

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**GRÃOS SECOS DE DESTILARIA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS
LEITEIRAS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

EVERALDO CEZAR DO NASCIMENTO

JABOTICABAL – SP
1º Semestre/2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**GRÃOS SECOS DE DESTILARIA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS
LEITEIRAS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

EVERALDO CEZAR DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Dr. Mauro Dal Secco de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus
de Jaboticabal, como parte das
exigências para graduação em Zootecnia.

JABOTICABAL – SP
1º Semestre/2023

N244g

Nascimento, Everaldo Cezar do

Grãos secos de destilaria na alimentação de vacas leiteiras: revisão bibliográfica / Everaldo Cezar do Nascimento. -- Jaboticabal, 2023
61 p. : il., tabs., 2 v.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Mauro Dal Secco de Oliveira

1. Coproduto do milho. 2. Grãos de destilaria. 3. Fonte energética. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: Departamento de Zootecnia

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO : Grãos secos de destilaria na alimentação de vacas leiteiras: Revisão bibliográfica

ACADÊMICO: Everaldo César do Nascimento

CURSO: Zootecnia

ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. Mauro Dal Secco de Oliveira

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

Presidente Prof. Dr. Mauro Dal Secco de Oliveira

Membro Larissa Clara Colla

Membro Laura Zuliani

(Assinaturas)

Jaboticabal 24 / 11 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: / /

Chefe do Departamento

Prof. Dr. EDNEY PEREIRA DA SILVA
Chefe do Departamento de Zootecnia
Matrícula Nº 422823-6

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a deus e meus pais que nunca mediram esforços e para que eu realizasse meus projetos e planos, gostaria de agradecer também a minha noiva Jessica pela parceria e apoio em meus momentos mais difíceis, gostaria de agradecer também aos meus amigos que estiveram presentes em minha trajetória acadêmica me auxiliando e dando força nos momentos de alegria, estudos e lazer, meus sinceros agradecimentos aos meus amigos Adalberto (tex), Olavo (catequese), Caio(rolinha), Leticia (sprudino), Gabriela (úbere), João Betioli e a todos os moradores e amigos da Republica caipirada.

Gostaria de agradecer a Universidade estadual paulista UNESP Jaboticabal e seus professores, pelo apoio acadêmico e todos os ensinamentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	V
LISTA DE FIGURAS	VI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Definição de grãos secos de destilaria	3
3.2 Origem	4
3.3 Aspectos gerais sobre os grãos secos de destilaria.....	7
3.4 Vantagens dos grãos secos de destilaria na alimentação de ruminantes	11
3.5 Métodos de obtenção.....	12
3.6 Fatores relacionados com o uso dos grãos secos de destilaria	22
3.6.1 Armazenamento	22
3.6.2 Valor nutricional dos grãos secos de destilaria	24
3.6.3 Fatores limitantes	27
3.7 Fatores que favorecem a contaminação de DDGS.....	32
3.8 Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com grãos secos de destilaria	35
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
5. RESUMO.....	43
6. SUMMARY.....	44
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

LISTA DE TABELAS

PÁGINA

Tabela 1. Parâmetros entre milho e cana-de-açúcar.	6
Tabela 2. Comparação de preço entre alimentos concentrados e custo do kg de proteína bruta (PB) e da matéria seca dos produtos analisados. Referência: segunda quinzena de abril de 2023.....	11
Tabela 3. Concentrações de nutrientes de grãos de milho de destilaria.	17
Tabela 4. Composição nutricional média do DDGS de acordo com os dados de alguns autores.	18
Tabela 5. Composição de aminoácidos do DDGS em comparação ao farelo de soja e milho.....	18
Tabela 6. Concentração de nutrientes dos grãos de destilaria com base na matéria seca.	25
Tabela 7. Composição nutricional do coproduto sólido do etanol – grãos secos de destilaria com solúveis.	27
Tabela 8. Consumo de matéria seca, produção de leite, gordura do leite e teor de proteína, em vacas com dietas contendo diferentes quantidades de <i>dried distillers grains with solubles</i> (DDGS) e <i>Wet distillers grains with solubles</i> (WDGS).	39

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Classificação dos tipos de usinas de produção de etanol no Brasil. Fonte: UNEM (2020).....	5
Figura 2. Usinas de etanol de milho em operação e em construção no Brasil. Fonte: UNEM (2020).....	6
Figura 3. Fluxograma de produção de etanol a partir de cereais. Fonte: Usina Libra (s/d).	13
Figura 4. Esquema simplificado de produção de etanol de milho (Adaptado de Medeiros, 2018).....	14
Figura 5. Fluxograma do processo de fabricação do DDGS pelo método de moagem seca. Fonte: Adaptado de BNDES (2008).....	15
Figura 6. Grãos úmidos de destilaria (WDG). Fonte: Arquivo pessoal, 2015 (A), Google (2020) (B).....	16
Figura 7. Grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS). Fonte: Arquivo pessoal, 2015.	16
Figura 8. Grãos de milho de destilaria com solúveis (DDGS) e sua variação de cor. Fonte: Shurson, (2008); Sinoma, (2012).	19
Figura 9. Exemplo de cartão de pontuação de 5 cores. Fonte: USGC (2012).....	20
Figura 10. Crescimento de fungo na superfície de grãos úmidos de destilaria com solúveis (WDGS). Fonte: Erickson et. al. (2008).....	28

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as usinas flex têm se destacado no Brasil ao combinar a produção de etanol tanto a partir da cana-de-açúcar quanto do milho. Embora a cana-de-açúcar possua um potencial produtivo muito maior que o milho para a produção de biocombustíveis, ela apresenta a desvantagem de possuir uma janela de safra limitada entre abril e novembro, o que coloca o milho em uma posição de destaque como uma matéria-prima alternativa, oferecendo uma opção viável para a produção contínua de biocombustíveis (STONEX, 2022).

Além do avanço da produção de etanol, o uso do milho como matéria-prima tem resultado em valiosos subprodutos, ou melhor definidos como coprodutos agroindustriais, que são destinados à alimentação animal, os grãos secos de destilaria (STONEX, 2022).

Os grãos secos de destilaria (DDG - *Dry distillers grains*, em inglês) são coprodutos da indústria de etanol de milho e são amplamente reconhecidos como uma alternativa econômica e com alto teor de proteína para serem utilizados na alimentação de bovinos. Apesar dos benefícios nutricionais e econômicos, sua utilização ainda é discreta no Brasil, pois a produção de etanol é provinda quase totalmente da cana-de-açúcar (EDUCAPOINT, 2022).

A utilização de grãos secos embora tenha sido utilizada por muito tempo como alimento alternativo, hoje é sabido que eles podem ser usados em maiores quantidades na dieta, inclusive pela vantagem de possuir baixo teor de amido e alto teor de fibra digestível, reduzindo os riscos de distúrbios digestivos, como acidose (EDUCAPOINT, 2022).

2. OBJETIVO

A presente revisão de literatura teve como objetivo, verificar a influência de diversos fatores e aspectos relacionados com a utilização dos grãos secos de destilaria na dieta de vacas leiteiras em lactação, sobre o desempenho e eficiência de produção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma revisão da literatura que permitiu verificar a influência dos grãos secos de destilaria na alimentação de vacas leiteiras, sob vários aspectos. Para tal e maior facilidade de abordagem do tema, foram utilizados itens e subitens envolvendo os mais importantes aspectos relacionados com o desempenho de vacas em lactação.

Por meio das informações obtidas na literatura consultada, foi possível proporcionar subsídios e maiores esclarecimentos sobre a utilização dos grãos secos de destilaria envolvendo aspectos tais como: definição, importância dos grãos secos de destilaria na alimentação animal, valor nutritivo, formas de utilização, características como consumo de nutrientes, produção e composição do leite, dentre outros. Foram utilizadas informações de revistas especializadas em produção animal (nacionais e internacionais), sites, boletins técnicos, anais de congressos e simpósios, teses, dissertações e de livros especializados em pecuária leiteira.

3.1 Definição de grãos secos de destilaria

Na criação de bovinos e de ruminantes de uma maneira geral, a alimentação representa quase 70% dos custos para o pecuarista, por isso há uma procura por produtos alternativos que mantenham a qualidade da alimentação aliada a preços reduzidos. Dentre as alternativas, destaca-se o DDGS, coproduto obtido da produção do etanol a partir do milho, o qual se torna uma opção na nutrição e produção animal (FAVORITO et al., 2019).

A Associação Oficial Americana de Controle de Alimentos (AAFCO, 2011) define o DDG como sendo o produto obtido após a remoção do álcool etílico por processo de destilação, a partir da fermentação de grãos (milho) ou mistura de grãos

(milho, sorgo, trigo e cevada) usando leveduras, seguido de secagem dos sólidos por métodos empregados na indústria de destilação de grãos.

Segundo Freitas (2016), a utilização de coprodutos agrícolas como substitutos da forragem e dos grãos convencionalmente utilizados tem o potencial de reduzir os custos e fornecer uma suplementação alimentar para os animais, essa utilização permite economias significativas e ao mesmo tempo oferece uma fonte adicional de nutrientes na dieta animal.

3.2 Origem

A indústria de biocombustíveis vem ganhando cada vez mais destaque no cenário sustentável por conta da maior preocupação mundial com o meio ambiente. Dentre elas está a indústria do etanol, que oferece diversas opções de matéria-prima para a fabricação do biocombustível (ABDALA et al., 2008).

O milho (*Zea mays L.*) pode ser utilizado na fabricação deste biocombustível, e quando utilizado para este fim, forma subprodutos que podem ser utilizados na alimentação animal, sendo eles o grão seco de destilaria (*Dry distillers grains – DDG*), grão úmido de destilaria (*Wet Distillers Grains - WDG*), grão seco de destilaria com solúveis (*Distillers Dried Grains with Solubles - DDGS*) e grão úmido de destilaria com solúveis (*Wet Distillers Grains with Solubles - WDGS*) (ABDALA et al., 2008).

No Brasil, existem quatro tipos de indústrias de etanol: A full que é uma unidade que produz etanol somente a partir do milho ou a partir da cana-de-açúcar; a flex que é uma usina de cana-de-açúcar que produz etanol de milho nos meses de entressafra da cana; e existe ainda a opção flex-full, que é quando a indústria produz o combustível tanto usando cana como o milho, mas em processos industriais distintos que ocorrem de forma paralela, conforme a (Figura 1) (UNEM, 2020).

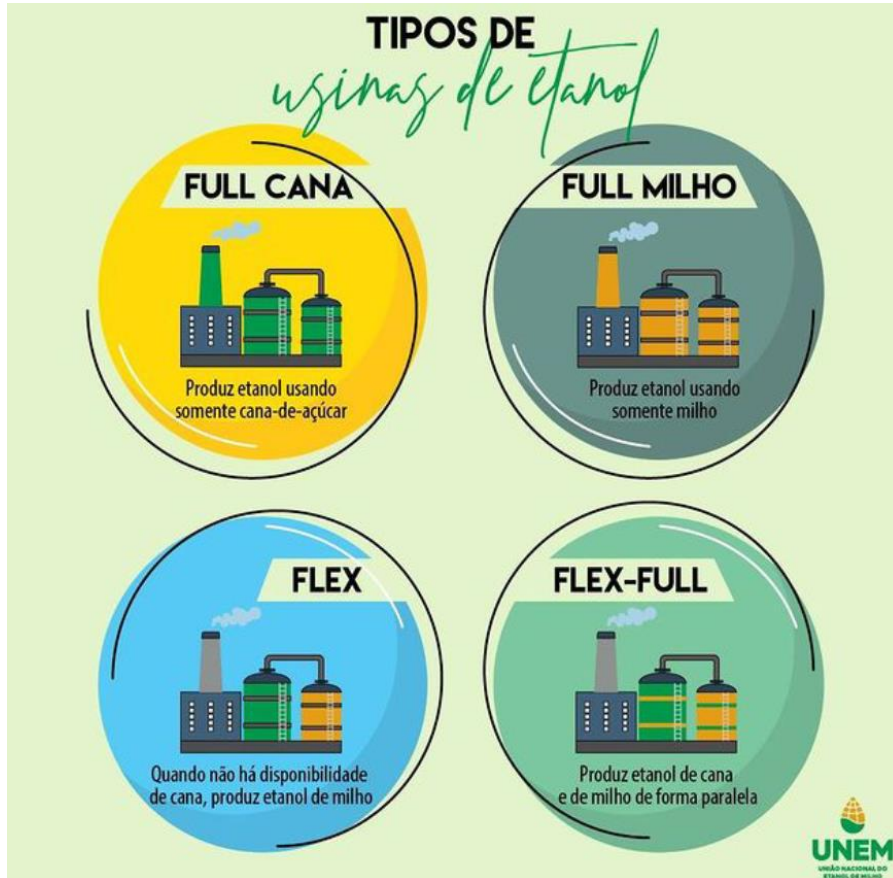


Figura 1. Classificação dos tipos de usinas de produção de etanol no Brasil. Fonte: UNEM (2020).

A cana-de-açúcar representa hoje 95,2% da produção de etanol, e a produção com o milho corresponde a 4,8%. A União Nacional do Etanol de Milho (Unem), estima que na safra 2029/2030, o etanol de milho alcançará uma produção de 8 bilhões de litros, o que representa 19 milhões de toneladas de milho processadas. Para cada tonelada de milho processada, 28,5% de coprodutos são produzidos, o que resulta em 5,4 milhões de toneladas de DDGS estimadas para a safra 2029/2030 (OPTA, 2021).

A produção de álcool, oriundo das usinas de cana-de-açúcar ocorre durante a safra da cana, o que dura cerca de oito meses, conforme a (Tabela 1), com o impacto no custo fixo da indústria (RIBEIRO et al., 2010). Entretanto como opção, há a possibilidade das usinas flex utilizarem o milho no período de entressafra da cana-de-açúcar, entre dezembro e março, minimizando a ociosidade e reduzindo os custos fixos da estrutura industrial, por meio da sinergia gerada pela operação conjunta da mão-de-obra e de outros fatores de produção (UNEM, 2020).

Tabela 1. Parâmetros entre milho e cana-de-açúcar.

Parâmetros	Milho	Cana-de-açúcar
Ciclo de colheita	4 meses	12 - 18 meses
Rendimento de etanol/ton	400L e 28,5% coprodutos	70 - 90L
Rendimento de etanol/há	2,5 - 3,5 mil L	7-8 mil L
Tempo de fermentação	Pode chegar a 70hrs	10 - 12hrs
Coprodutos	DDG, WDG, óleo	Bagaço, melaço, vinhaça
Produção de etanol (20/21)	2,70 milhões L	27,86 bilhões L
Volume demandado	4,12 milhões de t (19/20)	418,17 milhões de t (19/20)
Produtividade média	5.533kg/ha (19/12)	76.133kg/ha (19/20)
Área equivalente	744,62 mil ha (19/20) x 1,16 milhão ha (20/21)	5,49 milhões ha (19/20) x 4,52 milhões ha (20/21)

Fonte: SCOT CONSULTORIA (2020).

Dados da UEM (2020) apontam que os dois estados com maior concentração de indústrias em operação e construção são os estados de Mato Grosso e Goiás (Figura 2), e esse potencial se dá ao uso dos grãos de milho seco por destilação na alimentação animal.

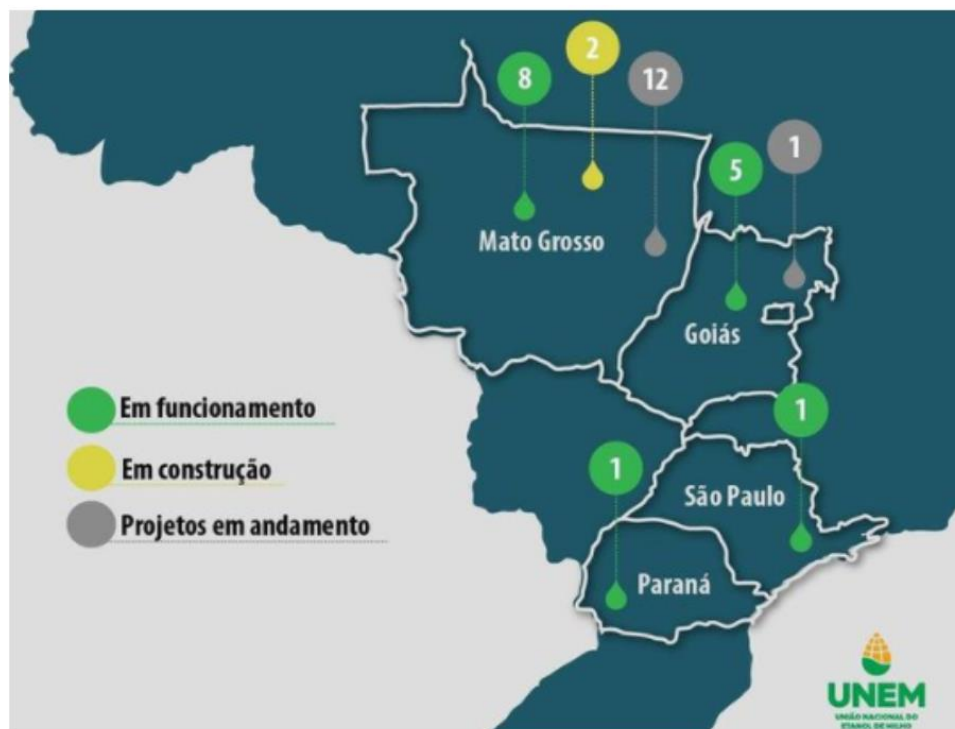


Figura 2. Usinas de etanol de milho em operação e em construção no Brasil. Fonte: UNEM (2020).

Ainda de acordo com Unem (2020), o Brasil conta com 17 usinas com produção de etanol de milho, das quais 10 utilizam milho e cana-de-açúcar (flex) e sete apenas o cereal (full), que juntas, elas devem consumir na safra 2022/23 um volume de 10,38 milhões de toneladas de cereal no país. Somente no Mato Grosso são 10 usinas em operação, sendo três flex e sete full, tendo um consumo de milho previsto de 7,7 milhões de toneladas para o ano safra 2022/23 (NOVA CANA, 2022).

A produção brasileira de etanol de milho é estimada em 4,5 bilhões de litros na safra 2022/2023, um aumento de 31% em relação à temporada anterior (UNEM, 2022). Caso essa projeção seja confirmada, o etanol de milho representará aproximadamente 15% da produção total de etanol no Brasil, enquanto a maior parte do etanol no país ainda é derivada da cana-de-açúcar (NUTRI NEWS, 2022).

Segundo a Millenium Bioenergia (2022) uma tonelada de milho pode produzir de 300 a 350 kg de DDGS, com pelo menos 30% de proteína bruta, índice menor do que o do farelo de soja, que tem 45% de valor proteico, mas muito acima do encontrado no farelo de milho, com 8% de proteína.

3.3 Aspectos gerais sobre os grãos secos de destilaria

Os biocombustíveis apresentam-se como uma boa alternativa para a substituição de combustíveis fósseis, em especial o etanol que tem se mostrado o biocombustível mais vantajoso em curto prazo para esta substituição (MANOCHIO et al., 2017). Buscando atender exigências políticas e do mercado por programas de produção sustentáveis, as indústrias geradoras de biocombustíveis encontram alternativas para produzir etanol de uma forma mais limpa e renovável, diminuindo assim impactos ambientais e a necessidade de combustíveis fósseis (ALDAI et al., 2010; MILANEZ et al., 2014; SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

No Brasil, a produção de etanol é basicamente a partir da cana-de-açúcar, porém, o milho é uma outra alternativa de matéria prima, o qual, possui a terceira maior produção e a segunda maior área de cultivo entre as culturas de grãos no Brasil, apresentando expansão dessas áreas anualmente (CONAB, 2020), o que indica elevado potencial para a produção de etanol a partir dessa cultura. Além disso, a utilização do milho para produzir etanol auxiliaria na redução do período

ocioso das destilarias, reduzindo conseqüentemente a oscilação do preço do biocombustível durante o ano (SOBRINHO, 2012).

Os Estados Unidos (EUA) são o maior produtor mundial de etanol, com uma produção total de 15,78 bilhões de galões em 2019, na qual, a maioria desse etanol, cerca de 95%, produzida a partir de grãos de cereais, sendo o milho o mais utilizado (DUMORTIER et al., 2021). Ainda segundo Dumontier et al. (2021) essa proporção de milho utilizado na produção de etanol nos EUA aumentou de 6,5% em 2000 para 37,6% em 2018. Além do Brasil e EUA, outros países também são produtores de etanol a partir de grãos, incluindo China, Canadá, Tailândia, Argentina e Índia (ROSALES; ARANTES, 2019).

Segundo Macedo (1993) citado por Oliveira; Serra; Oliveira (2014), existem diversas culturas que podem ser utilizadas na produção de etanol, e elas podem ser categorizadas em três grupos, de acordo com o tipo de carboidrato que fornecem para a formação do álcool. A primeira categoria é composta por culturas que fornecem sacarose, sendo conhecidas como culturas sacarinas, sendo exemplos dessas culturas são a cana-de-açúcar, a beterraba e o sorgo sacarino (colmo), entre outras. A segunda categoria é formada pelas culturas amiláceas, cuja produção de etanol é obtida a partir do amido presente, sendo representadas pelas culturas da mandioca, o milho, o sorgo (grãos) e a batata, entre outras. Por fim, temos a categoria das matérias-primas celulósicas, em que a celulose é o principal componente responsável pela produção de etanol, enquadrando nesta categoria as culturas do eucalipto, marmeleiro, serragem, casca de arroz, bagaço de cana, entre outras (MACEDO, 1993 citado por OLIVEIRA; SERRA; OLIVEIRA, 2014).

No Brasil, as usinas têm se adaptado para produzir etanol a partir do milho durante a entressafra da cana-de-açúcar. Essas usinas, conhecidas como usinas flex, oferecem vantagens como baixa emissão de gases de efeito estufa, desempenho ambiental favorável, eficiência econômica e além disso, a produção de etanol a partir do milho não entra em competição direta com as culturas existentes (MILANEZ et al., 2014). Essa adaptação permite que a indústria tenha alternativas para gerar produtos e receita, evitando prejuízos decorrentes da interrupção da produção por falta de matéria-prima (APRO-SOJA, 2013; MILANEZ et al., 2014; SILVEIRA, 2014).

Para a produção de etanol, o milho pode ser processado de duas formas: moagem úmida e moagem a seco. Na moagem úmida, o milho é separado em seus

componentes principais, como amido, gérmen e fibra, resultando na obtenção da farinha de glúten de milho e dos grãos úmidos de destilaria, conhecidos como WDG ou grãos úmidos de destilaria, sem solúveis (ALVES et al., 2012; KIM et al., 2008; LIU, 2011).

Na forma de farelo, o DDGS possui uma concentração elevada de proteínas, sendo utilizado como substituto de outras fontes proteicas na alimentação animal, pois seu uso além de ser livre de fatores antinutricionais é economicamente viável (MEDEIROS et al., 2015). Segundo Speroto et al. (2018) a utilização do DDGS pode apresentar melhorias no desempenho produtivo, viabilidade econômica e fortalecimento do sistema imunológico nos animais.

Já a moagem a seco representa 70% do processo de produção de etanol. Esse método consiste em seis etapas principais: moagem, cozimento, liquefação, sacarificação, fermentação e separação. Durante a fermentação, é adicionada à mistura a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, seguindo um processo semelhante ao da indústria cervejeira. Nessa etapa, ocorre a quebra da glicose pela ação da levedura, resultando na produção de etanol e liberação de dióxido de carbono (CO₂). Além de converter a glicose em etanol, a levedura também reduz os níveis de micotoxinas presentes na matéria-prima, melhorando a qualidade do produto final (ALVES et al., 2012; LIU, 2011).

Em seguida, o processo continua com a destilação e centrifugação, que têm como objetivo separar os resíduos finos ou leves dos resíduos pesados. O resíduo leve, conhecido como vinhaça, passa por um processo de evaporação, resultando em um xarope com aproximadamente 50% de umidade. Esse xarope é então combinado com os sólidos provenientes da centrifugação e secagem, dando origem ao DDGS ou grãos secos de destilaria com solúveis (BUOSI; DIAN, 2014; SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

O resíduo pesado resulta no WDGS ou pode passar por um processo de secagem para se obter os grãos destilados secos. Muitas empresas optam por secar o resíduo pesado juntamente com os sólidos provenientes da centrifugação, visando obter um maior rendimento na produção do DDG (ALVES et al., 2012; LIU, 2011).

No entanto a utilização do WDGS é limitada devido ao seu tempo de conservação, pois após cinco a sete dias exposto ao ambiente, começam a ocorrer sinais de deterioração, como proliferação de fungos, e o excesso de umidade pode

afetar o consumo dos animais. É recomendada a inclusão de até 30% do WDGS na Ingestão de Matéria Seca (IMS) diária (SCHINGOETHE et al., 2006).

Conforme Schingoethe et al. (2006), uma alternativa é realizar a ensilagem desse resíduo juntamente com farelo de soja, pois permite uma maior conservação do produto por um período prolongado. No entanto, um desafio relacionado à sua utilização é a distância das usinas, o que aumenta os custos de transporte (BUOSI; DIAN, 201; KIM et al., 2008; LIU, 2011).

As vantagens da utilização do milho para a produção de etanol incluem facilidade de armazenamento, disponibilidade do produto e baixo custo, além da alta valorização de seus coprodutos (SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

Na indústria, a peletização do DDGS é uma prática comum para reduzir perdas e facilitar o transporte, armazenamento e conservação desse resíduo (KIM et al., 2008; SCHINGOETHE et al., 2006).

Assim como em outros países, no Brasil, o DDGS tem sido adicionado às dietas de animais devido ao seu alto teor nutricional e à redução dos custos de produção, já que o milho e o farelo de soja apresentam valores elevados (SILVEIRA, 2014).

Além da alimentação animal, o DDGS apresenta diversas utilizações. No Brasil, Alves et al. (2012) utilizaram os gases provenientes da queima do DDGS para produzir nanomateriais de carbono, o que reduziu os custos de produção e ofereceu novas alternativas para o excedente do coproduto.

Nos Estados Unidos, Xu, Reddy e Yang (2009) extraíram a celulose do resíduo para a elaboração de filmes e fibras, além de relataram a sua utilização na composição de papel, absorventes de água, lubrificantes e suplementos nutricionais.

Liu, Singh e Inglett (2011) mencionaram que, além de ser utilizado na produção de carvão, o DDGS pode ser incluído nas formulações de massas em produtos de panificação. Os autores testaram níveis de substituição de até 30% da farinha de milho e observaram que o pão de milho com DDGS apresentou alto teor de fibras dietéticas e baixo índice glicêmico, embora tenha havido alteração na cor, consistência e volume do produto.

O excesso de gordura presente no coproduto também pode ser extraído na indústria, sendo utilizado para a produção de biodiesel e melhorando as qualidades nutricionais do DDGS. É importante destacar que o excesso de gordura na dieta pode causar problemas metabólicos em bovinos leiteiros, como redução da

produção e do teor de gordura do leite (FOTH, 2014; RAMIREZ et al., 2016; TESTROET et al., 2016).

A composição do DDGS pode variar devido ao processo industrial e ao cultivo. Fatores como produtividade do milho, cultivar, seleção de grãos, tipo de processamento, temperatura, tempo de secagem e formas de armazenamento podem promover alterações no produto final (BUOSI; DIAN, 2014; LIU, 2011; PENZ JUNIOR; GIANFELICE, 2008).

3.4 Vantagens dos grãos secos de destilaria na alimentação de ruminantes

Após a extração do amido durante o processo de produção de etanol a partir do milho, o resíduo resultante, o DDG, apresenta teores significativos de proteína, lipídeos e minerais, se mostrando como uma opção viável para a alimentação bovina. Uma das principais vantagens desse coproduto é o seu baixo custo em comparação com outras fontes de proteína utilizadas na alimentação animal (Tabela 2) e, além disso, seu uso não entra em competição com a produção de alimentos para consumo humano.

Tabela 2. Comparação de preço entre alimentos concentrados e custo do kg de proteína bruta (PB) e da matéria seca dos produtos analisados. Referência: segunda quinzena de abril de 2023.

Alimentos concentrados	Médio (R\$/t)	PB (%)	MS (%)	R\$/t MS	R\$/kg de PB
DDG	1.428,64	30%	88%	1.623,46	5,41
WDG	486,16	30%	32%	1.519,26	5,06
Farelo de algodão 28 MT	1.161,26	28%	93%	1.248,66	4,46
Farelo de algodão 38 MT	1.391,90	38%	92%	1.512,94	3,98
Caroço de algodão MT	1.315,46	22%	88%	1.494,84	6,79
Farelo de soja MT	2.303,52	46%	88,6%	2.599,91	5,65

Fonte: SCOT CONSULTORIA (2020).

Dados atualizados da Scot Consultoria (2023) apontam que devido ao aumento do etanol produzido a partir do milho, estimado em 5,64 bilhões de litros, um aumento de 42% frente ao produzido na safra passada, haja também um aumento na produção de seus coprodutos acompanhando a mesma intensidade, esperando uma produção de 8,9 milhões de toneladas.

Ainda segundo a Scot Consultoria (2023) na segunda quinzena de abril de 2023, o farelo de soja e o DDG apresentaram cotações de R\$2.303,52 e R\$1.428,64 por tonelada, respectivamente, em Mato Grosso, sem considerar os custos de frete. Esses valores representaram uma queda de 14,4% para o farelo de soja e um aumento de 1,1% para o DDG em relação à primeira quinzena de janeiro de 2023. Levando em conta o teor de proteína bruta (PB) dos alimentos concentrados em Mato Grosso, é importante destacar que o farelo de algodão e o WDG possuem preços mais baixos em comparação ao DDG, enquanto o caroço de algodão e o farelo de soja apresentam preços mais elevados, conforme apresentado na (Tabela 2).

3.5 Métodos de obtenção

Existem duas formas de fabricação do biocombustível etanol a partir do milho. Uma delas é a via úmida, que envolve o tratamento do grão de milho com água e ácido sulfúrico antes da moagem, fracionando a semente de milho em seus componentes primários, como o amido, o gérmen e a fibra. A outra forma é a via seca, na qual os grãos de milho são moídos até se transformarem em pó e em seguida, é adicionada água e enzimas para a remoção do amido, que será utilizado como matéria-prima para a fermentação responsável pela produção do álcool (etanol) (KINDBERG, 2010).

A via seca da fabricação. A fabricação a seco representa cerca de 70% da produção de etanol (Figura 3) e é composta por seis etapas principais: moagem, cozimento, liquefação, sacarificação, fermentação e separação. Nesse processo, o milho é moído e misturado com enzimas e água para quebrar o amido. Em seguida, a mistura passa por uma etapa de cozimento a uma temperatura de 82 a 86 °C, permitindo a ação das enzimas. O próximo passo é a fermentação, em que o

fermento é preparado e adicionado ao mosto de milho cozido, juntamente com ingredientes como ureia, bactericidas e levedura (SANTOS, 2019). Durante a fermentação, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é adicionada, resultando na quebra da glicose, produção de etanol e liberação de dióxido de carbono (CO₂). Em seguida, ocorre a destilação e a separação dos resíduos leves e pesados. O resíduo leve passa por evaporação, produzindo um xarope com 50% de umidade conhecido como *liquid distillers grain*, enquanto o resíduo pesado, proveniente da centrifugação, dá origem aos *Wet Distillers Grains* (WDG) (WERLE, 2017).

O valor nutricional do DDG é elevado devido à remoção completa do amido do grão de milho, que representa cerca de dois terços do grão e isso resulta em aumentos significativos nos níveis de proteína, extrato etéreo, fibra e fósforo, chegando a aproximadamente três vezes mais do que os níveis encontrados no grão original (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 1978).

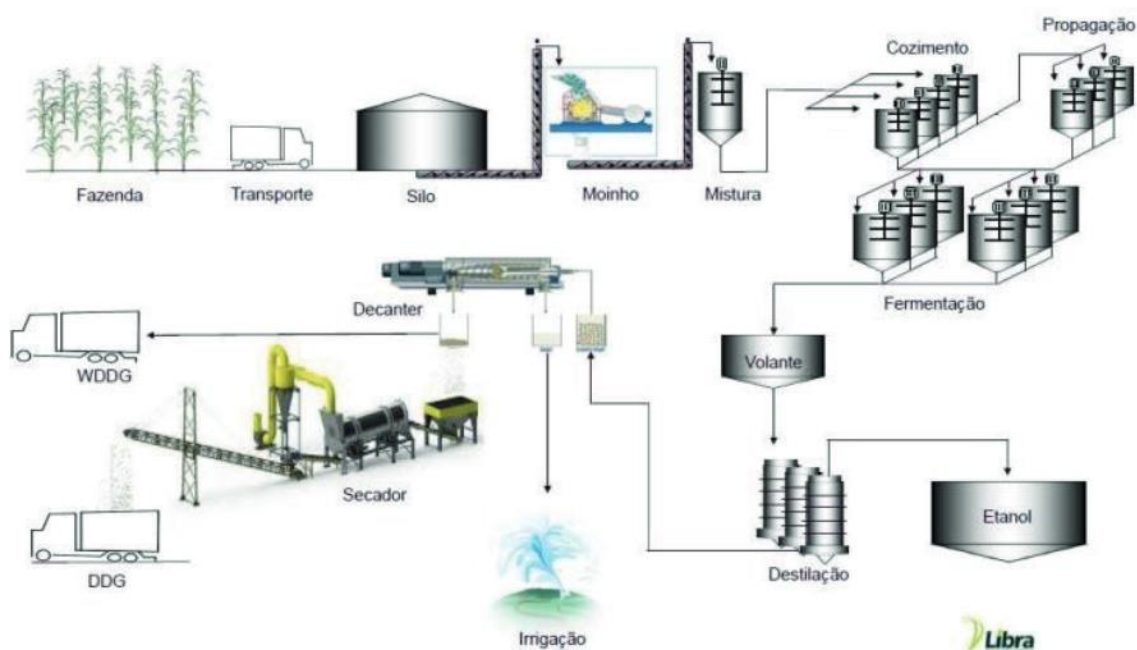


Figura 3. Fluxograma de produção de etanol a partir de cereais. Fonte: Usina Libra (s/d).

Tjardes e Wright (2002) observaram que tanto o DDG quanto o WDG possuem composição semelhante em termos de nutrientes, sendo a principal diferença encontrada na matéria seca (MS). O DDG apresenta cerca de 88-90% de

MS, devido ao processo de secagem pelo qual passa, enquanto o WDG possui aproximadamente 25-35% de MS.

De acordo com Medeiros (2018), o processo de produção dos diferentes tipos de grãos de milho de destilaria começa com a moagem do milho, seguido pela fermentação e destilação para a produção de etanol. Nesse processo, é gerado um subproduto chamado vinhaça completa, que passa por centrifugação para separar os sólidos grosseiros e a vinhaça fina. A vinhaça fina, após a evaporação, resulta em destilados condensados, também conhecidos como xarope. Por outro lado, os sólidos grosseiros podem ser comercializados como grãos de destilaria úmidos (DDGS úmidos) ou passar por um processo de secagem em uma rotatória para se transformar em grãos de destilaria secos (DDG). É comum adicionar o xarope ao DDG, resultando nos grãos de destilaria secos com solúveis (DDGS). O xarope também pode ser adicionado aos grãos de destilaria úmidos, formando os grãos de destilaria úmidos com solúveis (WDGS) (Figura 4).

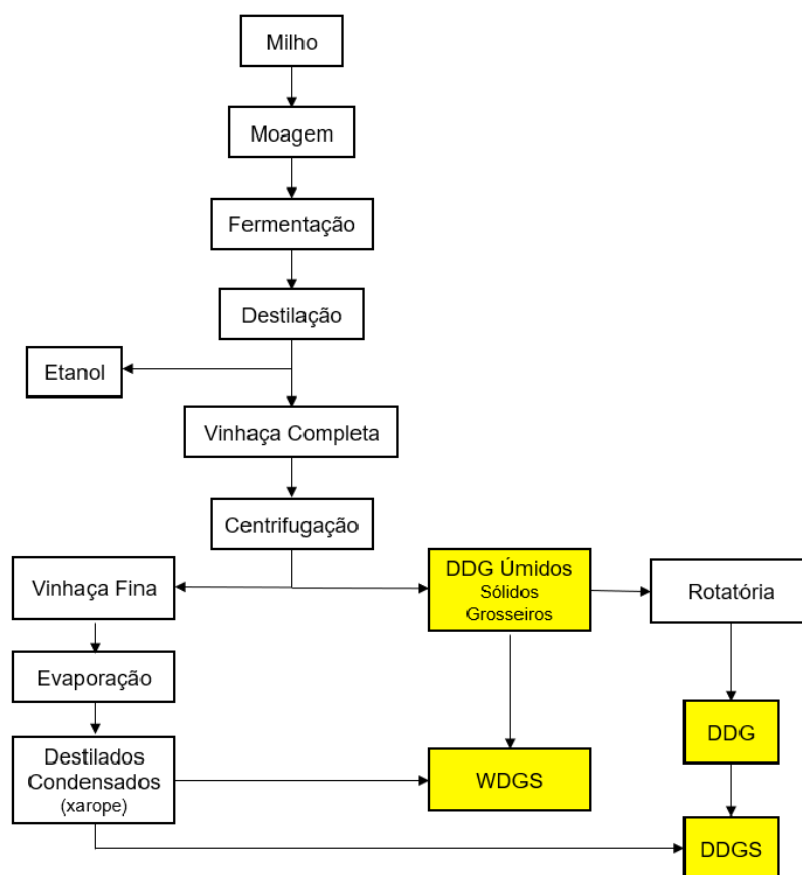


Figura 4. Esquema simplificado de produção de etanol de milho (Adaptado de Medeiros, 2018).

Durante o processo de fabricação do DDGS (Figura 5), uma parte significativa dos carboidratos é perdida durante a fermentação. Isso resulta em um produto mais concentrado em proteínas e com baixos níveis de amido em comparação ao milho (AYADI et al., 2011).

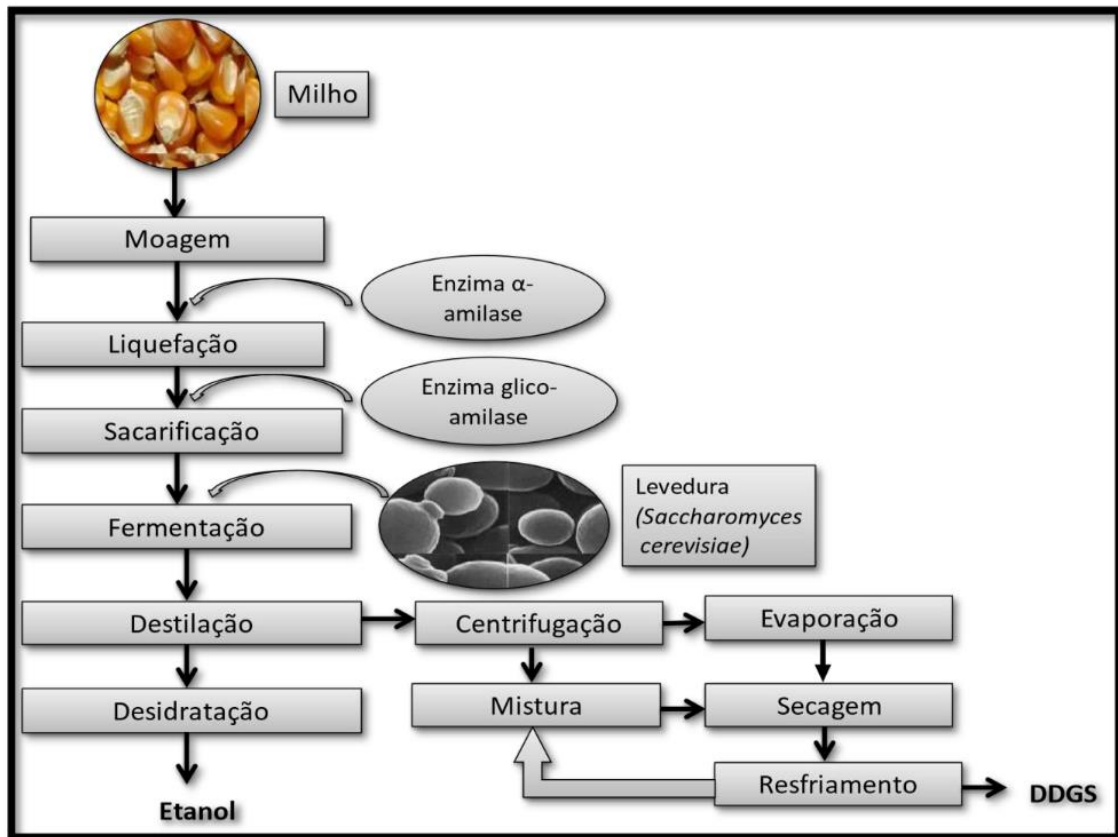


Figura 5. Fluxograma do processo de fabricação do DDGS pelo método de moagem seca. **Fonte:** Adaptado de BNDES (2008).

Posteriormente a fermentação, o produto obtido passa por uma coluna de destilação para a separação do etanol dos componentes não voláteis (vinhaça inteira), que passa pela centrifugação, dando origem a uma fração líquida (vinhaça fina) e uma sólida conhecida como torta úmida, apresentando em torno de 70% de umidade (WDG), cujo aspecto é mostrado na (Figura 6 - A e B). Em tanques de evaporação, a vinhaça fina é condensada e é combinada com a torta úmida, originando assim o DDGS (IRAM et al., 2020).

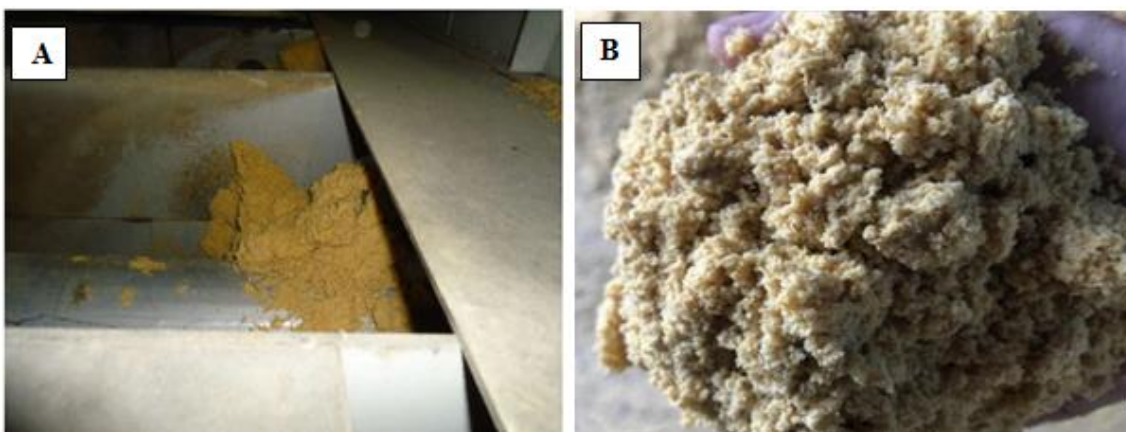


Figura 6. Grãos úmidos de destilaria (WDG). Fonte: Arquivo pessoal, 2015 (A), Google (2020) (B).

O WDG possui alto teor de umidade o que limita sua vida útil em 5 dias, variando de acordo com o ambiente e local de armazenamento. O WDG é então submetido ao processo de secagem, da qual passa por um secador rotativo e é misturado ao CDS, o que reduz em média de 10 a 12% da umidade, sendo o produto final deste processo o DDGS (MOHAMMADI SHAD et al., 2020). O aspecto do DDGS é mostrado na (Figura 7).



Figura 7. Grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS). **Fonte:** Arquivo pessoal, 2015.

O processo de secagem pode ter influências na qualidade da proteína do DDGS, pois quando DDGS passa pelo processo de secagem, pode ocorrer superaquecimento, já que em usinas de etanol a temperatura de secagem pode variar de 127 a 621°C, fazendo com que ocorra reação de Maylard que é prejudicial para qualidade do produto. Em tais casos, alguns dos carboidratos e proteínas do DDGS podem tornar-se quimicamente ligados, formando um produto indigestível para o animal. Esse tipo de reação química, associada a dano térmico, está condicionado à obtenção de um DDGS mais escuro, assim um coproduto com a coloração mais clara em geral é preferível (SWIETKIEWICZ ; KORELESKI, 2008; YOUNG, 2008; HOFFMAN ; BAKER, 2011).

O principal desafio para utilização de grãos de milho de destilaria na alimentação de bovinos é a sua composição nutricional (Tabela 3). Assim como acontece com outros coprodutos da agroindústria, as concentrações de nutrientes podem variar de acordo com a qualidade do milho utilizado e condições de processamento, tais como tipo de fermentação e diferenças no tempo de temperatura e secagem (MEDEIROS, 2018).

Tabela 3. Concentrações de nutrientes de grãos de milho de destilaria.

Parâmetro	WDGS	DDG	DDGS
Matéria Seca (%)	25 - 35	88 - 90	88 - 90
Proteína Bruta (%)	30 - 35	25 - 35	25 - 32
Gordura (%)	8 - 10	8 - 10	8 - 10
FDN (%)	30 - 50	40 - 44	39 - 45
NDT (%)	70 - 110	77 - 88	85 - 90
Cálcio (%)	0,02 - 0,03	0,11 - 0,20	0,17 - 0,26
Fósforo (%)	0,5 - 0,80	0,41 - 0,80	0,78 - 1,08

WDGS = Grão úmido de destilaria com solúveis (*Wet Distillers Grains with Solubles*); DDG = Grão seco de destilaria (*Dry distillers grains*) e DDGS = Grão seco de destilaria com solúveis (*Distillers Dried Grains with Solubles*)

Fonte: Adaptado de Tjardes e Wright, 2002 e Salim et al., 2010.

Na (Tabela 4) são apresentados os valores médios bromatológicos do DDGS, segundo alguns autores e na (Tabela 5) a composição em aminoácidos.

Tabela 4. Composição nutricional média do DDGS de acordo com os dados de alguns autores.

Composição química na matéria mineral	Corassa	Santos	Wang	Lewandowski	Meloche
	2021	2019	2018	2017	2014
	Valores médios				
Matéria seca (%)	93,09	90,22	-	89,34	89,32
Proteína bruta (%)	16,15	42,06	29,11	37,08	27,98
Energia bruta (Kcal/kg ¹)	4808	4206	5049	4586	-
Extrato etéreo (%)	6,64	3,21	11,12	5,27	8,44
Matéria mineral (%)	4,68	-	-	2,3	-
FDN*	49,58	53,34	37,08	-	31,36
FDA*	-	11,13	13,53	-	9,35

* FDN: fibra detergente neutra; FDA: fibra detergente ácida.

Fonte: Souza et al. (2022).

Tabela 5. Composição de aminoácidos do DDGS em comparação ao farelo de soja e milho.

Aminoácidos	Milho ¹	Farelo de Soja ¹	DDGS Milho ²
Arginina	0,37	3,35	1,13
Histidina	0,24	1,20	0,80
Isoleucina	0,26	2,13	1,34
Lisina	0,23	2,80	0,97
Metionina	0,16	0,61	0,77
Fenilalanina	0,37	2,34	1,7
Treonina	0,31	1,78	1,32
Triptofano	0,06	0,64	0,26
Valina	0,36	2,22	1,75
Leucina	0,95	3,51	4,63

Fonte: 1 = Adaptado de Rostagno et al. (2017), 2 = OPTA (2021).

Os níveis nutricionais podem variar bastante dependendo do tipo e cultivar do grão, da época do ano, da região, do ponto da colheita, adubação, etc. Mas, de forma geral, o DDGS apresenta de 25% a 32%PB, 38% a 45% de fibra em detergente neutro (FDN), 8% a 12% de lipídios, sendo 80% de ácidos graxos insaturados, melhorando a composição química do leite, apresenta ainda de 85% a 90% de NDT (Ruminantes), para aves e suínos, apesar de apresentar um melhor perfil aminoácídico, deve-se tomar cuidado com a lisina e metionina (OPTA, 2021).

Os grãos de milho de destilaria têm como características principais o alto teor de proteína, fibra e energia. A fração proteica é de baixa degradabilidade ruminal, em torno de 40%. A alta fração de proteína não degradável no rúmen (PNDR) pode resultar em uma dieta com valores de proteína total muito acima da exigência, pois para atingir níveis adequados de proteína degradável no rúmen (PDR) a inclusão de grãos de destilaria deve ser elevada. A intensidade da cor dos grãos de destilaria também é um indicador de qualidade da proteína, pois cores mais claras apresentam melhor qualidade de aminoácidos (Figura 8), enquanto cores mais escuras indicam exposição prolongada ao calor, o que torna parte dos carboidratos e das proteínas indisponíveis para o animal (TJARDES; WRIGHT, 2002; SALIM et al., 2010).



Figura 8. Grãos de milho de destilaria com solúveis (DDGS) e sua variação de cor
Fonte: Shurson, (2008); Sinoma, (2012).

Os DDGS do milho são produtos granulares com coloração que pode variar do amarelo claro ao marrom escuro, pois, vários fatores podem influenciar sua coloração, como a quantidade de solúveis adicionados aos grãos de destilaria antes da secagem, até a temperatura e tempo de secagem. A cor da matéria prima influencia pouco a coloração final do DDGS (ROSENTRATER, 2006; LIU, 2009).

A coloração do DDGS ganhou relevância no mercado de exportação, sendo considerado um indicador de qualidade entre as diferentes fontes desse produto. Há alguns anos, foi desenvolvido um sistema subjetivo de avaliação de cor, utilizando um cartão com pontuação de 5 cores (Figura 9). No entanto, devido à sua subjetividade, muitos comerciantes deixaram de utilizá-lo, apesar de ainda ser empregado em alguns casos. (USGC, 2012).

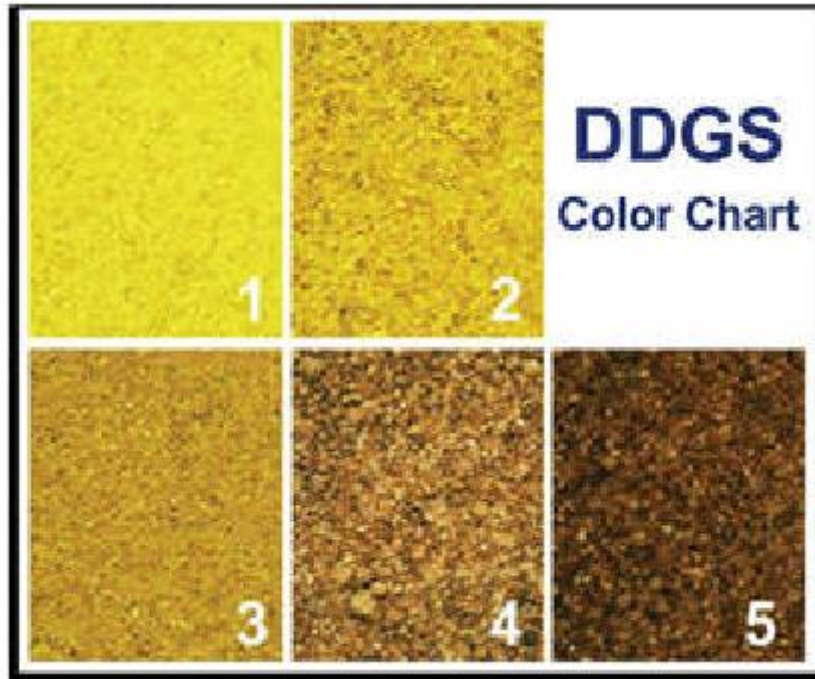


Figura 9. Exemplo de cartão de pontuação de 5 cores. Fonte: USGC (2012)

A principal dificuldade na utilização dos DDGS em dietas está relacionada à variação do valor nutricional devido às diferentes técnicas de processamento para a produção de etanol (LIU, 2009). A coloração é um indicador importante do valor nutricional dos DDGS, ou seja, métodos inadequados de processamento, como temperatura ou tempo de secagem incorretos, resultam em produtos com coloração mais escura e, conseqüentemente, menor valor nutritivo para os animais (FASTINGER et al., 2006).

Segundo Silva, Peres Neto e Scussel (2016) os grãos de destilaria de milho consistem principalmente de carboidratos estruturais (fibra), uma vez que o amido do milho é utilizado no processo de fermentação para a produção de etanol e apesar de possuírem um teor adequado de fibra, a inclusão de volumoso deve ser feita conforme as recomendações para dietas com outros concentrados. Esses grãos de destilaria de milho de alta qualidade apresentam um teor elevado de proteína e gordura (até 10%), resultando em um conteúdo energético semelhante ou maior do que o milho.

No entanto, ainda segundo Silva, Peres Neto e Scussel (2016) a alta concentração de enxofre nos grãos de destilaria de milho é um fator limitante para a sua inclusão nas dietas de bovinos, pois durante o processo de fabricação de etanol,

o ácido sulfúrico é usado para controlar o pH, e como esse ácido contém enxofre, os coprodutos finais possuem um teor elevado desse mineral (cerca de 0,7% da matéria seca).

No entanto, deve-se tomar cuidado com o maior teor de enxofre do DDG que, se representar uma porcentagem grande da dieta, pode causar a polioencefalomalácia, afetar o metabolismo e a absorção do cobre, reduzir o desempenho, reduzir o consumo de matéria seca e algumas alterações no fígado (EDUCAPOINT, 2022).

Peres Neto e Scussel (2016) apontam que ainda são necessárias mais pesquisas para determinar a faixa ideal de inclusão dos grãos de destilaria de milho brasileiros nas dietas. Contudo, incluir aproximadamente 15% na matéria seca como fonte de proteína, substituindo o farelo de soja, e entre 30% a 50% como fonte energética, em substituição ao milho, são considerados níveis seguros e que resultam em bom desempenho produtivo.

Os mesmos autores ainda concluem que os grãos de destilaria de milho podem ser uma alternativa promissora para a alimentação de ruminantes. Ainda assim, é importante que os produtores estejam atentos a alguns fatores que podem influenciar sua viabilidade, como a uniformidade nutricional do coproduto, o preço e a disponibilidade desses insumos, e as dificuldades de manutenção da qualidade quando armazenados úmidos.

Minerva Foods (2020) destacou algumas vantagens e desvantagens no uso do DDG e WDG na alimentação de bovinos. Dentre as vantagens estão:

- Esses coprodutos apresentam, aproximadamente, 30% de proteína bruta, um produto considerado uma fonte proteica, substituindo o farelo de soja por exemplo;
- Podem ser utilizados também como concentrado energético, pois o DDG também possui bons níveis de energia em sua composição;
- Por serem ricos em fibras e pobres em amido (1% de amido residual), podem ser utilizados para diminuir a acidose ruminal, um problema comum em dietas “quentes”, na qual a proporção de concentrado é muito superior à de volumoso;

- Bom custo-benefício na comparação com outros alimentos energético proteicos utilizados na composição das dietas dos bovinos.

Como desvantagens:

- O WDG tem alto teor de umidade (aproximadamente 70%). A alta umidade tem impacto no transporte, inviabilizando, dessa maneira, seu uso em propriedades distantes das usinas;
- O WDG tem sua vida útil, em média, de aproximadamente 3 a 4 dias, caso seja mantido exposto ao oxigênio ou em galpões cobertos. Para extensão da vida útil do produto, é necessário que seja ensilado. Já há estudos mostrando que, quando ensilado de forma anaeróbica, seu tempo de conservação aumenta.

Já de acordo com Edupoint (2022) uso de DDG composição de dietas para bovinos, oferece algumas vantagens:

- Pode substituir alimentos como o farelo de soja, por ter um alto teor de proteína bruta;
- Pode ser utilizado para aumentar o teor energético da dieta;
- Pode ajudar a reduzir a acidose ruminal devido ao seu baixo teor de amido;
- Custo-benefício pode ser melhor em comparação a outros alimentos energéticos e proteicos.

3.6 Fatores relacionados com o uso dos grãos secos de destilaria

3.6.1 Armazenamento

O teor de umidade do WDG (65 - 75%) apresenta desafios no armazenamento devido ao seu maior potencial de deterioração em comparação com o DDG, que possui baixa umidade (10 - 12%). A atenção aos cuidados com o WDG deve começar na indústria do etanol, onde é armazenado temporariamente até ser entregue na fazenda. É importante que o local de armazenamento recém-produzido de WDG seja limpo e protegido contra alterações climáticas, além de estar livres de pássaros, roedores ou qualquer outro animal que possa contaminar o produto com excrementos. As áreas externas do WDG são propensas ao crescimento de mofo devido à umidade, portanto, é essencial removê-lo completamente antes de oferecer o produto (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

Durante o armazenamento temporário na indústria e no transporte para a fazenda, o WDG deve ser protegido da chuva, pois o aumento excessivo da umidade pode levar à perda de nutrientes por lixiviação, prejudicando a qualidade do produto e causando impacto ambiental negativo, especialmente devido à grande quantidade de fósforo presente no WDG (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

Na propriedade, o método de armazenamento do WDG depende do tempo de utilização do produto. Se toda a carga for utilizada em até uma semana, o WDG pode ser armazenado em uma pilha sobre um piso firme e plano, sem contato com o solo, a fim de evitar a contaminação do solo e do coproduto. Além disso, é recomendado cobri-lo com uma lona quando não estiver sendo utilizado, para protegê-lo de efeitos ambientais como chuvas e roedores (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

No caso em que o produto demora a ser utilizado, é recomendada a ensilagem, que pode ser realizada com o WDG sozinho ou em combinação com outros alimentos. Isso ocorre porque, quando exposto ao ar por um longo período de tempo, o WDG pode desenvolver mofo na superfície, resultando em contaminação e perda de matéria orgânica. A ensilagem pode ser feita em silos do tipo bunker ou em silo bag (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

O processo de ensilagem é benéfico, pois evita a deterioração causada em ambiente aeróbico e mantém a qualidade do produto por um período mais longo. Além disso, o pH do WDG é naturalmente baixo, variando de 3 a 4, o que contribui para a preservação e manutenção da qualidade do WDG durante o armazenamento (GARCIA; KALSCHEUR, 2007).

O armazenamento do DDGS é um fator importante que pode afetar a composição fitoquímica do produto, incluindo a vitamina E, ácidos ferúlicos, carotenoides e xantofilas, que possuem propriedades antioxidantes relevantes para a saúde animal, ajudando a proteger contra a oxidação lipídica (SHIN et al., 2018).

A forma de processamento, como a alta temperatura de secagem, pode ter um impacto negativo e reduzir a qualidade do DDGS. Além disso, o perfil de aminoácidos do DDGS está correlacionado com a intensidade de sua cor, sendo que amostras mais claras tendem a apresentar um maior conteúdo de aminoácidos em comparação com amostras mais escuras. Isso ocorre devido ao aquecimento excessivo durante o processo de secagem, que pode resultar em perda do conteúdo de aminoácidos no DDGS (SILVA et al., 2015).

O aminoácido mais limitante no DDGS em comparação ao farelo de soja é a lisina, enquanto as concentrações de vitaminas e minerais podem variar entre as diferentes fontes e lotes de DDGS. Os DDGS derivados do milho são especialmente ricos em vitamina A, niacina, colina e fósforo altamente biodisponível (LIM et al., 2011).

Os níveis de ácidos graxos insaturados no DDGS de milho convencional são significativos, destacando-se os ácidos linoleico (C18:2), oleico (C18:1) e palmítico (C16:0) como os mais abundantes, representando aproximadamente 89% do total de ácidos graxos presentes no DDGS (DÍAZ-ROYÓN et al., 2012). Embora essa alta concentração de ácidos linoleico e oleico contribua para o valor energético do DDGS, também torna o óleo presente no DDGS suscetível à oxidação (WINKLER-MOSER; BREYER, 2011).

Outra característica do DDGS é a sua alta concentração de fibra bruta, sendo a maior parte dessa fibra insolúvel. Esses componentes fibrosos são concentrados no DDGS em até três vezes em relação aos grãos de milho inicialmente utilizados (ANDERSON et al., 2006; SILVA, 2015).

3.6.2 Valor nutricional dos grãos secos de destilaria

Nos Estados Unidos, os grãos de destilaria têm sido consistentemente utilizados na alimentação animal, uma vez que o país é um grande produtor de etanol e utiliza o milho como principal matéria-prima para a produção desse biocombustível, ao contrário do Brasil, onde a cana-de-açúcar é amplamente empregada nesse processo (LEITE; LEAL, 2007).

No Brasil, a produção de etanol a partir do milho teve início apenas em 2012, no estado do Mato Grosso, e desde então tem sido objeto de estudos e utilizado na alimentação animal (ROSSETO et al., 2017).

Tanto os DDG quanto os DDGS apresentam um teor elevado de proteína em comparação ao milho, variando entre 25% e 35% (Tabela 6). Devido a esse aumento no teor de proteína após a remoção do amido, esses subprodutos são predominantemente utilizados como fonte proteica na dieta (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 1978).

No entanto, é importante destacar que, por se tratarem de subprodutos, suas composições podem variar de acordo com o processamento industrial e a planta de milho utilizada (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 1978).

Tabela 6. Concentração de nutrientes dos grãos de destilaria com base na matéria seca.

Composição	DDG	WDG
Matéria seca (%)	88-90	25-35
Proteína Bruta (%)	25-35	30-35
Proteína degradável (% de PB)	40-50	45-53
Extrato etéreo (%)	08-10	08-12
Fibra em detergente neutro (%)	40-44	30-50
Nutrientes digestíveis totais (%)	77-88	70-110
Energia líquida para manutenção (Mcal/lb)	0,89-1,00	0,90-1,10
Energia líquida para ganho (Mcal/b)	0,67-0,70	0,70-0,80
Cálcio (%)	0,11-0,20	0,02-0,03
Fósforo (%)	0,41-0,80	0,5-0,8

Fonte: Adaptado de Tjardes e Wright (2002).

O DDG e WDG são frequentemente utilizados como fonte de proteína devido ao seu alto teor desse nutriente, e grande parte dessa proteína não sofre ação da flora ruminal (Tabela 1) (TJARDES; WRIGHT, 2002). Além disso, tanto o DDG quanto o WDG podem ser utilizados como fonte de energia na dieta de ruminantes, pois possuem valores de energia equivalentes aos do milho, e há evidências de que possam até mesmo superar o milho em termos de teor de energia, de acordo com alguns estudos (HAM et al., 1994; BUCKNER et al., 2008; LOY et al., 2008). Esses valores podem ser atribuídos ao teor de fibra digestível e ao aumento da concentração de gordura presentes nesses (SCHINGOETHE et al., 2009).

De acordo com o NRC (2000), o DDG possui um teor de FDN de 46% e um teor de extrato etéreo (EE) de 10,3%, enquanto o milho apresenta apenas 9% de FDN e 4,3% de EE. No entanto, é importante ressaltar que parte dessa gordura está protegida da ação dos microrganismos do rúmen (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 2008).

O DDGS, por sua vez, é um alimento rico em proteína e energia, com teores de proteína bruta variando entre 26,0% e 31,7%, gordura entre 9,0% e 14,1%, cinzas entre 3,7% e 8,1%, fibra bruta entre 5,4% e 10,4%, FDN entre 33,1% e

43,9%, e fibra em detergente ácido (FDA) entre 11,4% e 20,8%. A MS do DDGS fica em torno de 90,5% (BUOSI; DIAN, 2014; LIU, 2011; SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

A quantidade de aminoácidos no coproduto varia, sendo a lisina a que apresenta valores mais baixos devido à sua sensibilidade ao calor. Estudos mostram uma correlação entre a quantidade de lisina e a coloração do DDGS, onde amostras mais escuras têm menor teor desse aminoácido, portanto, amostras com coloração mais clara são preferíveis, uma vez que a lisina é um aminoácido limitante na produção de leite, o que reduz a quantidade necessária de suplementação na dieta (ACHARYA et al., 2015; PAZ; KONONOFF, 2014). Com o objetivo de preservar a qualidade do coproduto, as usinas de etanol de milho adotam medidas para controlar o aquecimento durante a secagem do resíduo, evitando assim danos decorrentes do calor (SCHINGOETHE et al., 2006; SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

Os teores de lisina, metionina, treonina e arginina no DDGS variam entre 0,85% - 1,02%, 0,49% - 0,69%, 0,25% - 1,13% e 1,01% - 1,48%, respectivamente (ACHARYA et al., 2015; LIU, 2011; ZANTON, HEINRICH; JONES, 2013).

No que diz respeito aos minerais, os teores de cálcio e fósforo no DDGS variam entre 0,17% - 0,26% e 0,78% - 1,08%, respectivamente. É importante observar possíveis distúrbios metabólicos quando o coproduto é associado a um volumoso com altos teores de fósforo, especialmente em vacas no período de transição (LIU, 2011; SCHINGOETHE et al., 2006).

Durante o processamento do DDGS, ocorre exposição a altas temperaturas por um determinado tempo, o que aumenta o teor de proteína não degradável no rúmen (PNDR). No entanto, quando o coproduto é exposto a tempo e temperatura excessivos, parte da proteína se liga à fração FDA e se torna indisponível para degradação ruminal e intestinal. Nesse contexto, as indústrias buscam controlar esses fatores para reduzir perdas de qualidade do produto final durante o processamento (SANTOS; PEDROSO, 2011).

O DDGS possui como característica um alto teor de proteína bruta (30,9%) e fibra bruta (7,2%), sendo a maior parte insolúvel. No entanto, essa composição pode variar (Tabela 7) dependendo da qualidade do milho utilizado na produção de etanol e das condições de processamento, como diferenças de tempo e temperatura de secagem (CROMWELL et al., 1993; BRITO et al., 2008). Quanto às fibras, o DDGS

apresenta um teor mais elevado de fibra em detergente neutro do que em detergente ácido, o que o caracteriza como um coproduto de alta concentração de hemicelulose (SPIEHS et al., 2002; SILVA, 2015).

Tabela 7. Composição nutricional do coproduto sólido do etanol – grãos secos de destilaria com solúveis.

Nutrientes	Composição do DDGS ¹ (%)		
	Média	Faixa (min-max)	DPR ²
Proteína Bruta	30,9	28,7-32,9	4,7
Extrato Etéreo (lipídios)	10,7	8,8-12,4	16,4
Fibra Bruta	7,2	5,4-10,4	18
Fibra em detergente neutro	26,7	19,7-34,1	11,8
Fibra em detergente ácido	8,4	6,2-13,4	23,4
Cinzas	6	3,0-9,8	26,6
Aminoácido Lisina	0,9	0,61-1,6	11,4
Aminoácido Arginina	1,31	1,01-1,48	7,4
Aminoácido Metionina	0,65	0,54-0,76	8,4
Fósforo	0,75	0,42-0,99	19,4

¹ Grãos secos de destilaria com solúveis.

² Desvio padrão relativo

Fonte: Adaptado de Sphies et al (2002); Salim et al (2010).

3.6.3 Fatores limitantes

Um dos fatores que comprometem a utilização do DDGS é a redução da germinação de grãos e a alteração da qualidade e características organolépticas, o que pode causar uma ampla variedade de efeitos tóxicos em animais e humanos (SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

Em condições de umidade e temperatura, ocorre a proliferação de fungos desde o cultivo da planta e a secagem inadequada do DDGS e condições de armazenamento inapropriadas favorecem a contaminação por esses fungos (Figura C). Estima-se que a concentração de micotoxinas no coproduto pode ser até três vezes maior do que nos grãos de cereais (KHATIBI et al., 2014; SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

Em um estudo sobre armazenamento de WDGS, Erickson et al. (2008) observaram que, quando empilhados e deixados descobertos, pode ocorrer mudança de cor e crescimento de fungos na superfície (Figura 10). A formação de

mofo está diretamente relacionada à permeabilidade do plástico que cobre o local, sendo que quanto mais espesso o plástico, menos mofo se forma.

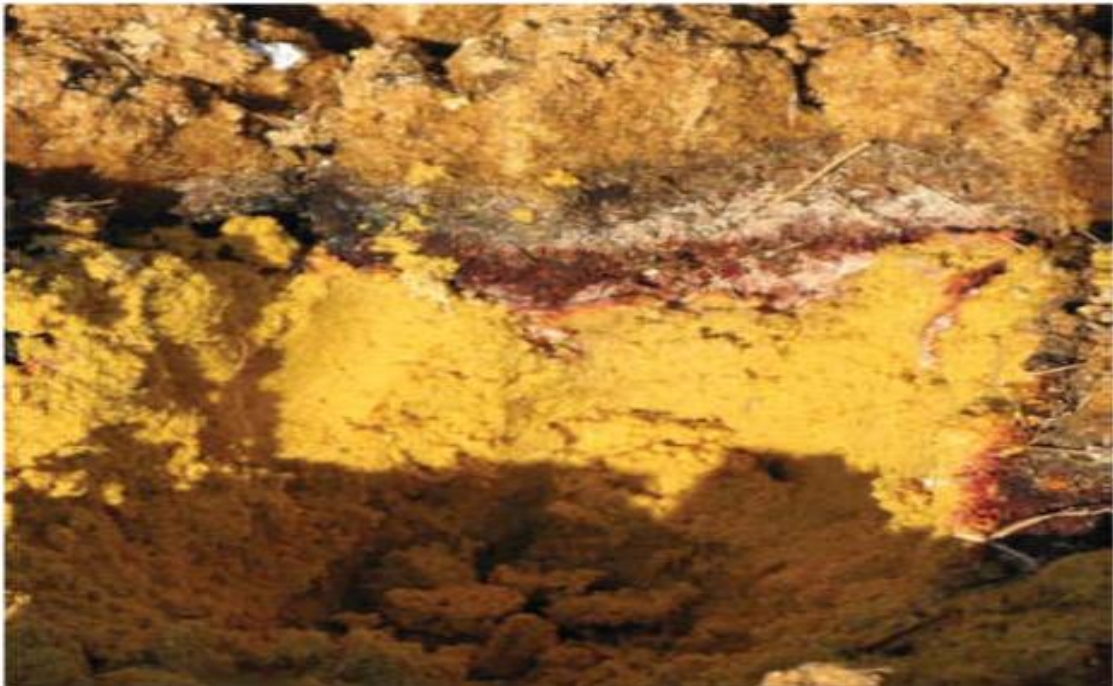


Figura 10. Crescimento de fungo na superfície de grãos úmidos de destilaria com solúveis (WDGS). Fonte: Erickson et. al. (2008).

As micotoxinas mais comumente relatadas no milho incluem fumonisinas, zearalenona, deoxinivalenol, ocratoxina A, toxina T-2 e aflatoxina. No caso do DDGS, as micotoxinas fumonisina e deoxinivalenol são as mais prevalentes (KHATIBI et al., 2014; SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016). Entre as 20 micotoxinas mais frequentemente encontradas em alimentos, as aflatoxinas são consideradas as mais nocivas, sendo que os fungos *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* sintetizam as formas B1 e B2, e G1 e G2, respectivamente (CARDOSO FILHO; CALDAS; MURATORI, 2015).

As aflatoxinas são encontradas na alimentação humana tanto de forma direta quanto indireta. A forma direta ocorre pela ingestão de cereais contaminados, enquanto a forma indireta ocorre por meio de derivados de animais, como leite, carne e ovos. Esse é um dos aspectos mais preocupantes relacionados à adição do DDGS na alimentação humana, uma vez que essas micotoxinas têm afinidade pelo fígado, rins e sistema nervoso, e as toxicoses podem variar em gravidade dependendo da quantidade e frequência de consumo (LIU; SINGH; INGLET, 2011; MAZIERO; BERSOT, 2010).

Para evitar a presença desses compostos no DDGS, é necessário utilizar leveduras no processo de fermentação, garantir uma secagem eficiente e controlar a umidade e temperatura de armazenamento (SILVA; PERES NETTO; SCUSSEL, 2016).

No Brasil, existem poucas normativas que estabelecem os níveis aceitáveis de micotoxinas nos ingredientes utilizados na alimentação animal. A Portaria nº 07 do Ministério da Agricultura estabelece um limite máximo de 50 µg/kg para aflatoxinas (B1+B2+G1+G2) nos ingredientes destinados à alimentação animal (ANVISA, 2011).

Em estudos com ruminantes, que utilizaram diferentes níveis de inclusão do DDGS na dieta, foram observados resultados variáveis devido ao alto teor de proteína não degradável no rúmen e à variabilidade da composição nutricional do DDGS decorrente da heterogeneidade da matéria-prima (ZANTON; HEINRICH; JONES, 2013).

Segundo Benchaar et al. (2013), à medida que o DDGS é incluído em maior quantidade na dieta de vacas leiteiras, ocorre uma redução nas proporções de acetato ruminal e um aumento nas proporções de propionato e butirato. Essa alteração é atribuída à composição do DDGS, com o aumento do ácido butírico e à digestão da fibra presente na dieta. No entanto, outros estudos, como o de Kleinschmit et al. (2006), não encontraram diferenças significativas nas proporções de ácidos graxos voláteis no rúmen ao incluir o DDGS na dieta de bovinos leiteiros.

Zanton, Heinrich e Jones (2013) realizaram um estudo com diferentes níveis de inclusão de DDGS, com alto e baixo teor de proteína não degradável no rúmen (PNDR), em vacas em lactação. Eles utilizaram até 20% do coproduto na formulação do concentrado, combinado com silagem de milho como volumoso e os resultados mostraram que o peso corporal e o consumo de MS não foram afetados pela inclusão do DDGS na dieta. No entanto, houve uma redução linear na gordura do leite com o aumento da inclusão do DDGS, e observou-se uma tendência de menor produção de leite ($P=0,07$). Os autores explicaram que isso ocorreu devido à limitação de lisina na dieta e ao alto teor de PNDR do DDGS.

De forma semelhante, Testroet et al. (2014; 2016) constataram uma redução no teor de gordura do leite ao incluir 10% de DDGS no concentrado, além de uma queda na produção em níveis de 25%. No entanto, a estabilidade oxidativa e o sabor do leite não foram afetados.

Em um estudo realizado por Macaya-Quiroz e Rojas-Bourrillon (2009) em vacas em pastejo, o DDGS foi adicionado ao concentrado, e observou-se que a inclusão de 32% do coproduto resultou em maior produção de leite e persistência na lactação. Por outro lado, a inclusão de 42% do DDGS levou a uma redução na produção devido ao alto teor FDN na dieta. Houve uma redução linear nos teores de nitrogênio ureico do leite (NUL) e gordura com o aumento dos níveis de DDGS, o que foi atribuído ao aumento do teor de ácido linoleico conjugado (CLA), que é um fator que reduz a gordura.

Além disso, Ramirez et al. (2016) observaram um aumento nos teores de CLA no leite com a inclusão de 30% do DDGS na dieta. O CLA é um isômero geométrico do ácido linoleico que é formado a partir da biohidrogenação incompleta dos ácidos graxos poliinsaturados no rúmen por bactérias anaeróbias (JAHREIS et al., 1997; LAWLESS et al., 1999; LOCK; GARNSWORTHY, 2003; PREUSS et al., 2013; VETH et al., 2004).

O CLA possui uma variedade de benefícios para a saúde, incluindo propriedades anticarcinogênicas, promoção do crescimento e massa magra corporal, efeito antioxidante, estímulo ao sistema imunológico, propriedades antidiabéticas e antiaterogênicas (COLLOMB et al., 2006; CHILLIARD et al., 2001; GULATI et al., 2000; LAWLESS et al., 1999; LOCK; GARNSWORTHY, 2003).

Os alimentos de origem animal, como o leite e a carne, são as principais fontes de CLA na dieta humana, pois apresentam uma concentração mais elevada em comparação aos alimentos vegetais. Vários fatores podem influenciar a quantidade de CLA presente no leite, como a idade do animal, a dieta, a sazonalidade, a raça e o estágio de lactação (BARGO et al., 2006; JAHREIS et al., 1997; LAWLESS et al., 1999).

Existem diversas formas naturais de aumentar a quantidade de ácido linoleico nos alimentos, como dietas baseadas em feno, pastagem fresca, alimentos com alto teor de gordura insaturada e uma proporção adequada entre volumoso e concentrado podem promover o aumento da concentração desse componente (CHILLIARD et al., 2001; GULATI et al., 2000).

Além de sua importância na alimentação humana, o CLA desempenha um papel essencial na produção bovina, sendo responsável pela síntese hormonal e composição das membranas celulares. O CLA é precursor do ácido araquidônico e também desempenha um papel na formação do colesterol. Sua presença na dieta

pode influenciar o desenvolvimento reprodutivo dos animais, havendo relatos de aumento nas taxas reprodutivas quando o coproduto é adicionado à dieta de novilhas com aptidão leiteira e de corte (ANDERSON et al., 2015).

O aumento no teor CLA no leite foi relatado por Havlin, Robinson e Karges (2014) ao utilizar DDGS de milho na alimentação de bovinos leiteiros, substituindo o milho e o farelo de soja pelo coproduto. Os autores concluíram que essa substituição teve um impacto mínimo no desempenho produtivo dos animais.

Estudos conduzidos por Schingoethe et al. (2006) e Griffin et al. (2012) mostraram uma redução linear no consumo de matéria seca com o aumento dos níveis de inclusão de DDGS na dieta. No entanto, Benchaar et al. (2013) observaram um aumento no consumo de MS ao substituir o milho e o farelo de soja pelo coproduto, apesar de uma redução no tempo de ruminação e mastigação. Essa substituição resultou em um aumento na produção de leite, nos teores de proteína e lactose, de forma linear. Além disso, os autores mencionam que os níveis de emissão de metano diminuíram linearmente com o aumento na inclusão de DDGS, devido ao maior teor de gordura ingerido pelos animais, o que suprimiu o desenvolvimento de protozoários.

No que diz respeito aos parâmetros sanguíneos, Omer et al. (2015) utilizaram diferentes níveis de substituição de DDGS (25% e 50%) pelo caroço de algodão no concentrado de 30 bezerros alimentados ao longo de 90 dias. Observou-se que os níveis de gama glutamil transferase (GGT), glicose e triglicerídeos foram menores quando o coproduto foi utilizado em comparação com a dieta controle. Por outro lado, os valores de alanina aminotransferase (ALT), aspartato aminotransferase (AST) e ureia foram maiores, enquanto não houve diferença nos níveis de colesterol, creatinina, proteínas totais e albumina.

Anderson et al. (2015) conduziram um estudo utilizando diferentes tipos de DDGS na alimentação de novilhas com aptidão leiteira. O coproduto, tanto de baixo como de alto teor de extrato etéreo, foi adicionado ao concentrado, e foram avaliados os efeitos na reprodução e nos parâmetros sanguíneos. Verificou-se que os animais alimentados com o DDGS de alto teor de gordura apresentaram maior concentração plasmática de CLA em comparação com aqueles que receberam grãos de destilaria de baixo teor de gordura e o grupo controle. Em relação à reprodução, a inclusão do coproduto com alto teor de gordura resultou em um maior número de novilhas com ciclos estrais em comparação aos demais tratamentos.

Por outro lado, Braungardt et al. (2010) destacam que durante o período de inverno, os valores comerciais de volumosos e ingredientes utilizados no concentrado de bovinos tendem a ser elevados devido à escassez desses recursos. Nesse contexto, o DDGS representa uma excelente opção para inclusão na dieta dos animais, permitindo a redução dos custos relacionados à alimentação, sem comprometer as características produtivas dos animais.

3.7 Fatores que favorecem a contaminação de DDGS

O DDGS pode conter diversos tipos de contaminantes, sendo eles microbiológicos e químicos. Os contaminantes microbiológicos são aqueles que se desenvolvem ou formam durante o cultivo da matéria-prima usada na indústria de etanol, como milho, trigo, cevada, cana-de-açúcar e beterraba. Esses contaminantes podem permanecer no DDGS mesmo após a produção ou se concentrar nele. Entre os contaminantes microbiológicos estão fungos, bactérias, toxinas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) que podem se desenvolver no DDGS durante a pós-produção (BISCHOFF et al., 2009; ZANGH et al., 2009; KAHTIBI et al., 2014).

Os DDGS, assim como o milho utilizado no processamento, podem conter fungos toxigênicos que produzem micotoxinas. Essas micotoxinas representam uma ameaça tanto para a saúde dos animais quanto para a saúde humana e podem causar grandes perdas econômicas na cadeia produtiva agrícola (WHITNEY; SHURSON, 2004).

No milho, os gêneros de fungos mais comuns associados à produção de micotoxinas são *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium*, e as micotoxinas mais relatadas incluem fumonisinas (FBs), zearalenona (ZON), deoxinivalenol (DON), ocratoxina A (OTA), toxina T-2 e aflatoxinas (AFLs) (SCUESSEL, 1998, 2002; QUEIROZ et al., 2009). No DDGS, as principais micotoxinas relatadas são DON e FBs (ZANGH et al., 2009; KHATIBI et al., 2014).

No Brasil, especialmente nas regiões tropicais e subtropicais, existem condições propícias para o crescimento de fungos produtores de micotoxinas (MAZIERO; BERSOT, 2010), devido ao clima quente e úmido predominante nessas áreas. Além do fator climático, o sistema de produção apresenta altos índices de perdas de qualidade dos grãos (BRASIL, 1992; PALACIN et al., 2006).

O crescimento fúngico e a formação de micotoxinas dependem de uma série de fatores, como umidade, temperatura, presença de oxigênio, tempo de crescimento fúngico, composição do substrato, características genéticas, lesões na integridade dos grãos causadas por insetos ou danos mecânicos, quantidade de inóculo e interação/competição entre as linhagens fúngicas (SCUSSEL, 1998; 2002; QUEIROZ et al., 2009).

Além desses fatores, as condições de secagem e armazenamento também desempenham um papel importante no desenvolvimento de fungos (LORINI, 2002; SILVA et al., 2008). No caso do DDGS, não apenas os fatores que favorecem a contaminação no milho são preocupantes, mas também a secagem incorreta do DDGS após o processamento de etanol e o ambiente em que esse coproduto pode ser armazenado, pois esses são fatores de grande relevância para a contaminação por agentes microbiológicos (ZANGH et al., 2009).

É necessário adotar medidas de controle para prevenir a contaminação por fungos e micotoxinas nos grãos e no DDGS armazenados. Isso inclui uma secagem eficiente, manutenção do controle de umidade e temperatura durante o armazenamento, além do monitoramento de fungos e micotoxinas ao longo de todo o período. Também é importante garantir condições adequadas durante a colheita, evitando danos mecânicos aos grãos e realizando a colheita no momento de maturação adequado para evitar o crescimento de fungos (SCUSSEL, 1998; TIBOLA et al., 2009).

As bactérias são outro grupo de contaminantes microbiológicos que podem estar presentes no DDGS. A contaminação bacteriana ocorre durante a fermentação do milho para a produção de etanol, devido às condições do processamento, como altas temperaturas e umidade (BISCHOFF et al., 2009; HEIST, 2009).

Dentre as bactérias mais comuns encontradas no DDGS estão *Lactobacillus*, *Pediococcus* e *Leuconostoc*, que são produtoras de ácido láctico (BISCHOFF et al., 2009; MUTHAIYAN; RICKE, 2010). Essas bactérias representam uma grande preocupação, pois competem com as leveduras, responsáveis pela produção de amido por recursos de crescimento (SKINNER; LEATHERS, 2004).

Além disso, essas bactérias produtoras de ácido láctico são capazes de sobreviver em temperaturas elevadas e pH baixo, condições encontradas no processo de produção de etanol. Essas bactérias crescem rapidamente e atingem

um número elevado de células viáveis antes da conclusão da fermentação da levedura (LEJA; BRODA, 2009).

A contaminação bacteriana no DDGS pode resultar em uma redução no rendimento de etanol de até 5% e na produção de DDGS com qualidade inferior (NARENDRANATH et al., 1997). Além disso, as bactérias podem causar deterioração do DDGS, levando a alterações no sabor e possíveis rejeições pelos animais (SALIM et al., 2010; USGC, 2012).

Por outro lado, os contaminantes químicos incluem agrotóxicos, HPAs, micotoxinas, antibióticos, bactérias e toxinas provenientes da matéria-prima utilizada. Esses contaminantes químicos representam uma preocupação adicional em relação à segurança e qualidade do DDGS (BISCHOFF et al., 2009; ZANGH et al., 2009; KAHTIBI et al., 2014).

Os grãos de milho podem conter resíduos de agrotóxicos, os quais podem se estender aos seus coprodutos (BRASIL, 2009). Para assegurar a segurança alimentar em relação aos níveis de resíduos de agrotóxicos, são estabelecidos os limites máximos de resíduos (LMRs) e o intervalo de segurança. Esses LMRs são definidos pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), pela Comissão do *Codex Alimentarius* e pela *World Health Organization* (WHO), representando a concentração máxima de resíduos que pode ser ingerida diariamente por meio da alimentação (BRASIL, 2009; SAVI et al., 2014).

Além disso, para evitar a contaminação por resíduos de agrotóxicos, é fundamental respeitar os LMRs e o intervalo de segurança após a aplicação dos agrotóxicos nos grãos (BRASIL, 2009; SAVI, 2014).

Quando as medidas preventivas não são suficientes, o milho pode estar contaminado por fungos toxigênicos, micotoxinas e/ou agrotóxicos, inclusive em seus coprodutos, como o DDGS, o que representa um alto risco para a saúde animal e humana. Por isso, é de extrema importância a descontaminação do coproduto/ingrediente antes do consumo animal ou humano. Nesse sentido, métodos de descontaminação são valiosos para evitar perdas na produção e melhorar a qualidade dos grãos (LORINI, 2002; KHATIBI et al., 2014; SAVI, 2014; BEBER et al., 2015).

A descontaminação dos grãos pode ocorrer por meio da remoção do material contaminado ou pela destruição e degradação dos contaminantes, como fungos, micotoxinas, bactérias e agrotóxicos. Essa descontaminação pode ser realizada por

agentes físicos (calor, microondas, raios gama e luz ultravioleta), químicos (agentes oxidantes, ácidos, bases e ozonização) e biológicos (microorganismos) (SCUSSEL, 1998).

O uso de antibióticos para reduzir as bactérias durante o processamento do etanol também é regulamentado pelo FDA, assim como a análise de micotoxinas no milho utilizado na produção desse biocombustível (USGC, 2012). Os antibióticos são compostos utilizados há muitos anos para controlar a proliferação bacteriana durante a fermentação da produção de etanol (JURANEK; DUQUETTE, 2007). Entre os antibióticos mais utilizados estão a virginiamicina, tetraciclina, eritromicina e penicilina. No entanto, é importante destacar que esses antibióticos são adicionados em quantidades muito pequenas em relação às taxas de utilização em alimentos para animais (USGC, 2012).

O uso de antibióticos na produção de etanol levanta duas preocupações principais. A primeira é o potencial desenvolvimento de resistência bacteriana, o que tornaria os antibióticos ineficazes no controle de infecções, e essa resistência pode afetar negativamente a eficácia dos antibióticos em outros contextos, representando um problema de saúde pública. (MUTHAIYAN; RICKE, 2010). A segunda preocupação diz respeito aos resíduos de antibióticos presentes no DDGS, que é amplamente utilizado na alimentação animal, e conseqüentemente, pode haver resíduos nos tecidos animais destinados ao consumo humano (BENZ, 2007).

Paulus-Compart (2012) conduziu um estudo para avaliar a presença de resíduos de antibióticos em DDGS. Um total de 159 amostras foram analisadas incluindo tetraciclina, tilosina, eritromicina e penicilina. Dentre as amostras analisadas, uma continha concentrações detectáveis de tetraciclina e outra de penicilina, enquanto nenhuma das amostras continha resíduos de tilosina., já a eritromicina foi encontrada em 16 amostras, o que representa 10,1% do total.

3.8 Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com grãos secos de destilaria

Os grãos de destilaria secos ou úmidos podem ser utilizados para substituir uma parte do milho e farelo de soja na dieta de vacas leiteiras. De acordo com Anderson et al. (2006), vacas alimentadas com grãos de destilaria secos e úmidos

(0%, 10% e 20% da MS da dieta) como substitutos parciais do milho e farelo de soja, apresentaram maior eficiência alimentar, maior produção de leite e maior produção dos componentes do leite, sem alterar a concentração desses componentes.

O mesmo autor relatou que, ao comparar os resíduos de destilaria com WDG e DDG, os animais alimentados com WDG apresentaram maior teor de gordura, proteína e nitrogênio ureico no leite (NUL), o que pode ser explicado pelo maior conteúdo de proteína não degradada no rúmen (PNDR) dos grãos de destilaria. Além disso, as vacas alimentadas com WDG aumentaram o teor de sólidos totais em comparação com aquelas alimentadas com DDG. Desta maneira, os autores sugerem que tanto o DDG quanto o WDG podem ser utilizados como substitutos parciais do milho e farelo de soja.

Um estudo realizado por Schingoethe, Clark e Volker (1983) analisou a substituição do farelo de soja pelo WDG na dieta de vacas leiteiras. Nesse estudo, as vacas receberam silagem de milho à vontade, 3,2 kg de feno de alfafa e uma mistura de milho, aveia e farelo de soja como dieta controle, enquanto na dieta experimental o farelo de soja foi substituído pelo WDG. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas nos sólidos do leite e no consumo de MS entre os grupos. Além disso, as variáveis ácidos graxos voláteis, pH e amônia ruminal foram semelhantes, o que indica que o WDG pode ser uma alternativa viável para substituir o farelo de soja na alimentação de vacas leiteiras. Como não houve diferenças na produção, composição do leite e consumo das vacas, os autores sugerem a realização de uma análise de custo dos dois ingredientes para a tomada de decisão.

No estudo realizado por Zanton, Heinrich e Jones (2013), utilizando grãos de destilaria em diferentes níveis de inclusão e com alto e baixo teor de Proteína Não Degradável no Rúmen (PNDR) na dieta de vacas em lactação, não foi observada influência da inclusão de DDG no peso corporal e no Consumo de Matéria Seca (CMS) das vacas. Entretanto, foi constatada uma redução no teor de gordura do leite à medida que aumentou a inclusão de DDG na dieta, bem como uma tendência a uma menor produção de leite. Esses resultados podem ser atribuídos à limitação de lisina na dieta e aos altos níveis de PNDR presentes nos grãos de destilaria.

Resultados semelhantes foram apresentados por Trestoet et al. (2014; 2016), que também observaram uma diminuição na gordura do leite e uma queda na

produção quando utilizaram 10% e 25% de DDG, respectivamente, no concentrado das vacas.

Esses achados ressaltam a importância de tomar precauções adequadas ao utilizar grãos de destilaria na dieta de vacas leiteiras, a fim de evitar a deficiência de lisina, um aminoácido essencial para a produção de leite (NRC, 2001). É fundamental utilizar ingredientes capazes de suprir a lisina na dieta e monitorar os níveis de PNDR, que desempenham um papel crucial na produção de proteína microbiana, na manutenção de uma flora saudável e no atendimento às exigências dos animais (BERCHIELLI; PIRES; OLIVEIRA, 2011).

A fermentabilidade da dieta e o nível de produção e gordura do leite das vacas também são aspectos importantes a considerar. Segundo Hollmann et al. (2011), que realizaram um estudo meta-analítico e revelaram que a inclusão de DDGS na dieta está associada a uma resposta negativa na gordura do leite quando esta é superior a 3,6%. Os autores ainda observaram que a produção de leite é influenciada pela fermentabilidade da dieta, pois dietas com excesso ou deficiência de silagem de milho ou amido estão relacionadas a uma diminuição na resposta da produção de leite aos grãos de destilaria. Além disso, de acordo com os autores, os DDGS exercem maior influência na gordura do leite e no consumo de matéria seca em vacas de baixa produção, enquanto na produção de leite, a influência é mais pronunciada em vacas de alta produção.

Quanto aos minerais, os grãos de destilaria secos possuem aproximadamente 0,17% a 0,26% de cálcio e 0,78% a 1,08% de fósforo, e desta maneira dependendo da fonte de volumoso ou dos demais ingredientes da dieta, é necessário estar atento a possíveis distúrbios metabólicos, principalmente ao utilizar grãos de destilaria na alimentação de vacas em transição, devido à alta concentração desses minerais (SCHINGOETHE; KALSCHEUR; GARCIA, 2006; LIU, 2011).

Embora os DDGS possam ser adicionados em níveis superiores a 30% MS da ração, é importante ter cuidado, pois a inclusão de mais de 20% de WDGS pode limitar a ingestão de matéria seca e, conseqüentemente, a produção de leite (US GRAINS COUNCIL, 2012).

Outra consideração importante ao utilizar WDGS ou DDGS em dietas de vacas leiteiras é a quantidade de fósforo e enxofre na dieta, pois embora seja improvável que esses níveis afetem a produção ou a saúde dos animais, é

necessário monitorar e ajustar esses componentes para evitar possíveis desequilíbrios (KONONOFF et al., 2008).

Apesar de a maioria dos grãos de destilaria com solúveis conter entre 38% e 40% de FDN, essas fontes de fibras são facilmente digestíveis e podem substituir parcialmente as forragens e o concentrado em dietas de bovinos leiteiros; no entanto, para vacas em lactação, é recomendado que os grãos de destilaria com solúveis substituam apenas o concentrado da dieta e não o volumoso, devido ao tamanho pequeno das partículas, o que torna a fibra menos efetiva nessa função (SCHINGOETHE et al., 2009).

A utilização de resíduos de destilaria de grãos na alimentação de vacas em lactação não tem efeito no sabor do leite ou de seus derivados, e embora não haja pesquisas específicas sobre esse tema, não há motivos para esperar alterações nessas características (SCHINGOETHE et al., 2009).

A resposta na produção de animais alimentados com WDGS e DDGS geralmente é similar, sendo o manuseio e o custo as principais considerações para a escolha entre o produto úmido ou seco. Os produtos secos podem ser armazenados por períodos prolongados e enviados a distâncias maiores de maneira mais econômica do que os úmidos. A produção de WDGS evita os custos de secagem, porém, o produto não permanece fresco e palatável por longos períodos, geralmente de 5 a 7 dias, dependendo do clima (SCHINGOETHE et al., 2009).

Kalscheur (2005) realizou uma meta-análise de dados de experimentos publicados entre 1982 e 2005 para avaliar o nível de inclusão de grãos de destilaria na dieta e seu impacto no desempenho de vacas em lactação. Os níveis de inclusão foram divididos em cinco categorias com base na MS: 0%, de 4% a 10%, de 10% a 20%, de 20% a 30% e superior a 30% (Tabela 8), separando DDGS de WDGS. A produção dos animais alimentados com grãos de destilaria foi igual ou maior do que os da dieta controle, exceto quando a inclusão de WDGS foi de 30% ou mais.

Tabela 8. Consumo de matéria seca, produção de leite, gordura do leite e teor de proteína, em vacas com dietas contendo diferentes quantidades de *dried distillers grains with solubles* (DDGS) e *Wet distillers grains with solubles* (WDGS).

Nível de inclusão (base MS)	IMS (kg/dia)		Leite (kg/dia)		Gordura (%)	Proteína (%)
	DDGS	WDGS	DDGS	WDGS		
0%	23,5 ^c	20,9 ^b	33,2	31,4	3,39	2,95 ^a
4-10%	23,6 ^{b^c}	23,7 ^a	33,5	34	3,43	2,96 ^a
10-20%	23,9 ^{ab}	22,9 ^{ab}	33,3	34,1	3,41	2,94 ^a
20-30%	24,2 ^a	2,1,3 ^{ab}	33,6	31,6	3,33	2,97 ^a
>30%	23,3 ^{bc}	18,6 ^c	32,2	31,6	3,47	2,82 ^b

Fonte: Adaptado de Kalscheur (2005).

Pode-se observar que houve um aumento no consumo alimentar com a inclusão de DDGS, especialmente entre 20% e 30% de inclusão. As vacas que receberam essa dieta consumiram, em média, 0,7 kg/dia a mais (com base na MS) em comparação com aquelas que receberam a dieta controle sem DDGS. Por outro lado, as vacas alimentadas com WDGS apresentaram maior IMS em níveis mais baixos de inclusão (de 4% a 10% e de 10% a 20%), mas quando a inclusão ultrapassou 20%, havendo uma diminuição na IMS. Isso indica a alta palatabilidade dos grãos de destilaria, sendo relacionada a uma menor ingestão em níveis mais elevados, devido à alta concentração de gordura e, no caso do WDGS, à sua umidade elevada (KALSCHEUR, 2005).

Ainda assim, vacas leiteiras alimentadas com dietas contendo entre 4% e 30% de grãos de destilaria produziram, em média, cerca de 0,4 kg/dia a mais de leite em comparação com aquelas da dieta controle. No entanto, quando alimentadas com taxas de inclusão na dieta superiores a 30%, a produção de leite apresentou uma queda de aproximadamente 0,8 kg/dia, provavelmente devido à diminuição na IMS (KALSCHEUR, 2005).

Já o teor de gordura do leite variou de acordo com a inclusão de grãos de destilaria e pode ter sido influenciado pela quantidade de fibra da dieta e pelos altos níveis de gordura provenientes desses grãos. A presença desses grãos pode afetar a função ruminal, levando a uma diminuição na gordura do leite. Por outro lado, o teor de proteínas do leite não variou entre as dietas contendo de 0% a 30% de grãos de destilaria. No entanto, quando a inclusão foi superior a 30%, houve uma redução de 0,13% em relação à dieta controle. Isso provavelmente ocorreu devido à substituição de outras fontes de proteína da dieta pelo grão de destilaria, resultando

em uma proporção desequilibrada de aminoácidos no intestino, com baixa concentração de lisina. A lisina é um aminoácido sensível ao calor e pode ser negativamente afetada pelas altas temperaturas durante a produção de DDGS (KALSCHEUR, 2005).

Chesini et al. (2020), avaliaram 27 vacas da raça Holandesa em lactação, multíparas, com uma média de $200 \pm 4,0$ dias em lactação (DEL), $599 \pm 78,0$ kg de peso corporal (PC) e uma produção de leite de $30 \pm 3,92$ L. Foram aplicados três tratamentos diferentes: 1) CONT., no qual o concentrado da dieta continha farelo de soja como fonte proteica principal; 2) SOY., em que 30% do farelo de soja foi substituído pelo farelo de soja bypass (Soypass®, Cargill, São Paulo); 3) DDG, no qual 30% do farelo de soja foi substituído por grãos secos de destilaria. Os resultados obtidos indicaram que a utilização do farelo de soja bypass e do DDG como substitutos parciais do farelo de soja resultou em um aumento na produção de leite e na concentração de lactose. Além disso, o uso do DDG, em comparação com o tratamento com farelo de soja bypass, mostrou um aumento na porcentagem de proteína do leite. Em suma, pode-se concluir que ambas as fontes de substituição melhoraram o desempenho produtivo das vacas em lactação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alimentação do rebanho em sistemas de produção de leite possui uma grande relevância nos custos totais de produção, podendo chegar a representar até 75% desses custos, e no contexto específico da bovinocultura leiteira, a alimentação das vacas em lactação é considerada o item mais oneroso.

O uso de resíduos industriais como fonte nutricional na alimentação de bovinos leiteiros oferece a oportunidade de combinar alta produção com redução de custos, resultando em ganhos financeiros para os produtores. Além disso, essa redução de custos pode ter um impacto ambiental positivo, uma vez que esses resíduos seriam tratados como rejeitos pelas indústrias.

A utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes não apenas reduz o custo da alimentação, mas também reutiliza a matéria orgânica de origem vegetal gerada pelas indústrias, evitando o acúmulo desses resíduos e a contaminação ambiental. Isso contribui para a preservação dos recursos naturais e promove a sustentabilidade na produção animal.

No contexto específico dos DDGS, trata-se de uma excelente fonte proteica para a alimentação de ruminantes, além de promover a produção de biocombustíveis de maneira sustentável. No entanto, é importante ter cuidado ao incluí-los na dieta dos animais, a fim de evitar perdas produtivas no rebanho.

O armazenamento adequado do DDGS é essencial, para evitar a proliferação de fungos e o aumento do teor de micotoxinas em sua composição e devido à falta de homogeneidade na matéria-prima, é necessário realizar análises da composição bromatológica antes de adicioná-la à dieta.

A utilização do DDGS é uma alternativa viável para produtores que desejam reduzir os custos relacionados à alimentação de ruminantes e manter níveis produtivos satisfatórios e além de ser uma fonte proteica altamente eficiente, sua

utilização contribui para a sustentabilidade por meio do aproveitamento de resíduos provenientes da produção de etanol a partir do milho.

Esses coprodutos também podem ser utilizados como fonte de energia na alimentação de bovinos, o que contribui para a redução de casos de acidose e melhora a eficiência dos animais, inclusive das vacas leiteiras.

No entanto, ao utilizar DDGS na nutrição de vacas leiteiras, é importante considerar a quantidade de lisina na dieta, pois o nível de produção de leite e gordura também influencia a resposta dos grãos de destilaria no desempenho das vacas leiteiras.

A utilização de DDGS na alimentação de bovinos é uma opção para aumentar o teor de proteína e calorias na dieta. Devido às variações nos níveis nutricionais entre as amostras, é recomendável ter cautela ao formular dietas com esse produto e realizar análises bromatológicas em diferentes lotes. A viabilidade econômica do DDGS em comparação com outros insumos dependerá principalmente da distância entre o fornecedor e o consumidor, além da estrutura de armazenamento.

É possível utilizar até 70% de DDGS em formulações destinadas a vacas leiteiras, o que resulta em redução nos custos de produção, aumento na produtividade e viabilidade técnica e econômica das dietas.

À medida que a indústria de etanol avança e aumenta sua produtividade para minimizar a ociosidade na indústria de cana-de-açúcar, ocorre um aumento na produção de etanol a partir do milho e, conseqüentemente, de seus coprodutos.

Nesse contexto, é fundamental que os zootecnistas reconheçam a importância das fontes alternativas de alimentação para reduzir os custos de alimentação animal. Isso se deve ao fato de que o milho e o farelo de soja, principais ingredientes utilizados na alimentação de vacas leiteiras, têm custo elevado e competem com outras formas de alimentação, inclusive a alimentação humana.

5. RESUMO

GRÃOS SECOS DE DESTILARIA NA ALIMENTAÇÃO DE VACAS LEITEIRAS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O interesse crescente pela inclusão de resíduos da extração industrial, subprodutos (ou co-produtos) nas dietas deve-se principalmente à elevação expressiva do preço dos diferentes ingredientes da ração nos últimos anos. A utilização destes alimentos alternativos permite baixar o custo da alimentação de vacas leiteiras sem prejuízo à produção de leite, quando a inclusão na dieta é feita de forma técnica. Devido ao etanol produzido do milho, surgiram o DDG que significa grãos de destilaria secos, quanto os grãos de destilaria secos com solúveis (DDGS), dentre outras formas disponíveis. Tais coprodutos das usinas de etanol de milho, que, devido à excelente relação custo-benefício, vêm ganhando cada vez mais espaço na composição das dietas de bovinos aqui no Brasil e, portanto uma alternativa para alimentação de vacas leiteiras.

Palavras chave: Alimento. Bovinos. Coproduto. Energia. Proteína. Produção de leite. Ração.

6. SUMMARY

DRIED DISTILLERY GRAINS IN THE FEEDING OF DAIRY COWS: Bibliographic Review

The growing interest in the inclusion of residues from industrial extraction, by-products (or co-products) in diets is mainly due to the significant increase in the price of different feed ingredients in recent years. The use of these alternative foods allows to lower the cost of feeding dairy cows without prejudice to milk production, when the inclusion in the diet is done in a technical way. Due to the ethanol produced from corn, DDG has emerged, which means dry distillery grains, as well as dry distillery grains with solubles (DDGS), among other available forms. Such co-products of corn ethanol plants, which, due to the excellent cost-benefit ratio, have been gaining more and more space in the composition of cattle diets here in Brazil and, therefore, an alternative for feeding dairy cows.

Key words: Food. Bovines. Co-product. Energy. Protein. Milk production. Ration.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA I. P.; SCHINGOETHE D. J.; KALSCHEUR K. F.; CASPER D. P. Response of lactating dairy cows to dietary protein from canola meal or distillers' grains on dry matter intake, milk production, milk composition, and amino acid status. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 95, n. 2, 2015.

ALDAI, N.; AALHUS, J. L.; DUGAN, M. E. R.; ROBERTSON, W. M. Comparison of wheat versus corn-based dried distillers' grains with soluble on meat quality of feedlot cattle. **Meat Science**, v. 84, p. 569-577, 2010.

ALVES, J. O.; ZHUO, C.; LEVENDIS, Y. A.; TENÓRIO, J. A. S.. Síntese de nanomateriais de carbono a partir do resíduo de milho (ddgs). **Química Nova**, v. 35, n. 8, p. 1534-1537, 2012.

ANDERSON, J. L.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R.. Evaluation of dried and wet distillers grains included at two concentrations in the diets of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 89, n. 8, p. 3133-3142, 2006.

ANDERSON, J. L.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R. Feeding fat from distillers dried grains with solubles to dairy heifers: II. Effects on metabolic profile. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 8, p. 3133-3142, 2015.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. RDC nº 7 de 2011. Diário Oficial da União, n.46, 2011.

AYADI, F. Y.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; ROSENTRATER, K. A.; BROWN, M. L. Twin screw extrusion processing of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feeds using various levels of corn-based distillers dried grains with solubles (DDGS). **Cereal Chemistry**, v. 88, p. 363-374, 2011.

BARGO, F.; DELAHOY, J. E.; SCHROEDER, G. F.; BAUMGARD, L. H.; MULLER, L. D. Supplementing total mixed rations with pasture increase the content of conjugated linoleic acid in milk. **Animal Feed Science and Technology**, v. 131, p. 226-240, 2006.

BEBER, M.; SAVI, G. D.; SCUSSEL, V. M. Ozone effect on Fungi proliferation and genera susceptibility of treated stored dry paddy rice (L.). **Journal of Food Safety**, v. 35, p. 59-65, 2015.

BENCHAAR, C.; HASSANAT, F.; GERVAIS, R.; CHOUINARD, P. Y. Effects of increasing amounts of corn dried distillers grains with solubles in dairy cow diets on methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 4, 2013.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, V. P.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2011. p. 415-436.

BISCHOFF, K. M. S.; LIU, T. D.; LEATHERS, R. E.; WORTHINGTON J. O. Modeling bacterial contamination of fuel ethanol fermentation. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 102, n. 1, p. 49-58, 2009.

BRITO, C. Uso do DDGS, um subproduto na produção do etanol, na alimentação de monogástricos. **Artigo técnico Poli-Nutri alimentos**, 2008.

BUCKNER, C. D.; DARRELL, M.; BREMER, V. R.; RICKSON, G. E. Cattle CODE: coproduct optimizer decision evaluator. **University of Nebraska Lincoln**, v. 46, n. 4. p. 4, 2008.

BUOSI, J. P.; DIAN, P. H. M. Grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de ruminantes. **Boletim Técnico da Universidade Camilo Castelo Branco**, v. 11, 2014.

CARDOSO FILHO, F. C.; CALDAS, M. L.; MURATORI, M. C. S. Fungos e aflatoxinas em cereais: uma revisão. **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**, v. 2, n. 2, p. 122-130, 2015.

CHESINI, R. G.; SILVA, G. G.; SCOGNAMIGLIO, N. T.; NUNES, A. T. **Grãos secos de destilaria na dieta de vacas em lactação**. XIV Simpósio de Pós-Graduação e Pesquisa em Nutrição e Produção Animal-VNP 2020.

CHESINI, R. G.; SILVA, G. G.; SCOGNAMIGLIO, N. T.; NUNES, A. T. Grãos secos de destilaria na dieta de vacas em lactação. In: Simpósio de Pós-Graduação e Pesquisa em Nutrição e Produção Animal, 14., 2020, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo – FMVZ/USP. **Anais...** São Paulo, 2020.

CHILLIARD, Y.; FERLAY, A.; DOREAU, M. Effect of different types of forages, animal fat or marine oils in cow's diet on milk fat secretion and composition, especially conjugated linoleic acid (CLA) and polyunsaturated fatty acids. **Livestock Production Science**, v. 70, p. 31-48, 2001.

COLLOMB, M. et al. Conjugated linoleic acids in milk fat: Variation and physiological effects. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 1347-1361, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 1, n. 3. Brasília: Conab, 2013.

CROMWELL, G. L.; HERKELMAN, K. L.; STAHLY, T. S. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. **Journal of Animal Science**, 1993.

DUMORTIER, J.; CARRIQUIRY, M.; ELOBEID, A. Where does all the biofuel go? Fuel efficiency gains and its effects on global agricultural production. **Energy policy**, v. 148, 2021.

ERICKSON, G.; KLOPFENSTEIN, T.; RASBY, R.; STALKER, A.; PLUGGE, B.; BAUER. Storage of Wet Corn Co-Products. **Faculty Papers and Publications in Animal Science**, v. 506. p. 1-17, 2008.

FASTINGER, N. D.; MAHAN, D. C. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finisher pigs. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 8, p. 1722-1728, 2006.

FOTH, A. **Energy Content of Reduced-Fat Dried Distillers Grains and Solubles for Lactating Dairy Cows and Effects on Energy and Nitrogen Balance**. 2014. Tese (Ciência Animal). Universidade de Nebraska, Lincoln.

FREITAS, T. B. Coprodutos da indústria de biocombustíveis em dietas para ruminantes. Disponível em: < <http://www2.uesb.br/ppg/ppz/wp->

content/uploads/2017/07/Tese-Tiago-B.-Freitas-_Portugues-corrigido.pdf> Publicado em: 2016 Acesso em: 30 de jun de 2023.

GRIFFIN, W. A.; BREMER, V. R.; KLOPFENSTEIN, T. J.; STALKER, L. A. A meta-analysis evaluation of supplementing dried distillers grains plus solubles to cattle consuming forage-based diets. **The Professional Animal Scientist**, v. 28, p. 306-312, 2012.

GULATI, S. K.; KITESSA, S. M.; ASHES, J. R.; BYERS, E. B. Protection of conjugated linoleic acids from ruminal hydrogenation and their incorporation into milk fat. **Animal Feed Science and Technology**, v. 86, p. 139-148, 2000.

HAVLIN, J. M.; ROBINSON, P. H.; KARGES, K. Impacts of dietary fat level and saturation when feeding distillers grains to high producing dairy cows. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 2014.

HOFFMAN, L. A.; BAKER, A. J. Estimating the substitution of distillers' grains for corn and soybean meal in the US feed complex. **US Department of Agriculture**, 2011.

JAHREIS, G.; FRITSCHKE, J.; STEINHART, H. Conjugated linoleic acid in milk fat: high variation depending on production system. **Nutrition Research**, v. 17, n. 9, p. 1479-1484, 1997.

JURANEK, P.; DUQUETTE, P. Antibiotic regulatory considerations for distiller's grains. *Distillers Grains Quarterly*, **4th Quarter**, 2007.

KHATIBI, P. A. MCMASTER, N. J.; MUSSER, R.; SCHMALE, D. G. Survey of mycotoxins in corn distillers' dried grains with solubles from seventy-eight ethanol plants in twelve states in the U.S. in 2011. **Toxins**, p. 1155-1168, 2014.

KIM, Y.; MOSIER, N. S.; HENDRICKSON, R.; EZEJI, T. Composition of corn dry-grind ethanol byproducts: DDGS, wet cake, and thin stillage. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 5165-5176, 2008.

KINDBERG, L. An introduction to bioenergy: feedstocks, processes and products. **National Sustainable National Geographic**, pp.1-12, 2010.

KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E.; BREMER, V. R. Board-Invited Review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. **Journal of Animal Science**, v.86, p.1223-1231, 2008.

KONONOFF, P. J.; GEHMAN, A. M.; MACHACEK, K. J. Utilization of Corn Co-Products in the Dairy Industry. University of Nebraska Lincoln. 11p. 2008. Disponível em <<http://www.nebraskamilk.org/wp-content/uploads/sites/2/2014/12/Utilization-of-cornco-products.pdf>>. Acesso em: 30 de jun de 2023.

LAWLESS, F.; STANTON, C.; LESCOPEL, P.; DEVERY, R. DILLON, P. Influence of breed on bovine milk cis9, trans-11-conjugated linoleic acid content. **Livestock Production Science**, v. 62, p. 43-49, 1999.

LEITE, R. C. C.; LEAL, Manoel Régis L. V.. **O biocombustível no Brasil**. Novos Estudos – CEBRAP: São Paulo, n. 78, p. 15-21, jul. 2007.

LIU, K. Chemical Composition of Distillers Grains, a Review. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v. 59, p. 1508-1526, 2011.

LIU, S. X.; SINGH, M.; INGLETT, G. Effect of incorporation of distillers' dried grain with solubles (DDGS) on quality of cornbread. **Food Science and technology**, v. 44, p. 713-718, 2011.

LOCK, A. L.; GARNSWORTHY, P. C. Seasonal variation in milk conjugated linoleic acid and Δ 9- desaturase activity in dairy cows. **Livestock Production Science**, v. 79, p. 47-59, 2003.

LORINI, I. Descrição, biologia e danos das principais pragas de grãos armazenados. *In*: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. (Ed.). **Armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Biogeneziz, p. 379-397, 2002.

LOY, D. **Ethanol Coproducts for Cattle - Distillers Grains for Beef Cows**. Iowa Beef Center. Iowa State Univ. 6p. 2008

MACAYA-QUIRÓS, S.; ROJAS-BOURRILLÓN, A. Uso de granos secos con solubles (ddgs) provenientes de la destilería del maíz en sUplementos para vacas lactantes en pastoreo de estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*). **Agronomía Costarricense**, v. 33, n. 2, p. 237-248, 2009.

OLIVEIRA, L.M.; SERRA, J.C.V; OLIVEIRA, K.B.M. Balanços energéticos da produção de etanol para diferentes matérias primas. In: GEOAMBIENTE ONLINE, 22., 2014, Jataí. **Anais...** . Jataí: Ufg, 2014. v. 22, p. 39-52.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B.R.; RODRIGUEZ, R.P.; MORAES, B.s.. Ethanol from biomass: a comparative overview. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 743755, dez. 2017. Elsevier BV

MAZIERO, M. T.; BERSOT, L. S. Micotoxinas em alimentos produzidos no Brasil. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 12, n. 1, p.89-99, 2010.

MEDEIROS, S. R. de.; GOMES, R. D. C.; BUNGENSTAB, D. J. **Nutrição de bovinos de corte: fundamentos e aplicações**. Embrapa Gado de Corte-Livro técnico (INFOTECA-E), 2015.

MEDEIROS, S. R. Etanol de milho e as boas novas para a pecuária de corte. Revista DBO, março 2018. Disponível em: <http://www.portaldbo.com.br/Portal/Artigos/Etanol-de-milho-e-as-boas-novaspara-a-pecuaria-de-corte/24166>. Acesso em: 30 de jun 2023.

MILANEZ, A. Y. et al. A produção de etanol pela integração do milho-safrinha às usinas de cana-de-açúcar: avaliação ambiental, econômica e sugestões de política. **Revista do BNDES**, v. 41, p. 147-208, 2014.

MOHAMMADI SHAD, Z., VENKITASAMY, C., & LAMSAL, B. Front-end corn germ separation: Process variations and effects on downstream products recovery and quality. **Cereal Chemistry**, v. 98, n. 2, p. 189-211, 2021.

MUTHAIYAN, A.; RICKE, S. C. Current perspectives on detection of microbial contamination in bioethanol fermentors. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 13, p. 5033-5042, 2010.

NARENDRANATH, N. V.; HYNES, S. H.; THOMAS, K. C.; INGLEDEW, M. W **Applied Environmental Microbiology**, v.71, n. 5, 1997.

PAULUS-COMPART, D. **Fate and biological activity of antibiotics used in fuel ethanol production**. M.S. Thesis, University of Minnesota, 2012.

PAZ, H. A.; KONONOFF, P. J. Lactation responses and amino acid utilization of dairy cows fed low-fat distillers dried grains with solubles with or without rumen-protected lysine supplementation. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 10, 2014.

PENZ JUNIOR, A. M.; GIANFELICE, M. O que fazer para substituir os insumos que podem migrar para a produção de bio-combustível. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 36, p. 107117, 2008.

PREUS, M. B.; ROHLFES, A. L. B.; BACCAR, N. M.; MARQUARDT, L. Ácido Linoléico Conjugado: uma breve revisão. **Revista Jovens Pesquisadores**, v. 3, n. 2, p.134-146, 2013.

RAMIREZ-RAMIREZ, H. A.; LOPEZ, E. C.; JENKINS, C. J. R. Reduced-fat dried distillers grains with solubles reduces the risk for milk fat depression and supports milk production and ruminal fermentation in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 3, 2016.

ROSALES, O. C.; ARANTES, V. A review on commercial-scale high-value products that can be produced alongside cellulosic ethanol. **Biotechnology for biofuels**, v. 12, n. 1, p. 1-58, 2019.

ROSENTRATER, K. A. Some physical properties of distillers dried grains with solubles (DDGS). **Applied Engineering and Agriculture**, v. 22, p. 589–595, 2006.

ROSSETO, R.E; MADALENA, L.C.S; OLIVEIRA A.F; CHANG, P; PRIMIERI, B.F; FRIGO, E.P; SANTO, R.F. Panorama do Etanol Brasileiro. In: II SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE ENERGIA NA AGRICULTURA, 2., 2017, Cascavel. **Anais [...]** Cascavel: Acta Iguazu, 2017. v. 6, p. 13-22.

SALIM, H. M.; KRUK, Z. A.; LEE, B. D. Nutritive value of corn distillers dried grains with solubles as an ingredient of poultry diets: a review. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, p. 411-432.

SANTOS, F. A. P.; PEDROSO, A. M. Metabolismo de proteínas. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. 2 ed. Jaboticabal: Funep, 2011. 616p.

SANTOS, O. A. Bioquímica Brasil: produção de etanol a partir de milho, conceitos e operação. Produção de Etanol a partir de Milho, conceitos e operação. 2019.

Disponível em: <https://bioquimicabrasil.com/2019/07/20/producao-de-etanol-a-partir-de-milho-conceitos-e-operacao/>. Acesso em: 30 de jun 2023.

SAVI, G. D. et al. Ozone treatment efficiency on *Fusarium graminearum* and deoxynivalenol degradation and its effects on whole wheat grains (*Triticum aestivum* L.) quality and germination. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 245-253, 2014.

SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEN, A. R.; GARCIA, A. D. Invited review: The use of distillers products in dairy cattle diets. **Journal of Dairy Science**. v. 92, p. 5802– 5813. 2009.

SCHINGOETHE, D.J.; CLARK, A.K.; VOELKER, H.H. Wet Corn Distillers Grains in Lactating Dairy Cow Rations. **Journal of Dairy Science**, v. 66, n. 2, p. 345- 349, 1983.

SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; GARCIA, A. D. Distillers grains for dairy cattle. **Extension Extra Dairy Science**, 2006.

SILVA, J. R.; PERES NETTO, D. SCUSSEL, V. M. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança: revisão. **Pubvet**, v.10, n.3, p. 257 – 270, 2016.

SILVA, J. R. Resíduo seco de destilaria contendo solúveis (DDGS), com e sem xilanase, na alimentação de cães. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVEIRA, G. Qual o futuro do etanol de milho dos EUA? Notícias Agrícolas. 2014. Disponível em: < [https://www. noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/138552-qualo-futuro-do-etanol-de-milho-dos-eua-por-glauber-silveira. html#.WdeM7FtSzIV](https://www.noticiasagricolas.com.br/artigos/artigos-geral/138552-qualo-futuro-do-etanol-de-milho-dos-eua-por-glauber-silveira.html#.WdeM7FtSzIV) >. Acesso em: 30 de jun 2023.

SOBRINHO, P. Processo (simplificado) de produção de ETANOL de MILHO. Cuiabá: Conab, 2012. Disponível em: <https://silo.tips/download/mato-grosso-processo-simplificado-de-producao-de-etanol-de-milho-destilaria-usin>. Acesso em: 30 de jun 2023.

SPIEHS, M. J. et al. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *Journal of Animal Science*, v. 80, p. 26-39, 2002.

SWIETKIEWICZ, S, KORELESKI, J. The use of distillers dried grains with solubles (DDGS) in poultry nutrition. (DDGS) in poultry nutrition. **World's Poultry Science**. 2008.

TESTROET, E. D. et al. Lactational performance of holstein dairy cows fed two levels of full-fat corn dried distillers grains with solubles, **Animal Industry Report**., 2016.

TESTROET, E. D. et al. Quality of milk from lactating dairy cattle fed dried distillers grains with solubles. **Animal Industry Report**, 2014.

USGC, U.S Grains Council. (2012). A guide to distiller's dried grains with solubles (DDGS). Third Edition.

VETH, M.; GRIINARI, J. M.; PFEIFFER, A. M.; BAUMAN, D. E. Effect of CLA on milk fat synthesis in dairy cows: comparison of inhibition by methyl esters and free fatty acids, and relationships among studies. **Lipids**, v. 39, n.4, p.365-372, 2004.

WERLE, C. H. **Utilização de grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS) de milho na alimentação de vacas em lactação**. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondo, 2017.

XU, W.; REDDY, N.; YANG, Y. Extraction, characterization and potential applications of cellulose in corn kernels and Distillers' dried grains with solubles (DDGS). **Carbohydrate Polymers**, v.76, p.521-527, 2009.

YOUNG, M. **Using dried distillers grains with solubles (DDGS) in swine diets**. In: 8th London Swine Conf., London, Ontario, Canada, 2008.

ZANTON, G. I.; HEINRICHS, A. J.; JONES, C. M. Short communication: effects of level of rumen-degradable protein and corn distillers grains in corn silage-based diets on milk production and ruminal fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.96, n.7, 2013.

ZHANG, Y., CAUPERT, J.; IMERMAN, P. M.; RICHARD, J. L.. Scientific overview of mycotoxins in DDGS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 20, p. 9828-9837, 2009.