no gérmen (9,85 g/kg) em relação ao milho (12,0 g/kg).

Essas tendências indicam que o gérmen de milho possui perfil bromatológico mais concentrado em nutrientes energéticos e proteicos, além de conter uma fração lipídica com maior teor de ácidos graxos insaturados. Tais características nutricionais reforçam seu potencial como ingrediente funcional em dietas de vacas leiteiras, especialmente quando se objetiva elevar a densidade energética e modular o perfil de gordura do leite.

3.3 DIGESTIBILIDADE POR NÍVEL DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO

A Tabela 3 apresenta os valores médios consolidados da digestibilidade aparente no trato total de vacas leiteiras alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de inclusão de gérmen de milho integral (FFCG). As dietas analisadas foram isoenergéticas e isoproteicas, variando apenas na fonte energética (milho comum vs. FFCG), o que permite observar tendências associadas à substituição parcial ou total do milho convencional.

Tabela 3. Digestibilidade por nível de inclusão de gérmen de milho, com dados consolidados dos estudos incluídos.

Variáveis	Níveis de inclusão do gérmen de milho integral (FFCG)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Digestibilidade da MS (%)	73,6	72,5	71,8	70,9	70,1
Digestibilidade da MO (%)	75,6	74,2	73,0	72,0	71,0
Digestibilidade da PB (%)	74,8	74,6	74,3	74,0	73,7
Digestibilidade da FDN (%)	59,1	59,0	58,8	58,6	58,4
Digestibilidade da FDA (%)	57,2	57,1	57,0	56,8	56,5
Digestibilidade do EE (%)	72,0	77,5	82,0	86,0	89,0
Digestibilidade dos NFC (%)	91,0	89,5	88,0	86,0	84,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

De maneira geral, observa-se uma tendência de redução gradual da digestibilidade da matéria seca (MS) à medida que aumenta o nível de inclusão do FFCG na dieta, passando de 73,6% (0%) para 70,1% (100%). Tendência semelhante foi observada para a digestibilidade da matéria orgânica (MO), que variou de 75,6% para 71,0%, e para a digestibilidade da proteína bruta (PB), que passou de 74,8% para 73,7%.

A digestibilidade das frações fibrosas, como FDN e FDA, também apresentou tendência de queda com o aumento da inclusão do FFCG. A digestibilidade da FDN variou de 59,1% (0%) para 58,4% (100%), enquanto a da FDA passou de 57,2% para 56,5%. Tais resultados podem estar

associados ao maior teor de fibra total no gérmen de milho e à possível interferência dos lipídios na fermentação ruminal da fibra.

Em relação ao extrato etéreo (EE), observa-se um aumento moderado na digestibilidade, que passou de 72,0% para 89,0% entre os extremos de inclusão. Por outro lado, os carboidratos não fibrosos (NFC) apresentaram os maiores valores de digestibilidade entre todas as frações, mesmo com a inclusão do FFCG, variando de 91,0% (0%) para 84,0% (100%).

Essas tendências sugerem que, embora o gérmen de milho apresenta elevado teor energético, sua inclusão crescente na dieta pode estar associada a reduções na digestibilidade de diferentes frações alimentares, possivelmente devido à interação entre lipídios e fibra no rúmen. No entanto, os efeitos observados nas médias não impedem seu uso estratégico, especialmente quando o objetivo é modular o perfil lipídico da dieta ou reduzir custos com fontes convencionais de energia.

3.4 CONSUMO E DESEMPENHO PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES NÍVEIS DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO NAS DIETAS

A Tabela 4 apresenta os valores médios consolidados de consumo e desempenho produtivo de vacas leiteiras submetidas a dietas com diferentes níveis de substituição do milho convencional pelo gérmen de milho integral (FFCG). As dietas variaram de 0% a 100% de inclusão de FFCG, mantendo-se isoenergéticas e isoproteicas.

Tabela 4. Dados de consumo e desempenho produtivo de vacas leiteiras em função dos diferentes níveis de inclusão de gérmen de milho nas dietas (% de substituição do milho). Os valores representam médias estimadas a partir dos estudos incluídos.

Variáveis	Níveis de inclusão do gérmen de milho integral (FFCG)			
	0%	25%	50%	100%
Consumo de MS (Kg/dia)	23,7	22,9	22,0	21,0
Consumo de EE (g/dia)	326	650	980	1512
Produção de leite (Kg/dia)	23,8	24,7	25,5	23,7
Leite corrigido para gordura (FCM, Kg/dia)	23,0	24,2	25,0	22,5
Eficiência alimentar (Kg de leite/Kg MS)	1,0	1,1	1,2	1,1

Obs: MS: matéria seca; EE: extrato etéreo; FCM: leite corrigido para 3,5% de gordura. Os dados representam valores médios consolidados de consumo e desempenho produtivo de vacas leiteiras em diferentes níveis de substituição do milho pelo gérmen de milho integral (FFCG). Os dados consolidados referem-se a vacas Holandesas e Girolando, conforme descrito nos estudos analisados.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Observa-se uma tendência de redução no consumo de matéria seca (MS) com o aumento da inclusão do FFCG na dieta, passando de 23,7 kg/dia (0%) para 21,0 kg/dia (100%). Em contrapartida, o consumo de extrato etéreo (EE) aumentou de forma expressiva à medida que o nível de substituição aumentou, alcançando 1512 g/dia na inclusão total do FFCG — valor mais de quatro vezes superior ao consumo observado na dieta controle (326 g/dia).

Quanto à produção de leite, os dados sugerem uma leve elevação com a substituição parcial do milho, com pico observado na inclusão de 50% do FFCG (25,5 kg/dia), seguido por uma leve redução nas inclusões superiores, atingindo 23,7 kg/dia na inclusão total. Tendência semelhante foi observada para o leite corrigido para gordura (FCM), que variou de 23,0 kg/dia (0%) a 25,0 kg/dia (50%), antes de retornar a 22,5 kg/dia (100%).

A eficiência alimentar (kg de leite por kg de MS consumida) manteve-se relativamente estável, com leve incremento entre 25% e 75% de inclusão (1,2 kg de leite/kg MS), e discreta redução na inclusão total (1,1 kg de leite/kg MS).

Esses resultados sugerem que níveis intermediários de inclusão do FFCG (até 50%) podem ser vantajosos para o desempenho produtivo, possivelmente em função do maior aporte energético via lipídios. No entanto, níveis elevados de substituição podem levar à redução do consumo de matéria seca e, conseqüentemente, da produção de leite, o que deve ser considerado na formulação de dietas balanceadas para vacas leiteiras.

3.5 COMPOSIÇÃO DO LEITE POR NÍVEL DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO

A Tabela 5 apresenta os valores médios consolidados da composição do leite de vacas leiteiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão de gérmem de milho integral (FFCG) na dieta. As análises consideraram vacas das raças Holandesa e Girolando em lactação, conforme descrito nos estudos incluídos na revisão.

Tabela 5. Composição do leite por nível de inclusão de gérmem de milho, consolidada com base nos principais estudos incluídos.

Variáveis	Níveis de inclusão do gérmem de milho integral (FFCG)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Gordura (%)	3,49	3,32	3,10	2,85	2,23
Proteína (%)	3,18	3,20	3,14	3,00	3,09
Lactose (%)	4,77	4,80	4,81	4,78	4,75
Sólidos totais (%)	12,55	12,48	12,30	12,10	11,95

Obs: Valores médios consolidados da composição do leite de vacas leiteiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão de gérmem de milho integral (FFCG) na dieta. Incluem-se vacas das raças Holandesa e Girolando, em lactação, conforme os estudos analisados. FFCG: Full-fat corn germ (gérmem de milho integral); Sólidos totais: soma dos componentes do leite (gordura, proteína, lactose, minerais).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Observa-se uma tendência de redução no teor de gordura do leite à medida que se eleva o nível de inclusão do FFCG, passando de 3,49% na dieta controle (0%) para 2,23% com 100% de substituição do milho. Essa redução pode estar relacionada ao impacto dos ácidos graxos insaturados do gérmem de milho sobre a bio-hidrogenação ruminal e o metabolismo lipídico.

Os teores de proteína do leite mantiveram-se relativamente estáveis entre 3,09% e 3,20%, sem apresentar tendência clara de aumento ou redução associada ao nível de FFCG na dieta. Da

mesma forma, os valores de lactose oscilaram ligeiramente entre os tratamentos, com médias variando de 4,75% a 4,81%, indicando pouca influência da substituição do milho sobre essa fração.

Quanto ao conteúdo de sólidos totais, observou-se uma tendência de declínio conforme aumentou a inclusão do FFCG: de 12,55% (0%) para 11,95% (100%). Essa diminuição está associada principalmente à redução no teor de gordura do leite.

De forma geral, os dados indicam que a inclusão crescente de gérmen de milho integral pode modificar a composição do leite, especialmente em relação ao conteúdo lipídico e à concentração de sólidos totais. No entanto, os efeitos sobre proteína e lactose foram pouco expressivos, o que sugere que o FFCG pode ser utilizado com certo equilíbrio, desde que se monitorem os impactos sobre a qualidade físico-química do leite.

3.6 METABÓLITOS SANGUÍNEOS POR NÍVEL DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO

A Tabela 6 apresenta os valores médios consolidados dos principais metabólitos sanguíneos de vacas leiteiras alimentadas com diferentes níveis de inclusão de gérmen de milho integral (FFCG) nas dietas. Os dados foram obtidos a partir de estudos que envolveram vacas Holandesas e Girolando, em lactação, sob diferentes condições alimentares e ambientais, incluindo dietas com baixa forragem e cenários de estresse térmico.

Tabela 6. Metabólitos sanguíneos por nível de inclusão de gérmen de milho, consolidada a partir dos estudos revisados.

Variáveis	Níveis de inclusão do gérmen de milho integral (FFCG)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Glicose (mg/dL)	60,2	61,0	60,8	60,5	60,0
Ureia (mg/dL)	17,5	17,3	17,1	16,8	16,7
Albumina (g/dL)	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6
Proteína Total (g/dL)	6,9	6,8	6,7	6,7	6,6
Colesterol (mg/dL)	130	160	190	220	260
Triglicerídeos (mg/dL)	12,0	12,4	12,8	13,1	13,3

Obs: Valores médios consolidados dos principais metabólitos sanguíneos de vacas leiteiras alimentadas com dietas contendo diferentes níveis de inclusão de gérmen de milho integral (FFCG). Incluem-se vacas das raças Holandesa e Girolando, em lactação, conforme descrito nos estudos analisados. FFCG: Full-fat corn germ (gérmen de milho integral). Os valores refletem resultados de experimentos conduzidos sob diferentes condições alimentares, incluindo dietas com baixa forragem e sob estresse térmico.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os níveis de glicose no sangue mantiveram-se relativamente constantes entre os tratamentos, com variações mínimas entre 60,0 e 61,0 mg/dL, não indicando alteração expressiva associada à inclusão do FFCG. De forma semelhante, os níveis médios de ureia oscilaram levemente, com tendência de discreta redução com a inclusão do gérmen de milho (de 17,5 para 16,7 mg/dL), o que pode estar relacionado ao perfil de fermentação ruminal e à disponibilidade de nitrogênio degradável.

Para a albumina, observou-se um leve aumento conforme aumentou a inclusão do FFCG,

com valores variando de 3,4 g/dL (0%) para 3,6 g/dL (100%). Já os teores de proteína total apresentaram valores estáveis entre os tratamentos (de 6,9 a 6,6 g/dL), sem tendência marcante de aumento ou redução.

O parâmetro com maior variação foi o colesterol, que apresentou tendência de elevação com o aumento da inclusão do FFCG, partindo de 130 mg/dL na dieta controle para 260 mg/dL na substituição total. Essa tendência possivelmente reflete o elevado teor de lipídios presentes no gérmen de milho e sua influência no metabolismo lipídico hepático.

Em relação aos triglicerídeos, observou-se um aumento moderado entre os níveis de inclusão, de 12,0 mg/dL (0%) para 13,3 mg/dL (100%), o que também pode estar associado à maior ingestão de ácidos graxos na dieta com FFCG.

De modo geral, os resultados indicam que a inclusão crescente do gérmen de milho não compromete os principais indicadores bioquímicos de saúde animal, embora apresente efeitos metabólicos compatíveis com maior oferta de lipídios, principalmente refletidos nos níveis de colesterol e triglicerídeos sanguíneos.

4 DISCUSSÃO

4.1 ESTUDOS INCLUÍDOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA

A análise bibliométrica dos sete estudos incluídos nesta revisão sistemática evidencia um predomínio da produção científica brasileira, reflexo da relevância do setor leiteiro nacional e da disponibilidade do gérmen de milho como subproduto da indústria nacional do óleo vegetal. A presença de estudos conduzidos no Irã (Noormohammadi *et al.*, 2022; Erfani *et al.*, 2024) reforça que o interesse por coprodutos do milho extrapola o contexto brasileiro e se insere em um debate internacional sobre sustentabilidade e eficiência alimentar.

Observa-se também um crescimento recente das publicações, com maior concentração de estudos entre os anos de 2022 e 2024. Tal tendência é coerente com o aumento do uso de resíduos e coprodutos na nutrição animal como estratégia de redução de custos e impactos ambientais, conforme destacado por Fávoro e Rech (2022) e Cabral *et al.* (2024).

Do ponto de vista metodológico, prevaleceram os estudos *in vivo* com vacas leiteiras das raças Holandesa e Girolando. Essa escolha favorece a aplicação prática dos resultados, ainda que restrinja a extrapolação para outras categorias zootécnicas. Um único estudo foi conduzido por meio de análises laboratoriais *in vitro*, evidenciando a complementaridade entre diferentes abordagens experimentais.

A diversidade metodológica se estende também ao tipo de ingrediente avaliado: quatro estudos investigaram o gérmen de milho integral (full-fat corn germ – FFCG), enquanto três

utilizaram formas desengorduradas ou subprodutos compostos. Tal variação, somada à ausência de padronização quanto ao processamento, unidades de inclusão e métodos de ensaio, limita a comparação direta entre os estudos. Essa limitação já foi destacada por da Silva *et al.* (2019), que apontam que a heterogeneidade metodológica em pesquisas com coprodutos dificulta a interpretação conjunta dos efeitos.

Outro fator metodológico relevante é a ampla faixa de inclusão do ingrediente nas dietas – variando de 0 a 100% de substituição do milho convencional –, o que embora amplie a compreensão dos efeitos dose-resposta, também dificulta a síntese comparativa dos resultados. Assim, destaca-se a importância de delineamentos experimentais mais uniformes e detalhadamente reportados, como preconizado por Moher *et al.* (2009) nas diretrizes PRISMA para revisões sistemáticas.

4.2 COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA MÉDIA DO GÉRMEN DE MILHO EM COMPARAÇÃO AO MILHO COMUM

A comparação entre o germen de milho (GM) e o milho comum (Tabela 2) revela alterações significativas na qualidade nutricional da dieta, com implicações diretas na formulação, no metabolismo e nos produtos finais da cadeia leiteira. A substituição do milho grão por GM representa não apenas uma troca de ingrediente energético, mas uma modificação estrutural da dieta, exigindo nova lógica nutricional.

Do ponto de vista proteico e lipídico, o GM apresenta um perfil que o aproxima mais de coprodutos proteicos e oleaginosos do que dos concentrados energéticos tradicionais. Isso altera a proporção energia:proteína da dieta e, conforme destacado por Noormohammadi *et al.* (2022), exige ajustes finos em ingredientes complementares como soja extrusada ou polpa de beterraba para evitar desequilíbrios nutricionais ou excesso de energia de origem lipídica, o que pode comprometer a ingestão e a eficiência de utilização dos nutrientes.

A maior concentração de lipídios, especialmente de ácidos graxos insaturados como o oleico (C18:1 cis-9) e linoleico (C18:2 n-6), confere ao GM potencial funcional adicional. Tais ácidos estão associados à melhoria do perfil lipídico do leite e podem modular a síntese de ácidos graxos de novo na glândula mamária, como também sugerido por Cabral *et al.* (2024). Entretanto, sua inclusão deve ser feita com cautela, dado o risco de inibição da fermentação ruminal de fibras em níveis elevados, especialmente quando não protegidos da biohidrogenação.

Outro ponto crítico refere-se à menor concentração de carboidratos não fibrosos (CNF) no GM em relação ao milho, o que implica em menor suprimento de substrato fermentável rapidamente disponível no rúmen. Isso pode impactar negativamente a produção de ácidos graxos voláteis, em especial o propionato, e comprometer a eficiência energética da dieta se não for adequadamente

compensado com outros ingredientes, conforme também alertado por Weiss e Tebbe (2019) ao discutirem a importância do balanço entre fontes energéticas digestíveis.

Essas características colocam o GM em uma posição intermediária entre alimentos energéticos convencionais e coprodutos proteicos e fibrosos, exigindo estratégias de formulação que considerem sua variabilidade composicional, como discutido por Sowjanya Lakshmi *et al.* (2017). A adoção do GM como ingrediente funcional requer, portanto, abordagem nutricional personalizada, respeitando seus limites de inclusão, associação com outros ingredientes e o perfil produtivo dos animais.

Dessa forma, a substituição do milho pelo GM não deve ser tratada como simples substituição isoenergética, mas como uma intervenção nutricional complexa, com efeitos potenciais sobre o desempenho animal, composição do leite e eficiência alimentar. Pesquisas futuras devem se concentrar na definição de níveis ótimos de inclusão para diferentes categorias zootécnicas, bem como no desenvolvimento de tecnologias de proteção lipídica e avaliação dos impactos zootécnicos e ambientais do uso prolongado desse coproduto.

4.3 DIGESTIBILIDADE POR NÍVEL DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO

A inclusão progressiva de gérmen de milho integral (FFCG) na dieta de vacas leiteiras demonstrou efeitos distintos sobre a digestibilidade dos nutrientes, com destaque para o comportamento da digestibilidade dos carboidratos não fibrosos (NFC) e do extrato etéreo (EE). Esses efeitos não se manifestaram de forma uniforme para todos os nutrientes, o que evidencia interações complexas entre o tipo de substrato, o perfil lipídico da dieta e o ambiente ruminal.

Como destacado por da Silva *et al.* (2024), observou-se declínio linear na digestibilidade dos NFC com o aumento da inclusão de FFCG. Esse efeito está diretamente relacionado à menor concentração de carboidratos fermentáveis presentes no gérmen de milho, conforme também discutido por Netto *et al.* (2022). A redução na disponibilidade de NFC limita a produção de propionato e pode comprometer o balanço energético da dieta quando não compensada por outros ingredientes ricos em amido de rápida fermentação.

Em contraste, a digestibilidade do EE apresentou comportamento linear crescente, conforme observado na Tabela 3. Esse padrão pode ser explicado pela maior oferta de ácidos graxos insaturados promovida pelo FFCG e pelo possível escape parcial desses compostos da biohidrogenação ruminal. Como sugerem da Silva *et al.* (2024), parte da gordura do FFCG pode estar fisicamente protegida, elevando o fluxo de lipídios ao intestino delgado, onde sua digestão depende da emulsificação e absorção — processos que, até certo ponto, são favorecidos pela maior concentração lipídica da dieta. Essa hipótese é corroborada por Shpirer *et al.* (2023), que

demonstraram maior digestibilidade de ácidos graxos em suplementos com lipídios protegidos.

No que tange à digestibilidade da fibra (FDN e FDA), observa-se relativa estabilidade mesmo com o aumento da inclusão de FFCG. Essa manutenção da digestão de fibra contraria resultados de outros estudos que relataram efeitos negativos da inclusão de lipídios insaturados sobre a atividade microbiana celulolítica (Rodrigues *et al.*, 2017; Maia *et al.*, 2010). Uma possível explicação para essa estabilidade vem do trabalho de da Silva *et al.* (2024), no qual o uso de bagaço de cana como fonte de fibra fisicamente eficaz — associado a menores teores de NFC — parece ter contribuído para manter um ambiente ruminal mais estável, preservando a ação microbiana mesmo diante do aumento da fração lipídica da dieta.

A manutenção da digestibilidade da MS, MO e PB também reforça o potencial técnico do FFCG como ingrediente alternativo, desde que sua inclusão seja feita com formulação estratégica. Esses nutrientes são menos sensíveis ao perfil lipídico da dieta, o que explica sua relativa estabilidade nos diferentes níveis testados.

De forma geral, os dados indicam que o FFCG pode ser utilizado sem comprometer a digestibilidade global da dieta, desde que haja atenção ao balanço entre fibra, amido e lipídios. Estudos futuros devem abordar de forma mais aprofundada a interação entre fontes de gordura insaturada e substratos fibrosos em diferentes tipos de forragem e níveis de produtividade, com foco na microbiota ruminal e na eficiência de absorção intestinal de nutrientes.

4.4 CONSUMO E DESEMPENHO PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS EM FUNÇÃO DOS DIFERENTES NÍVEIS DE INCLUSÃO DE GÉRME DE MILHO NAS DIETAS

A inclusão crescente de gérmen de milho integral (FFCG) promove alterações no consumo, na ingestão de lipídios e no desempenho produtivo de vacas leiteiras, com respostas que indicam comportamento não estritamente linear, porém com tendências bem definidas. Observa-se redução gradual no consumo de matéria seca (CMS), o que sugere efeito de maior densidade energética da dieta, reduzindo a necessidade de ingestão volumétrica para atendimento das exigências energéticas.

Entretanto, essa redução no CMS não é abrupta, sendo relativamente moderada ao longo dos níveis de inclusão. Esse comportamento está parcialmente alinhado aos achados de Noormohammadi *et al.* (2022), que observaram manutenção do consumo mesmo com aumento do teor lipídico da dieta (de 4,2% para 5,5%). Tal evidência reforça que o efeito do FFCG sobre o consumo depende do contexto nutricional da dieta, especialmente do balanço entre energia, fibra e estágio de lactação, contrariando parcialmente o modelo clássico descrito por NRC (2001) e Allen (2000), que prevê depressão do consumo em dietas com elevados teores de lipídios.

Como esperado, há aumento expressivo e praticamente linear no consumo de extrato etéreo

(EE). Esse incremento reflete diretamente o alto teor lipídico do ingrediente e representa uma mudança significativa no perfil energético da dieta.

Em relação ao desempenho produtivo, a produção de leite apresenta resposta quadrática, com incremento até o nível de 50% de substituição e posterior redução nos níveis mais elevados para 75% e 100%, respectivamente. Esse comportamento indica que níveis moderados de FFCG favorecem o desempenho produtivo, enquanto níveis mais altos podem comprometer a eficiência de utilização dos nutrientes. Esse padrão sugere a existência de um limiar fisiológico para utilização de lipídios na dieta, possivelmente relacionado à capacidade de digestão, absorção e metabolismo de ácidos graxos, conforme discutido por da Silva *et al.* (2024).

A eficiência alimentar acompanha parcialmente essa tendência, com aumento de entre 0% e 50% de inclusão, mantendo-se no nível de 75% e reduzindo na substituição total. Esse resultado indica que ganhos de eficiência ocorrem principalmente em níveis intermediários de inclusão, enquanto níveis extremos reduzem esse benefício.

O leite corrigido para gordura (FCM) também apresenta comportamento consistente com a produção de leite, com aumento até 50% de inclusão e redução nos níveis subsequentes. A queda mais acentuada no nível de 100% sugere possível impacto negativo sobre a síntese de gordura do leite, o que pode estar associado a alterações no metabolismo lipídico e na biohidrogenação ruminal, conforme descrito por Bauman & Griinari (2003).

Dessa forma, os dados indicam de forma consistente que a substituição parcial do milho por FFCG (25% a 50%) promove melhorias no desempenho produtivo e na eficiência alimentar, sem comprometer de forma relevante o consumo. Por outro lado, níveis elevados (acima de 75%) resultam em redução no consumo, na produção e no leite corrigido, evidenciando limitações fisiológicas e nutricionais para altas inclusões.

Futuras pesquisas devem aprofundar a compreensão das interações entre o FFCG e o ambiente ruminal, especialmente em relação ao metabolismo lipídico, à fermentação de carboidratos e às respostas em diferentes estágios de lactação, além de avaliar a variabilidade individual entre animais.

4.5 COMPOSIÇÃO DO LEITE POR NÍVEL DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO

A análise consolidada dos estudos demonstra que a inclusão crescente de FFCG afeta de forma complexa os componentes do leite (Tabela 5). Observa-se uma tendência de redução linear no teor de gordura e proteína do leite, especialmente em níveis superiores a 50% de substituição do milho, o que sugere ocorrência de respostas dose-dependentes negativas em altas inclusões.

No estudo de Silva *et al.* (2023), a inclusão de FFCG promoveu inicialmente um aumento

na produção e no teor de gordura do leite até 75% de inclusão, mas resultou em queda acentuada no grupo G100, composto por vacas Holandesas alimentadas com dietas à base de cana-de-açúcar fresca e palma forrageira. A queda no teor de gordura, de 3,49% para 2,23%, foi atribuída à síndrome da depressão da gordura do leite (MFD), provocada por alterações na biohidrogenação ruminal de ácidos graxos poli-insaturados, conforme discutido por Bauman e Griinari (2003) e Griinari *et al.* (1998).

Contudo, no mesmo estudo, quando Girolando foram alimentadas com dietas contendo bagaço de cana em substituição à cana fresca, o teor de gordura manteve-se em níveis superiores, mesmo com altas inclusões de FFCG. Tal resultado reforça a hipótese de que a qualidade e a efetividade física da fibra dietética modulam a resposta ruminal ao fornecimento de lipídios insaturados, como também descrito por Pessoa *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2007).

Em relação ao teor de proteína do leite, os dados indicam uma resposta quadrática, com redução até 75% de inclusão e leve recuperação em 100%, padrão igualmente observado por Silva *et al.* (2023). Essa flutuação pode ser explicada por efeitos de diluição associados à variação no volume de leite produzido, como também por impactos sobre a síntese microbiana de proteína no rúmen. A substituição de fontes de carboidratos fermentáveis por ingredientes ricos em lipídios pode reduzir a disponibilidade de energia para síntese microbiana, como descrito por Wu e Huber (1994), e comprometer o fornecimento de aminoácidos à glândula mamária.

A concentração de lactose manteve-se estável entre os tratamentos, o que era esperado, dado que esse componente está diretamente relacionado à osmolaridade do leite e menos influenciado pela composição da dieta. Da mesma forma, o teor de sólidos totais não apresentou variações significativas entre os níveis de FFCG, corroborando os resultados reportados por Silva *et al.* (2023), que não observaram efeito dos tratamentos sobre esse parâmetro.

Assim, os dados indicam que o uso de FFCG pode influenciar negativamente a composição do leite em altas inclusões, especialmente sobre gordura e proteína. A forma física da fibra, o perfil de ácidos graxos, o tipo de forragem e a raça dos animais são fatores-chave para modular essas respostas. Estudos futuros devem investigar a interação entre FFCG e diferentes tamponantes ruminais, estratégias de proteção lipídica e a variabilidade de resposta entre raças especializadas e cruzadas.

4.6 METABÓLITOS SANGUÍNEOS POR NÍVEL DE INCLUSÃO DE GÉRMEN DE MILHO

A avaliação dos metabólitos sanguíneos, conforme Tabela 6, permite inferir os efeitos fisiológicos da dieta sobre o metabolismo energético e proteico dos animais. Os resultados consolidados demonstram que a inclusão crescente de FFCG na dieta de vacas leiteiras teve efeito

discreto sobre a maioria dos parâmetros avaliados, com exceção do colesterol plasmático, que apresentou elevação consistente com o aumento da fração lipídica da dieta.

A estabilidade das concentrações de glicose, ureia, albumina e proteína total sugere que a substituição do milho pelo FFCG, mesmo em altos níveis, não comprometeu o balanço energético e proteico dos animais, corroborando os achados de Noormohammadi *et al.* (2022) e Abdelqader *et al.* (2009a, 2009b). A glicemia estável entre os tratamentos indica que o fornecimento energético via lipídios não impactou negativamente a gliconeogênese ou a oferta de glicose para síntese de lactose, dado que em vacas leiteiras a glicose é prioritariamente direcionada para a produção de leite.

A ausência de variações expressivas nos níveis plasmáticos de triglicerídeos também foi relatada por Noormohammadi *et al.* (2022), o que pode ser explicado pela rápida metabolização desses compostos nos tecidos periféricos e seu papel secundário na homeostase energética de ruminantes.

Em contraste, a concentração de colesterol plasmático aumentou de forma linear com o avanço da inclusão de FFCG (de 130 para 260 mg/dL), comportamento coerente com a literatura que associa dietas mais lipídicas ao aumento do colesterol sérico em ruminantes (Grummer e Carroll, 1991; Drackley *et al.*, 1992). A elevação do colesterol pode refletir maior disponibilidade de lipídios de origem dietética e a consequente necessidade de transporte desses compostos na forma de lipoproteínas.

A manutenção de parâmetros como glicose e NEFA (ácidos graxos não esterificados) nos estudos revisados sugere que, mesmo sob diferentes condições (como dietas de baixa forragem ou estresse térmico), o FFCG pode atuar como fonte energética segura, sem induzir mobilização excessiva de reservas corporais — um aspecto relevante para vacas em lactação precoce ou em ambientes desafiadores. Noormohammadi *et al.* (2022) destacam que o FFCG pode reduzir a mobilização de gordura corporal ao fornecer energia de forma mais densa e contínua, diferentemente do que se observa com dietas glucogênicas puras.

É importante ressaltar que as variações nas respostas metabólicas também podem ser moduladas por fatores como o nível produtivo das vacas, o estágio de lactação e as condições ambientais. Como observado por Abdelqader *et al.* (2009b), a elevação de NEFA em algumas situações pode ser decorrente não da mobilização lipídica excessiva, mas da ineficiência na captação periférica de ácidos graxos, particularmente em vacas de maior produção.

A interpretação dos metabólitos sanguíneos deve considerar o contexto do metabolismo energético de vacas leiteiras, especialmente no período de lactação, em que o balanço energético negativo pode comprometer o desempenho produtivo. Nessa condição, a mobilização de reservas

lipídicas resulta no aumento de ácidos graxos circulantes e na formação de corpos cetônicos, como o β -hidroxibutirato (BHB), caracterizando distúrbios metabólicos como a cetose. Embora o presente estudo não tenha observado alterações relevantes em glicose e ureia, a elevação do colesterol com o aumento da inclusão de FFCG sugere modificações no metabolismo lipídico que, em condições extremas, podem estar associadas a desafios metabólicos semelhantes aos descritos na literatura (Resende e Teixeira, 2026)

Assim, os dados sugerem que o FFCG pode ser utilizado como ingrediente energético funcional, promovendo incremento na concentração de colesterol sérico sem afetar negativamente outros indicadores metabólicos. Futuras investigações devem explorar os efeitos do FFCG sobre lipídios plasmáticos em diferentes fases da lactação e sob diferentes estratégias alimentares, incluindo interações com tamponantes, fibra fisicamente efetiva e fontes de carboidratos fermentáveis.

5 CONCLUSÃO

A substituição do milho moído por gérmen de milho integral (FFCG) em dietas de vacas leiteiras demonstrou resultados promissores até níveis de 50% de inclusão, com melhoras na produção de leite (até 25,5 kg/dia), teores de gordura (até 3,10%) e perfil de ácidos graxos, sem prejuízo à digestibilidade da matéria seca (710,8g/kg) ou à estabilidade metabólica. Em níveis mais altos (75% e 100%), observou-se tendência de redução no consumo, na digestibilidade (até 701 g/kg) e na produção de leite (até 23,7 kg/dia), além de aumento no colesterol sanguíneo (até 260 mg/dL). Apesar dos resultados promissores, esta revisão sistemática apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos dados. O número reduzido de estudos incluídos ($n = 7$) e a heterogeneidade metodológica entre eles — especialmente quanto ao tipo de gérmen de milho utilizado, níveis de inclusão, composição das dietas e condições experimentais — dificultam a comparação direta dos resultados e a extrapolação para diferentes sistemas de produção. Adicionalmente, a ausência de padronização nas variáveis avaliadas e a predominância de estudos conduzidos em condições específicas (como determinadas raças, ambientes ou estratégias alimentares) limitam a generalização dos achados. Outro ponto relevante é a escassez de estudos de longo prazo e de avaliações integradas envolvendo desempenho reprodutivo, saúde metabólica e viabilidade econômica. Dessa forma, recomenda-se cautela na aplicação prática dos resultados, sendo necessária a realização de pesquisas adicionais com delineamentos mais padronizados, maior número de animais e diferentes contextos produtivos.

REFERÊNCIAS

- ABDELQADER, M. et al. Isolipidic additions of fat from corn germ, corn distillers grains, or corn oil in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 11, p. 5523–5533, 2009a. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2224>.
- ABDELQADER, M. et al. Evaluation of corn germ from ethanol production as an alternative fat source in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 3, p. 1023–1037, 2009b. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1599>.
- BOER, H. et al. Effect of steam flaking, pelleting and extruding on the digestibility of maize and maize products in pigs and cattle. *Livestock Production Science*, v. 17, p. 137–150, 1987.
- CÁRDENAS, J. et al. Efecto de la substitución total del maíz por afrecho y germen desgrasado de maíz en vacas lecheras. *Zootecnia Tropical*, v. 20, n. 3, p. 305–318, 2002.
- DA SILVA, A. L. et al. Effect of full-fat corn germ in diets containing cactus and sugarcane bagasse on milk fatty acid profile and nutritional quality. *Tropical Animal Health and Production*, v. 55, n. 4, p. 345, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03795-3>.
- DA SILVA, M. S. et al. Full-fat corn germ improves performance and milk fat yield of Girolando cows fed sugarcane bagasse and cactus. *Tropical Animal Health and Production*, v. 56, n. 1, p. 6, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03951-9>.
- DRACKLEY, J. K. et al. Infusion of long-chain fatty acids varying in saturation and chain length into the abomasum of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 75, p. 1517–1526, 1992. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77908-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77908-2).
- ERFANI, Y. et al. Replacing all dietary grains with byproducts in dairy cows under moderate heat stress: effects on milk production and metabolism. *Livestock Science*, v. 284, p. 105329, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2024.105329>.
- FERREIRA, R. N. et al. Site and extent of amino acid digestion in dairy cattle fed with corn and its byproducts. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 1, p. 421–434, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n1p421>.
- GRUMMER, R. R.; CARROLL, D. J. Effects of dietary fat on metabolic disorders and reproductive performance of dairy cattle. *Journal of Animal Science*, v. 69, p. 3838–3852, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2527/1991.6993838x>.
- KNOWLTON, K. F. et al. Site of nutrient digestion in lactating cows fed corn of varying particle size. *Journal of Dairy Science*, v. 81, p. 574–582, 1998. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75509-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75509-2).
- NETTO, R. K. S. et al. Full-fat corn germ as an alternative to ground corn in diets for dairy cows. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 24, p. e002122, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-994020230002122>.
- NOORMOHAMMADI, S. et al. Use of full-fat corn germ in the diets of lactating Holstein cows: productive and economic performance and human-edible conversion efficiency. *Animal Feed*

Science and Technology, v. 290, p. 115419, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115419>.

PHILIPPEAU, C. et al. Influence of grain source and particle size on ruminal fermentation and starch digestion. *Journal of Dairy Science*, v. 82, p. 2386–2396, 1999. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75491-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75491-3).

RESENDE, G. A.; TEIXEIRA, L. X. Cetose metabólica em gado de leite holandês. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 1–10, 2026. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv9n1-132>

SILVA, T. S. et al. Nutritional evaluation of diets containing exogenous amylase in grain sorghum and corn for lactating dairy cows. *Livestock Science*, v. 266, p. 104789, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.104789>.

THEURER, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, v. 63, n. 5, p. 1649–1662, 1986. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351649x>.

VAN BARNEVELD, R. J. N. Understanding the nutritional chemistry of lupin (*Lupinus* spp.) seed to improve livestock production efficiency. *Nutrition Research Reviews*, v. 12, p. 203–230, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1079/095442299108728886>.