Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Níveis de inclusão de fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho em dietas para bovinos terminados em confinamento

João Marcos Meneghel de Moraes

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2023

João Marcos Meneghel de Moraes
Engenheiro Agrônomo

Níveis de inclusão de fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho em dietas para bovinos terminados em confinamento

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FLÁVIO AUGUSTO PORTELA SANTOS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Moraes, João Marcos Meneghel de

Níveis de inclusão de fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho em dietas para bovinos terminados em confinamento / João Marcos Meneghel de Moraes. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

50 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. DDBS 2. Substituição 3. Desempenho. 4. PNDR I. Título

Aos meus pais, Antonio Marcos e Rosa Maria, e a minha irmã, Graziela, por todo apoio e suporte, a Mayara, por estar ao meu lado sempre.

AGRADECIMENTOS

A minha família, por todo ensinamento, apoio e suporte que me propuseram, me auxiliando em todos os processos da minha vida.

Ao professor Flávio, por ter dado a oportunidade de elaboração desse projeto, confiando em mim na execução. Agradeço a todo o ensinamento, desde a graduação, como estagiário do CPZ e Nutribov.

A ESALQ e ao Departamento de Zootecnia a toda a estrutura disponibilizada para elaboração deste estudo. Além de todo o aprendizado com seu corpo docente.

Ao grupo de estágio e pesquisa Nutribov, que sem eles não seria capaz de concretizar isso. Em especial ao Fexaporta, Jakabo, Cage, Corrupto, Geladeira, “Mestre”, Pregadão, Duda, Micaela, Franciele, Kizi, Niltu, Xokaio.

Aos amigos que fiz nesse período: Titaniq, Silvio, Tchê, Pancada, Zé, obrigado por tudo.

Ao professor Zico que foi o responsável por eu tentar o mestrado e me motivou a isso.

A FS-Bioenergia pela confiança e oportunidade de trabalho, e suporte financeiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela disponibilidade da bolsa de estudos.

“A persistência é o caminho do êxito”

Charles Chaplin

SUMÁRIO

RESUMO 7
ABSTRACT 8
LISTA DE FIGURAS 9
LISTA DE TABELAS 10
1 INTRODUÇÃO 11
2 REVISÃO DE LITERATURA 13
2.1 Produção de etanol de milho no Brasil 13
2.2 Processo de moagem de milho 14
2.3 Processo tradicional a seco e seus coprodutos 15
2.4 Mudanças no processo e seus coprodutos 16
2.5 Uso de coprodutos em dieta para terminação de bovinos confinados 18
3 MATERIAL E MÉTODOS 21
3.1 Experimento 1: Desempenho animal 21
3.1.1 Data, Local, Animais e Tratamentos 21
3.1.2 Coleta de dados e análises de alimentos 25
3.1.3 Análise estatística 26
3.2 Experimento 2: Digestibilidade e fermentação ruminal 26
3.2.1 Data, Local, Animais e Tratamentos 26
3.2.2 Coleta de dados e análises 26
3.2.3 Análise estatística 27
4 RESULTADO E DISCUSSÕES 29
4.1 Experimento 1: Desempenho animal 29
4.2 Experimento 2: Digestibilidade e parâmetros ruminais 36
5 CONCLUSÕES 41
REFERÊNCIAS 43

RESUMO

Níveis de inclusão de fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho em dietas para bovinos terminados em confinamento

Dois experimentos foram conduzidos para avaliar o desempenho e os parâmetros ruminais de machos inteiros com predominância de sangue Nelore em terminação em confinamento, alimentados com níveis de inclusão de fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho (DDBS) na dieta. Todas as dietas foram formuladas para serem isoproteicas contendo 8,5% de bagaço de cana-de-açúcar, 12% de casca de soja, 0,5 a 1,4% de ureia e 1,8% de suplemento mineral e vitamínico. Os tratamentos foram (% da MS): 0% (64% de milho, 8% de caroço de algodão, 5% de farelo de soja e 64% de milho moído; 15% (15% de DDBS, 61,3% de milho moído), 30% (30% de DDBS e 46,7% de milho moído) e 45% (45% de DDBS e 32,2% de milho moído). No experimento de desempenho foram utilizados duzentos e cinquenta e quatro machos Nelore não castrados (399 kg), distribuídos em 56 baias em um delineamento em blocos aleatorizados e alimentados por 98 dias, após 21 dias de adaptação. Dentre as variáveis avaliadas no experimento de desempenho, o peso final ($P<0,001$), o consumo de matéria seca ($P=0,005$), o ganho de peso diário ($P=0,002$), a eficiência alimentar ($P<0,001$), o peso de carcaça quente ($P=0,005$), a energia líquida de mantença ($P<0,001$) e a energia líquida de ganho ($P<0,001$) apresentaram efeito linear crescente. Os demais parâmetros avaliados como rendimento de carcaça, área de olho de lombo e espessura de gordura não apresentaram efeito com o aumento da inclusão de DDBS. No experimento metabólico foram utilizados vinte e oito machos castrados com cânula ruminal distribuídos em baias individuais, em delineamento em blocos aleatorizados. A inclusão de DDBS na dieta causou redução quadrática na concentração de isobutirato ($P=0,005$) e redução linear na concentração de isovalerato ($P=0,015$), enquanto os consumos de MS, CNF, EB e de ED apresentaram resposta quadrática ($P\leq0,03$), com resposta máxima com a inclusão de 15% de DDBS. Em resumo, o DDBS possui maior valor energético que as diferentes misturas substituídas de milho flint moído, caroço de algodão e farelo de soja e inclusão de até 45% de DDBS na dieta de bovinos em terminação em substituição ao milho moído, caroço de algodão e farelo de soja, melhora o desempenho animal.

Palavras-chave: DDBS, Substituição, Desempenho, PNDR

ABSTRACT

Inclusion levels of co-product derived from the corn ethanol production process in feedlot finished cattle

Two experiments were carried out to evaluate the performance and rumen parameters of Nellore males fed feedlot finishing diets with varying levels of dried distillers bran plus solubles (DDBS). All diets were formulated to be isoprotein containing 8.5% sugarcane bagasse, 12% soybean hulls, 0.5 to 1.4% urea and 1.8% mineral and vitamin supplements. The treatments were (% of DM): 0% (64% of corn, 8% of cottonseed, 5% of soybean meal and 64% of ground corn; 15% (15% of DDBS, 61.3% of ground corn), 30% (30% DDBS and 46.7% ground corn) and 45% (45% DDBS and 32.2% ground corn). Nelore bulls (399 kg) were distributed in 56 pens in a randomized block design and fed for 98 days, after 21 days of adaptation. Dry matter intake (P=0.005), daily weight gain (P=0.002), feed efficiency (P<0.001), hot carcass weight (P=0.005), diet net energy of maintenance (P<0.001) and net energy of gain (P<0.001) were increased linearly. The other parameters evaluated such as carcass yield, loin eye area and fat thickness were not affected by inclusion of DDBS in the diet (P>0.05). In the metabolism study, 28 Nellore steers cannulated in the rumen were allotted to individual pens in a randomized block design. The inclusion of DDBS in the diet caused a quadratic reduction in rumen isobutirate (P=0.005) and a linear reduction in isovalerate (P=0.015) while the intakes of DM, NFC, GE and DE presented a quadratic response (P≤0,03), with the highest values at 15% of inclusion. In summary, the DDBS used in this trial contains greater energy value than the different replaced combinations of flint corn, whole cottonseed and soybean meal, and its inclusion up to 45% of diet DM improves the performance of finishing cattle.

Keywords: DDBS, Replacement, Performance, RUP

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Histórico de inauguração de usinas flex (produção de etanol de cana-de-açúcar e milho) e full (produção de etanol de milho) no Brasil. (DA SILVA et al., 2020) 13

Figura 2- Processo tradicional de produção de etanol de milho a seco e seus coprodutos (MACDONALD, 2018). 15

Figura 3 - Processo de produção de etanol de milho a seco com separador de fibra e seus coprodutos (GARLAND, 2018). 17

Figura 4 - Efeito linear (P=0,002) da inclusão da fibra mais solúveis (DDBS) na dieta no ganho de peso diário (GPD) em bovinos Nelore em terminação confinados..... 31

Figura 5 - Efeito linear (P<0,001) da inclusão da fibra mais solúveis (DDBS) na dieta na eficiência alimentar (relação GPD:CMS) em bovinos Nelore em terminação confinados. 34

Figura 6 - Efeito da inclusão de DDBS na energia líquida de mantença (ELm, ●) e energia líquida de ganho (ELg, ▲) em bovinos Nelore em terminação confinados, calculados a partir de ZINN e SHEN (1998). Um efeito linear observado na ELm (P<0,001) e na ELg (P<0,001). 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ingredientes e composição química das dietas dos experimentos de desempenho e metabolismo 22

Tabela 2 - Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas experimentais de desempenho e de metabolismo 23

Tabela 3 - Tamanho médio e distribuição de partícula do milho moído 24

Tabela 4 - Tamanho médio e distribuição de partícula do bagaço de cana-de-açúcar..... 24

Tabela 5 - Desempenho de bovinos em terminação confinados com dietas contendo níveis de inclusão de DDBS. 32

Tabela 6 - Parâmetros de fermentação ruminal em bovinos alimentados com níveis de inclusão de DDBS na dieta 38

Tabela 7 - Consumo e digestibilidade de nutrientes em bovinos alimentados com DDBS..... 40

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a produção de etanol de milho tem crescido de forma consistente no Brasil (CONAB, 2022). Com uma alta produtividade nacional, sua produção apresenta baixo impacto ambiental e pode produzir 4 mil litros de etanol por hectare cultivado (DE SOUZA et al., 2014). O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no mundo, precedido pelos EUA e China, com produção na safra 2021/2022 de 116 milhões de toneladas (CONAB, 2022).

Essas industrias além da produção de etanol, sua principal receita, também geram coprodutos que podem ser utilizados como componentes nas dietas de animais monogástricos e de ruminantes (NASEM, 2016). A "*American Association of Feed Control Official*" (AAFCO), uma associação voluntária de membros de agências locais, estaduais e federais americanas que visa a segurança e a linguagem uniforme, reportou que há diversos coprodutos oriundos dos destiladores de milho. Os principais coprodutos de milho são: grãos destilados secos (dried distillers grains – DDG), grãos de destilados secos mais solúveis (dried distillers grains plus solubles – DDGS), ambos também na versão com alta humidade (WDG e WDGS) e os solúveis condensados ou xarope – (condensed distillers solubles – CDS) (DICONSTANZO et al., 2015). Porém, pode haver diferenciação desses coprodutos dentro da mesma classificação e oscilações entre indústria (BUCKNER et al., 2011). Atualmente, com mudanças no processo industrial para maior eficiência na produção de etanol, estão surgindo diferentes produtos no mercado, como a fibra seca de destilaria com solúveis (dried distillers bran plus solubles - DDBS), a fibra úmida de destilaria com solúveis (wet distillers bran plus solubles – WDBS) e grãos destilados de alta proteína (high protein distillers grains - HPDG) (ANTUNES, 2020; GARLAND, 2018; PALOWSKI et al., 2021).

Com base no exposto acima, pode-se justificar a necessidade de estudos com o DDBS para a terminação de bovinos no Brasil. Os objetivos do trabalho foram avaliar níveis de inclusão de DDBS (dried distillers bran plus solubles) como fonte proteica-energética em dietas de terminação de bovinos confinados, com as seguintes hipóteses: a) O DDBS na inclusão de 15% da MS da dieta é fonte proteica alternativa à mistura de farelo de soja e caroço de algodão; b) o DDBS apresenta maior valor alimentar que o milho flint combinado com farelo de soja e caroço de algodão, e c) o aumento de inclusão de DDBS aumenta o ganho de peso diário e melhora a eficiência alimentar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de etanol de milho no Brasil

A relevância de diversos países em diversificar a matriz energética, com o aumento da produção de biocombustíveis se deve à dependência de fontes não renováveis, aos aspectos ambientais e ao impulsionamento de políticas públicas (SILVA et al., 2020). O milho, entre as opções de matéria prima para produção de biocombustíveis, revela-se com bom rendimento nos aspectos técnicos de produção e como uma commodity extensamente produzida no mundo (YACOBUCCI e SCHNEPF, 2007). Dentre os países produtores de etanol de milho, os Estados Unidos lideram o ranking de produção, com 205 plantas que processam o milho, localizadas principalmente no "*Corn Belt"* norte-americano (DA SILVA, 2020).

O Brasil é um grande produtor de etanol, porém a principal matéria prima utilizada é a cana-de-açúcar. A produção de etanol de milho brasileira ainda é incipiente, dados da UNICA (2020) revelam que em 2019 a produção de etanol de milho do Brasil equivaleu 2,8% da produção norte americana e 1,5% da produção mundial.

A primeira usina a produzir etanol de milho no Brasil foi a Usimat em 2012, localizada no Mato Grosso, também foi a pioneira no modelo flex (produção de etanol a partir de cana-de-açúcar e milho) (CONAB, 2018). A primeira usina de etanol de milho full (produção de etanol apenas de grãos) foi a FS Bioenergia, em Lucas do Rio Verde, MT, inaugurada em 2017 (DA SILVA et al., 2020). A Figura 1 apresenta a evolução das usinas de produção de etanol de milho no Brasil de 2012 a 2020.

Figura 1- Histórico de inauguração de usinas flex (produção de etanol de cana-de-açúcar e milho) e full (produção de etanol de milho) no Brasil. (DA SILVA et al., 2020)

O surgimento no Brasil, primeiramente de plantas do tipo flex, ou seja, usinas que produzem etanol a partir de cana-de-açúcar e milho, foi impulsionado pela necessidade de menor investimento, devido a otimização dos parques industriais já existentes, diante da ociosidade no período de entressafra, e devido a cadeia de etanol previamente existente (ECKERT et al., 2018; DA SILVA et al., 2020; YABE MILANEZ et al., 2014).

A abundância de milho em algumas regiões, incentivos governamentais para produção de combustível através de fontes renováveis, dificuldade de escoamento de produção e boas perspectivas para consumo de etanol carburante no país desde o fim de 2016, têm impulsionado o surgimento de usinas de produção de etanol de milho do tipo "full", ou seja, plantas que produzem etanol exclusivamente a partir de grãos (ECKERT et al., 2018; DA SILVA et al., 2020).

2.2 Processo de moagem de milho

De maneira geral, a produção de etanol de milho pode ser através de duas vias: via de moagem seca e via de moagem úmida. A diferença dessas vias, é como o próprio nome sugere, na presença ou não de água no processo de separação dos componentes do milho. Cada método gera uma diversidade de coprodutos que são amplamente utilizados na alimentação animal (NASEM, 2016), sendo o método úmido mais complexo e com produtos mais sofisticados (DA SILVA et al., 2020).

Cerca de 90% da produção de etanol de milho norte americana é gerada através do método de moagem a seco, e no Brasil também há predomínio desse método. Através deste procedimento, além da produção de etanol, geram também coprodutos como DDG, DDGS e suas versões com maior teor de umidade, WDG e WDGS (VASCONCELOS e GALYEAN, 2007). O restante da produção é por moagem úmida, que geram coprodutos como o "*corn gluten feed"* e "*corn gluten meal"* (DA SILVA et al., 2020).

Atualmente, com avanços tecnológicos no processo industrial do método de moagem a seco, para maior eficiência na produção de etanol, estão surgindo diferentes produtos no mercado além dos tradicionais, como a fibra seca de destilaria com solúveis (DDBS), fibra úmida de destilaria com solúveis (WDBS) e grãos destilado de alta proteína (high protein distillers grains - HPDG) (GARLAND, 2018; ANTUNES, 2020; PALOWSKI et al., 2021).

2.3 Processo tradicional a seco e seus coprodutos

O processamento tradicional a seco (Figura 2) inicia-se com a moagem do grão de milho para tornar o amido, presente no endosperma, mais disponível para a fermentação da glicose em etanol. É adicionado ao milho moído, água e α-amilase, na quais são deixadas a uma temperatura de 100ºC por várias horas a um pH de 6,0. O cozimento do mosto, mistura de água mais grãos, permite a quebra das ligações α 1-4 entre a estrutura cristalina do amido, o que aumenta a disponibilidade do amido do grão (BOTHAST e SCHLICHER, 2005). Após o esfriamento do mosto, é adicionado glucoamilase para a quebra dos açúcares em monossacarídeos, como a glicose. Algumas indústrias utilizam ácido sulfúrico para controle de pH do mosto entorno de 4,5 (ANTUNES, 2020). Terminado o processo de hidrólise do amido em açúcares simples, soma-se ao mosto levedura e fonte de nitrogênio, para produção de etanol, dióxido de carbono e sólidos dos grãos destilados. A mistura fermentada é destilada, para que ocorra a separação do etanol. A vinhaça, produto que sobra do processo de destilação, é centrifugada para que ocorra a separação da vinhaça fina dos sólidos que são considerados grãos destilados úmidos (WDG). A vinhaça fina restante é condensada produzindo os solúveis de destilaria condensados (CDS) ou xarope. A combinação dos dois produtos gera os grãos destilados úmidos mais solúveis (WDGS), podendo ser misturados totalmente ou parte dos solúveis, ou ainda secos, produzindo assim o DDGS. Se todos os solúveis forem adicionados aos grãos destilados, os DGS são aproximadamente 80% de grãos destilados e 20% de solúveis (CORRIGAN et al., 2009).

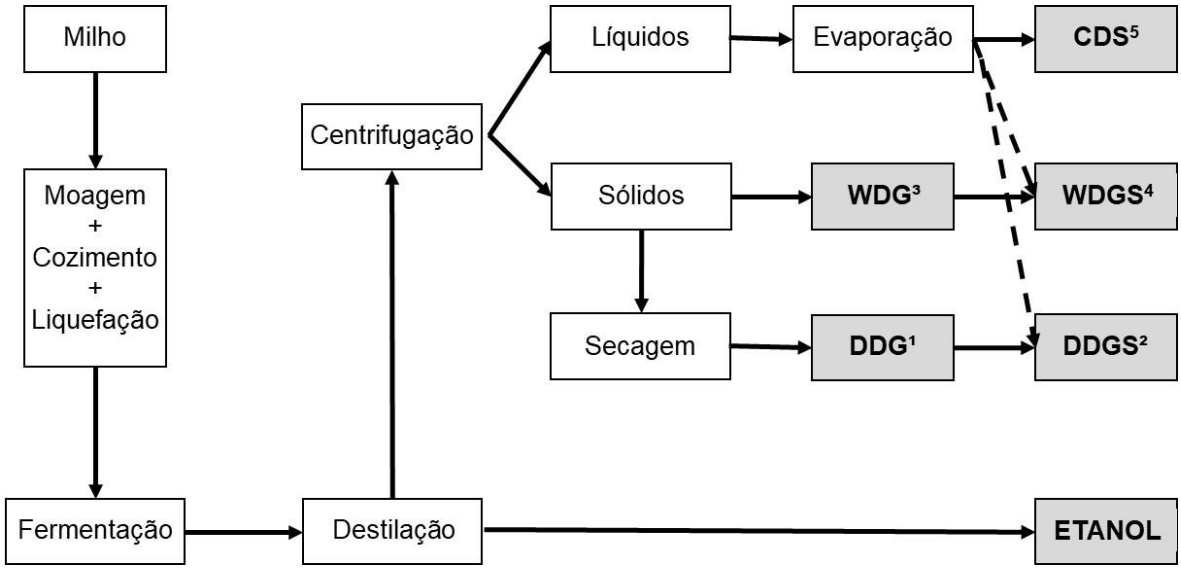

Figura 2- Processo tradicional de produção de etanol de milho a seco e seus coprodutos (MACDONALD, 2018).

[1] DDG = dried distillers grains. [2] DDGS = dried distillers grains with solubles. [3] WDG = wet distillers grains. [4] WDGS = wet distillers grains with solubles. [5] CDS = condensed solubles

A composição de nutrientes dos coprodutos pode alterar com base na quantidade de CDS adicionado. Como o grão de milho é constituído por dois terços de amido e é essa fração que é transformada em etanol, os outros constituintes concentram-se 3 vezes mais nos coprodutos em relação ao milho, de maneira geral (LIU, 2011; STOCK et al., 2000). Segundo NASEM (2016), os grãos de destilarias tradicionais possuem uma composição nutricional de 31% de PB, 10,5% de EE, 30% de FDN, 15% de FDA, 0,86% de fósforo e 0,67% de enxofre. Embora esses valores sejam a média, uma variação significativa entre plantas tem sido observada (BUCKNER et al., 2011; SPIEHS et al., 2002). Essas variações se devem a diversos fatores como por exemplo: as plantas não apresentam a mesma eficiência em conversão de amido a etanol, podendo haver um resíduo de amido não fermentado; uma variação no teor de proteína e gordura devido a adição de frações de CDS diferentes entre as plantas; e variação no teor de enxofre, algumas fábricas adicionam ácido sulfúrico para controle do pH do mostro (ANTUNES, 2020; BUCKNER et al., 2008a; GARLAND, 2018; NASEM, 2016). Algumas plantas também apresentam um processo de retirada de óleo dos coprodutos, diminuindo o EE (BREMER et al., 2015; BUCKNER et al., 2008a).

2.4 Mudanças no processo e seus coprodutos

Vale ressaltar que a principal fonte de receita das usinas de produção de etanol a partir do milho é o próprio etanol (YABE MILANEZ et al., 2014) e os outros coprodutos gerados são complemento. Mudanças no processo priorizam melhorar a eficiência e/ou diminuir o custo de produção de etanol e produzir coprodutos diferentes dos processos tradicionais (SINGH et al., 2001). Na Figura 3 são apresentadas mudanças no processo de produção de etanol de milho e os possíveis coprodutos gerados. Há uma separação da fibra (bran), constituída principalmente pelo pericarpo do grão dos demais componentes, antes do processo de fermentação. Tal fração recebe a adição do xarope ou CDS, gerando WDBS (fibra úmida de destilaria com solúveis) ou DDBS (fibra seca de destilaria com solúveis) (GARLAND, 2018). A parte sólida da centrifugação pós destilação gera um coproduto denominado HPDG (high protein distillers grains), um componente com alto teor proteico (ANTUNES, 2020; GARLAND, 2018).

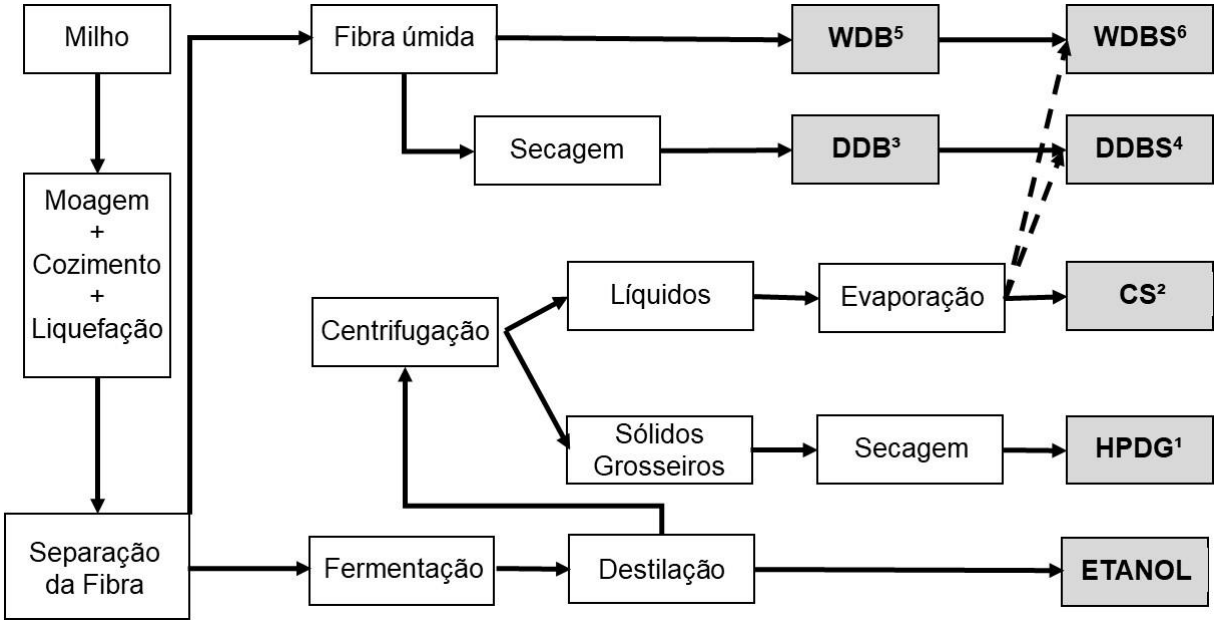

Figura 3 - Processo de produção de etanol de milho a seco com separador de fibra e seus coprodutos (GARLAND, 2018).

[1] HPDG = high protein distillers grains. [2] CS = condensed solubles. [3] DDB = dried distillers bran. [4] DDBS = dried distillers bran with solubles. [5] WDB = wet distillers bran. [6] WDBS = wet distillers bran with solubles.

A literatura ainda é incipiente em relação a relatos desses produtos, também se percebe até uma dificuldade de denominação, que muitas vezes são tratados todos como DDGS. GARLAND (2018) realizou experimentos com HPDG e DDBS em dietas de terminação de bovinos confinados. O HPDG apresentou valores de MS, PB, FDN e EE de 91,8%, 36%, 32% e 9,4%, respectivamente. O WDBS testado por GARLAND (2018) apresentou 40,7%, 33,5%, 32,3% e 9,8% para MS, PB, FDN e EE, por essa ordem.

ANTUNES (2020) realizou experimentos com HPDG, WDBS e DDBS em dietas de terminação de zebuínos confinados. O HPDG apresentou os seguintes teores: 94,5% de MS, 44,3% de PB, 33,1% de FDN e 14,3% de EE. O WDBS e o DDBS se diferenciaram no teor de umidade, 42,4% e 88,5% de MS, em relação aos teores de PB (18,2 e 18,2), FDN (50,5 e 48,5) e EE (10,9 e 10,3) foram bem próximos um do outro, porém bem diferente do WDBS apresentado por GARLAND (2018).

2.5 Uso de coprodutos em dieta de terminação de bovinos confinados

No Brasil o uso dos grãos destilados na alimentação animal teve início nos últimos 10 anos com o surgimento das usinas de produção de etanol de milho (DA SILVA et al., 2020), porém, nos EUA o uso desses produtos é muito difundido há bem mais tempo (NASEM, 2016). Quando os grãos destilados foram introduzidos nas dietas de ruminantes, eles foram utilizados principalmente como fonte de proteína (HORN e BEESON, 1969; WALLER et al., 1980). CASTILLO-LOPEZ et al. (2013) realizaram um estudo para determinar o teor de proteína não degradável no rúmen (PNDR) do DDGS em bovinos e relataram valor de 63% de PNDR. De acordo com NASEM (2016), o teor de PNDR dos grãos destilados é de 68% e quando fornecidos em excesso contribuem o excesso de proteína metabolizável é utilizado como fonte de energia pelo animal. A proteína é mais reduzida que o carboidrato, dando um valor energético de até 43% maior (NASEM, 2016). Os dados de PNDR dos destilados de milho na literatura são bastante variáveis, o que provavelmente é resultado da técnica de medição ou de secagem do coproduto (KLOPFENSTEIN et al., 2008; NASEM, 2016).

O aquecimento dos coprodutos, ou seja, a secagem dos coprodutos úmidos (WDGS) em parcialmente secos e secos ("*modified distillers grains plus solubles"* - MDGS e "*dried distillers grains plus solubles"* - DDGS, respectivamente), afeta a capacidade dos animais em aproveita-los, apesar de não apresentarem diferenças em sua composição (NUTTELMAN et al., 2011). NUTTELMAN et al.(2013) relataram uma diminuição numérica na digestibilidade da fibra conforme os DGS são secos em MDGS e DDGS. Em uma meta-analise com diversos estudos com níveis de inclusão (0,10, 20, 30 e 40% da MS) de grãos destilados em dietas de terminação, foi constatado que o WDGS apresentou valores alimentares (considera a melhoria na eficiência alimentar contribuída pelo coproduto) 150, 143, 136 e 130% nas respectivas inclusões em comparação principalmente com a mistura de milho dentado laminado e grão úmido. O MDGS apresentou valores alimentares 128, 124, 120 e 117% e o DDGS apresentou o mesmo valor alimentar em todas as inclusões avaliadas no valor de 112% (BREMER et al., 2011), isso corrobora que o aquecimento afeta o aproveitamento do coproduto pelo ruminante. KLOPFENSTEIN et al. (2008) afirmaram que o excesso de PNDR e o teor de óleo dos grãos destilados podem explicar valores alimentares superiores desse coproduto em relação ao milho de até 20%. Não se sabe explicar como valores superiores à 20% têm sido relatados nos trabalhos científicos.

BUCKNER et al. (2008b) avaliaram as inclusões de 0, 10, 20 e 40% de DDGS na dieta em substituição ao milho laminado a seco (RDC), quanto ao desempenho de novilhos

em terminação. O GPD e o valor alimentar apresentaram uma tendência quadrática para ambas as variáveis com a inclusão do coproduto. As inclusões de 10 e 20% de DDGS resultaram em valor alimentar 27% superior ao milho laminado, enquanto que nas inclusões de 30 e 40% de DDGS o valor alimentar foi 6% superior ao do milho. Os autores concluíram que o efeito no desempenho foi provavelmente devido ao aumento de gordura com o aumento na inclusão de DDGS na dieta. TRENKLE (1997) ao avaliar inclusões (14,6, 26,2 e 37,5% da MS da dieta total) de WDGS, relatou um aumento no GPD e na eficiência alimentar de 11 e 7%, respectivamente, quando o WDGS foi fornecido na inclusão de 14,6% da MS em animais em terminação. O autor concluiu que a gordura adicional na dieta proveniente do DGS não poderia contribuir com todo o conteúdo energético adicional da dieta. Uma possível explicação é que além da gordura, a proteína adicional do coproduto poderia contribuir com a energia adicional (TRENKLE, 1997).

WATSON et al. (2014) avaliaram a inclusão (0,10, 20, 30, 40 e 50%) de WDGS em substituição a uma combinação de milho laminado a seco (DRC) e milho de alta umidade (HMC) no desempenho de bovinos em terminação. O CMS apresentou uma resposta quadrática, sendo que o maior consumo foi entre 20 e 30% de inclusão de WDGS. A EA apresentou uma tendência quadrática com aumento até 40% de inclusão. Todos os níveis apresentaram valor alimenar maior que o milho, sendo que o maior valor foi na inclusão de 10%. A energia líquida de ganho (ELg) apresentou um aumento linear com as inclusões. Os autores concluíram que o aumento no valor alimentar pode ser justificado pelo maior aporte de proteína não degradável no rúmen sendo usado como energia e a gordura presente nesse coproduto.

OGLESBEE et al. (2016) pesquisaram sobre os componentes dos grãos destilados e avaliaram o efeito da fibra, gordura, solúveis e proteína no desempenho de bovinos em terminação. Os autores utilizaram dietas compostas por componentes individuais desses coprodutos como a fibra, gordura, solúveis e proteína, juntamente com WDGS e os compararam com um tratamento controle de milho, sendo que todas as dietas foram formuladas para conter as mesmas quantidades de fibra, gordura e proteína nos respectivos níveis de inclusão. Dentre os resultados, foi relatado que o uso de fibra de milho sozinho em 20% da MS da dieta resultou em um valor alimentar de 8,5% maior que o tratamento controle. Tanto a proteína como a gordura apresentam um grande impacto no valor alimentar. Quando todos os componentes foram combinados para mimetizar o uso de WDGS, a EA, o GPD e o CMS foram muito próximos quando comparados com o uso do WDGS, sugerindo que a

combinação dos componentes resulta no mesmo desempenho no uso do WDGS (OGLESBEE et al., 2016).

WILSON et al. (2021) avaliaram a relação entre NDT e MO digestível em dietas de terminação, os tratamentos dietéticos continham o tratamento controle a base de milho (1), 4,8% de óleo de milho (2), 4,8% de sebo bovino (3), 25,5% de CDS (4) e 56% de WDGS (5), totalizando 5 tratamentos em estudo. A digestibilidade da MO do trato total foi multiplicada pelo teor de MO da dieta para determinar a MO digerida (DIGOM; % de MS). A energia bruta foi maior para a dieta contendo WDGS, sendo a dieta controle a de menor energia. A energia digestível foi maior para a dieta contendo WDGS e menor para a dieta com óleo de milho. Porém, o percentual de DIGOM foi o mais baixo para WDGS, sendo os outros tratamentos todos maiores. Esses resultados sugerem que existe um paradoxo para grãos de destilaria com maior ingestão total de energia da dieta, mas uma diminuição na digestibilidade da MO que resulta em menor DIGOM. A diferença em DIGOM e TDN foi maior para as dietas de coprodutos com alto teor de gordura, o que pode ser explicado por componentes da dieta, como FDN, extrato etéreo ou amido, que podem ter efeito no cálculo de NDT. Também foi sugerido que devido à maior concentração de fibra no WDGS, poderia haver EB adicional que não é digerida e é excretada pelo animal, resultando em maior ingestão de energia, mas pior digestibilidade da MO.

SMITH E WILKEN (2021) avaliaram o uso de fibra mais solúveis na inclusão de 20% da MS em comparação com um controle DRC e HMC (50:50). Não houve diferença significativa no CMS, GPD e EA entre os tratamentos. A energia líquida de mantença (ELm) e ganho (ELg) da dieta contendo fibra mais solúveis foi obtida nos valores de 2,05 e 1,37 Mcal/kg de MS. Em contrapartida, GARLAND et al. (2019a) ao avaliar o desempenho de novilhos confinados em terminação com dietas contendo 0, 20 e 40% de fibra mais solúveis, obtiveram uma resposta quadrática no CMS e GPD, sendo a melhor resposta na inclusão de 20%. O valor alimentar da fibra mais solúveis foi determinado como 125 e 113% na inclusão de 20 e 40% da MS.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram conduzidos nas instalações experimentais do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), na cidade de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil. Todos os procedimentos com os animais seguiram as diretrizes da Comissão de Ética no Uso de Animal da ESALQ/USP, número de protocolo 2019-06. O experimento de desempenho animal teve início em 04 de maio de 2019 e o experimento de metabolismo em 14 de junho de 2019.

3.1 Experimento 1: Desempenho animal

3.1.1 Data, Local, Animais e Tratamentos

Foram utilizados duzentos e cinquenta e quatro machos inteiros em terminação [peso corporal inicial (PCi) = 399 kg ± 33 kg], com predominância de sangue da raça Nelore, para avaliar níveis de inclusão do coproduto fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho (DDBS), no desempenho animal e nas características de carcaça. O período experimental (104 dias) teve início em 04 de maio de 2019 e foi concluído no dia 15 de agosto de 2019.

Após 21 dias de adaptação (13 de abril à 03 de maio de 2019), os animais foram pesados individualmente em jejum prévio de sólidos e líquidos (16 horas), identificados com brincos, vacinados contra clostridiose (Sintoxan Polivalente, Merial Saúde Animal Ltda, Paulínia, Brasil), desparasitados com 1 ml/40 kg PCi de ivermectina a 0,8% e sulfóxido de albendazol a 10% (Evol®; Ourofino Saúde Animal Ltda) e receberam aplicação subcutânea de 5 ml de complexo contendo vitaminas A,D e E (ADE Vallée; MSD Saúde Animal Ltda). Todos os animais tiveram acesso livre a água fresca durante todo o experimento (1 bebedouro comum para cada 2 baias). Os bovinos foram distribuídos em 14 blocos aleatorizados com base no PCi e os 4 tratamentos experimentais foram sorteados para as 4 baias de cada bloco. Foram utilizadas 56 baias, todas cobertas parcialmente e com piso de concreto, na qual 36 continham 32 m² e 4 m lineares de cocho (32 baias com 5 animais e 4 baias com 4 animais) e as demais 20 baias continham 84 m² e 8 m lineares de cocho (15 baias com 5 animais, 1 baia com 4 animais e 4 baias com 3 animais cada). O experimento teve início com 267 animais, mas ao longo do período experimental 13 animais foram retirados do experimento, 3 devido à morte por carbúnculo e os outros por problemas de casco, brigas e sodomia. Vale ressaltar que

os animais do experimento foram adquiridos de propriedades particulares do estado de São Paulo, proveniente de diversas origens.

Os tratamentos testados foram 4 níveis de inclusão de DDBS, 0, 15, 30 e 45% (Tabela 1). Antes do início do período experimental, foi realizado protocolo de adaptação de 21 dias, com redução gradativa do bagaço de cana a cada 7 dias de 25 para 20 e 15% da MS da dieta. O período experimental médio foi de 98 dias (92 a 104 dias em virtude da realização de 2 abates), sendo que todos animais receberam as dietas contendo 8,5% de bagaço de cana e 92,5% de concentrado formulados para atender as exigências nutricionais de ganho de peso diário (GPD de 1,5 kg de acordo com o NASEM (2016) para machos inteiros da raça Nelore.

Tabela 1 - Ingredientes e composição química das dietas dos experimentos de desempenho e de metabolismo

Itens	DDBS (%, matéria seca)[6]			
	0%	15%	30%	45%
Ingredientes, %				
Bagaço de cana	8,50	8,50	8,50	8,50
Milho moído	64,0	61,3	46,7	32,2
DDBS[1]	-	15,0	30,0	45,0
Casquinha de soja	12,0	12,0	12,0	12,0
Caroço de algodão	8,00	-	-	-
Farelo de soja	5,00	-	-	-
Ureia	0,70	1,40	1,00	0,50
NaCl	0,300	0,300	0,300	0,300
Núcleo mineral[2]	1,50	1,50	1,50	1,50
Composição bromatológica, %				
PB[3]	14,4	13,5	14,7	14,3
FDN[3]	30,7	33,0	36,7	43,4
FDA[3]	19,1	16,0	16,3	18,9
Extrato etéreo[3]	4,50	2,50	4,00	4,60
Energia líquida de mantença, Mcal/kg[4]	1,96	1,95	1,96	1,98
Energia líquida de ganho, Mcal/kg[4]	1,32	1,31	1,32	1,33
Energia bruta, Mcal/kg[5]	4,45	4,38	4,44	4,51

[1] DDBS = fibra seca com solúveis de destilaria de etanol de milho (FS OURO®), fornecido pela FS Bioenergia. [2] Núcleo mineral formulado pela empresa Mcassab (Grupo MCassab, São Paulo, SP), contendo 275 g /kg de Ca, 10 g/kg de Mg, 56 g/kg de S, 2.240 mg/kg de Mn, 3.360 mg/kg de Zn, 1.120 mg/kg de Cu, 16,46 mg/kg de Co, 56 mg/kg de I, 11,2 mg/kg de Se e 2.000 mg/kg de monensina sódica. [3] PB = proteína bruta; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro; FDA = fibra insolúvel e detergente ácido; valores referentes a análise química de amostras compostas das dietas. [4] As energias de mantença e de ganho foram estimadas de acordo com os valores tabulares dos ingredientes e das equações propostas pelo NASEM (2016) com adição de monensina sódica, utilizando os valores tabulares do DDGS como referência ao DDBS. [5] Energia bruta em bomba calorimétrica (AOAC, 2000). [6] Os tratamentos foram níveis de inclusão (0, 15, 30 e 45%) de DDBS nas dietas de terminação de bovinos Nelore confinados.

Os ingredientes utilizados nas dietas estão apresentados na Tabela 2 com seus respectivos valores bromatológicos. O grão de milho flint foi processado através de um moinho de martelos (Lucato, Indústria e Comercial Lucato, Limeira, SP, Brasil) para atingir um tamanho médio de partículas de 1,42 mm (Tabela 3), conforme testado pelo procedimento de YU et al. (1998), utilizando peneiras com poros quadrados de 6,0, 3,5, 2,0, 1,25 mm (Modelo Produtest T; Telastem Peneiras para Análises Ltda., São Paulo, SP, Brasil). O bagaço de cana-de-açúcar apresentava tamanho médio de partícula 3,14 mm determinado de acordo com o método de separação de tamanho de partícula Penn State (LAMMERS et al., 1996) (Tabela 4). O DDBS (FS Ouro ®) utilizado no experimento foi produzido pela empresa FS Bionergia, localizada em Lucas do Rio Verde – MT, Brasil, e enviado ao confinamento experimental periodicamente durante a condução do experimento.

Tabela 2 - Composição química dos ingredientes utilizados nas dietas experimentais de desempenho e de metabolismo

Nutrientes	Ingredientes das dietas					
	Bagaço de cana	Milho moído	DDBS	Casquinha de soja	Caroço de algodão	Farelo de soja
MS, %	51,6	87,3	85,2	89,4	90,2	89,0
PB, %	2,70	9,80	18,7	13,0	24,2	57,7
FDN, %	91,1	11,6	52,4	67,1	45,5	13,0
FDA, %	57,2	3,30	13,8	47,9	35,0	8,00
EE, %	0,40	4,30	6,9	2,1	20,2	2,60
MM, %	8,80	1,60	5,70	5,90	4,90	7,80
EB, Mcal/kg	4,35	4,52	4,83	4,28	5,46	4,76

MS = matéria seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; EB = energia bruta.

Tabela 3 - Tamanho médio e distribuição de partícula do milho moído

Poros da peneira	% do total
> 6,0 mm	0
≤ 6,0 e > 3,5 mm	0,53
≤ 3,5 e > 2,0 mm	15,27
2,0 e > 1,25 mm	45,32
≤ 1,25 mm	38,88
Tamanho médio de partícula, mm[1]	1,42

[1] Distribuição e tamanho médio de partícula avaliados conforme procedimento de YU et al. (1998).

Tabela 4 - Tamanho médio e distribuição de partícula do bagaço de cana-de-açúcar

Poros da peneira	% do total
19,0 mm	0,00
8,0 mm	3,05
4,0 mm	19,80
Fundo	77,15
Tamanho médio de partícula, mm[1]	3,14

Distribuição e tamanho médio de partícula determinado pelo método de separação de tamanho de partícula Penn State (LAMMERS et al., 1996).

Cada dieta foi misturada individualmente e distribuída uma vez por dia, utilizando-se um vagão de ração de 4 m³ (Totalmix 25; Casale Ltda., São Carlos, SP, Brasil), o fornecimento iniciava-se a partir das 07:00 seguindo os tratamentos 0, 15, 30 e 45% de inclusão de DDBS. O bagaço de cana, o milho e o DDBS eram pesados na balança do vagão misturador, enquanto os outros ingredientes (farelo de soja, casquinha de soja, NaCl, núcleo mineral e caroço de algodão) eram pesados individualmente em balança fixa (Marte®) de capacidade máxima de 100 kg. As leituras de cocho eram feitas todos os dias as 06:00, tendo como meta o máximo de 3% de sobra. Para o ajuste da MS da dieta, amostras de bagaço de cana foram coletadas uma vez por semana e secas a 105ºC por 12 horas. Para garantir uma boa homogeneidade das dietas, tentando minimizar o efeito de seleção e partículas em suspensão, as dietas foram ajustadas com adição de água para 70% de MS. As sobras eram removidas três vezes por semana, pesadas, amostradas e descartadas. Amostras de ração e sobras eram secas a 105ºC por 12 horas para determinar a MS e calcular o consumo de matéria seca (CMS) da baia.

3.1.2 Coleta de dados e análises de alimentos

No primeiro e no último dia do período experimental os animais foram pesados após 16 horas de jejum de sólidos e líquidos para registro do peso inicial e final dos animais e para cálculo do GPD individual. Sete blocos foram abatidos após 92 dias de experimento e 7 blocos após 104 dias. A eficiência alimentar (EA) foi calculada a partir da relação do GPD e o CMS da baia.

Amostras de bagaço de cana-de-açúcar, milho moído, DDBS, casquinha de soja, caroço de algodão e farelo de soja foram coletadas a cada 10 dias e armazenadas à -20 ºC. Ao final do experimento, as amostras foram descongeladas, compostas por ingrediente, secas por 72 h a 55º C em estufas de ventilação forçada e moídas a 1 mm utilizando um moinho do tipo Wiley (MA-680 Marconi Ltda, Piracicaba, SP, Brasil). Todas as amostras foram analisadas para MS (método 930.15; AOAC, 1986), cinzas (método 942.05; AOAC, 1986), extrato etéreo [(EE); método 920,85; AOAC, 1986], fibra insolúvel em detergente neutro corrigida para cinzas [(FDNa); (VAN SOEST et al., 1991)] usando sulfito de sódio e α-amilase estável ao calor, fibra insolúvel em detergente ácido [(FDA); GOERING e VAN SOEST, 1970] e nitrogênio [(N); Leco FP-528; Leco Corp., São José, MI]. O teor de PB foi calculado multiplicando o teor de nitrogênio por 6,25.

As energias líquidas (EL) observadas de mantença (ELm) e de ganho (ELg) de cada dieta foram calculadas de acordo com ZINN e SHEN (1998), usando os valores de peso médio, CMS e GPD. Para os cálculos de ELm e de ELg esperadas das dietas, o NDT esperado das dietas foi calculado com base nos valores de tabela do NASEM (2016) dos ingredientes utilizados. Para o DDBS foi utilizado o valor tabular do DDGS. Com base nos valores de NDT esperado das dietas, foram calculadas as ELm e ELg esperadas de acordo com as equações do NASEM (2016) com adição de monensina sódica.

Após a pesagem final, os animais foram transportados (10,2 km) para o frigorífico (Frigorífico Angelelli Ltda, Piracicaba, Brasil). O peso de carcaça quente (PCQ) foi coletado após o animal ser abatido, sangrado, esfolado, eviscerado, removendo rins, coração e gordura pélvica. O rendimento de carcaça (RC) foi calculado como a razão entre PCQ e o peso final (PF). A espessura da gordura subcutânea (EGS) e a área de olho de lombo (AOL) do músculo longitudinal foram medidas entre a 12ª e 13ª costela de cada carcaça, após resfriamento por 24 horas a 2° C, com uma câmera digital fixada a uma haste de 10 cm de altura acoplada à uma base retangular de inox de 150 x 120 mm. As imagens obtidas foram analisadas utilizando-se o software AutoCAD ® (Autodesk, Inc., Califórnia, EUA).

3.1.3 Análise estatística

Os dados de desempenho (peso inicial, peso final, CMS, GPD, EA e características de carcaça) foram analisados utilizando o procedimento MIXED do software SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) com delineamento em blocos aleatorizados, sendo as baias a unidade experimental.

O modelo estatístico incluiu o efeito fixo do tratamento e o efeito aleatório do bloco de peso. Os dados do experimento foram relatados como média dos quadrados mínimos. A aproximação de Kenward-Roger foi usada para determinar os graus de liberdade do denominador corretos para testar os efeitos fixos. Foi testado o efeito linear e quadrático das variáveis respostas.

3.2 Experimento 2: Digestibilidade e fermentação ruminal

3.2.1 Data, Local, Animais e Tratamentos

Vinte e oito machos castrados da raça Nelore (450 kg ± 34 kg), com cânula ruminal, foram alocados em baias individuais concretadas (2 x 2 m) em um delineamento em blocos aleatorizados de acordo com seu peso inicial. Dentro de cada bloco (n = 7), os animais foram aleatoriamente designados para um dos 4 tratamentos, sendo as mesmas dietas do experimento de desempenho (Tabela 1). O período experimental foi de 25 dias, sendo 20 dias de adaptação e 5 dias de coletas de dados. Durante a adaptação, os tratamentos eram fornecidos uma vez ao dia às 12:00, em quantidades que permitiam 10% de sobra. Como o experimento foi conduzido concomitantemente com o experimento 1, as dietas eram retiradas do vagão misturador, ensacadas e pesadas individualmente. O objetivo do experimento foi avaliar os parâmetros de fermentação ruminal e digestibilidade total dos nutrientes.

3.2.2 Coleta de dados e análises

Durante os 5 dias do período de coleta, para evitar a ocorrência de sobras, a oferta diária das dietas foi restrita a 87% da ingestão média dos últimos 5 dias da adaptação, específica a cada animal, conforme descrito por ZINN (1990). Na realidade, ZINN (1990) sugere o consumo de 90% da ingestão média dos últimos 5 dias de adaptação, porém, ao final

do período de adaptação dos animais teve uma queda de temperatura, o que afetou o consumo dos animais. Para garantir que não houvesse sobra, foi diminuído o fornecido.

Durante o período de coleta (dia 21 a 25), foram coletadas fezes totais para estimar a produção fecal. Os animais foram monitorados a cada 3 horas de cada dia para verificar se haviam defecado. As fezes foram coletadas do piso de concreto, pesadas e amostradas para análise de MS para o cálculo da excreção fecal total de nutrientes. Nos dias 24 e 25, amostras fecais também foram coletadas manualmente diretamente do reto de cada animal e congeladas a -20ºC para análise. As coletas foram realizadas nos horários 0, 3, 6, 9, 12, 18 e 24 horas após a alimentação, escalonadas em dois dias de modo que os animais fossem coletados a cada 6 horas, representando um período de 24 horas. Essas amostras foram descongeladas, compostas por animal, secas a 55ºC por 72 h em estufa de ventilação forçada, trituradas a 1 mm no moinho do tipo Wiley (MA-680 Marconi Ltda, Piracicaba, SP, Brasil) e analisadas para MS, PB, EE, FDNa, FDA e cinzas, conforme descrito no experimento 1. As fezes retiradas diretamente do reto também foram computadas na produção de fezes total.

Concomitantemente com as coletas de fezes, nos últimos 2 dias do período de coleta, também foram coletadas de forma manual aproximadamente 50 ml de fluido das porções cranial, ventral, dorsal e caudal do rúmen de cada animal, através da cânula ruminal nos períodos de 0, 3, 6, 9, 12 e 18 horas, totalizando 6 coletas por unidade experimental. As amostras de líquido ruminal foram filtradas utilizando quatro camadas de gaze e foi mensurado o pH por um pHmetro portátil (Digimed Modelo DM22, Digicrom Analítica Ltda., São Paulo, SP, Brasil). Posteriormente as amostras foram armazenadas em eppendorf de 2 ml a -20 ºC. Ao término do experimento, as amostras foram descongeladas e centrifugadas a 15.000 x g por 30 min a 4 ºC. O fluido sobrenadante foi utilizado para análise de AGCC por GLC (PALMQUIST e CONRAD, 1971) e para NH_3-N (BOTHAST e SCHLICHER, 1962).

3.2.3 Análise estatística

Os dados de digestibilidade e parâmetros ruminais foram analisados utilizando o procedimento MIXED do software SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) com delineamento em blocos aleatorizados sendo o animal a unidade experimental.

O modelo estatístico incluiu o efeito fixo do tratamento e o efeito aleatório do bloco de peso. Os dados do experimento foram relatados como média dos quadrados mínimos. A

aproximação de Kenward-Roger foi usada para determinar os graus de liberdade do denominador corretos para testar os efeitos fixos. Foi testado o efeito linear e quadrático das variáveis respostas.

O delineamento experimental adotado foram os blocos aleatorizados, com quatro (4) níveis de inclusão de DDBS, 0, 15, 30 e 45% da MS da dieta. Os animais foram distribuídos nos blocos de acordo com o peso corporal inicial. O indivíduo foi utilizado como unidade experimental para todos os parâmetros.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Experimento 1: Desempenho animal

A composição bromatológica do coproduto utilizado no presente estudo está apresentada na Tabela 2. O DDBS utilizado apresentou teor de 18,7% de PB, 52,4% de FDN e 6.9% de EE. PALOWSKI et al. (2021) relataram que o DDBS da FS Bioenergia apresentou valores de 18,5% de PB, 42,0% de FDN e 8,8% de EE. Ambos os materiais sofreram extração parcial do óleo. As composições do DDBS utilizado no presente estudo e no de PALOWSKI et al. (2021) são distintas do DDGS tradicional, que contêm em média 31% de PB, 30% de FDN e 10,5% de EE (NASEM, 2016). As diferenças ocorrem em virtude da tecnologia de separação da fibra do milho, a qual não passa pelo processo de fermentação no DDBS e pela extração parcial do óleo. Atualmente, diversas indústrias que produzem o DDGS também fazem a extração parcial do óleo. Em estudo anterior conduzido na ESALQ, ANTUNES (2020) utilizou DDBS proveniente da mesma indústria que o do presente estudo, porém sem a extração parcial do óleo, com 18,2% de PB, 48,5% de FDN e 10,3% EE. A indústria de etanol de milho que utiliza o processo de separação da fibra, também pode produzir o coproduto úmido, o WDBS. No primeiro estudo conduzido na ESALQ com coproduto da indústria de etanol de milho, JUNIOR et al. (2022) reportaram valores de 33,9% de PB, 52,5% de FDN e 6,8% de EE no WDBS proveniente da empresa SJC, localizada em Quirinópolis, GO. GARLAND et al. (2019) trabalharam com WDBS nos EUA, com valores de 33,5% de PB, 32,3% de FDN e 9,8% de EE. Fica evidente que existe variação considerável entre os diversos coprodutos de etanol de milho, em virtude da tecnologia de produção de cada empresa e dentro da mesma empresa.

Na Tabela 5 são apresentados os dados de desempenho dos animais. A inclusão de DDBS na dieta causou aumento linear (P=0,005) no CMS dos animais. ANTUNES (2020) observou um aumento não significativo de 3,9% no CMS, passando de 10,81 kg MS/dia na dieta controle que também continha milho moído, casca de soja, caroço de algodão e farelo de soja, para 11,23 kg MS/dia com a inclusão de 30% de DDBS na dieta. WISEMAN et al. (2020) avaliaram a inclusão (0, 20 e 40% da MS) de DDBS em dietas para bovinos em terminação, porém esse coproduto passou por um processo de separação de fibra após a fermentação. Os autores relataram aumento linear no CMS (13,85 x 14,48 x 15,89 kg de MS/dia, respectivamente) com a inclusão de DDBS. Os estudos utilizando DDGS tradicional relataram efeito quadrático no CMS, sendo o consumo máximo próximo a 30% de inclusão (KLOPFENSTEIN; ERICKSON; BREMER, 2008; BREMER et al., 2011; NASEM, 2016). O aumento no CMS pode ser justificado em parte pela menor concentração de amido conforme

aumenta a inclusão de DDBS ou de DDGS. Segundo ALLEN et al. (2009) entre os diversos mecanismos de regulação de consumo presentes nos animais, a oxidação hepática do propionato (hipophágico) é um mecanismo presente em dietas no qual o enchimento ruminal não é estabelecido. A redução do teor de amido na dieta, pode ter resultado em menor sinal de saciedade pela oxidação do proprionato e consequentemente maior CMS. Vale ressaltar que o efeito menos intenso do DDBS no CMS no presente estudo e no de ANTUNES (2020) em comparação com os estudos americanos de GARLAND et al. (2019b) com WDBS e de WISEMAN et al. (2020) com DDBS pode ser consequência das diferenças entre as dietas controle desses estudos. No presente estudo e no de ANTUNES (2020) todas as dietas continham 12% de casca de soja, um coproduto que estimula o CMS enquanto nos trabalhos americanos, as dietas continham silagem de grãos de milho em combinação com milho laminado seco. A inclusão de silagem de grãos de milho na dieta reduz o CMS de bovinos confinados (OWENS et al., 2013; JACOVACI et al., 2021).

A inclusão de DDBS na dieta resultou em aumento linear (P<0,001) no peso final dos animais, sendo que o peso final dos animais do tratamento com 45% de DDBS foi 2,7% maior (15 kg a mais) que do tratamento sem DDBS (Tabela 5). Tal resultado é justificado pelo aumento linear de até 9,5% (1,58 x 1,73 kg) no ganho de peso diário (GPD) conforme houve aumento na inclusão de DDBS até 45% na dieta (P=0,002). Na Figura 4 pode se observar que para cada 1% de aumento na inclusão de DDBS na dieta, houve um incremento de 3,5 g/dia de ganho de peso diário dos animais. Outros estudos apresentaram efeito parecido com o presente trabalho. ANTUNES (2020) reportou aumento de 9,5% no GPD (1,48 x 1,62 kg) com a inclusão de 30% de DDBS na MS da dieta de machos Nelore em terminação, em comparação com uma dieta controle com caroço de algodão e farelo de soja semelhante à do presente estudo. WISEMAN et al. (2020) reportaram aumento linear de 3,85 e 9,11%% no GPD dos animais (1,79 x 1,86 x 1,96 kg) com as inclusões de 20 e 40% de DDBS em comparação com a dieta controle (0% DDBS) contendo 52.5% de silagem de grãos de milho e 35% de milho laminado seco.

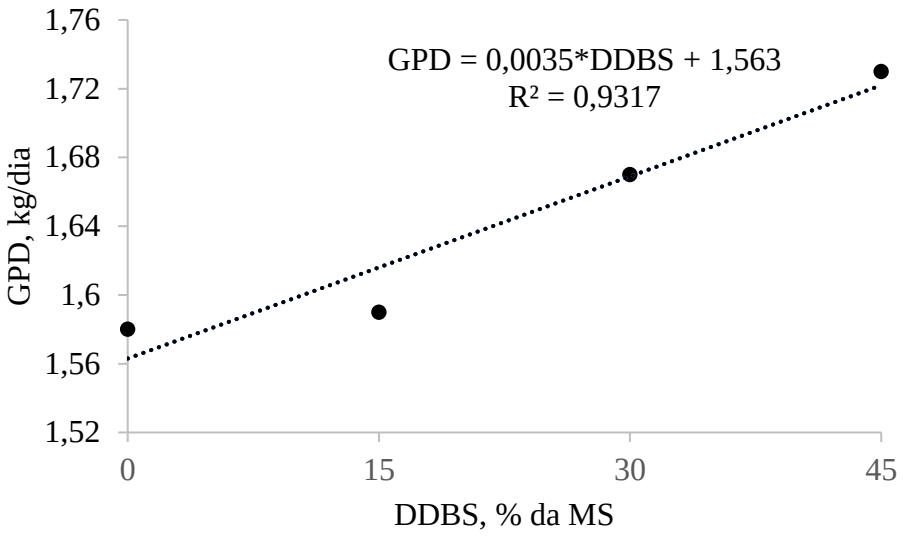

Figura 4 - Efeito linear (P=0,002) da inclusão da fibra mais solúveis (DDBS) na dieta no ganho de peso diário (GPD) em bovinos Nelore em terminação confinados.

BREMER et al. (2011) compilaram 4 experimentos com inclusões crescentes de DDGS (0 x 10 x 20 x 30 x 40%) em substituição parcial ao milho laminado a seco, silagem de grãos de milho ou combinações de ambos, em dietas de terminação de bovinos. Os autores relataram que o fornecimento de DDGS em até 40% de inclusão na dieta causou um aumento linear no GPD (1,60 x 1,66 x1,72 x 1,77 x 1,83 kg).

Tabela 5 - Desempenho de bovinos em terminação confinados com dietas contendo níveis de inclusão de DDBS.

Item	Níveis de inclusão de DDBS (%; matéria seca)				EPM	DDBS	Valor de *P*	
	0%	15%	30%	45%			Linear	Quadrático
Animais (baias)	64 (14)	64 (14)	62 (14)	62 (14)				
Desempenho								
Peso Inicial, kg	399	399	399	399	9,53	-	-	-
Peso Final, kg	556	557	565	571	10,2	0,003	<0,001	0,422
CMS, kg/d	10,3	10,0	10,5	10,4	0,198	<0,001	0,005	0,130
GPD, kg/d	1,58	1,59	1,67	1,73	0,041	0,002	0,002	0,456
Eficiência Alimentar	0,154	0,160	0,159	0,167	0,002	<0,001	<0,001	0,387
Características de Carcaça								
PCQ, kg	312	313	317	320	5,72	0,032	0,005	0,544
Rendimento, %	56,2	56,2	56,3	56,0	0,253	0,924	0,724	0,674
AOL, cm^2	69,5	68,9	69,6	70,9	1,78	0,733	0,395	0,464
EGS, mm	5,45	5,67	5,90	5,68	0,283	0,700	0,432	0,419
EL observada[1], Mcal/kg								
Mantença	1,98	2,03	2,02	2,08	0,022	<0,001	<0,001	0,470
Ganho	1,33	1,37	1,35	1,42	0,019	<0,001	<0,001	0,509
Relação EL observada:esperada[2]								
Mantença	1,00	1,04	1,03	1,05	0,011	<0,001	<0,001	0,292
Ganho	1,00	1,05	1,03	1,07	0,014	<0,001	<0,001	0,668

CMS = consumo de matéria seca; GPD = ganho de peso diário; PCQ = peso de carcaça quente; AOL = área de olho de lombo; EGS = espessura de gordura subcutânea; EL = energia líquida.

[1]Calculado de acordo com ZINN e SHEN (1998).

[2]Os valores de EL mantença e ganho esperados foram calculados a partir das equações de EL do NASEM (2016) e dos valores tabulares de NDT do modelo empírico do NASEM (2016) para cada ingrediente e com uso de monensina sódica.

O aumento linear no GPD (P<0,001) com a inclusão de DDBS na dieta resultou em consequente aumento linear no peso final (P=0,002) dos animais e no PCQ (P=0,005), sendo que o tratamento com 45% de DDBS proporcionou aumento de 8 kg no PCQ em comparação com a dieta sem DDBS. Os outros parâmetros avaliados, como a área de olho de lombo (AOL; P=0,924), rendimento de carcaça (RC; P=0,733) e espessura de gordura subcutânea (EGS; P=0,700) não foram afetados pelos tratamentos testados. ANTUNES (2020) observou um incremento de 10,21 kg no PCQ dos animais alimentados com dietas contendo 30% de DDBS em comparação com animais alimentados com dietas sem DDBS. Esse autor também não observou efeito da inclusão de DDBS nas demais características de carcaça. WISWEMAN et al. (2020) também relataram aumento no PCQ com a inclusão de 20 e 40% de DDBS na dieta, mas com tendência de aumento linear na espessura de gordura subcutânea. GARLAND et al. (2019b) obtiveram resultados que corroboram com o presente estudo, ao avaliar as características de carcaça de animais alimentados com 0, 20 e 40% de WDBS na MS em dietas de terminação. Os autores observaram efeito quadrático (P=0,06) no PCQ, passando de 391 kg no tratamento controle para 406 e 412 kg nas inclusões de 20 e 40%, ou seja, um aumento de 21 kg para o tratamento de maior inclusão.

Em virtude do aumento do GPD ter sido maior que do CMS, a inclusão de DDBS aumentou de forma linear (P<0,001) a eficiência alimentar (EA) dos animais (Tabela 5), com aumento de até 8,4% (0,154 x 0,167) com a inclusão de 45% de DDBS em comparação com a dieta controle. Para cada incremento de 1% de DDBS na dieta, houve uma melhora de 0,0003 kg de GPD por kg de CMS (Figura 5). A melhora na EA também foi constatada por GARLAND et al. (2019b), com efeito linear da inclusão de 20 e 40% de WDBS em substituição à mistura de silagem de grãos de milho e milho laminado seco. Em contrapartida, ANTUNES(2020) não observou efeito da inclusão de DDBS na EA, enquanto WISEMAN et al. (2020) reportaram efeito negativo do DDBS na eficiência alimentar. Na revisão realizada por BREMER et al. (2011), o DDGS (0 x 10 x 20 x 30 x 40%) causou aumento linear na EA dos animais de até 4,5% com a inclusão de 40% na dieta (0,155 x 0,162).

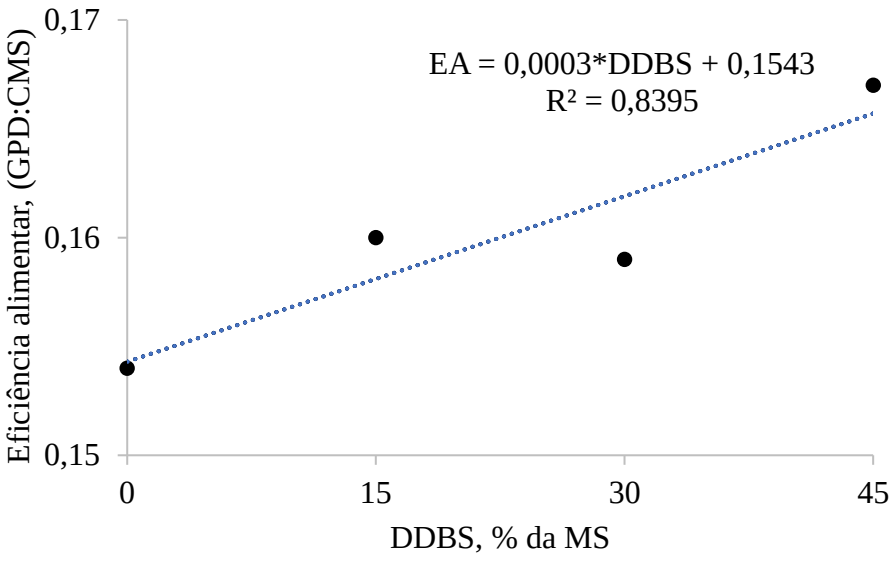

Figura 5 - Efeito linear (P<0,001) da inclusão da fibra mais solúveis (DDBS) na dieta na eficiência alimentar (relação GPD:CMS) em bovinos Nelore em terminação.

No presente estudo, o valor alimentar do DDBS foi 26%, 11% e 19% maior do que o das respectivas misturas de milho moído, caroço de algodão e farelo de soja das inclusões de 15, 30 e 45% do coproduto, respectivamente. GARLAND et al. (2019b) relataram valores alimentares 29 e 18% maiores para o WDBS incluído nas doses de 20 e 40% da MS da dieta em relação à mistura de silagem de grãos de milho e milho laminado. BREMER et al., (2011) revisaram 28 estudos e conduziram uma meta-análise sobre a inclusão (0,10, 20, 30 e 40% da MS) de grãos destilados secos com solúveis (DDGS), grãos destilados modificados com solúveis (MDGS) e grãos destilados úmidos com solúveis (WDGS). O WDGS apresentou valores alimentares 50, 43, 36 e 30% maiores que o milho laminado ou a mistura de milho laminado com silagem de grãos para as 4 respectivas inclusões na dieta. O MDGS apresentou valores alimentares 28, 24, 20 e 17% e o DDGS apresentou o mesmo valor alimentar em todas as inclusões avaliadas, ou seja 12% em comparação ao milho. O maior valor alimentar dos coprodutos de etanol de milho em comparação ao milho é indicação clara do seu maior valor energético.

A inclusão de DDBS nas dietas causou aumento linear (P<0,001) nas concentrações de energia líquida de mantença e de ganho observadas (Tabela 5). Em relação à dieta controle (0% DDBS) a energia líquida de mantença aumentou 2,53% e 5,05% e a energia líquida de ganho aumentou 3,0 e 6,77% quando o DDBS foi incluído nas dietas nas doses de 15 e de 45% respectivamente. Assumindo que toda a alteração energética das dietas se deveu

exclusivamente às inclusões de DDBS, quando a inclusão do coproduto na dieta foi de 15%, o DDBS apresentou 16,87% maior ELm e 20,0% maior ELg que a mistura substituída (17,2% de milho moído, 51% de caroço de algodão e 31,8% de farelo de soja). Quando a inclusão do DDBS na dieta foi de 45%, o DDBS apresentou 11,22% maior ELm e 15,0% maior ELg que a mistura substituída (71,1% de milho + 17,8% de caroço de algodão + 11,1% de farelo de soja). Na Figura 6 são apresentadas as regressões lineares da ELm e ELg, nota-se que para cada 1 unidade percentual de inclusão de DDBS na dieta há um aumento de 0,0019 Mcal de ELm e 0,0017 Mcal de ELg na dieta. Em contrapartida, ANTUNES (2020) não observou diferença na ELm e ELg com a inclusão de 30% de DDBS na dieta de terminação.

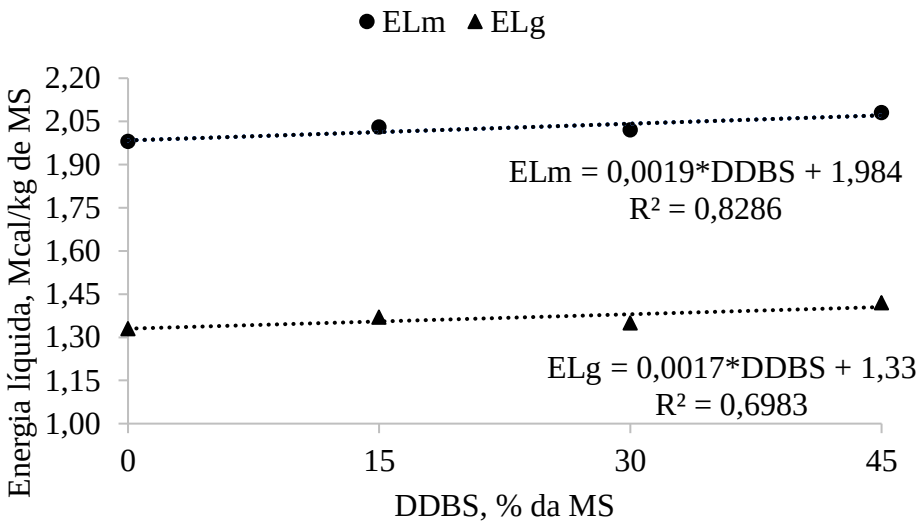

Figura 6 - Efeito da inclusão de DDBS na energia líquida de mantença (ELm, ●) e energia líquida de ganho (ELg, ▲) em bovinos Nelore em terminação confinados, calculados a partir de ZINN e SHEN (1998). Um efeito linear observado na ELm (P<0,001) e na ELg (P<0,001).

Com relação à comparação entre as energias observadas e as esperadas, os valores foram iguais a 1,0 tanto para a ELm como para a ELg na dieta controle (0% DDBS), sugerindo que os valores tabulares de NDT do NASEM (2016) para o milho flint laminado, para o caroço de algodão e para o farelo de soja foram adequados para o presente estudo. Entretanto, os valores maiores que 1,0 para as relações ELm observada/esperada e ELg observada/esperada nas dietas com DDBS sugerem que o valor tabular de NDT do NASEM de 89% para o DDGS, adotado neste estudo para o DDBS, está subestimado.

O valor mais elevado do DDBS neste estudo e do DDGS nos trabalhos americanos (BREMMER et al., 2011) em comparação com o milho, pode em parte ser explicado pela concentração de óleo e de proteína não degradável no rúmen nesses coprodutos (NASEM, 2016).

4.2 Experimento 2: Digestibilidade e parâmetros ruminais

Na Tabela 6 estão apresentados os dados dos parâmetros de fermentação ruminal obtido no experimento. Os ácidos graxos de cadeia ramificada foram afetados pelos tratamentos. Houve redução quadrática (p=0.005) da inclusão de DDBS sobre a concentração molar de isobutirato e redução linear na concentração de isovalerato (P=0.015). Houve aumento linear na concentração de valerato (P<0.001). No trabalho de Antunes (2020) a inclusão de 30% de DDBS reduziu a proporção molar de acetato, aumentou a de propionato e de valerato e reduziu as proporções de isobutirato e de isovalerato e a concentração ruminal de amônia, em comparação com a dieta controle contendo milho moído, caroço de algodão e farelo de soja. A concentração de ácidos graxos de cadeia ramificada está associada à degradação de aminoácidos no rúmen e a diminuição na proporção desses ácidos pode ser entendida como uma menor degradação de proteína no rúmen (KOZLOSKI, 2016), fator este, corroborado pela menor concentração ruminal de amônia nesse estudo. Entretanto, no presente estudo a concentração ruminal de amônia não foi reduzida pela inclusão de DDBS na dieta.

A inclusão de DDBS na dieta teve efeito quadrático sobre o pH ruminal (P=0,043), com redução deste parâmetro nas dietas com 15 e 30% do coproduto. Apesar de ser um coproduto rico em fibra e pobre em amido, a inclusão de coprodutos de etanol de milho como o DDBS e o DDGS não necessariamente melhora o ambiente ruminal em termos de pH (ANTUNES, 2020; CORRIGAN et al., 2009; GARLAND et al., 2019c; VANDER POL et al., 2009). A fibra dos coprodutos é altamente fermentável no rúmen e seu tamanho médio de partícula não atua como fibra efetiva. No presente estudo, assim como no de ANTUNES (2020) o DDBS substituiu misturas contendo milho, caroço de algodão e farelo de soja, presentes nas dietas controle (0% DDBS). Nesse caso a inclusão de DDBS reduziu as concentrações de fibra fisicamente efetiva das dietas, principalmente pela substituição do caroço de algodão. Foi necessário incluir a dose alta (45%) de DDBS, com redução expressiva no teor de amido na dieta, para compensar a retirada do caroço de algodão, rico em fibra fisicamente efetiva, para retornar pH ruminal para patamar similar ao da dieta controle.

De modo geral os dados de fermentação ruminal não contribuem para explicar os efeitos positivos do DDBS no desempenho dos bovinos confinados.

Tabela 6 - Parâmetros de fermentação ruminal em bovinos alimentados com níveis de inclusão de DDBS na dieta

Item	Níveis de inclusão de DDBS na MS						P-value	
	0%	15%	30%	45%	EPM	DDBS	Linear	Quadrático
AGCC proporção, mol/100 mol								
Acetato	60,3	60,3	60,1	58,1	1,25	0,523	0,217	0,440
Propionato	24,9	23,0	23,9	25,4	1,57	0,714	0,751	0,291
Butirato	9,97	12,6	12,3	12,6	1,05	0,224	0,112	0,264
Isobutirato	1,17	0,785	0,825	1,01	0,103	0,025	0,344	0,005
Valerato	1,03	1,16	1,26	1,35	0,033	<0,001	<0,001	0,635
Isovalerato	2,57	2,14	1,73	1,77	0,247	0,069	0,015	0,331
Acetato:Propionato	2,58	2,80	2,66	2,49	0,220	0,794	0,679	0,395
pH ruminal	6,54	6,26	6,38	6,48	0,100	0,166	0,867	0,043
NH_3-N ruminal, mg/Dl	10,6	12,7	10,3	10,0	1,14	0,295	0,379	0,286

DDBS = dried distillers brans plus solubles; AGCC: ácidos graxos de cadeia curta.

Na Tabela 7 estão apresentados o consumo e a digestibilidade dos nutrientes. Os dados do ensaio de digestibilidade não corroboram os dados de desempenho animal que indicaram o aumento na concentração de energia das dietas com a inclusão de DDBS. No ensaio de digestibilidade houve efeito quadrático (P=0,010) no CMS com o pico de consumo observado com a inclusão de 15% de DDBS (12,5 kg MS/dia) e redução drástica com a inclusão de 45% de DDBS. O padrão de resposta do CMS determinou padrão similar para o consumo da maioria dos nutrientes. A inclusão de DDBS nas dietas resultou em efeito quadrático na digestibilidade da proteína bruta (P=0,07) e da Energia digestível (P=0,02) com redução expressiva dos valores com a inclusão de 45% de DDBS. Houve redução linear (P=0,087) do NDT das dietas com a inclusão de DDBS. A falta de sincronia entre o efeito positivo da inclusão de DDBS na concentração de energia das dietas no experimento de desempenho e a ausência de efeito ou efeito negativo no ensaio de digestibilidade também foi reportado em outros trabalhos (CORRIGAN et al., 2009; VANDER POL et al., 2009; MAY et al., 2010; LUEBBE et al., 2012; HALES et al., 2012, HALES et al., 2013; ANTUNES 2020). WILSON et al. (2021) avaliaram a relação de NDT e MO digestível em dietas de terminação comparando a dieta a base de milho versus uma dieta contendo 56% de WDGS. Os autores observaram uma energia bruta maior na dieta de WDGS e maior energia digestível, porém constataram uma menor digestibilidade da MO com a inclusão de WDGS.

Tabela 7 - Consumo e digestibilidade de nutrientes em bovinos alimentados com DDBS.

Item	Níveis de inclusão de DDBS na MS						P-value	
	0%	15%	30%	45%	EPM	DDBS	Linear	Quadrático
Consumo, kg/animal/dia								
MS	11,2	12,5	12,3	9,63	0,702	0,032	0,133	0,010
MO	10,5	11,7	11,6	8,92	0,655	0,021	0,108	0,007
PB	1,61	1,69	1,82	1,37	0,100	0,034	0,208	0,017
FDN	3,45	4,11	4,52	4,18	0,263	0,056	0,037	0,067
EE	0,504	0,317	0,490	0,441	0,298	<0,001**	0,907	0,029
CNF	4,92	5,62	4,72	2,92	0,268	<0,001	<0,0001	0,0001
EB, Mcal	50,8	54,6	54,1	43,4	3,14	0,067	0,119	0,030
Digestibilidade, %								
MS	83,4	86,4	81,7	82,3	1,32	0,036**	0,128	0,282
MO	84,1	87,2	82,6	83,0	1,30	0,031**	0,118	0,250
PB	83,0	85,0	83,0	81,0	1,15	0,093	0,110	0,07
FDN	74,3	79,5	75,1	77,4	1,72	0,132	0,510	0,36
EE	92,8	91,5	92,1	91,7	0,940	0,640	0,440	0,549
CNF	90,5	93,2	88,5	90,8	1,43	0,114	0,489	0,864
Consumo de ED, MCal	42,5	47,2	44,4	36,0	2,69	0,043	0,074	0,022
NDT, %	83,9	85,1	81,9	82,1	1,24	0,137	0,087	0,664

DDBS = dried distillers brans plus solubles; MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; PB = proteína bruta; FDN = fibra indigestível em detergente neutro; EE = extrato etéreo; CNF = carboidratos não fibrosos; EB = energia bruta, NDT = nutrientes digestíveis totais

5 CONCLUSÕES

O DDBS possui maior valor energético que as diferentes misturas substituídas de milho flint moído, caroço de algodão e farelo de soja.

A inclusão de até 45% de DDBS na dieta de bovinos em terminação em substituição ao milho moído, caroço de algodão e farelo de soja, melhora o desempenho animal.

No presente estudo o valor de energia do DDBS foi maior que o proposto pelo NASEM (2016) para o DDGS e essa observação precisa ser reavaliada em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 10, p. 3317–3334, 2009.

ANTUNES, S. L. **Inclusão de novos coprodutos derivados do processo de produção de etanol de milho em dietas de terminação de bovinos**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2020.

BECK, M. B.; VILLARROEL WALKER, R. On water security, sustainability, and the water-food-energy-climate nexus. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 7, n. 5, p. 626–639, 23 out. 2013.

BOTHAST, R. J.; SCHLICHER, M. A. Modified Reagents for Determination of Urea and Ammonia. **Clinical Chemistry**, v. 8, n. 2, p. 130–132, 1 abr. 1962.

BOTHAST, R. J.; SCHLICHER, M. A. Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 67, n. 1, p. 19–25, 2005.

BREMER, L. M.; HARRIS, M. E.; HANSEN, J. A. H.; JENKINS, K. H.; LUEBBE, M. K. Feeding Value of De-oiled Wet Distillers Grains Plus Solubles Relative to Normal When Fed with Either Dry-Rolled Corn or Steam-Flaked Corn in Beef Finishing Diets. **Nebraska Beef Cattle Reports**, p. MP101:77-79, 2015.

BREMER, V. R.; WATSON, A. K.; LISKA, A. J.; ERICKSON, G. E.; CASSMAN, K. G.; HANFORD, K. J.; KLOPFENSTEIN, T. J. Effect of distillers grains moisture and inclusion level in livestock diets on greenhouse gas emissions in the corn-ethanol-livestock life cycle. **Professional Animal Scientist**, v. 27, n. 5, p. 449–455, 2011.

BUCKNER, C. D.; VANNESS, S. J.; ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, T. J.; BENTON, J. R. Sampling Wet Distillers Grains Plus Solubles to Determine Nutrient Variability. **Animal Science Departament**, v. 48, n. January, p. 126–127, 2008a.

BUCKNER, C. D.; MADER, T. L.; ERICKSON, G. E.; COLGAN, S; L.; MARK, D. R.; KARGES, K. K.; GIBSON, M. L.; BREMER, V. R. Evaluation of Dry Distillers Grains Plus Solubles Inclusion on Performance and Economics of Finishing Beef Steers1. **The Professional Animal Scientist**, v. 24, n. 5, p. 404–410, out. 2008b.

BUCKNER, C. D.; WILKEN, M. F.; BENTON, J. R.; VANNESS, S. J.; BREMER, V. R.; KLOPFENSTEIN, T. J.; KONONOFF, P. J.; ERICKSON, G. E. Nutrient variability for distillers grains plus solubles and dry matter determination of ethanol by-products. **Professional Animal Scientist**, v. 27, n. 1, p. 57–64, 2011.

CASTILLO-LOPEZ, E. KLOPFENSTEIN, T. J.; FERNANDO, S. C.; KONONOFF, P. J. In vivo determination of rumen undegradable protein of dried distillers grains with solubles and evaluation of duodenal microbial crude protein flow. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 2, p. 924–934, 1 fev. 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos - Safra 2021/22 - 10º Levantamento**. v. 9, n. 10, p. 46-60, jul. 2022.

CORRIGAN, M. E.; ERICKSON, G. E.; KLOPFESNTEIN, T. J.; LUEBBE, M. K.; VANDER POL, K. J.; MEYER, N. F.; BUCKNER, C. D.; VANNESS, S. J.; HANFORD, K. J. Effects of level of condensed distillers solubles in corn dried distillers grains on intake, daily body weight gain, and digestibility in growing steers fed forage diets1. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 12, p. 4073–4081, 1 dez. 2009.

DA SILVA, H. J. T.; SANTOS, P. F. A.; JUNIOR, E. C. N.; VIAN, C. E. F.. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 142–159, 2020.

DE SOUZA, A. P.; GRANDIS, A.; LEITE, D.; BUCKERIDGE, M. Sugarcane as a Bioenergy Source: History, Performance, and Perspectives for Second-Generation Bioethanol. **Bioenergy Research**, v. 7, n. 1, p. 24–35, 2014.

DICONSTANZO, A.; HOHERTZ, A.; OWENS, F. Ethanol co-products: Changes in the last 15 years, Changes to come. In: **2015 Plains Nutrition Council Spring Conference**. [s.l: s.n.]. p. 39–53.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; ALBRECHT, L. P.; ALBRECHT, A. J. P.; CHRIST, D.; SANTOS, W. G.; BERKEMBROCK, E.; EGEWARTH, V. A. Maize ethanol production in Brazil: Characteristics and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, n. October 2017, p. 3907–3912, 2018.

GARLAND, S. **Impact of ethanol process changes on distillers grains for beef cattle**. [s.l.] University of Nebraska - Lincoln, 2018.

GARLAND, S. A.; BOYD, B. M.; HILSCHER, F. H.; ERICKSON, G. E.; MACDONALD, J. C.; MASS, R. A.. Evaluation of Fractionated Distillers Grains (High Protein and Bran Plus Solubles) on Performance and Carcass Characteristics in Finishing Diets. **Nebraska Beef Cattle Report**, v. 1021, n. 1021, p. 88–90, 2019a.

GARLAND, S. A.; JOLLY-BREITHAUPT, M. L.; WILSON, H. C.; ERICKSON, G. E.; MACDONALD, J. A.; MASS, R. A. Ealuation of Corn Bran Plus Solubles on Performance and Carcass Characteristics in Finishing Diets. **Nebraska Beef Cattle Report**, v. 1020, n. 1020, p. 91–93, 2019b.

GARLAND, S. A.; BOYD, B. M.; HILSCHER, F.; HILSCHER, F. H.; ERICKSON, G. E.; MACDONALD, J. A.; MASS, R. A. Evaluation of the Energy Value and Nutrient Digestibility of Distillers Grains That Have Undergone a Fiber Separation Process in Finishing Diets. **Nebraska Beef Cattle Report**, v. 1019, n. 1019, p. 94–96, 2019c.

HALES, K. E.; COLE, N. A.; MACDONALD, J. C. Effects of corn processing method and dietary inclusion of wet distillers grains with solubles on energy metabolism, carbon-nitrogen balance, and methane emissions of cattle. **Journal of Animal Science**. 90:3174-3185. 2012.

HALES, K. E.; COLE, N. A.; MACDONALD, J. C. Effects of incresing concentration of wet distillers grains with solubles in steam-flaked corn-based diets on energy metabolism, carbon-nitrogen balance, and methane emissions of cattle. **Journal of Animal Science**. 91: 819-828. 2013;

HORN, G. W.; BEESON, W. M. Effects of Corn Distillers Dried Grains with Solubles and Dehydrated Alfalfa Meal on the Utilization of Urea Nitrogen in Beef Cattle. **Journal of Animal Science**, v. 28, n. 3, p. 412–417, 1 mar. 1969.

JUNIOR, A. DE S. L.; MESCHIATTI, M. A. P.; GOUVÊA, V. N.; MACDONALD, J. A.; ERICKSON, G. E.; DANTAS, V. G. V.; SANTOS, F. A. P. Effects of wet distillers bran plus solubles and corn oil in diets containing flint corn grain and citrus pulp for finishing Nellore bulls. **Livestock Science**, v. 255, n. October 2020, 2022.

KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E.; BREMER, V. R. Chapter 2: Use of Distillers Co-Products in Diets Fed to Beef Cattle. In: BABCOCK, B. A.; HAYES, D. J.; LAWRENCE, J. D. (Eds.). . **Using distillers grains in the U.S. and international livestock and poultry industries**. AMES, IA ed. [s.l.] MATRIC, 2008.

KOZLOSKI, G. V. Bioquímica dos ruminantes. **Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência-Editora UFSM**, 2016.

LAMMERS, B. P.; BUCKMASTER, D. R.; HEINRICHS, A. J. A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 5, p. 922–928, maio 1996.

LIU, K. Chemical composition of distillers grains, a review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 5, p. 1508–1526, 2011.

LUEBBE, M. K.; PATTERSON, J. M.; JENKINS, K. H.; BUTREY, E. K.; DAVIS, T. C.; CLARCK, B. E.; MCCOLLUM, F. T.; COLE, N. A.; MACDONALD, J. C. Wet distillers grains plus solubles concentration in steam-flaked corn based diets: Effects on feedlot cattle performance, carcass characteristics, nutrient digestibility, and ruminal fermentation characteristics. **Journal of Animal Science**. 90: 1589:1602. 2012.

MACDONALD, J. Does removing nutrient components from distillers grains affect the feeding value for beef cattle. **22nd Annual Distillers Grains Symposium,** Des Moines - Iowa - United States, 16-18 May, 2018. 30 slides. 2018.

MACDONALD, J. C. **Does removing nutrient components from distillers grains affect the feeding value for beef cattle.** Disponível em: <https://distillersgrains.org/wp-content/uploads/2018/05/1-MacDonald-Nutrient-Components-Distillers-Grains-Beef-Cattle.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

MAY, M. L.; DECLERCK, J. C.; QUINN, M. J.; DILORENZO, N.; LEIBOVICH, J.; SMITH, D. R.; HALES, K. E.; GALYEAN, M. L. Corn or sorghum wet distillers grains with solubles in combination with steam-flaked corn: Feedlot performance, carcass characteristcs, and apparent total tract digestibility. **Journal of Animal Science,** 88:2433-2443. 2010.

NASEM. **Nutrient Requirements of Beef Cattle, 8th Revised Edition**. Washington, D.C.: National Academies Press, 2016.

NRC. **Nutritional Requirements od Dairy Cattle**. Natl. Acad ed. Washington, D.C.: [s.n.].

NUTTELMAN, B. L.; ROLFE, K. M.; ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, T. The Effect of Drying Distillers Grains on Nutrient Metabolism. **Nebraska Beef Cattle Reports**, 2011.

NUTTELMAN, B. L.; BURKEN, D.; SCHNEIDER, C. J. S.; ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, J. Comparing Wet and Dry Distillers Grains Plus Solubles for Yearling Finishing Cattle Comparing Wet and Dry Distillers Grains Plus Solubles for Yearling Finishing Cattle. **Nebraska Beef Cattle Report**, v. 728, p. 1–3, 2013.

OGLESBEE, R. A.; BITTNER, C. J.; HILSCHER, F. H. H.; ERICKSON, G. E.; MACDONALD, J. A.; LUEBBE, M. K. Evaluation of distillers' grains components singly or in combination for finishing calf feds. **Journal of Animal Science**, v. 94, n. suppl_2, p. 29–30, 2016.

PALMQUIST, D. L.; CONRAD, H. R. Origin of Plasma Fatty Acids in Lactating Cows Fed High Grain or High Fat Diets. **Journal of Dairy Science**, v. 54, n. 7, p. 1025–1033, jul. 1971.

PALOWSKI, A.; YANG, Z.; JANG, J.; DADO, T.; URRIOLA, P. E.; SHURSON, G. C. Determination of in vitro dry matter, protein, and fiber digestibility and fermentability of novel corn coproducts for swine and ruminants. **Translational Animal Science**, v. 5, n. 2, p. 1–14, 2021.

SINGH, V.; RAUSCH, K. D.; YANG, P.; SHAPOURI, H.; BELYEA, R. L.; TUMBLESON, M. E. Modified Dry Grind Ethanol Process. **Agricultural Engineering Department**, v. 61801, n. 2001–7021, p. 1–43, 2001.

SMITH, Z. K.; WILKEN, M. 256 Evaluation of Replacement of Dietary Corn with Corn Bran Plus Condensed Distillers Solubles on Growth Performance and Carcass Trait Responses in Finishing Beef Steers. **Journal of Animal Science**, v. 99, n. Supplement_1, p. 125–125, 7 maio 2021.

SPIEHS, M. J.; WHITNEY, M. H.; SHURSON, G. C. 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, n. 10, p. 2639–2645, 2002.

STOCK, R. A.; LEWIS, J. M.; KLOPFENSTEIN, T. J.; MILTON, C. T. Review of new information on the use of wet and dry milling feed by-products in feedlot diets. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. E-Suppl, p. 1, 2000.

TRENKLE, A. Evaluation of wheat-based wet distillers' grains for feedlot cattle. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, n. 3, p. 447–454, 1997.

UNICA, U. DA I. DE C.-A. **Região Centro-Sul: avaliação da safra 2019/2020**. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=116>.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583–3597, out. 1991.

VANDER POL, K. J.; LUEBBE, M. K.; CRAWFORD, G. I.; ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, T. J. Performance and digestibility characteristics of finishing diets containing distillers grains, composites of corn processing coproducts, or supplemental corn oil. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 2, p. 639–652, 2009.

VASCONCELOS, J. T.; GALYEAN, M. L. Effects of Proportions of Wet Corn Gluten Feed and Distiller's Dried Grains with Solubles in Steam-Flaked, Corn-Based Diets on Performance and Carcass Characteristics of Feedlot Cattle11. **The Professional Animal Scientist**, v. 23, n. 3, p. 260–266, jun. 2007.

WALLER, J.; KLOPFENSTEIN, T.; POOS, M. Distillers Feeds as Protein Sources for Growing Ruminants2. **Journal of Animal Science**, v. 51, n. 5, p. 1154–1167, 1 nov. 1980.

WATSON, A. K.; VANDER POL, K. J.; HULS, T. J.; LUEBBE, M. K.; ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, T. J. GREENQUIST, M. A. Effect of dietary inclusion of wet or modified distillers grains plus solubles on performance of finishing cattle11A contribution of the University of Nebraska Agricultural Research Division, supported in part by funds provided through the Hatch Act. **The Professional Animal Scientist**, v. 30, n. 6, p. 585–596, dez. 2014.

WEISS, W. P.; CONRAD, H. R.; ST. PIERRE, N. R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v. 39, n. 1–2, p. 95–110, nov. 1992.

WILSON, H. C.; BREMER, V. R.; ERICKSON, G. E.; CARR, T. P.; HANFORD, K. J.; WATSON, A. K.; KLOPFENSTEIN, T. J.; MACDONALD, J. C. Digestion characteristics and prediction of digestible energy and total digestible nutrients in beef cattle finishing diets containing traditional and by-product lipid sources. **Applied Animal Science**, v. 37, n. 4, p. 377–387, ago. 2021.

WISEMAN, A. R.; BOYD, B. M.; ERICKSON, G. E. Evaluation of FluidQuip Fiber Stream Dried Distillers Grains plus Solubles on Performance and Carcass Characteristics in Finishing Diets. **Nebraska Beef Cattle Report**, p. 62–64, 2020.

YABE MILANEZ, A.; NYKO, D.; VALENTE, M. S.; XAVIER, C. E. O.; KULAY, L. A.; DONKE, C. G.; MATSUURA, M. I. S. F.; RAMOS, N. P.; MORANDI, M. A. B.; BONOMI, A.; CAPITANI, D. H. D.; CHAGAS, M . F.; CAVALETT, O.; GOUVÊIA, V. L. R. 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, n. junnho 2014, p. 147–208, 2014.

YACOBUCCI, B. D.; SCHNEPF, R. Ethanol and Biofuels: Agriculture, Infrastructure, and Market Constraints Related to Expanded Production. **CRS Report for Congress**, p. 1–13, 2007.

YU, P.; HUBER, J. T.; SANTOS, F. A. P.; SIMAS, J. M.; THEURER, C. B. Effects of Ground, Steam-Flaked, and Steam-Rolled Corn Grains on Performance of Lactating Cows. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 3, p. 777–783, 1 mar. 1998.

ZINN, R. A. Influence of flake density on the comparative feeding value of steam-flaked corn for feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 3, p. 767, 1990.

ZINN, R. A.; SHEN, Y. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 5, p. 1280, 1998.