

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GRÃOS SECOS DE DESTILARIA COM SOLÚVEIS NA  
ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

Autora: Suelen Maria Einsfeld

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Coorientadora: Alice Eiko Murakami

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Abril-2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GRÃOS SECOS DE DESTILARIA COM SOLÚVEIS NA  
ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

Autora: Suelen Maria Einsfeld

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Coorientadora: Alice Eiko Murakami

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós- Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de Concentração Produção Animal

MARINGÁ  
Estado do Paraná  
Abril-2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

E356g

Einsfeld, Suelen Maria

Grãos secos de destilaria com solúveis na alimentação de suínos em terminação /  
Suelen Maria Einsfeld. -- Maringá, PR, 2022.  
105 f.: il., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza.

Coorientadora: Profa. Dra. Alice Eiko Murakami.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias,  
Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2022.

1. Suinocultura. 2. Composição química. 3. Cooprodutos . 4. Equações de predição. 5.  
Coeficientes de digestibilidade . I. Pozza, Paulo Cesar, orient. II. Murakami, Alice Eiko,  
coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias.  
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 636.4



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

GRÃOS SECOS DE DESTILARIA COM SOLÚVEIS NA  
ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

Autora: Suelen Maria Einsfeld  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

TITULAÇÃO: Doutora em Zootecnia - Área de Concentração Produção  
Animal

APROVADA em 25 de maio de 2022.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Segatto Cella

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Levi de Oliveira  
Carvalho

  
\_\_\_\_\_  
Profª Drª Patricia Rossi

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Tiago Pasqueti

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza  
Orientador

***“A persistência é o caminho do êxito”***  
(Charles Chaplin)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, saúde e proteção, por me guiar para o caminho do bem ao lado de pessoas abençoadas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza, pelos ensinamentos transmitidos, confiança depositada no meu trabalho, paciência, apoio e exemplo de ética. Muito obrigada por tudo!

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá e todos seus professores, pela oportunidade e apoio oferecidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Estadual de Maringá, Fazenda Experimental de Iguatemi e todos seus funcionários, que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

Ao grupo de Suinocultura da Universidade Estadual de Maringá: Ângela Leite, Camila Capucho Sartori, Maria Eduarda Tostes Carneiro, Camila Araújo Moreira, Lucas Pimental Bonagurio, Felipe Augusto Cancian, Luara Lima Galvão, Danielei Pinheiro, Gabriel Amaral de Araujo, Ana Carolina Figueredo, Maria Paula Campos, Leonardo Felipe Malavazi Ferreira e Isabela Leal, pela amizade, pelos conhecimentos compartilhados e bons momentos vividos durante o trabalho, e especialmente aos irmãos de coração que o doutorado me proporcionou, Natália Yoko Sitanaka, Lucas Antonio Costa Esteves, Juliana Stocco Martins e Paula Carina de Oliveira, agradeço pelo auxílio imensurável durante o período experimental, pelo companheirismo e pelas demonstrações de apoio nos momentos difíceis e pelos ótimos momentos que me proporcionaram, das muitas risadas aos momentos sérios, ao lado de pessoas especiais como vocês, sempre desfrutamos de momentos inesquecíveis.

A todos amigos conquistados durante essa jornada, que apoiaram, incentivaram e estiveram presentes desde os momentos gloriosos até aos mais delicados.

Além disso, minha gratidão àqueles que não foram citados, mas contribuíram de alguma forma para que eu alcançasse mais esse objetivo.

Este foi um período de muito aprendizado e com certeza aprendi muito com cada um de vocês.

Muito obrigada.

A Deus, por iluminar os meus passos e pela presença constante em todos os momentos da minha vida.

Ao meu pai, Alirio Einsfeld, minha mãe, Sirlei Maria Baldissera Einsfeld, e meu irmão, Sulívan Alirio Einsfeld, que sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os momentos;

Ao meu namorado, Leonardo Pereira Duarte, que sempre esteve ao meu lado, ajudando e dando força.

Amo todos e sei que sem vocês ao meu lado isso não seria possível.  
Muito obrigado por tudo.

DEDICO

## **BIOGRAFIA**

SUELEN MARIA EINSFELD, filha de Alirio Einsfeld e Sirlei Maria Baldissera Einsfeld, nasceu em São Jorge D'Oeste, Estado do Paraná, Brasil, no dia 26 de março de 1993.

Em agosto de 2010, ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, onde diplomou-se em março de 2015.

Em março de 2016, iniciou no programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos, atuando na área de “Avaliação de alimentos para suínos”, diplomou-se em fevereiro de 2018.

Em março de 2018, iniciou no programa de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de doutorado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá.



## ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
I - INTRODUÇÃO.....	13
REVISÃO DE LITERATURA .....	15
1. Etanol de milho .....	15
2. Processamento e produção de DDGS.....	16
3. Composição nutricional de DDGS de milho.....	19
4. Equação de predição para estimular o valor energético do DDGS .....	24
5. Inclusão do DDGS na dieta de suínos.....	25
REFERÊNCIAS .....	30
II - OBJETIVOS .....	38
OBJETIVO GERAL .....	38
OBJETIVO ESPECÍFICO .....	38
III - ADEQUATE KNOWLEDGE OF THE NUTRITIONAL COMPOSITION OF DDGS RESULTS IN THE INCLUSION OF HIGH LEVELS IN THE DIET OF FINISHING PIGS WITHOUT CHANGING PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY .....	39
ABSTRACT.....	40
INTRODUCTION .....	41
MATERIAL AND METHODS .....	42
RESULTS .....	47
DISCUSSION .....	49
CONCLUSION.....	54
REFERENCES.....	55
IV - ADJUSTMENT OF PREDICTION EQUATIONS FOR THE METABOLIZABLE ENERGY OF DDGS FOR PIGS .....	77
ABSTRACT.....	78
INTRODUCTION .....	79
MATERIAL AND METHODS .....	80
RESULTS .....	82
DISCUSSION .....	83
CONCLUSION.....	90
REFERENCES .....	90
CLOSING REMARKS .....	1013

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química e energética do milho e dos grãos secos destilados de milho com solúveis (DDGS), na matéria seca.....20

III - ADEQUATE KNOWLEDGE OF THE NUTRITIONAL COMPOSITION OF DDGS RESULTS IN THE INCLUSION OF HIGH LEVELS IN THE DIET OF FINISHING PIGS WITHOUT CHANGING PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY ..... 39

Table 1. Composition and specification of nutrients (g kg<sup>-1</sup>) of the experimental diets for finishing pigs (70-100 kg).....63

Table 2. Characterization of the chemical composition (%) of corn DDGS for finishing pigs, in natural matter.....65

Table 3. Characterization of the amino acid (AA) profile of DDGS for pigs, in natural matter.....66

Table 4. Energy values, digestibility and metabolizability coefficients and ME:DE ratio of DDGS for finishing pigs in natural matter.....67

Table 5. Energy values, coefficients and ME:DE ratio of DDGS for finishing pigs fed with increasing levels, in natural matter.....68

Table 6. Performance (kg) of finishing pig (70-100 kg) submitted to diets with different levels of DDGS.....69

Table 7. Blood biochemical parameters of finishing pigs (70-100 kg) submitted to diets with different levels of DDGS.....70

Table 8. Characteristics of finishing pig carcasses (70-100 kg) submitted to feeds with different levels of DDGS.....71

Table 9. *Longissimus dorsi* muscle meat quality of finishing pigs (70-100 kg) subjected to diets with different levels of DDGS.....72

Table 10. Variables related to the evaluation of the belly cut (in natura) of finishing pigs (70-100 kg) submitted to diets with different levels of DDGS.....73

Table 11. Effect of feeding with increasing inclusion levels of DDGS in the fatty acid profile of the fat obtained in the belly of pigs slaughtered at the finishing phase.....74

IV - ADJUSTMENT OF PREDICTION EQUATIONS FOR THE METABOLIZABLE ENERGY OF DDGS FOR PIGS.....77  
77

Table 1. Centesimal, energetic and chemical composition of the reference feed.....96

Table 2. Chemical composition of the different DDGS, expressed in natural matter.....98

Table 3. Energy values (kcal kg<sup>-1</sup>), coefficients (%) of gross energy and ME:DE ratio of the different DDGS, in natural matter.....99

Table 4. Correlation matrix of components of the different DDGS.....100

Table 5. Intercepts, coefficients of regression and determination of the equations to predict DDGS metabolizable energy (ME) values, adjusted based on the dry matter.....101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma simplificado do processo de obtenção do etanol e seus subprodutos – Moagem Seca.....	17
Figura 2. Fluxograma simplificado do processo de obtenção do etanol e seus subprodutos – Moagem Úmida.....	18
III - ADEQUATE KNOWLEDGE OF THE NUTRITIONAL COMPOSITION OF DDGS RESULTS IN THE INCLUSION OF HIGH LEVELS IN THE DIET OF FINISHING PIGS WITHOUT CHANGING PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY .....	40
Figure 1. (A) Digestible energy (DE) and (B) metabolizable energy (ME) of DDGS, obtained from the consumption of DE and ME associated with DDGS in relation to the consumption of DDGS at each level of inclusion, in dry matter.....	75

## RESUMO

Foram realizados três experimentos, sendo dois ensaios de digestibilidade total e outro de desempenho. No capítulo I foi conduzido um ensaio de digestibilidade total com 24 suínos machos castrados de linhagem comercial com peso médio inicial de  $70 \pm 7,18$  kg, distribuídos em gaiolas de metabolismo. O DDGS substituiu a ração referência em 10; 20; e 30%, quatro tratamentos. Foram determinados os valores de energia digestível (ED) energia metabolizável (EM), coeficientes de digestibilidade (CDEB) e metabolizabilidade da energia bruta (CMEB), a relação EM:ED e a energia líquida (EL) das rações experimentais. No ensaio de desempenho foram utilizados 40 suínos machos castrados, de linhagem comercial, com peso médio inicial de  $70 \pm 1,0$  Kg e abatidos com peso médio final de 100 Kg. As rações experimentais foram formuladas para atender as exigências nutricionais de suínos de 70 a 100 kg de peso vivo quatro níveis de inclusão de DDGS (7,5; 15; 22,5 e 30%). Esses animais foram avaliados quanto a desempenho produtivo, parâmetros sanguíneos e características quantitativas e qualitativas da carcaça. As análises estatísticas utilizaram o pacote estatístico SAS (2001). Os graus de liberdade referentes aos níveis de inclusão de DDGS foram desdobrados em polinômios ortogonais, para obtenção das equações de regressão. A significância foi estabelecida em 5%. Não foram observadas diferenças ( $P < 0,05$ ) para o desempenho de crescimento, parâmetros sanguíneos e características quantitativas de carcaça. O DDGS apresentou 3.926,7kcal ED/kg e 3.767 kcal EM/kg e a sua inclusão em até 30% nas rações não influenciaram o desempenho, parâmetros sanguíneos, características de carcaça, qualidade da carne e da barriga/panceta dos animais. No capítulo II, também foi conduzido um ensaio de digestibilidade total, com 44 suínos machos castrados de linhagem comercial de peso médio inicial  $80 \pm 8,9$  kg. Foi incluso 20% das 10 diferentes partidas de DDGS na ração referência, com cinco repetições. Para o ajuste das equações dos valores de EM e EL, as análises de regressão foram realizadas, após determinada a composição química e obtidos os valores energéticos dos alimentos, por meio de regressão linear simples e múltipla, técnica de Eliminação Indireta (Backward). Os valores de energia digestível e metabolizável dos DDGS encontrados, variaram de 3853 a 4664 kcal/kg MS e 3755 a 4506 kcal/kg MS, respectivamente. A equação com melhor ajuste para estimar a EM do DDGS para suínos em fase de terminação foi  $EM = 10368,9 - 192,561 * PB + 481,541 * FB - 101,953 * FDN - 119,236 * EE - 112,994 * A$  ( $R^2 = 0,38$ ).

**Palavras-chave:** coprodutos, digestibilidade, desempenho

## ABSTRACT

Three experiments were carried out, two of total digestibility and one of performance. In chapter I, a total digestibility trial was carried out with 24 barrows from commercial strain with an average initial weight of  $70 \pm 7.18$  kg, individually distributed in metabolism cages. The DDGS replaced the reference ration in percentages of 10; 20; and 30% four treatments. The values of digestible energy (DE) metabolizable energy (ME), digestibility coefficients (CDEB) and metabolizability of gross energy (CMEB), the ME:DE and the net energy (EL) of the experimental rations were determined. In the performance test, 40 castrated male pigs, from commercial lineage, with an average initial weight of  $70 \pm 1.0$  kg and slaughtered with an average final weight of 100 kg were used. The experimental rations were formulated to meet the nutritional requirements of pigs from 70 to 100 kg live weight with four levels of DDGS inclusion (7.5; 15; 22.5 and 30%). These animals were evaluated for productive performance, blood parameters and quantitative and qualitative carcass characteristics. Statistical analyzes were performed using the SAS statistical package (2001). The degrees of freedom referring to the DDGS inclusion levels were broken down into orthogonal polynomials to obtain the regression equations. Significance was set at 5%. No differences ( $P < 0.05$ ) were observed for growth performance, blood parameters and quantitative carcass characteristics. The DDGS had 3,926.7 kcal DE/kg and 3,767 kcal ME/kg and its inclusion in up to 30% in the rations did not influence the performance, blood parameters, carcass characteristics, meat and belly/pancetta quality of barrows in the finishing phase (70-100 kg). In chapter II, a total digestibility trial was also carried out, with 44 barrows with an average initial weight of  $80 \pm 8.9$  kg, individually distributed in metabolism cages. 20% of the 10 different batches of DDGS from the distillery industries were included in the reference ration, with five replications. For adjustment of the prediction equations of the ME and EL values, the regression analyzes were carried out, after the chemical composition had been determined and the energy values of the foods obtained, by means of simple and multiple linear regression, using the technique of Indirect Elimination (Backward), using the System of Statistical and Genetic Analysis. The values of digestible and metabolizable energy of the DDGS found ranged from 3853 to 4664 kcal/kg DM and 3755 to 4506 kcal/kg DM, respectively. The best fit equation to estimate the DDGS ME was  $ME = 10368.9 - 192.561 * PB + 481.541 * FB - 101.953 * NDF - 119.236 * EE - 112.994 * A$  ( $R^2 = 0.38$ ).

**Keywords:** co-products, digestibility, performance

## I - INTRODUÇÃO

Para atender a demanda do mercado nacional e internacional, a suinocultura busca estratégias que possam otimizar a produção e reduzir o custo, principalmente relacionado à alimentação e nutrição animal.

A alimentação dos suínos é considerada o item de maior custo produtivo, pois é constituída basicamente por milho e farelo de soja que, apesar de apresentarem uma expressiva qualidade nutricional e se caracterizarem como alimentos com excelentes teores de energia e proteínas, são insumos que oneram o valor das rações, influenciado diretamente a rentabilidade da atividade suinícola.

No entanto, o bom desempenho dos suínos depende de muitos fatores que se encontram diretamente relacionados com a quantidade e a qualidade da dieta ingerida, uma vez que deverá garantir as necessidades dos animais para a manutenção e produção e ainda devem estar de maneira totalmente integrada e coordenada para proporcionar a máxima eficiência produtiva (Del Vesco et al., 2014).

O milho destaca-se como o principal cereal usado na alimentação dos suínos e é amplamente cultivado nos Estados Unidos e no Brasil, por sua alta concentração de amido, a indústria de biocombustível tem usado essa matéria-prima para a produção de etanol.

A produção de biocombustíveis a partir do milho resulta na geração de coprodutos que podem ser utilizados na dieta de suínos, como os grãos secos de destilaria com solúveis do etanol de milho, globalmente conhecidos como distillers dried grains with solubles (DDGS), com reconhecido valor nutricional para a indústria de ração animal (Pedersen et al., 2014)

Os DDGS são considerados os principais coprodutos da indústria de etanol obtidos à base de grãos, e estão disponíveis em grandes quantidades e com preços mais atrativos e por serem adaptáveis a diferentes dietas, podendo entrar tanto como proteico, substituindo o farelo de soja, ou como proteico energético, substituindo o milho (Pereira et al., 2019).

O DDGS contém todos os nutrientes do grão de cereal que lhe deu origem (milho, trigo, sorgo, cevada e centeio) em forma mais concentrada, exceto o amido, por ser utilizado no processo de fermentação (Corassa et al., 2021).

Comparado com o milho, o DDGS tem maior teor de energia bruta (EB), aminoácidos e gordura (Stein e Shurson, 2009; NRC, 2012) e, portanto, pode ser potencialmente boa fonte de energia e aminoácidos para os suínos. Porém, o DDGS possui maior teor de fibra do que o milho e os suínos, ao contrário dos ruminantes, não são eficientes na digestão da fibra, e, conseqüentemente pode resultar na diminuição da utilização de nutrientes do DDGS para suínos (Stein e Shurson, 2009; Zangaro e Woyengo, 2022).

Dessa forma, nota-se que a composição química e bromatológica do DDGS é atrativa, aumentando a utilização deste ingrediente na alimentação animal. O uso de DDGS para suínos em crescimento foi evidenciado por Linnen et al., (2008), em que a inclusão de 15% de DDGS não afetou significativamente o ganho de peso e o consumo de ração. Porém, a utilização de 30% levou a diminuição de ganho de peso.

Segundo Lautert (2016), o DDGS de milho pode ser incluído nas dietas de suínos em terminação em níveis de até 30% sem prejuízos ao desempenho e características de carcaça e carne. Contrariamente Graham et al., (2014), observaram que o aumento da inclusão de DDGS na dieta de suínos em terminação diminuiu o ganho de peso diário, eficiência alimentar, peso final, além de reduzir a gordura e rendimento da carcaça.

Contudo, para determinar o nível adequado de inclusão de DDGS de milho nas rações para suínos deve-se levar em consideração a sua composição química e energética, as respostas zootécnicas e as características quantitativas e qualitativas das carcaças com intuito de garantir ótima eficiência produtiva.

Tais questões evidenciam a relevância da realização de pesquisas que priorizem a busca por fontes alimentares alternativas, as quais possam propiciar não somente redução do custo produtivo, mas fornecer aporte adequado de nutrientes para que os animais possam expressar todo o seu potencial genético no decorrer de todas as diferentes fases de produção.



## REVISÃO DE LITERATURA

### 1. Etanol de milho

O aumento populacional global proporcionou acréscimo na produção e no consumo de alimentos, energia e combustíveis, assim como a preocupação com o aquecimento global. Com isso, o consumo de combustíveis chama a atenção mundial, pela sua produção ser basicamente a partir de matéria-prima fóssil, cujas reservas naturais estão cada vez menos abundantes (Santos et al., 2017).

A busca por fontes alternativas de energia menos agressivas ao meio ambiente e mais sustentáveis, assim como o uso de grãos de cereais para a produção de biocombustíveis tem se mostrado uma opção promissora.

Os grãos de milho também vêm sendo utilizado para a produção do biocombustível com a produção de 3 milhões de litros (safra 2020/2021). A crescente produção de biocombustíveis a partir do milho deve-se, principalmente por ser o cereal mais produzido no mundo. O milho é altamente cultivado em razão de sua demanda, para alimentar humanos e animais. Neste sentido, o Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial, com aproximadamente 89,1 milhões de toneladas na safra 2020/2021 (CONAB, 2020). O milho rende em média 12 toneladas de grãos por hectare, que podem se transformar aproximadamente em 4.500 litros de etanol (SINDACOL, 2020) e quatro toneladas de DDGS (UNEM, 2021).

A utilização do milho, possibilita a produção de álcool em períodos de maiores preços, contribui para a redução do custo fixo da indústria, ocasionado pela entressafra dos produtos tradicionalmente utilizados, e pela facilidade de ser processado quando necessário (Corassa et al., 2018).

Além do milho, outros cereais como trigo, cevada e sorgo também vêm sendo processados para a produção de etanol, apresentando o DDGS como principal coproduto do processo fermentativo, que pode ser utilizado na alimentação animal e reduzir os danos ambientais gerados por esses coprodutos e, conseqüentemente, melhorar a viabilidade econômica da indústria alcooleira (Santos et al., 2019).

## 2. Processamento e produção de DDGS

O aumento da demanda por etanol resultou em crescimento na produção, que também pode ser produzido a partir do milho, por moagem a seco ou moagem úmida. Esse processo de moagem dá origem aos grãos de destilaria, que são conhecidos por coprodutos oriundos do processo de moagem de cereais a etanol. Devido a sua composição bromatológica é considerado excelente alimento para uso em rações para suínos (Corassa et al., 2021). A moagem a seco é o método mais utilizado, principalmente nos Estados Unidos, pois requer menos capital para construção da planta industrial.

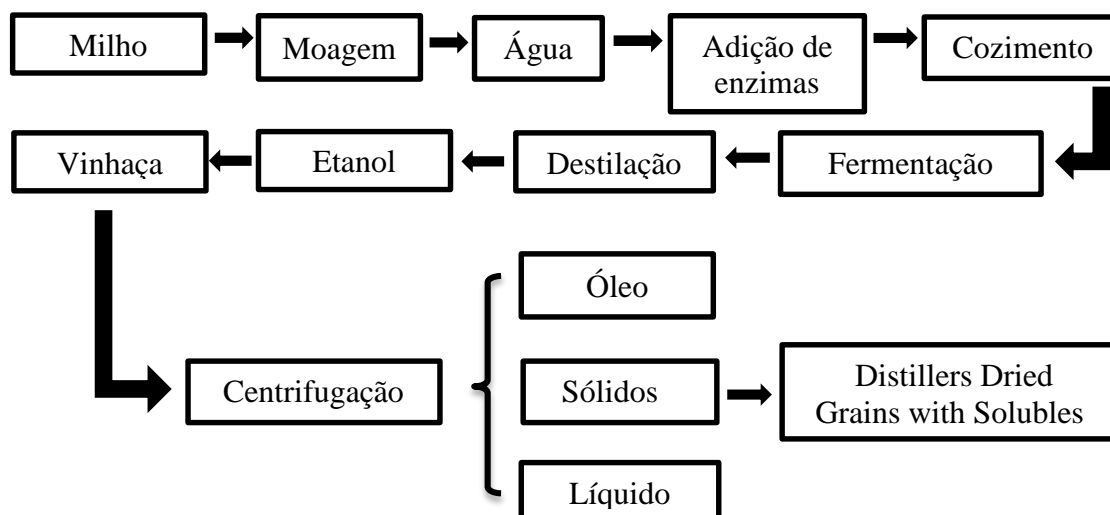
A produção de etanol a partir do milho, por moagem a seco, começa após o recebimento dos grãos, ocorrendo a moagem que normalmente é realizada através de um moinho tipo martelo, utilizando peneira com malha 3 a 5 mm. Depois disso, obtém-se o milho moído ou a farinha, que é umedecida com H<sub>2</sub>O (água). Na pasta úmida ocorre a mistura e adição das enzimas  $\alpha$ -amilases, que atuam na liberação da dextrina, maltose, glicose, tetrose e maltotriose, e esse processo é chamado de "liquefação". Em seguida a pasta é submetida ao calor/processo de cozimento, a aproximadamente 104°C em tanques de vapor, para que haja a quebra da estrutura cristalina dos grânulos de amido. Depois disso, a pasta cozida é resfriada a 32°C e adiciona-se a enzima glucoamilase, necessária para converter a dextrina em dextrose simples de açúcar (Erickson et al., 2005; Berger e Singh, 2010; El- Hack et al., 2015).

No processo de fermentação é necessário misturar um inóculo de leveduras ao alimento, que será fermentado em álcool etílico (etanol) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), por meio da ação das leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Na sequência ocorre a destilação, no qual o etanol é removido do mosto fermentado. O etanol resultante do processo de destilação pode ser do tipo anidro, que é usado para adição à gasolina, e hidratado, que é comercializado nos postos de combustíveis (El- Hack et al., 2015).

O subproduto úmido do processo de moagem a seco é denominado vinhaça, que é centrifugada e separada em frações, dando origem a três outros materiais com características de sólidos, óleos e líquidos (Berger e Singh, 2010). A fração sólida, depois de seca, origina o farelo denominado DDGS, com aproximadamente 12% de umidade, e pode ser utilizado na alimentação animal. O óleo permanece em seu estado bruto/degomado e poderá ser comercializado pela indústria de refino. Já a água pode ser armazenada em lagoas de decantação de líquido residual e, posteriormente, usada como

adubação orgânica, principalmente nas lavouras de cana, por ser considerada uma fonte de fósforo (Berger e Singh, 2010; Us, 2012).

Figura 1- Fluxograma simplificado do processo de obtenção do etanol e seus subprodutos–Moagem Seca.



Fonte: Adaptado de Berger e Singh (2010).

Já moagem úmida começa com a limpeza dos grãos de milho, para remoção dos grãos quebrados, palha, pedaços de sabugos e material estranho. Após esse procedimento os grãos são acondicionados em solução de água contendo de 0,1% a 0,2% de dióxido de enxofre, a uma temperatura de aproximadamente 50°C durante 24 a 48 horas, mas esse período é reduzido para 6 a 12 horas quando se utiliza milhos fragmentados (Cardozo et al., 2012).

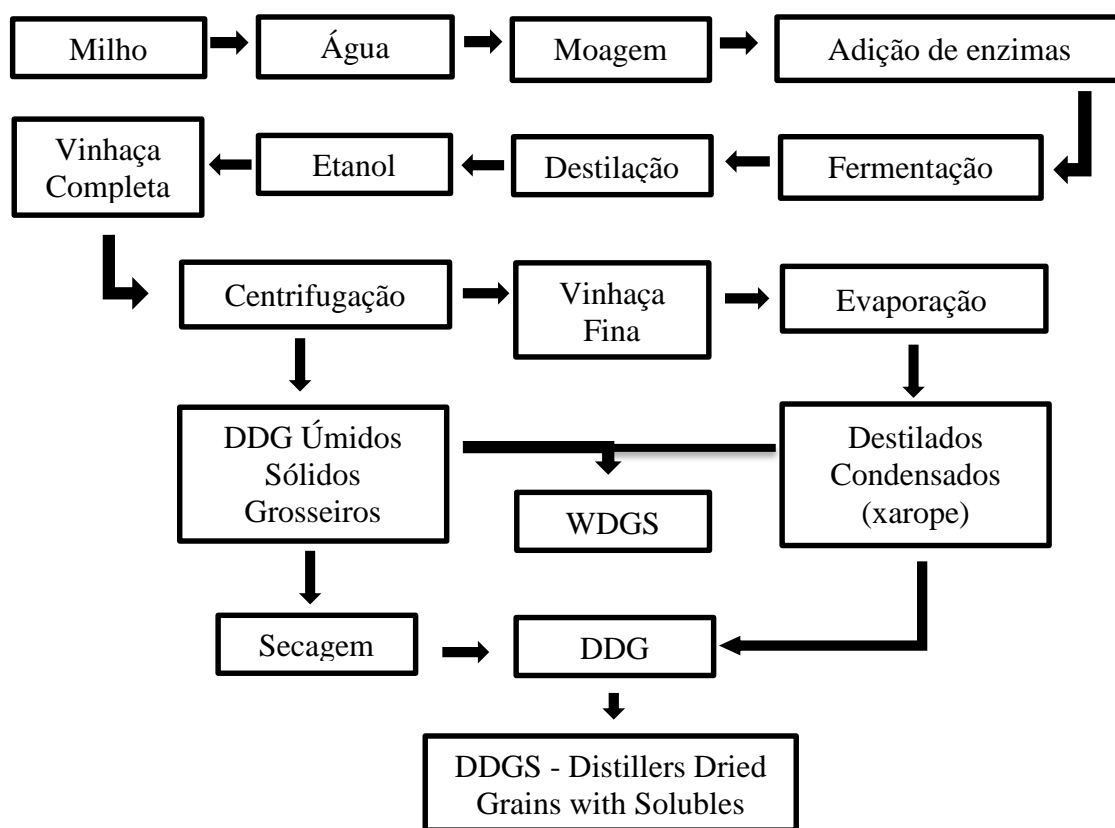
Esse procedimento tem por finalidade aumentar a eficiência da separação dos grânulos de amido e proteínas do endosperma, por meio da incorporação da água ao grão, que permite a produção de múltiplos alimentos e produtos, incluindo o etanol. O farelo de glúten e o glúten são considerados os principais coprodutos oriundos da produção de etanol a partir do processo de moagem úmida (Liu, 2011).

Na sequência, os grãos passam por trituração grossa e são incubados com enzimas degradadoras de proteínas e amido, por 2 a 4 horas. Essas enzimas aumentam a gravidade específica da pasta e ajudam na separação dos componentes individuais do milho (farelo de milho, amido, farelo de glúten de milho, germe e componentes solúveis). Já os procedimentos seguintes, usados para produzir etanol em moinhos úmidos, é semelhante

ao anteriormente descrito para usinas de etanol de cereais com moagem a seco (Erickson et al.; 2005; Berger e Singh, 2010; Us, 2012).

Desta forma, após a produção do etanol origina-se um coproduto chamado de vinhaça, que a partir da centrifugação é separada em duas frações (sólidos grosseiros e a vinhaça fina) que após a evaporação origina os chamados destilados condensados. Já os sólidos grosseiros podem ser comercializados imediatamente como os Grãos Úmidos de Destilaria – (WDG), ou serem secados e transformados nos Grãos Secos de Destilaria – (DDG). Além disso, é comum acrescentar a eles os destilados condensados que resultará nos Grãos Secos de Destilaria com Solúveis (DDGS). Os destilados condensados podem também ser adicionados aos Grãos Úmidos de Destilaria, formando o Grãos Úmidos de Destilaria com Solúveis (WDGS) e ainda os Grãos Secos de Destilaria com Solúveis Modificado (MDGS), que é um intermediário entre o úmido e o seco (Kingsly et al., 2010; Us, 2012; Sobrinho,2012).

Figura 2 – Fluxograma simplificado do processo de obtenção do etanol e seus subprodutos. – Moagem Úmida.



Fonte: Adaptado de Us, (2012)

### 3. Composição nutricional do DDGS de milho

Com a produção crescente de etanol de milho, nota-se aumento na produção do DDGS, que repentinamente vem se tornando um coproduto global atrativo para alimentação animal. O DDGS é uma fonte rica em fibras, proteínas, lipídios, aminoácidos, minerais, vitaminas e outros nutrientes importantes para a alimentação animal (Stein e Shurson, 2009).

Segundo Stein e Shurson (2009) e Liu (2011) aproximadamente dois terços da massa do material (com base no teor de amido do milho) é convertido em etanol e dióxido de carbono durante o processo de moagem a seco. Assim, o amido presente no DDGS é baixo (3 e 11%) e normalmente as concentrações de todos os nutrientes não fermentados, (gérmen, óleo, proteínas, minerais e fibras) é aumentado em aproximadamente três vezes em relação ao teor encontrado na matéria-prima original nos grãos de destilados.

Os valores apresentados na literatura, correspondentes a concentração e disponibilidade dos nutrientes do DDGS de milho, mostram grandes variações entre diferentes fontes estudadas, devido, principalmente aos diferentes cultivares de milho em várias localizações geográficas, composição nutricional da matéria-prima utilizada, métodos de processamento, quantidades de solutos adicionados aos grãos de destilados, efeito da levedura utilizada no processo de fermentação, eficiência de conversão do amido em etanol, temperatura e duração da secagem e parâmetros analíticos utilizados para as análises bromatológicas (Liu, 2011).

Diante disso, estudos vêm sendo realizados para caracterizar o perfil nutricional dos grãos secos de destilarias com solúveis, podendo observar que a composição química e bromatológica dos DDGS (tabela 1) a partir dos valores compilados da literatura, apresentaram teores de matéria seca (MS) que variaram entre 87 a 92,6 % e proteína bruta de 25 a 38%.

No entanto, valores superiores a 38% de proteína bruta (PB) também podem ser obtidos, são decorrentes de DDGS produzidos quando o germe é retirado do grão e o endosperma é direcionado para a fermentação e produção de etanol, todavia esse coproduto apresentará menor teor de extrato etéreo (Gibson e Karges, 2006). Diante disso, pode ser observada variação nos resultados apresentados por Anderson et al., (2012); apresentando teor de fibra bruta (FB) de 6,5 a 9,9%; fibra em detergente neutro (FDN) entre 22 e 48% e Fibra em detergente ácido (FDA) entre 10,04 e 18,77%, pois a

Tabela 1- Composição química e energética do milho e dos grãos secos destilados de milho com solúveis (DDGS), na matéria seca.

Caracterização	Milho				DDGS						
	1	2	3	Média	1	2	3	4	5	6	Média
MS (%)	-	87,43	88,9	87,67	88,9	-	87,62	88,55	90,22	89,27	89,2
MM (%)	1,5	1,11	1,11	1,16	5,8	4,8	3,83	4,53	2,12	-	4,3
PB (%)	10,9	7,25	7,86	8,30	30,2	25	28,26	26,97	38	37,58	30,24
EE (%)	4,3	2,9	3,81	3,48	10,9	10,3	10,21	11,62	2,89	8,42	8,09
FB (%)	2,9	2,46	1,73	2,36	8,8	9,9	-	8,7	-	-	9,13
FDA (%)	-	3,75		3,02	-	-	10,15	12,84	10,04	-	12,95
FDN (%)	-	8,51		7,6	-	-	24,19	25,02	48,12	31,7	40,39
Ca (%)	0,03	0,02	0,02	0,02	-	0,15	0,07	0,04	-	0,03	0,07
P (%)	0,29	0,18	0,06	0,18	-	0,71	0,63	0,76	-	0,81	0,73
EM Kcal/Kg	-	-	3.360	3.360	3.741	-	3.897	3.194	-	3.698	3.633
ED Kcal/Kg	-	-	-	-	3.979	-	4.140	3.461	-	-	3.860
<b>Aminoácidos Totais</b>											
Lisina	0,24	0,25	0,23	0,24	0,82	0,77	0,80	0,93	-	1,37	0,94
Treonina	0,39	0,27	0,31	0,32	1,12	1,01	0,95	1,11	-	1,48	1,13
Metionina	0,21	0,17	0,16	0,18	0,54	0,54	0,67	0,53	-	0,79	0,61
Triptofano	0,09	0,05	0,06	0,07	0,24	0,76	0,18	0,18	-	0,28	0,33
Valina	0,51	0,34	0,36	0,40	1,48	1,63	1,44	1,37	-	1,92	1,57
Isoleucina	0,39	0,24	0,26	0,30	1,12	1,52	1,09	1,08	-	1,45	1,25
Leucina	1,12	0,82	0,95	0,96	3,50	2,43	3,53	3,12	-	1,03	2,72
Histidina	0,25	0,22	0,24	0,24	0,75	0,70	0,74	0,80	-	1,03	0,80
Fenilalanina	0,49	0,33	0,37	0,40	1,45	1,64	1,40	1,31	-	2,07	1,57
Tirosina	0,43	0,18	0,28	0,30	-	0,76	1,18	0,90	-	1,64	1,12
Arginina	0,37			0,37	0,98	1,24	1,22	0,95	-	1,27	1,13

MS= Matéria Seca; MM= Matéria Mineral; PB= Proteína Bruta; EE= Extrato Etéreo; FB= Fibra Bruta; FDA= Fibra em Detergente Ácido; FDN= Fibra em Detergente Neutro; Ca= Cálcio; P= Fósforo; EM= Energia Metabolizável; ED= Energia Digestível. Composição química e bromatológica do milho – Fontes: Rausch e Belyea, 2006<sup>1</sup>; Wu et al., 2016<sup>2</sup>; Rostagno et al., 2017<sup>3</sup>; Composição química e bromatológica do DDGS de milho – Fontes: Média dos dados avaliados por Spiels et al., 2002<sup>1</sup>; Rausch e Belyea, 2006<sup>2</sup>; média dos dados avaliados por Pedersen et al., 2007<sup>3</sup>; média dos dados avaliados por Wu et al., 2016<sup>4</sup>; Santos et al., 2019<sup>5</sup>; Yang et al., 2019

fibra não é convertida em etanol e, como resultado, tem sua concentração mais elevada no coproduto.

A concentração de extrato etéreo (EE) dos DDGS observados na literatura, apresentaram valores entre 2,33 e 15,00% e elevado teor de energia digestível (3461 -4140 Kcal de ED/Kg) bem como, alto valor de energia metabolizável (3698 – 3897 Kcal de EM/Kg) (Spihes et al., 2002; Rausch e Belyea, 2006; Pedersen et al., 2007; Wu et al., 2016; Santos et al., 2018; Yang et al., 2019).

Segundo El-Hack et al., (2015), o DDGS de boa qualidade e, ou bem processado pode apresentar teores energéticos igual ou superior ao encontrado para o milho grão. Anderson et al., (2012) relataram que a energia é o componente mais oneroso na dieta de suínos, portanto, ocupa maior percentual de inclusão na ração, desta forma, um fornecimento preciso de energia e nutrientes é essencial para otimizar a produção de suínos. Portanto, são necessárias informações precisas sobre as necessidades energéticas e nutricionais dos suínos e os valores nutritivos dos ingredientes da ração e das dietas, pois um dos principais objetivos das pesquisas em nutrição de suínos é combinar as necessidades de energia e nutrientes para suínos com as quantidades de energia e nutrientes da dieta de maneira econômica.

A energia não é um nutriente, mas é necessária para todos os processos biológicos em suínos. Deste modo, Noll et al., (2007) observaram que a taxa de adição de solúveis durante o processo de obtenção do DDGS está diretamente relacionada ao conteúdo energético bruto dos grãos de destilarias. Adicionalmente, Batal e Dale (2006) relataram que a digestibilidade da energia é variável e pode ser influenciada pelo percentual de polissacarídeos não amiláceos. Stein e Shurson (2009) verificaram que a digestibilidade aparente total da fibra dietética dos grãos secos de destilarias com solúveis é inferior a 50%, e possivelmente pode resultar em valores de digestibilidade reduzidas para matéria seca (MS) e energia.

A concentração de cálcio (Ca) e fósforo (P) apresentada em diferentes estudos revelaram que o DDGS pode ser considerado boa fonte desses minerais, pois verificou-se valores entre 0,03 e 0,15% e 0,71 a 0,81%, respectivamente (Rausch e Belyea, 2006; Pedersen et al., 2007; Wu et al., 2015; Santos et al., 2019; Yang et al., 2019). A variação observada deve-se, principalmente a variação desses minerais nas cultivares de milho e na quantidade de resíduo de amido no DDGS (Amezcuca et al., 2004).

Em relação aos teores aminoácidos do DDGS, verificou-se que a lisina variou de

0,56 a 0,98%, treonina de 0,75 a 1,1%, metionina de 0,38 a 5,9%, triptofano de 0,12 a 0,33%, valina de 0,69 a 1,93%, isoleucina de 0,77 a 1,52%, leucina de 2,42 a 3,21%, histidina 0,70 a 0,85%, fenilalanina de 1,05 a 2,07%, tirosina 0,76 a 0,94% (Spihes et al., 2002; Rausch e Belyea, 2006; Pedersen et al., 2007; Wu et al., 2015; Yang et al., 2019).

Neste sentido, nota-se que a composição do DDGS é atrativa, e seu uso na alimentação animal aumentou de forma expressiva, contudo, para determinar o nível adequado de inclusão de DDGS nas rações para suínos deve-se levar em consideração as respostas zootécnicas, pois os nutrientes constituintes possuem menor digestibilidade quando comparado ao milho.

Em estudos realizados por Stein e Shurson (2009), com o objetivo de avaliar o uso de grãos secos de destilarias com solúveis em dietas de suínos, foi observada variação na digestibilidade dos aminoácidos entre as 39 amostras de DDGS avaliadas e relataram que a maior parte dos aminoácidos apresentaram digestibilidade inferior em aproximadamente dez unidades percentuais quando comparados com o milho. No entanto, essa diferença pode estar associada a maior concentração de fibra no coproduto do etanol, pois teores de polissacarídeos não amiláceos superiores promovem a redução da digestibilidade e o aproveitamento dos nutrientes (Furlan et al., 2001), presentes nos DDGS e, possivelmente, na redução da taxa de crescimento e piora na eficiência alimentar.

Além da presença da concentração mais elevada do teor fibroso, existem outros fatores que também contribuem com a redução da digestibilidade dos nutrientes do DDGS, sendo eles a presença de nitrogênio aderido à fibra (que torna parte da proteína indigestível para animais monogástricos), redução da biodisponibilidade proteica causada pela presença de PB na parede celular da porção insolúvel das fibras e a reação de Maillard ocasionada quando o DDGS é submetido a calor excessivo durante o processamento (Stein et al., 2006; Barletta et al., 2011; Vasconcelos, 2014).

A lisina sofre sensível degradação pelo calor, por sua estrutura química, que é constituído por um grupo amino, que na presença de açúcares condensa e quando aquecido ocorre a reação de Maillard e a torna indisponível para o animal. Desta forma, a proporção de lisina digestível pode servir como orientação para identificação de DDGS com maior grau de dano térmico (Stein et al., 2006; Jacela et al., 2011). Sendo assim, amostras mais claras apresentam maior conteúdo de lisina que as amostras mais escuras (Pedersen et al., 2005).

A menor eficiência da fermentação do amido também pode contribuir para o aumento de açúcares nos grãos de destilados de milho com solúveis, levando a maior



potencial para reações dos grupos açúcar-amino e, portanto, reduz a disponibilidade da lisina. Isso torna o coproduto de destilarias de etanol de milho um alimento com alto teor de proteína bruta, mas de baixa concentração de lisina digestível (Naidu et al., 2007; Harris, 2014).

Nesse sentido, a intensidade de cor do DDGS também pode ser usada como indicativo rápido e confiável da digestibilidade de aminoácidos que compõem os grãos de destilarias. De acordo com Urriola e Stein (2014), amostras claras apresentam maior digestibilidade quando comparadas as mais escuras. Isso pode ser proporcionado pelo processo de secagem do DDGS, principalmente em grãos de destilados com maior concentração de solutos, que provavelmente torna a fase de aquecimento mais prolongada e excessiva, culminando para desnaturação proteica, sendo a lisina a mais afetada, seguida por triptofano e metionina.

A lisina é o primeiro e mais limitante aminoácido em dietas de suínos (NRC, 2012). Assim, os aminoácidos são expressos como uma porcentagem em relação à lisina para atender aos requisitos dos suínos. No entanto, concentrações de nutrientes necessárias na dieta de suínos são dependentes de energia. Com isso, aumentos de concentração de aminoácidos na dieta de suínos são acompanhados de aumento dos níveis de energia para otimizar a produtividade (Manu e Baidoo, 2020).

Deste modo, a variabilidade na digestibilidade de aminoácidos também pode ser explicada pelo maior ou menor teor lipídico encontrado nas diferentes fontes de DDGS, pois concentrações mais elevadas de lipídios nos grãos de destilarias reduzem o esvaziamento gástrico, o qual diminui a taxa de passagem da digesta, permitindo maior tempo para digestão de peptídeos e aminoácidos e, portanto, resultam em maior digestibilidade de aminoácidos (Curry et al., 2014).

O teor lipídico do DDGS também interfere na concentração de ácidos graxos poli-insaturados presentes na gordura da carcaça de suínos. Os teores de gordura observados em diferentes DDGS mostram que a maioria apresenta teores de gordura com aproximadamente 10%, sendo ricas em ácidos graxos poli-insaturados.

Os principais ácidos graxos presentes no óleo do DDGS de milho são os ácidos linoleico, oleico e palmítico (Díaz-Royón et al., 2012; Lee et al., 2015). Os ácidos linoleico e oleico são ácidos graxos insaturados que contribuem para o alto conteúdo de energia do DDGS, mas, também contribuem para maior suscetibilidade à oxidação.

O ácido linoleico (C 18:2) é um ácido graxo insaturado presente no DDGS em maior concentração, com aproximadamente 50% (Díaz-Royón et al., 2012), e, é responsável pelo

maior grau de insaturação da gordura, reduzindo o tempo de prateleira dos cortes de carne suína por alterar o perfil de ácido graxo na gordura intramuscular, no tecido adiposo abdominal e subcutâneo em animais alimentados com níveis elevados de DDGS (Wang et al., 2012), pois a fonte de gordura da dieta fornecida aos animais reflete diretamente no perfil de ácidos graxos da carne (Shircliff et al., 2019).

Contudo, o DDGS caracteriza-se como ingrediente de boa qualidade nutricional que pode ser utilizado em rações para suínos, todavia o nível de inclusão depende da fase de produção e a composição nutricional. Portanto, é de suma importância o conhecimento adequado de sua composição química e bromatológica para se formular rações, pois a inconsistência no valor dos nutrientes pode contribuir para formulações inadequadas, prejudicando a produtividade dos animais.

#### **4. Equação de predição para estimar o valor energético do DDGS**

As pesquisas mais antigas relacionadas à composição química do DDGS de milho apresentam valores de aproximadamente 10 a 12% de óleo, e um teor de energia metabolizável semelhante ao milho (Stein e Shurson, 2009). Com o desenvolvimento de plantas industriais produtoras de etanol a partir do milho, tem-se observado melhoria na eficiência de extração, especialmente do óleo (Keer, 2014). Deste modo, observa-se que o DDGS apresenta variação na composição de energia e nutrientes, e valores tabelados para esses novos coprodutos não são encontrados na literatura (Urriola et al., 2014).

Segundo Rostagno et al., (2007), a eficiência do método de formulação da dieta depende da precisão a qual a energia é estabelecida, evitando a carência ou o excesso, uma vez que o excesso de energia pode reduzir o consumo de nutrientes considerados essenciais aos animais e a carência pode limitar o desenvolvimento dos tecidos, caso não ocorra a correção da relação nutriente: energia (Alvarenga et al., 2013).

Desse modo, em função da grande variação da composição nutricional e valores energéticos dos coprodutos de destilarias de etanol de milho, estão sendo realizadas pesquisas para determinar os valores energéticos dos DDGS. Quando realizadas por métodos diretos, os quais caracterizam-se por ensaios metabólicos e utilização de uma bomba calorimétrica, estes proporcionam respostas robustas, porém demoram mais tempo para fornecer os resultados e são bastante trabalhosos (Urriola et al., 2014).

Outro método, caracterizado como indireto, é o uso das equações de predições, que

é uma técnica rápida e que tem como objetivo estimar com precisão o valor energético de determinado alimento, resultando em formulação eficiente. Dessa forma, para proporcionar maior rapidez e a realização de menor número de análises laboratoriais é desejável que as equações de predição possuam de duas a quatro variáveis independentes, e o uso de modelos com menor número de regressoras pode melhorar a aplicabilidade da equação (Pozza et al., 2008; Rodrigues, 2012).

As variáveis da composição química (independentes ou regressoras) do alimento (MS, PB, EE, FDN, FDA, MM, Ca e P) podem compor o modelo completo em função da variável EM (dependente ou resposta). Posteriormente, e utilizando a técnica de eliminação indireta, pode-se chegar ao modelo contendo apenas uma regressora (Esteves et al., 2017).

Nesse sentido, Li et al., (2015) desenvolveram um estudo com o objetivo de determinar equações de predição para DDGS de milho com baixos e altos teores de óleo, e a equação que mais se ajustou para o DDGS rico em óleo foi  $EM \text{ (kcal/kg)} = 7898 - (42,1 * FDN \%) - (136,2 * MM \%) + (101,2 * EE \%) - (103,8 * PB \%)$ , enquanto para DDGS de milho com óleo reduzido foi  $EM \text{ (kcal/kg)} = 1554 - (44,11 * FDN \%) + (0,77 * EB \%) - (68,51 * MM \%)$ . Os autores ainda relataram que os valores de EM nos DDGS dos milhos estão, principalmente relacionados ao EE e às concentrações de fibras.

Contudo, para a utilização das equações com base em suas composições químicas, é fundamental que elas sejam testadas e validadas, além de apresentarem boa acurácia ao se estimar os valores de energia que possam ser utilizados em formulações de rações para suínos (Anderson et al., 2012).

## **5. Inclusão do DDGS na dieta de suínos**

A busca por alimentos alternativos com valor comercial atraente, como coprodutos, vem aumentando gradativamente, pois representam uma forma de minimizar os gastos com a alimentação, que é responsável pela maior taxa de desembolso na atividade suinícola. O DDGS tem sido utilizado nas dietas de suínos em todas as fases de produção.

O uso de DDGS em rações para leitões desmamados é descrito por Whitney e Shurson (2004) e Stein e Shurson (2009), os quais observaram que a inclusão deste coproduto pode ser de até 25 e 30%, respectivamente, quando os animais estão com aproximadamente sete quilos, e ou após um período de adaptação, sem que ocorram efeitos negativos no desempenho dos animais.

Por outro lado, Tran et al., (2012), relataram que a introdução precoce de DDGS em concentrações elevadas para leitões recém-desmamados pode diminuir o ganho de peso

diário e o consumo de ração, devido a capacidade limitada de ingestão de alimento nos primeiros dias pós-desmame, resultando em perda de peso neste período, correlacionado ao menor consumo e digestibilidade da dieta (Chamone et al., 2010).

Desse modo, a utilização do DDGS em dietas de suínos recém-desmamados deve ser utilizada com precaução, porém este ingrediente apresenta grande potencial de utilização na formulação de rações, em função de sua qualidade nutricional, podendo diminuir os custos com a alimentação.

Nas fases de crescimento e terminação a ração dos suínos é composta basicamente por milho e farelo de soja, ingredientes sujeitos à instabilidade de mercado, que podem eventualmente proporcionar problemas econômicos ao setor suinícola. Neste sentido, o DDGS destaca-se como alimento alternativo que pode ser usado como eventuais substitutos do milho e farelo de soja e/ou ser incluído na dieta em níveis crescentes, pois apresenta custo eficaz e é fonte de energia e aminoácidos (Wu et al., 2016).

Na maioria dos estudos, as taxas de inclusão de DDGS é de até 40% (maiores concentrações de DDGS são observados em dietas de fêmeas gestantes). No entanto, níveis elevados de DDGS podem reduzir alguns parâmetros de desempenho e, como consequência, comprometer as características qualitativas e quantitativas da carcaça dos suínos em terminação.

Em estudo realizado para avaliar a digestibilidade de aminoácidos e conteúdo energético de DDGS para suínos e seus efeitos no desempenho e nas características da carcaça, não foram observadas diferenças significativas para as variáveis de desempenho em suínos na fase inicial alimentados com níveis de até 30% de inclusão de DDGS na dieta. No entanto, na fase de terminação o consumo de ração diário e o ganho de peso reduziram ( $P<0,01$ ) e o índice de eficiência alimentar apresentou uma tendência com o aumento da inclusão do DDGS na dieta. Não foram observadas diferenças significativas na espessura de toucinho e no índice de massa magra. Porém, o peso da carcaça e o rendimento percentual diminuíram ( $P<0,01$ ) e a profundidade de lombo tendeu a diminuir à medida que o DDGS aumentou na dieta (Jacella et al., 2011).

Desta forma, a redução do peso da carcaça pode ser atribuída ao consumo de ração reduzido, com maiores níveis de inclusão de DDGS, e este pode estar relacionado ao seu alto teor de fibra (Jacella et al., 2011), à palatabilidade reduzida de dietas contendo DDGS e ainda mais inferior quando se utiliza de coprodutos com coloração escura e odor queimado causado pelo superaquecimento durante o processo de secagem (Dantas, 2020). Ademais, Hastad et al., (2004) demonstraram que, quando é dada uma escolha, os suínos

preferem consumir dietas sem DDGS.

A maior concentração de fibra no DDGS, quando comparado com o milho e ou o farelo de soja, pode ser uma das principais causas da digestibilidade dos teores de energia apresentarem resultados inferiores nos coprodutos oriundos de destilarias de milho que utiliza o processo de moagem a seco (Urriola et al., 2010). Portanto, observa-se menor eficiência na utilização de energia em alimentos mais fibrosos, devido a reduzida digestibilidade da fibra dietética e a produção de ácidos graxos voláteis.

De acordo com Corassa et al., (2018), esse fator pode ser usado como exemplo para explicar que até certo nível de inclusão de DDGS na dieta não causa prejuízo no desempenho dos suínos em terminação. Entretanto, associar o uso do DDGS com enzimas exógenas, em especial aquelas que possam atuar na porção fibrosa e proteica do ingrediente, melhorando a digestibilidade de determinados componentes da dieta, poderia ser utilizado como alternativa para minimizar o impacto da composição desses coprodutos (Risolia, 2017).

Utilizando suínos na fase de terminação, Whitney et al. (2014) avaliaram níveis crescentes de 10, 20 e 30% de DDGS e observaram que o consumo dos animais foi semelhante entre os tratamentos, mas o ganho de peso diário foi inferior ( $P < 0,05$ ) para os suínos que receberam 20 e 30% quando comparado ao tratamento controle e ao nível de 10% de inclusão de DDGS, resultando em menor eficiência alimentar para os suínos que receberam dietas com maiores níveis de inclusão de DDGS. O peso da carcaça reduziu ( $P < 0,01$ ) à medida que a concentração de DDGS aumentou na dieta, proporcionando redução linear ( $P < 0,05$ ) na profundidade do lombo. Porém, a percentagem de carne magra e a espessura de toucinho não foram influenciadas pelos tratamentos.

Ao avaliar o efeito no desempenho e nas características da carcaça de suínos em crescimento (22-50 Kg) e terminação (50-75 Kg) alimentados com quatro dietas contendo 40% DDGS e quatro níveis crescentes de energia líquida (baixo, médio/baixo, médio/alto e alto; variando de 2083 a 2743 kcal/kg), Wu et al. (2016) observaram que os animais que foram alimentados com menor teor de energia líquida na dieta apresentaram o maior percentual de consumo diário de ração, ganho de peso diário e índice de eficiência alimentar reduzidos. Quando avaliado os valores de rendimento e peso da carcaça quente, profundidade de gordura dorsal na área muscular do lombo e percentual de carne magra da carcaça, não foram influenciados ( $P < 0,01$ ), possivelmente pela diferença no conteúdo de energia líquida das dietas testadas ser inferior a 700 kcal/kg e das fontes de DDGS ser menor de 275 kcal/kg.

O DDGS de milho ainda apresenta concentração de óleo que varia de 2 a 12% (Tabela 1), contendo altas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados. Contudo, Peiretti et al., (2015) relataram que dietas enriquecidas com óleo de milho possuem percentual elevado de ácidos graxos poli-insaturados e devem resultar em produtos mais saudáveis para os consumidores. Todavia, o DDGS é uma fonte rica de ácidos graxos insaturados, que são diretamente depositados no tecido adiposo suíno (Restrepo, 2013).

De acordo com Whitney et al., (2006), animais alimentados com dietas contendo níveis elevados de DDGS por períodos prolongados (crescimento e terminação) tendem a aumentar a deposição de ácidos graxos insaturados em tecidos adiposos e proporcionar efeitos adversos às características da carcaça e a qualidade da carne, como redução no grau de saturação dos lipídios, consistência (firmeza/maciez) do corte e vida útil, devido à oxidação lipídica. Pelo fato de as gorduras insaturadas serem mais vulneráveis a oxidação lipídica, ocasionando sabores e odores estranhos, principalmente nos cortes com maior proporção de gordura, à exemplo da panceta/barriga. No entanto, Us (2012) recomenda não inserir mais de 20% de DDGS nas dietas para suínos em terminação.

Dessa forma, a indústria suinícola depositou maior preocupação na qualidade da gordura dos suínos, pois pancetas/barrigas com menor firmeza podem levar a aparência com aspecto oleoso na embalagem de varejo do bacon, menor fatiabilidade, rendimento e preferência pelo consumidor (Soladoye et al. 2015). Portanto, métodos de avaliação da firmeza têm sido empregados na avaliação de qualidade da gordura da panceta/barriga fresca, tendo como exemplo o teste de *flop* (Kyle et al., 2014).

Dentre os parâmetros de avaliação da firmeza, pode-se avaliar também o perfil de ácidos graxos poli-insaturados, pois cortes com gorduras com maior maciez estão relacionados a maiores proporções de ácidos graxos poli-insaturados na gordura, especialmente ácido linoleico (Restrepo, 2013). Em contraste, a gordura de suínos mais firme está relacionada com o alto teor de ácidos palmítico e oleico.

Segundo Wang et al., (2012), a vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol) pode ser uma opção a ser usada junto ao DDGS na dieta dos suínos para reduzir a peroxidação do produto, pois é considerado agente associado à membrana e pode manter a integridade celular e atrasar a oxidação lipídica efetivamente.

Desta forma, Wang et al., (2012) avaliaram o efeito do DDGS (0, 15, 30%) em dietas com vitamina E (10, 210 UI/kg de vit E) sobre o desempenho, qualidade da carne, perfil de ácidos graxos e prazo de validade da carne de suínos em terminação e concluíram que as dietas contendo 15 ou 30% de DDGS provocaram redução no consumo de ração,

mas não causaram efeitos significativos no ganho médio diário, eficiência alimentar, rendimento de carcaça e na qualidade da carne. O perfil de ácidos graxos do tecido adiposo e muscular foram influenciados de forma negativa. Além disso, observou-se redução no teor de saturação dos ácidos graxos na carcaça em função dos níveis crescentes de DDGS. Contudo, dietas suplementadas com 210 UI/kg de vit E proporcionaram aumento das concentrações de  $\alpha$ -tocoferol no plasma, fígado, tecido muscular e no tecido adiposo, proporcionando efeito benéfico sobre prazo de validade da carne, incluindo melhoria da estabilidade oxidativa.

Os níveis crescentes de DDGS na ração de suínos aumentam inevitavelmente o nível de insaturação da gordura nas carcaças de suínos e influenciam negativamente outras características de processamento (Cromwell et al., 2011). Com isso, Browne et al., (2013) relataram que as gorduras animais são mais saturadas que os óleos vegetais e potencialmente podem ser alimentados em combinação com DDGS para melhorar a qualidade da gordura sem afetar a qualidade do produto.

Neste sentido, Shircliff et al., (2019) avaliaram a adição de gordura em rações com 30% de grãos secos de destilaria com solúveis para suínos sobre a composição de ácidos graxos, ou qualidade da carcaça, verificando que os tratamentos não alteraram as características da carcaça, incluindo peso de carcaça quente, área de lombo e espessura da gordura da inserção na 10<sup>a</sup> costela. Contudo, independentemente da inclusão adicional ou não de gordura, 30% de DDGS na dieta diminuiu a concentração dos ácidos graxos monoinsaturados e elevam as concentrações de ácidos graxos poli-insaturados na gordura dorsal, na barriga e na papada.

Utilizando até 30% de DDGS nas dietas de suínos em terminação, para avaliar a qualidade da gordura da carcaça, Lee et al., (2013) observaram que a adição do DDGS não prejudicou o desempenho dos suínos, composição da carcaça ou qualidade da carne.

A inclusão de DDGS nas dietas de suínos em terminação pode ser até 30%, sendo que níveis superiores a estes podem ser prejudiciais para o desempenho e características qualitativas e quantitativas de carcaça. No entanto, embora alguns resultados evidenciem que a inclusão de níveis maiores de DDGS na dieta altera de forma negativa os resultados de desempenho, e algumas características de carcaça, é possível observar que essa resposta pode ser compensada financeiramente, pois, trata-se de um coproduto com valor comercial inferior aos ingredientes tradicionalmente utilizados nas dietas de suínos, devendo levar em consideração o custo das demais commodities que compõe a ração.

A qualidade e a composição do DDGS podem influenciar o desempenho

produtivo dos suínos caso a composição química e energética não sejam bem conhecidas. Nesse sentido, ao utilizar este ingrediente deve-se também levar em consideração a segurança alimentar. Com o processo fermentativo ocorre o aumento proporcional de todos os componentes do grão, inclusive das micotoxinas se estas estiverem presentes (Risolia, 2017).

De acordo com Khatibi et al., (2014), no processo de produção do etanol e de secagem para a produção do DDGS as micotoxinas não são eliminadas. As micotoxinas comumente encontradas no DDGS são tricotecenos, aflatoxina, fumonisina e zearalenona (Zhang e Caupert, 2012). Dessa forma, é necessário a adoção de medidas capazes de reduzir o risco da contaminação, sendo a secagem eficiente, manutenção do controle de umidade e temperatura durante a armazenagem e monitoramento de fungos e micotoxinas durante todo o processo (Silva et al., 2016).

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. R.; ZANGERONIMO, M. G.; PEREIRA, L. J.; WOLP, R. C.; ALMEIDA, E. C. Formulation of diets for poultry: The importance of prediction equations to estimate the energy values. *Archivos de Zootecnia*, v. 62, p. 1-11, 2013.
- AMEZCUA, C. M.; PARSONS, C. M.; NOLL, S.L. Content and relative bioavailability of phosphorus in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poultry Science*, v.83, p.971-976, 2004.
- ANDERSON, P. V., KERR, B. J.; WEBER, T. E. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *Journal Animal Science*, v.90, p.1242- 1254, 2012.
- BARLETTA, A.; BEDFORD, M.R.; PARTRIDGE, G. G. Introduction: current market and expected developments. in: Bedford, M.R.; PARTRIDGE, G.G., 2.Ed, *Enzymes in farm animal nutrition*, CAB International, Wiltshire, p.1-11. 2011.
- BATAL, A. B.; DALE, N. M. True metabolizable energy and amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles. *Journal Applied Poultry Research*, v.15, p.89-93. 2006.
- BERGER, L.; SINGH, V. Changes and evolution of corn coproducts for beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 88, p.143-150, 2010.
- BROWNE, N. A.; APPLE, J. K.; BASS, B. E. et al. Alternating dietary fat sources for growing-finishing pigs fed dried distillers grains with solubles: I. Growth performance, pork carcass characteristics, and fatty acid composition of



- subcutaneous fat depots. *Jornal Animal Science*. v.91, p.1493–1508, 2013.
- CARDOSO, W. S.; PINHEIRO, F. D. A.; MACHADO, F. D. P. et al. Indústria do milho. Embrapa Amazônia Ocidental-Capítulo em livro científico (ALICE). 2011.
- CHAMONE, J.M.A.; MELO, M.T.P.; AROUCA, C.L.C.; BARBOSA, M. M.; SOUZA, F. A.; SANTOS, D. Fisiologia digestiva de leitões. *Revista Eletrônica nutritime*, art. 123, v.7, n. 5, p. 1353-1363, 2010.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento/ Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-25 Abril 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso 18 de abril de 2020.
- CORASSA, A.; LAUTERT, I. P. A. S.; SILVA, L. L; et al. Uso de DDGS de milho para suínos: uma breve revisão. *Scientia Agraria Paranaensis*, v.17, n. 2, p.157-164, 2018.
- CORASSA, Anderson et al. Variabilidade da composição nutricional de coprodutos de etanol de milho do Brasil para suínos. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, p. e105101321031-e105101321031, 2021.
- CROMWELL, G. L.; AZAIN, M. J.; ADEOLA, O. et al. Shannon, and North Central Coordinating Committee on Swine Nutrition. Corn distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets for growing finishing pigs - A cooperative study. *Jornal Animal Science*, v.89, p.2801– 2811, 2011.
- CURRY, S. M.; NAVARRO, D.; ALMEIDA, F. N. et al. Amino acid digestibility in low-fat distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *Jornal Animal Science and Biotechn*, v.5, 2014.
- DA SILVA, J. R.; NETTO, D. P.; SCUSSEL, V. M. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança—uma revisão. *Pubvet*, v. 10, p. 190-270, 2016.
- DÍAZ-ROYÓN, Fernando; GARCIA, Alvaro; ROSENTRATER, Kurt A. Composition of fat in distillers grains. *Agricultural and Biosystems Engineering Publications*, Iowa State University, Ames, IA, USA. Report, n. 391, 2012.
- EL-HACK, M. E. A.; ALAGAWANY, M.; FARAG, M. R. et al. Use of maize distiller's dried grains with solubles (DDGS) in laying hen diets: trends and advances. *Asian Journal Animal Veterinary Advances*, v.10, n.11, p.690-707, 2015.
- ERICKSON, G. E.; KLOPFENSTEIN, T. J.; ADAMS, D. C. et al. General overview of feeding corn milling co-products to beef cattle. In: *Corn Processing Co-Products Manual*. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA. 2005.
- ESTEVEZ, L. A. C. et al. Predicting the metabolizable energy of first and second corn harvests for piglets. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 6, p. 683-691, 2017.
- Furlan, A. C., Mantovani, C., Murakami, A. E., Moreira, I., Scapinello, C., Martins, E. N. Utilização do farelo de girassol na alimentação de frangos de corte. *Revista*

Brasileira de Zootecnia, 30, 158-164. 2001.

GIBSON, M. L.; KARGES, K. By-products from non-food agriculture: Technicalities of nutrition and quality. Recent Advances in Animal Nutrition, pp. 209-227. Nottingham University Press, Nottingham, UK. 2006.

GRAHAM, AB, GOODBAND RD, TOKACH MD, DRITZ SS, DEROUCHÉY JM, NITIKANCHANA S. The effects of medium-oil dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility in growing–finishing pigs. *J Anim Sci*, 92(2):604-611. 2014.

HARRIS, E. K. Effects of dried distillers grains with solubles (DDGS) feeding strategies on growth performance, nutrient intake, body composition, and lean and fat quality of immunologically castrated pigs harvested at 5, 7, or 9 weeks after the second Improvest dose. 394 f. 2014. Dissertation. Faculty of the graduate school of the university of Minnesota. 2014.

HASTAD, C.W., M.D. TOKACH, J.L. NELSSSEN, R.D. GOODBAND, S.S. DRITZ, J.M. DEROUCHÉY, C.N. GROESBECK, K.R. LAWRENCE, N.A. LENEHAN, AND T.P. KEEGAN. Energy value of dried distillers grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 2):50. 2004.

JACELA, J. Y.; DEROUCHÉY, J. M.; DRITZ, S. S. et al. Amino acid digestibility and energy content of deoiled (solvent-extracted) corn distillers dried grains with solubles for swine and effects on growth performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.89, n.6, p.1817-1829, 2011.

KERR, B. J.; DOZIER III, W. A.; SHURSON, G. C. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *Journal of animal science*, v. 91, n. 7, p. 3231-3243, 2013.

KHATIBI, P., MCMASTER, N., MUSSER, R. Survey of mycotoxins in corn distillers´ /dried grains with solubles from seventy-eight ethanol plants in twelve states in the US in 2011. *Toxins*, 6(4), 1155-1168. 2014.

KINGSLEY, A. R. P., ILELEJI, K. E., CLEMENTSON, C. L. et al. The effect of process variables during drying on the physical and chemical characteristics of corn dried distillers grains with solubles (DDGS) - Plant scale experiments. *Bioresource Technology*, v.101, n.1, p.193-199, 2010.

KYLE JM, BOHRER BM, SCHROEDER AL. Effects of immunological castration (Improvest) on further processed belly characteristics and commercial bacon slicing yields of finishing pigs. *J anim sci*, 92(9), 4223-4233. 2014.

LAUTERT, I. P. A. Valor nutricional de coprodutos da produção de etanol de milho para suínos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Mato Grosso/ Campus Sinop, Sinop-MT, 91f, 2016.

LEE, J. W.; KIL, D. Y.; KEEVER, B. D. et al. Carcass fat quality of pigs is not improved

- by adding corn germ, beef tallow, palm kernel oil, or glycerol to finishing diets containing distillers dried grains with solubles. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.91, n.5, p.2426-2437, 2013.
- LI, P.; LI, D. F.; ZHANG, H. Y.; LI, Z. C.; ZHAO, P. F.; ZENG, Z. K.; XU, X.; PIAO, X. S. Determination and prediction of energy values in corn distillers dried grains with solubles sources with varying oil content for growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.93, n.7, p.3458–3470. doi:10.2527/jas.2014-8782, 2015.
- LINNEEN, S. K.; DEROCHEY, J. M.; DRITZ, S.S.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M. D.; NELSEN, J. L. Effects of dried distillers grains with solubles on growing and finishing pig performance in a commercial environment. *Journal of Animal Science*, v. 86, p. 1579–1587, 2008.
- LIU, K. Chemical composition of distillers grains, a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 5, p. 1508–1526, 2011.
- LI, P.; LI, D. F.; ZHANG, H. Y.; LI, Z. C.; ZHAO, P. F.; ZENG, Z. K.; XU, X.; PIAO, X. S. Determination and prediction of energy values in corn distillers dried grains with solubles sources with varying oil content for growing pigs1. *Journal of Animal Science*, 93(7), 3458–3470. (2015). doi:10.2527/jas.2014-8782
- MANU, Hayford; BAIDOO, Samuel K. Nutrition and feeding of swine. In: *Animal Agriculture*. Academic Press. p. 299-313. 2020
- NAIDU, K., V. SINGH, D. B. JOHNSTON, K. D. et al. Effects of Ground Corn Particle Size on Ethanol Yield and Thin Stillage Soluble Solids. *Cereal Chemistry*, v.84, p.6-9. 2007.
- NCR. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th ed. Washington, DC, USA: Natl Acad. Press; 2012.
- NOLL, S.L.; BRANNON, J.Parsons. C. Nutritional value of corn Distiller Dried Grains with solubles (DDGs): Influence of solubles addition. *Poultry Science*, v.86, p.68-68. 2007.
- NRC - National Research Council. 2012. *Nutrient requirements of swine*. 11th ed. publishing company: National Academy Press, Washington, D. C.
- PATNI, N; PILLAI, S. G.; DWIVEDI, A. H. Wheat as a promising substitute of corn for bioethanol production. *Procedia Engineering*, v. 51, p. 355-362, 2013.
- PEDERSEN, C.; BOERSMA, M.G.; STEIN, H.H. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, v. 85, p.1168–1176, 2007.
- PEDERSEN, C.; PAHM, A.; STEIN, H.H. Effectiveness of in vitro procedures to estimate CP and amino acid digestibility coefficients in dried distillers grain with solubles by growing pigs. *Journal of Animal Science*, 83 (Suppl. 2): 39, 2005 (Abstr.).
- POZZA, P. C. et al. Composição química, digestibilidade e predição dos valores

- energéticos da farinha de carne e ossos para suínos. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, v.30, n.1, p.33-40, 2008.
- PEDERSEN, M. B., DALSGAARD, S., KNUDSEN, K. B., YU, S., & LÆRKE, H. N. (2014). Compositional profile and variation of distillers dried grains with solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 130-141.
- PEIRETTI, P. G., GAI, F., BRUGIAPAGLIA, A., MUSSA, P. P., MEINER, G. Fresh meat quality of pigs fed diets with different fatty acid profiles and supplemented with red wine solids. *Food Science and Technology*, 35, 633-642. 2015.
- PEREIRA, G. M., AMORIM, A. B., CASAROTTO, M. A., FREITAS, P. H. V., DE ARAÚJO CABRAL, M. V. (2019, October). Fontes protéicas com complexo enzimático para suínos nas fases de crescimento e terminação. In XI Mostra da Pós-Graduação.
- RAUSCH, K. D.; BELYEA, R. L. The future of coproducts from corn processing. *Applied biochemistry and biotechnology*, v. 128, n. 1, p. 47-86, 2006.
- RESTREPO, J. E. Factors associated with variation in the fatty acid composition and iodine value of carcass fat in pigs fed increasing levels of dried distillers grains with solubles. Dissertação de mestrado. 62f. of Science in Animal Sciences in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign 2014.
- RISOLIA, LARISSA WUNSCH. "EFEITO DA ADIÇÃO DAS ENZIMAS XILANASE E PROTEASE EM DIETAS CONTENDO GRÃOS SECOS DE DESTILARIA CONTENDO SOLÚVEIS (DDGS) PARA CÃES." (2017): 74-74.
- RODRIGUES, S. C. A. Modelo de regressão linear e suas aplicações. Tese de Doutorado. Universidade da Beira Interior. 2012.
- ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M. I. et al. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição dos alimentos e exigências nutricionais. 4. ed. Viçosa: UFV, 488p, 2017.
- ROSTAGNO, H. S.; BUNZEN, S.; SAKOMURA, N. K. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 36, p. 295-304, 2007.
- REZAEI, WANG W, WU Z, ET AL. Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. *J Anim Sci Biotechnol*. 2013;4:7.
- SANTOS, F. R.; SILVA, M. R. S.; OLIVEIRA, N. R.; et al. Composição nutricional e valores energéticos determinados com frangos de corte de coprodutos do processamento do etanol de milho. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.71, n.5, p.1759-1763, 2019.
- SANTOS, R. S.; MACEDO, A. L.; PANTOJA, L. et al. Composição, sacarificação enzimática e fermentabilidade da torta de pinhão-manso para produção de

bioetanol. *Ambiência*, v.13, n.2, 271-283. 2017.

- SANTOS, T. I. S. Características nutricionais de grãos secos destilados com solúveis produzidos em Mato Grosso e seus efeitos sobre o desempenho e viabilidade econômica em suínos. 2017. 52 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso - Campus Universitário de Sinop, Sinop, 2017.
- SHIRCLIFF, K. E.; ALLEE, G. L.; WIEGAND, B. R. Added fat fed with 30% dried distillers grains with solubles to pigs alters fatty acid composition in 4 fat depots but does not change carcass composition or quality. *Applied Animal Science*, v. 35, n. 6, p. 550-562, 2019.
- SHURSON, J.; JOHNSTON, L.; BAIDOO, S. Uso de Resíduos Secos de Destilaria Contendo Solúveis ( DDGS ) na Dieta de Suínos Título original : Use of Dried Distillers Grains with Solubles ( DDGS ) in Swine Diets. n. 1999, 2008.
- SILVA, C. A.; VINOKUROVAS, S. L.; BRIDI, A. M; et al. Utilização de um complexo enzimático para rações contendo farelo de germen de milho desengordurado para suínos em fase de crescimento e terminação. *Semina: Ciências Agrárias*, [s.l.], v.34, n.62, p.4065-4081, 17 dez. Universidade Estadual de Londrina; 2013.
- SINDICATO DAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS DO ESTADO DE MATO GROSSO. Produção etanol de milho. Cuiabá: Sindalcool/MT, 2018. Disponível em: <http://www.sindalcool-mt.com.br/setor.php>. Acesso em: 16 abril. 2020.
- SOBRINHO, P. Processo (simplificado) de produção de etanol de milho – Destilaria/Usina Flex – Abordagem descritiva de um novo potencial. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento/ Superintendência regional de Mato Grosso, Cuiabá/MT, Mar. 2012.
- SOLADOYE, P. O.; SHAND, P. J.; AALHUS, J. L.; GARIÉPY, C.; JUÁREZ, M. Pork belly quality, bacon properties and recent consumer trends. *Canadian Journal of Animal Science*, v.95, n.3, p.325-340. 2015.
- 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.
- STEIN e SHURSON. Board-invited: review. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets, v.87, n.4, p.1292-1303, 2009.
- STEIN, H. H.; PEDERSEN, C.; GIBSON, M. L. et al. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles by growing pigs. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.84, n.4, p.853-860, 2006.
- TRAN, H.; MORENO, R.; HINKLE, E. E.; BUNDY, J. W.; WALTER, J. BURLEY, T. E.; MILLER, P. S. Effect of corn distillers dried grains with solubles growth performance and health status indicators in weanling pigs. *Journal of Animal Science*, v.90, p. 790- 801, 16 2012.

- URRIOLA, P. E. STEIN, H. H. Effects of distillers dried grains with soluble on the digestibility of energy, DM, AA, and fiber, and intestinal transit time in a corn soybean meal diet fed to growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.87, p.145-157, 2014.
- URRIOLA, P.E.; HOEHLER, D.; PEDERSEN, C. et al. Prediction of in vivo amino acid digestibility of dried distillers grains with solubles (DDGS) from selected physical and chemical characteristics. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.91, n.9, p.4389-4396, 2010.
- US, GRAINS COUNCIL. A guide to Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS), U.S. Grains Council DDGS User Handbook – 3rd Edition. Washinton DC, USA, 406p. 2012.
- VASCONCELOS, T.S. Resíduo de abacaxi em programa de restrição alimentar qualitativa para suínos pesados. Dracena 54p. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia animal) – Programa de pós graduação em ciência e tecnologia animal Universidade Estadual Paulista. 2014.
- WANG, H., WANG, L. S., SHI, B. M. et al. Effects of dietary corn dried distillers grains with solubles and vitamin E on growth performance, meat quality, fatty acid profiles, and pork shelf life of finishing pigs. *Livestock science*, v.149, n.1-2, p.155-166. 2012.
- WHITNEY, M. H. et al. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant1. *Journal of Animal Science*, [s.l.], v. 84, n. 12, p.3356-3363, 8 dez. Oxford University Press (OUP). 2014.
- WHITNEY, M. H.; SHURSON, G. C.; JOHNSTON, L. J. et al. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distiller dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *Journal of Animal Science*, v.84, p.3356–3363, 2006.
- WOOD, J. D.; ENSER, M.; FISHER, A.V. et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*, v.78, n.4, p.343-358., 2008.
- WU, F.; JOHNSTON, L.J.; URRIOLA, P.E. et al. Evaluation of NE predictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles (DDGS) with variable NE content on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 215: 105–116, 2016.
- WHITNEY, M.H. AND G.C. SHURSON. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of corn distiller's dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 82:122-128. 2004.
- YANG, Z.; URRIOLA, P. E.; HILBRANDS, A. M. et al. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles. *Translational Animal Science*, v. 3, n. 1, p. 350-358, 2019.

ZANGARO, CASEY A.; WOYENGO, TOFUKO A. Nutrient digestibility of heat-or heat plus citric acid-pretreated dried distillers grains with solubles for pigs. *Animal Feed Science and Technology*, v. 285, p. 115238, 2022.

ZHANG, YANHONG; CAUPERT, JOHN. Survey of mycotoxins in US distiller's dried grains with solubles from 2009 to 2011. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 60, n. 2, p. 539-543, 2012.

## II - OBJETIVOS

### Objetivo Geral:

Avaliar níveis de DDGS na alimentação de suínos em terminação (70-100 kg).

### Objetivos Específicos:

- Avaliar a composição química, energética e aminoacídica do DDGS para suínos machos castrados, dos 70 aos 100 kg de peso vivo,
- Avaliar o consumo diário de ração, ganho de peso diário e a conversão alimentar de suínos machos castrados, dos 70 aos 100 kg, recebendo dietas com crescentes níveis de DDGS,
- Avaliar níveis sanguíneos de ureia, proteínas totais, triglicerídeos, colesterol total, LDL e HDL de suínos machos castrados, dos 70 aos 100 kg, recebendo dietas com crescentes níveis de DDGS,
- Avaliar o efeito dos níveis de DDGS nas dietas de suínos em terminação sobre o comprimento da carcaça, rendimento de carcaça quente, perda de peso de carcaça no resfriamento, espessura de toucinho, profundidade do músculo *Longissimus dorsi*, P1, P2, P3 - espessura de toucinho medidos nos 3 pontos e rendimento de carne magra, perda de líquido por resfriamento, descongelamento e cocção,
- Avaliar e quantificar o perfil de ácidos graxos de cadeia longa e as características morfométricas da barriga/panceta (peso, comprimento, espessura média, largura e Flop) de suínos machos castrados em terminação, recebendo dietas com níveis crescentes de DDGS,
- Avaliar a qualidade de carne (temperatura, pH, cor, perda de água por gotejamento, no descongelamento e na cocção, e mensuração de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) de suínos machos castrados, dos 70 aos 100 kg, recebendo dietas com níveis crescentes de DDGS,
- Determinar os valores energéticos e ajustar equações de predição da energia metabolizável (EM) a partir da composição química do DDGS, para suínos em terminação.



1 **Adequate knowledge of the nutritional composition of DDGS results in the**  
2 **inclusion of high levels in the diet of finishing pigs without changing**  
3 **performance, carcass characteristics and meat quality**

4 Suelen Maria Einsfeld<sup>a\*</sup>, A. E. Murakami<sup>a</sup>, L. A. C. Esteves<sup>a</sup>, N. Y. Sitanaka<sup>a</sup>, J.  
5 A. C. Osorio<sup>a</sup>, P. C. Pozza<sup>a</sup>

6 *<sup>a</sup>Department of Animal Science, Maringá State University, Colombo Avenue, Zip Code 87020-*  
7 *900, Maringá, Paraná State, Brazil.*

8 \*Corresponding author: [suelenmaria2010@hotmail.com](mailto:suelenmaria2010@hotmail.com).

9 **Adequate knowledge of the nutritional composition of ddgs results in the**  
10 **inclusion of high levels in the diet of finishing pigs without changing**  
11 **performance, carcass characteristics and meat quality**

12 **Abstract**

13 The objective of this work was to evaluate the chemical composition, energy values and to  
14 evaluate the inclusion of DDGS levels in the diet of finishing pigs (70-100 kg) on the  
15 performance, qualitative and quantitative characteristics of the carcass. Two experiments were  
16 performed. In the first experiment, a total digestibility test was conducted with 24 commercial  
17 castrated males, distributed individually in metabolism cages, DDGS replaced the reference  
18 feed in percentages of 10, 20 and 30%, totaling four treatments. As for the second experiment,  
19 40 commercial lineage pigs were used, castrated males, distributed in five increasing levels of  
20 inclusion of DDGS 7.5 15, 22.5 and 30%, and eight replicates. The levels of digestible energy  
21 (DE), metabolizable energy (ME) in relation to the consumption of DDGS at each level of  
22 inclusion, were 3,926.7 and 3,767 kcal/kg, respectively. No differences ( $P<0.05$ ) were observed  
23 for performance, blood parameters and quantitative carcass characteristics. Based on the results,  
24 we can conclude that the DDGS used in this work has 3.926,7kcal DE/kg and 3.767 kcal ME/kg.  
25 Furthermore, the use of diets containing up to 30% DDGS does not influence the performance,  
26 blood parameters, carcass characteristics, meat and belly quality of castrated finishing male  
27 pigs.

28 **Keywords:** Belly evaluation, co-products, food evaluation

29 **Bulleted Highlights**

- 30 • *DDGS can therefore be considered a food for partial replacement of these ingredients in*  
31 *pig feed*

- 32 • *Increasing levels of DDGS in the diet did not influence the performance of pigs in the*  
33 *finishing phase*
- 34 • *The quantitative and qualitative characteristics of the carcasses showing that they are not*  
35 *influenced by DDGS levels in pig feed during the finishing phase*

## 36 **Introduction**

37 The use of alternative foods in the formulation of diets can significantly reduce food costs,  
38 maintaining the productive efficiency of animals (Gouveia et al., 2020). However, this premise  
39 is for those who can acquire them at compensatory prices and at closer locations (Oliveira et  
40 al., 2013).

41 The fermentation of corn starch by specific yeasts and enzymes produces ethanol and a  
42 co-product, one of which is mentioned in the literature as distiller's dried grains with solubles  
43 or by the acronym DDGS. This co-product has three to four times more protein, fat and fiber  
44 than corn, and this increase is attributed to the conversion of most of the starch to ethanol during  
45 fermentation (Rosentrater and Muthukumarappan, 2006; Song et al., 2010).

46 Despite the increase in the content of some components, the limiting factor of DDGS use  
47 in the feeding of non-ruminants is the high variation that exists among sources in their  
48 nutritional composition (Belyea et al., 2010).

49 The variations found in the nutritional values of the different DDGS samples among mills,  
50 and even within the same producing mill, may occur due to the grain utilized, the amount of  
51 solubles added to the cereals, fermentation time and efficiency, and temperature in the drying  
52 process (Cozannet et al., 2010; Bottger and Sudeum, 2017), and such variation may alter its  
53 commercial value (Belyea et al., 2004). Evaluation of the nutritional composition of this co-  
54 product is thus indicated, when obtained from a new supplier, before its use in animal feed  
55 (Corassa et al., 2018).

56 Another issue to be careful with when using alternative foods is fiber content, since it  
57 can negatively affect the performance of non-ruminant animals, which have low use of this  
58 nutrient (Albuquerque et al., 2011).

59 For non-ruminants, high fiber concentrations can: increase acid detergent insoluble  
60 nitrogen (ADIN), leading to a decrease in the ileal digestibility of nitrogen due to the lack of  
61 fibrolytic enzymes (Bottger and Sudeum, 2017); cause variation in ME levels (Foltyn et al.,  
62 2013) and decrease the apparent digestibility of dry matter and GE (Statuani et al., 2016).

63 Some studies have shown that these components, when inserted in the diet, can influence  
64 the digestibility of diet compounds, especially energy, when ingested without adequate  
65 knowledge of their nutritional value (Wang et al., 2012).

66 The adjusted knowledge of the energy values of the DDGS, as well as the chemical  
67 composition, is fundamental for attainment of an adequate performance in swines, beyond  
68 providing to greater inclusion of DDGS in the feed without hindering performance,  
69 characteristics of carcass and quality of meat. In this sense, the objective of this study was to  
70 determine the chemical composition, energy values and evaluate the inclusion of levels in the  
71 diet of finishing pigs on performance, qualitative and quantitative characteristics of the carcass.

72

## 73 **Material and methods**

74 Two experiments were carried out in the Swine Sector of the Iguatemi Experimental Farm (Fei)  
75 of the State University of Maringá (UEM).

76

### 77 ***Experiment I. Determination of the chemical composition and energy values of DDGS.***

78 Twenty-four pigs, castrated males, crossbred (Pietrain x Landrace x Large White x Duroc),  
79 commercial lineage, with initial average weight of  $70 \pm 3.18$  kg, housed individually in

80 metabolism cages (Pekas, 1968), in an experimental design of randomized blocks, consisting  
81 of four treatments and six replications. The temperature of the metabolism room was controlled  
82 with the aid of air conditioning throughout the experimental period.

83 The reference feed (Table 1), based on corn and soybean meal (0% DDGS), was  
84 formulated to meet the nutritional requirements of pigs between 70 and 100 kg live weight, as  
85 recommended by Rostagno et al. (2017). This RF was replaced by 10, 20, and 30% by DDGS,  
86 totaling four treatments.

87 The feeding and collection of feces and urine were performed according to the  
88 methodologies described by Sakomura and Rostagno (2016). Feed intake was established based  
89 on metabolic weight ( $P^{0.75}$ ). The feeds were moistened with water to avoid waste, reduce  
90 dustiness and improve acceptability. After each meal, water was supplied in the feeder itself in  
91 the proportion of three ml of water/g of feed consumed.

92 The experimental period lasted 12 days, with seven days of adaptation to metabolism  
93 cages and feed, and five days of feces and urine collection, which were performed once a day  
94 at 8 am. Ferric oxide (Fe) was used as the fecal marker to define the beginning and end of the  
95 collection period.

96 The urine, as excreted, was filtered and collected in plastic buckets located at the bottom  
97 of the cage, containing 20 mL of 1:1 HCl to avoid nitrogen volatilization and microorganism  
98 proliferation. At the end of urine collections, an aliquot of 10% of each animal was stored and  
99 frozen ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) for further analysis.

100 Feces were collected once a day, packed in plastic bags, identified and stored in a freezer  
101 until the end of the collection period. Subsequently, the material was homogenized, dried in a  
102 forced ventilation oven ( $55^{\circ}\text{C}$ ) and milled in a knife mill (1 mm sieve).

103 The gross energy (GE) of the experimental diets, feces and urine, were determined at  
104 the Research Support Centers Complex – COMCAP, by means of an adiabatic calorimeter (Parr  
105 ® Instrument Co. AC6200), following the procedures described by Silva and Queiroz (2005).

106 The DDGS was analyzed at the UEM animal nutrition laboratory (LANA) for dry matter  
107 content (DM, method 930.15), crude protein (CP, method 990.03), fat (EE, method 920.39) and  
108 crude fiber (CF, method 978.10) according to methodologies described by AOAC (2006). The  
109 starch analysis (Sta) was performed at the ABC laboratory using the enzymatic method and the  
110 DDGS amino acid concentration determined at Evonik.

111 The DE and ME values were determined as described by Adeola and Ileleji (2009).  
112 Subsequently, digestibility and metabolizability coefficients of the gross energy for the test feed  
113 were calculated, as well as the ME:DE ratio. The NE of the experimental feeds was determined  
114 using the prediction equation proposed by Noblet et al. (1994), as follows:

115

$$116 \quad NE = 0,730ME + 1,31EE + 0,37A - 0,67CP - 0,97$$

117

118 Where: NE= net energy; ME= metabolizable energy; EE= fat; A= starch; CP= crude  
119 protein; CF= crude fiber.

120

121 ***Experiment II. Performance, quantitative and qualitative characteristics of finishing pig***  
122 ***carcass fed diets containing increasing levels of DDGS***

123 We used 40 male castrated pigs, crossbred (Pietrain x Landrace x Large White x Duroc),  
124 commercial lineage, with initial average weight of  $70 \pm 1.0$  kg. The animals were housed in a  
125 masonry shed, divided into individual stalls, with ventilation and nebulization. Each bay had a  
126 pacifier type drinking fountain and semi-automatic feeder located at the front, providing free  
127 access to feed and water.

128 Feed and water were freely provided throughout the trial period. The animals were  
129 distributed among treatments based on initial weight, in an experimental design of randomized  
130 blocks, with five treatments, eight repetitions and one animal per experimental unit. The  
131 experimental diets (Table 1) were formulated to meet the nutritional requirements of castrated  
132 male pigs with medium-superior performance at 70 to 100 kg body weight (Rostagno et al.,  
133 2017), except for crude protein.

134 For evaluation of the zootechnical performance, the animals and the feed were weighed  
135 at the beginning and end of the experiment, and the daily feed intake, daily weight gain and  
136 feed conversion were calculated.

137 At the end of the experimental period, 20 ml of blood were collected by puncture of the  
138 anterior vena cava of all animals. The blood was placed in tubes without anticoagulants to  
139 determine total proteins, with sodium heparin for the analysis of triglycerides, total cholesterol,  
140 HDL, LDL and with EDTA to determine urea. After a rest period, it was centrifuged (Kasvi  
141 Centrifuge K14-4000, Kasvi) (3000 rpm) for 10 min to obtain the serum, which was stored at -  
142 20 °C.

143 For the analyses, the serum and plasma were thawed at room temperature and the  
144 analyses were performed using commercial kits (Gold Analisa), using a semi-automatic  
145 biochemical analyzer (BIO-200, BioPlus), following the specific standards for operational  
146 procedures (POP)

147 The animals were slaughtered after reaching an average weight of 100 kg, after fasting  
148 (24 hours), at the Iguatemi Experimental Farm slaughterhouse - Fei/UEM. After electrical  
149 stunning (200 watts) followed by bleeding, the animals were shaved and eviscerated, in  
150 accordance with the recommendations of Pacheco and Yamanaka (2006).

151 The carcasses were cooled (1-2°C) for 24 hours to subsequently undergo quantitative  
152 evaluation, according to the Brazilian carcass classification method (ABCS, 1973) and the

153 American method (NPPC, 1991). Meat yield was determined according to the equation  
154 proposed by Irgang (2004).

155 The pH of the muscle *Longissimus dorsi* was measured in the hot carcass, 45 min post-  
156 mortem (pH45), and in the carcass cooled for 24h (pH24), with the aid of the pH meter for meat  
157 (HANNA instruments) according to Bridi and Silva (2009).

158 For qualitative evaluation of the carcass, samples of the muscle *Longissimus dorsi* were  
159 taken from the region of the 8th and 10th vertebrae on the left side of the carcass. To evaluate  
160 water loss by thawing cooking and muscle color, the methodology of Bridi and Silva (2009)  
161 was followed. Shear force was performed on a texturometer (Stable Micro Sytem® TA-XT2i,  
162 coupled with the Warner-Bratzler Shear Force probe and the Texture Expert Exponent software  
163 – Stable Micro Systems, USA) according to the methodology of Ramos and Gomide (2007).

164 The right side of each carcass was used for belly removal, as described by the North  
165 American Meat Processors Association (2010). They were evaluated for weight, flop, thickness,  
166 length and width, using a ruler at the midpoint of the longitudinal and transverse axis.

167 Belly thickness was assessed at 8 points at which measurements 1 to 4 were collected  
168 along the dorsal edge, starting at the anterior end, pressing a sharp ruler. Measurements 5 to 8  
169 were collected in the same manner, on the ventral side of the belly, starting at the anterior end.  
170 The average thickness of the belly was calculated from the average of the 8 individual  
171 measurements.

172 The belly flop was determined by the distance measurements between the side ends of  
173 the belly, with the skin down on a table and a stationary bar, respectively. After these  
174 measurements, a narrow slice of each belly was collected according to Kyle et al. (2014). To  
175 determine the fatty acid profile of the belly, lipid extraction (Bligh and Dyer, 1959),  
176 esterification (Hartman and Lago, 1986) and gas chromatography methods were used. Peak  
177 identification and quantification were made by comparing time of retention and area of the



178 peaks of the samples with those of fatty acid methyl ester patterns (Supelco components FAMES  
179 Mix, ref.47885-U).

180

### 181 *Statistical procedures*

182 The values of digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME) were estimated by  
183 regression analysis (Adeola & Ileleji, 2009) of the DE and ME ingested (kcal/kg) associated  
184 with DDGS consumption (kg).

185 For the statistical analysis, the statistical software SAS® University Edition (2017)  
186 (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA) was used.

187 The effects of treatments were verified by analysis of variance (ANOVA), using the  
188 GLM procedure and, when significant, the data were tested for polynomial regression between  
189 inclusion levels. The level of significance adopted in all hypothesis tests was  $\alpha = 0,05$ .

190 In the performance experiment, the initial weight of the pigs was used as a covariate  
191 while, to evaluate the quantitative and qualitative characteristics of the carcass, the slaughter  
192 weight was used as a covariate.

193

### 194 **Results**

195 The evaluation of the chemical composition of DDGS (Table 2) revealed that the main  
196 components of the feed, expressed in natural matter, presented percentages of 85.57% for dry  
197 matter, 30.27% for crude protein, 7.70% for ether extract, 7.54% for crude fiber, 11% for acid  
198 detergent fiber, 40% for neutral detergent fiber, 6.45% for starch and 5.30% for mineral matter,  
199 with values lower than 1% for minerals calcium, phosphorus, and potassium.

200 Regarding total amino acid levels, concentrations of 0.88% lysine, 0.55% methionine,  
201 1.07% threonine and 0.22% tryptophan were observed, and the concentrations of the other

202 amino acids can be observed in table 3. The estimated levels of standardized digestible amino  
203 acids for lysine, methionine, threonine, and digestible tryptophan were 0.54, 0.45, 0.75 and  
204 0.16%, respectively.

205 Even with high values of NDF and reduced starch, when compared to the product of  
206 origin, DDGS still has significant energy values (table 4) for GE (4500 kcal/kg), DE (3360  
207 kcal/kg), ME (3,223 kcal/kg), and digestibility (74.67%) and metabolizability (71.62%)  
208 coefficients of gross energy, as well as a high ME:DE ratio (0.96), showing good DE usage.

209 The increasing inclusion of DDGS in the diet of finishing pigs showed an inverse  
210 response (table 5) for DCGE and MCGE, as well as the ME:DE ratio. The inclusion level of  
211 30% of DDGS in the diets provided the lowest DCGE and MCGE at 83.83 and 80.52%,  
212 respectively.

213 To determine the DE and ME of the DDGS, the equations  $y = 3926.7x + 38.704$  ( $r^2 =$   
214  $0.9993$ ) and  $Y = 3767x + 55.641$  ( $r^2 = 0.9992$ ) were adjusted, respectively (Figure 1), in which  
215 the angular coefficients represent the energy values, which were 3,926.7kcal DE/kg and 3,767  
216 kcal ME/kg.

217 No differences ( $P > 0.05$ ) were observed between DDGS inclusion levels on performance  
218 (table 6) and blood parameters (table 7) of finishing pigs (70 – 100 kg).

219 No difference ( $P > 0.05$ ) was observed for the quantitative and qualitative characteristics  
220 of the carcasses (tables 8 and 9), showing that they are not influenced by DDGS levels in pig  
221 feed during the finishing phase.

222 The characteristics of belly weight, length, average thickness, width and flop were not  
223 influenced ( $P > 0.05$ ) by the increasing levels of DDGS in the diets of finishing pigs (Table 10).

224 A difference ( $P = 0.042$ ) was observed for the palmitoleic acid concentration, in which the  
225 acid concentration had a quadratic effect, with a maximum point in the first derivation of

226 18.35% and a calculated response of 0.23% palmitoleic acid. For the other fatty acids from the  
227 belly fat of the finishing pigs, no difference ( $P>0.05$ ) was observed for the profile (Table 6).

## 228 **Discussions**

229 By relating the chemical and energy composition of DDGS (Table 2) with the main ingredients  
230 used in the diets of pigs presented by Rostagno et al. (2017), it can be considered that the corn  
231 DDGS presents ME, CP, DM, MM and calcium (Ca) values intermediate and/or close to those  
232 of corn and soybean meal and can therefore be considered a food for partial replacement of  
233 these ingredients in pig feed.

234 The concentrations of crude fiber (CF), NDF, ADF and EE were elevated (Table 2). The  
235 higher concentration of these components in corn DDGS is mainly related to the method used  
236 for ethanol production (El-Hack et al., 2015). 60% to 70% of corn grain is starch, 90% of which  
237 is used in ethanol production. However, during fermentation, the concentrations of proteins,  
238 lipids and fibers are increased by approximately three times (Zang et al., 2017), when compared  
239 to the grains that originated them. Thus, they reach ADF values greater than 10% and NDF  
240 above 30% (Stein and Shurson, 2009).

241 NDF contents represent the concentration of insoluble fibers in foods and are related to  
242 the decreased digestibility of CP (Saqui-Salces et al., 2017), DM, GE and amino acids (Acosta  
243 et al., 2020) in diets for pigs. Although high fiber levels compromise digestibility and dilute  
244 energy levels, it is important because it ensures intestinal health, motility and welfare of pigs  
245 (Gomes et al., 2005).

246 However, the nutritional composition of corn DDGS presents variability, and can be  
247 demonstrated by the results obtained in studies that recorded approximate average values for  
248 DM, MM, CP, NDF, ADF, EE, ME and DE when analyzing samples of ten and four ethanol

249 co-products, respectively, 87%, 4%, 28%, 24%, 12%, 10%, 3.897 and 4.140 Kcal (Pedersen et  
250 al., 2007), 89%, 5%, 27%, 25%, 12%, 11.62%, 3.194 and 3.461 Kcal (Wu et al., 2016).

251 The values for GE, DE, ME and NE presented by the NRC (2012), for DDGS with EE  
252 concentration between 6 and 9% were higher than those observed in this study, namely 4710,  
253 3582, 3396 and 2343 kcal/kg, respectively. Despite the difference in energy values, the DCGE  
254 and MCGE obtained (Table 5), and those estimated from the aforementioned literature, (76.05  
255 and 72.10%, respectively), are very close. However, DCGE represents the percentage GE  
256 absorbed so, the closer to 100, the more efficient the GE absorption from the diet will be.

257 As a reflection of protein content, the total amino acid contents present in DDGS (Table  
258 3) are intermediate to those found in corn and soybean meal shown in the tables of Rostagno et  
259 al. (2017). In addition, Corassa et al. (2018) reported that corn distillery residues have lower  
260 digestibility compared to corn, by approximately ten percentage units, due to the higher fiber  
261 concentration of co-products obtained in corn ethanol distilleries that use dry processing.  
262 Because high fiber concentrations provide an increase in acid-insoluble nitrogen, with a  
263 decrease in the ileal digestibility of nitrogen due to the lack of fibrolytic enzymes, and  
264 consequent release of complexed amino acids (Bottger and Sudeum, 2017).

265 However, Santos et al. (2019) presented amino acid concentrations higher than those of  
266 the present study, while those presented by Yang et al. (2019) showed similarity and the values  
267 presented by Pedersen et al. (2007), who evaluated 10 different DDGS, showed that the average  
268 amino acid profile of the different sources resulted in lower levels for lysine, threonine,  
269 methionine, tryptophan, histidine and arginine and values close to those obtained in this study  
270 for valine, isoleucine, leucine and phenylalanine.

271 The variations found in the nutritional composition of the co-products of corn ethanol  
272 distilleries among the various research works can be justified according to the source used for  
273 biofuel production, the heat used in the process, fermentation time and efficiency, quantities of

274 solutes added to the distillate grains (Cozannet et al., 2010), so that such variation may imply  
275 in its commercial value (Bottger and Sudeum, 2017).

276 The inconstancy of the chemical characterization of foods can be considered a  
277 limitation, given the lack of precision that it can cause in the formulation of diets and  
278 zootechnical responses and, consequently, nutritional imbalance (Stuani et al., 2016).  
279 According to Graham et al. (2014), high DDGS inclusions impaired swine performance, DWG  
280 and FC reduced by approximately 2.2 and 1.3%, respectively, for every 15% DDGS added to  
281 the diet.

282 The performance of pigs in the finishing phase (Table 6), fed with increasing levels of  
283 DDGS in the diet, did not influence the DWG, FC and CR. Similar responses were reported by  
284 Shirclif et al. (2019) and Wu et al. (2016), when they used levels of 20 and 30% DDGS in the  
285 pigs' diet, respectively.

286 Additionally, Stein and Shurson (2009) also reported that performance remained  
287 unchanged with inclusions of up to 30% DDGS in the pigs' diet. Thus, it was found that the  
288 increasing levels of up to 30% DDGS did not impair the performance characteristics of finishing  
289 pigs, in addition to contributing to the best formulation cost, since this ingredient currently has  
290 lower costs than traditional foods.

291 In addition to the productive factors, another variable to be observed with the alteration  
292 of feed ingredients for animals is the metabolism of pigs. The biochemical constituents of blood  
293 reflect the balance between the entry, egress and metabolization of nutrients in animal tissue;  
294 the physiological responses resulting from internal (age and sex) and external (food and  
295 environment) factors provide the evaluation of metabolites related to energy and protein  
296 metabolism, and the measurement of blood variables can contribute to nutritional studies and  
297 their impact on animal performance (Yari et al., 2014).

298           The inclusion of up to 30% DDGS in the feed did not change the physiological status of  
299 finishing pigs in relation to blood parameters (table 7). Urea, triglycerides and total cholesterol  
300 presented values between 26.40 to 30.00; 36.73 to 58.53; 69.10 to 72.76 mg/dl, respectively,  
301 similar to those observed by Moreira et al. (2014) for pigs in the finishing phase, since the total  
302 protein content of the animals evaluated in the present study ranged from 2.13 to 2.24 mg/dl,  
303 lower than those presented by the same authors. The values obtained for total cholesterol, LDL,  
304 HDL and triglycerides are within the reference range indicated for pigs listed by Yeon et al  
305 (2012). Therefore, the blood variables of finishing male pigs, fed with levels of up to 30%  
306 DDGS, were not impaired by the inclusion of different levels of DDGS in the diets, and its use  
307 is indicated for this animal category.

308           The quantitative carcass characteristics were not influenced (Table 8) by the inclusion  
309 of up to 30% DDGS in the feed, possibly because of similar results in the performance  
310 characteristics (Table 6).

311           The pigs that received the diet containing increasing levels of DDGS presented  
312 performance results similar to those fed the control diet, thus, the qualitative parameters of the  
313 carcass were also not influenced (Table 9). The pH is one of the most important aspects of the  
314 transformation of muscle into meat, and is characterized as a valuable measure for meat quality,  
315 particularly when one wishes to avoid excessive liquid losses from carcass (LLD, LLT, LLC)  
316 and color changes (Bridi and Silva, 2009), which in turn are important aspects of quality and  
317 influence the appearance and attractiveness of meat to the consumer. Thus, the results obtained  
318 (Table 9) demonstrated that the addition of up to 30% DDGS did not change these  
319 characteristics and consequently will not influence consumer acceptability.

320           Water retention capacity is an important quality index, as it is directly related to the  
321 sensory properties of meat (juiciness, texture, flavor) (Zeola, 2007). The measurements  
322 obtained for the shear strength of the samples of the muscle *longissimus dorsi* indirectly

323 represent the degree of tenderness of the meat. According to Lyon and Lyon (1991), extremely  
324 soft samples present values of <3.62 kgf, moderately soft 3.62 to 6.61 kgf, slightly hard 6.62 to  
325 9.60 kgf, moderately hard 9.61 to 12.60 kgf and extremely hard >12.60 kgf. Thus, those of the  
326 present study can be characterized as moderately soft, since they presented average values of  
327 5.52 kgf.

328 The characteristics of pH, liquid losses and coloration (Table 9) are similar to those  
329 revealed by Lee et al. (2013) when evaluating the inclusion of 30% of DDGS in the diet of male  
330 pigs in the finishing phase, which also did not verify an effect ( $P>0.05$ ) for these meat quality  
331 characteristics. Similarly, Xu et al. (2007) showed that the coloring of the meat was not  
332 influenced, emphasizing that there were no changes caused by DDGS concentrations in the diet.

333 Typically, the fatty acid profile of porcine belly fat is predominantly composed of oleic  
334 acid (Wood et al., 2008). However, the fatty acid composition varies depending on the  
335 composition of dietary fat, sex (Wood et al., 1989), body weight (Apple et al., 2009) and amount  
336 of carcass fat (Apple et al., 2011; Duttlinger et al., 2012).

337 The fatty acids evaluated in the fat of the belly of finishing pigs fed with 30% DDGS,  
338 observed by Overholt et al. (2016), presented proportions of palmitic (21.58%), stearic (9.24%),  
339 oleic (41.05%) and linoleic (20.44%) acid, different from those observed in this study (Table  
340 10).

341 The effects of dietary lipid sources and dietary fatty acid composition have been studied  
342 for decades. Pigs feeding on diets containing 30% (Cromwell et al., 2011; Xu et al., 2010) and  
343 45% (Cromwell et al., 2011) DDGS presented twice the linoleic acid content in belly fat (Xu et  
344 al., 2010) and bacon (Cromwell et al., 2011), compared to animals fed with corn and soybeans.

345 The fat extracted from the porcine belly (Table 10), fed with increasing levels of DDGS  
346 in the termination phase, presented a higher proportion of saturated fatty acids in relation to  
347 unsaturated ones for all DDGS inclusions in the diets, which may be related to the fact that the

348 belly does not present differences ( $P>0.005$ ) in the flop measurements (Table 10), since a higher  
349 proportion of unsaturated fatty acids provides a softer and less sought after pig fat quality by  
350 the consumer (Harris et al. 2018).

351 Additionally, the higher concentration of palmitoleic acid was not sufficient to influence  
352 the flop. The characteristics of the belly are like those found by Harris et al. (2018), when they  
353 evaluated the effectiveness of different corn DDGS's and feeding strategies for pigs.

354

### 355 **Conclusion**

356 The DDGS used in this work presented 3.926 kcal DE/kg and 3.767 kcal ME/kg, and its  
357 inclusion in up to 30% in the diets does not influence the performance, blood parameters,  
358 carcass characteristics, meat and belly quality of castrated finishing male pigs (70-100 kg).  
359 Adequate knowledge of the energy values and chemical composition of DDGS can provide an  
360 inclusion of up to 30% in the feed of finishing pigs, without hindering performance, quantitative  
361 characteristics of the carcass and meat quality.

362

### 363 ***Disclosure statement***

364 No potential conflict of interest was reported by the authors.

### 365 ***Ethical approval***

366 The experimental protocol used in this study was approved by the UEM Animal Use Ethics  
367 Committee - CEUA/UEM (n° 3339180919).

### 368 ***Data availability statement***

369 The original data of the article are available upon request from the corresponding author.



370 **References**

- 371 Adeola O, Ileleji KE. 2009. Comparison of two diet types in the determination of metabolizable  
372 energy content of corn distillers dried grains with solubles for broiler chickens by the regression  
373 method. *Poult Sci.*, 88:579–585.
- 374 Albuquerque DMN, Lopes JB, Klein Junior MH, Merval RR, Silva FES, Teixeira MPF. 2011.  
375 Dehydrated residue of brewery for finishing swine. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 63:465-472.
- 376 AOAC. Official Methods of Analysis. 18th edn. Association of Official Analytical Chemist;  
377 Arlington, VA, USA: 2006.
- 378 Apple JK, Maxwell CV, Galloway DL, Hamilton CR, Yancey JWS. 2009. Interactive effects  
379 of dietary fat source and slaughter weight in growing-finishing swine: II. Fatty acid composition  
380 of subcutaneous fat. *J. Anim. Sci.* 87:1423-1440.
- 381 Apple JK, Sawyer JT, Maxwell CV, Yancey JWS, Frank JW, Woodworth JC, Musser RE. 2011.  
382 Effects of L-carnitine supplementation on quality characteristics of fresh pork bellies from pigs  
383 fed 3 levels of corn oil. *J. Anim. Sci.* 89:2878-2891.
- 384 Associação Brasileira de Criadores de Suínos, 1973. Método brasileiro de classificação de  
385 carcaça [Brazilian Carcass Classification Method]. 17p. Portuguese.
- 386 Belyea RL, Rausch KD, Clevenger TE, Singh V, Johnston DB, Tumbleson ME. 2010. Sources  
387 of variation in composition of DDGS. *Anim. Feed Sci. Technol.* 159(3-4):122-130.
- 388 Belyea RL, Rausch KD, Tumbleson ME. 2004. Composition of corn and distillers dried grains  
389 with solubles from dry grind ethanol processing. *Bioresour. Technol.* 94(3):293-298.

- 390 Bligh EG, Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Bioch*  
391 *and Phys.* 37(18):911-917.
- 392 Bottger C, Sudeum KH. 2017. Within plant variation of distillers dried grains with solubles  
393 (DDGS) produced from multiple raw materials in varying proportions: chemical composition  
394 and in vitro evaluation of feeding value for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 229:79-90.
- 395 Bridi AM, Silva CA. 2009. *Avaliação da Carne Suína*. 1st ed. Londrina: Midigraft.
- 396 Corassa A, Lautert IPAS, Silva LL, Souza C. 2018. Uso de DDGS de milho para suínos: uma  
397 breve revisão [Use of corn ddgs for pigs: a brief review]. *Sci. Agrar. Parana.* 17(2):157-164.  
398 Portuguese.
- 399 Cromwell GL, Azain MJ, Adeola O, Baidoo SK, Carter SD, Crenshaw TD, Shannon MC. 2011.  
400 Corn distillers dried grains with solubles in diets for growingfinishing pigs: A cooperative  
401 study. *J Anim Sci.* 89:2801-2811.
- 402 Duttlinger AJ, De Rouchey JM, Tokach MD, Dritz SS, Goodband RD, Nelssen JL, Sulabo RC.  
403 2012. Effects of increasing crude glycerol and distillers dried grains with solubles on growth  
404 performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of finishing pigs. *J Anim Sci.*  
405 90:840-852.
- 406 El-hack MEA, Alagawany M, Farag MR. 2015. Use of maize distiller's dried grains with  
407 solubles (DDGS) in laying hen diets: trends and advances. *Asian J Anim Vet Adv.* 10(11):690-  
408 707.
- 409 Foltyn M, Rada V, Lichovnikova M, Dracková E. 2013. Effect of corn DDGS on broilers  
410 performance and meat quality. *Acta Univ. Agric. et Silv. Mendelianae Brun.* 61:59-64.

- 411 Gouveia ABVS, De Paulo LM, Silva JMS, Sousa FE, Santos FR, Minafra CS. 2020.  
412 Subprodutos da soja na alimentação de aves: Revisão [Soybeans in bird feeding: review]. Res.,  
413 Soc. Dev. 9(7):e471974187-e471974187. Portuguese.
- 414 Graham, AB, Goodband RD, Tokach MD, Dritz SS, Derouchey JM, Nitikanchana S. 2014. The  
415 effects of medium-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, carcass traits,  
416 and nutrient digestibility in growing–finishing pigs. J Anim Sci, 92(2):604-611.
- 417 Harris EK, Mellencamp MA, Johnston LJ, Cox RB, Shurson GC. 2018. Effectiveness of  
418 different corn distillers dried grains with solubles feeding strategies and increasing the time  
419 intervals between the second Improvest dose and slaughter of immunologically castrated pigs  
420 on belly and pork fat quality. Meat Sci. 135:62-73.
- 421 Hartman L, Lago BC. 1973. A rapid preparation of fatty methyl esters from lipids. Lab Pract,  
422 22:475-477.
- 423 Kyle JM, Bohrer BM, Schroeder AL. 2014. Effects of immunological castration (Improvest)  
424 on further processed belly characteristics and commercial bacon slicing yields of finishing pigs.  
425 J Anim Sci, 92(9):4223-4233.
- 426 Lee JW, Kil DY, Keever BD. 2013. Carcass fat quality of pigs is not improved by adding corn  
427 germ, beef tallow, palm kernel oil, or glycerol to finishing diets containing distillers dried grains  
428 with solubles. J Anim Sci. 91(5):2426-2437.
- 429 Lyon BG, Lyon CE. 1991. Research note: shear value ranges by instron warner-bratzler and  
430 single-blade allo-kramer devices that correspond to sensory tenderness. Poult. Sci. 70:188-191.
- 431 Moreira FRDC, Costa NA, Martins TDD, Silva JHVD, Medeiros HRD, Cruz GRBD. 2014.  
432 Substituição parcial do milho por sorgo granífero na alimentação de suínos nas fases de creche,

- 433 crescimento e terminação [Partial replacement of corn by graniferous sorghum in the feeding  
434 of pigs in the daycare, growth and termination phases]. *Rev Brasil de Saúde e Prod Anim.*  
435 15(1):94-107. Portuguese.
- 436 National pork producers council - NPPC1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. Des  
437 Moines (IA):.
- 438 National research council – NRC. 2012. Nutrients requirement of swine. 11th ed. Washington  
439 (DC): National Academies.
- 440 Noblet J, Fortune H, Shi SX.1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J*  
441 *Anim Sci.* 72(2):344-354.
- 442 North American Meat Processors Association. 2010. The meat buyer's guide. 6th ed. Reston  
443 (VA): North American Meat Processors Association.
- 444 Oliveira RL, Leão AG, Abreu LL, Teixeira S, Silva TM. 2013. Alimentos alternativos na dieta  
445 de ruminantes [Alternative foods in the ruminant diet]. *Rev. Bras. de Saude e Prod. Anim.*  
446 15(2):141-160. Portuguese.
- 447 Overholt MF, Lowell JE, Wilson KB. 2016. Effects of feeding pelleted diets without or with  
448 distillers dried grains with solubles on fresh belly characteristics, fat quality, and commercial  
449 bacon slicing yields of finishing pigs. *J Anim Sci.* 94(5):2198-2206.
- 450 Pedersen C, Boersma MG, Stein HH. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten  
451 samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J Anim Sci.* 85:1168-1176.
- 452 Pacheco JWF, Yamanaka HT. 2006. Guia técnico ambiental de abate (bovino e suíno)  
453 [Slaughter Environmental Technical Guide (cattle and pork)]. São Paulo(SP): CETESB.  
454 Portuguese.

- 455 Pekas JC. 1968. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. *J*  
456 *Anim Sci.* 27:1303-1306.
- 457 Ramos EM, Gomide, LAM. 2007. Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e  
458 Metologias [Meat Quality Evaluation: Fundamentals and Metologies]. Viçosa (MG): UFV.  
459 Portuguese.
- 460 Rosentrater, KA, Muthukumarappan K. 2006. Corn ethanol coproducts: generation, properties,  
461 and future prospects. *Int. Sugar J.* 108(1295):648-657.
- 462 Rostagno SH, Albino LFT, Hannas MI, Donzele JL, Sakomura NK, Perazzo FG, Saraiva A,  
463 Abreu MLT, Rodrigues PB, Oliveira RF, Barreto SLT, Brito CO. 2017. Tabelas brasileiras para  
464 aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais [Brazilian tables for birds and  
465 pigs: food composition and nutritional requirements]. 4th ed. Viçosa (MG): UFV. Portuguese.
- 466 Sakomura NK, Rostagno HS. 2016. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos  
467 [Research Methods in Monogastric Nutrition]. Jaboticabal(SP):Funep. Portuguese.
- 468 Santos FR, Silva MRS, Oliveira NR. 2019. Composição nutricional e valores energéticos  
469 determinados com frangos de corte de coprodutos do processamento do etanol de milho  
470 [Nutritional composition and energy values determined with co -production chickens of corn  
471 ethanol processing]. *Arq Brasil Med Vet Zoot.* 71(5):1759-1763. Portuguese.
- 472 Shircliff KE, Allee GL, Wiegand BR. 2019. A adição de gordura alimentada com grãos  
473 destiladores secos a 30% e solúveis aos porcos altera a composição de ácidos graxos em 4  
474 depósitos de gordura, mas não altera a composição ou a qualidade da carcaça [The addition of  
475 fat fed with 30% dry distiller grains and soluble to pigs alters the composition of fatty acids in  
476 4 fat deposits, but does not alter the composition or quality of the carcass]. *Ciê n Anim Apl.*  
477 35(6):550-562. Portuguese.

- 478 Shurson J, Johnston L, Baidoo S. 2008. Use of Distillers dried grains with solubles (DDGS) in  
479 Swine Diets.
- 480 Silva DJ, Queiroz AC. 2005. Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos [Análises  
481 de alimentos: métodos químicos e biológicos]. 3rd ed. Viçosa (MG):UFV. Portuguese.
- 482 Silva JR, Netto DP, Scussel VM. 2016. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em  
483 alimentos e segurança - uma revisão [Dry distillery grains with solubles, food and safety  
484 application - a review]. *Pubvet*.10:190-270. Portuguese.
- 485 Song M, Baidoo SK, Shurson GC, Whitney MH, Johnston LJ, Gallaher DD. 2010. Dietary  
486 effects of distillers dried grains with solubles on performance and milk composition of lactating  
487 sows. *J. Anim. Sci.* 88(10):3313-3319.
- 488 Statistical Analysis System - SAS.SAS User's Guide: Estatistics. Eletronic version 8.1. Cary:  
489 2001 (CD-ROM).
- 490 Stein HH, Shurson GC. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in  
491 swine diets. *J. Anim. Sci.* 87(4): 1292–1303.
- 492 Stuani JL, Corassa A, Silva IPA. 2016. Caracterização nutricional e uso de DDGS em dietas  
493 para suínos em crescimento e terminação-Abordagem analítica [Nutritional characterization  
494 and use of DDGs in diets for growing pigs and analytical-ease termination]. *Nativa*. 4(2):116-  
495 120. Portuguese.
- 496 Wang H, Wang LS, Shi BM, Shan AS. 2012. Effects of dietary corn distillers dried grains with  
497 solubles and vitamin E on growth performance, meat quality, fatty acid profiles, and pork shelf  
498 life of finishing pigs. *Livest Sci*.149(1-2):155-166.

- 499 Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Whittington FM. 2008.  
500 Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.*, 78:343-358.
- 501 Wood JD, Enser M, Whittington FM, Moncrieff CB, Kempster AJ. 1989. Backfat composition  
502 in pigs: Differences between fat thickness groups and sexes. *Livest. Prod. Sci.* 22:351-362.
- 503 Wu F, Johnston LJ, Urriola PE. 2016. Evaluation of NE predictions and the impact of feeding  
504 maize distillers dried grains with solubles (DDGS) with variable NE content on growth  
505 performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Anim Feed Sci and Tech.*  
506 215:105-116.
- 507 Xu G, Baidoo SK, Johnston LJ, Bibus D, Cannon JE, Shurson GC. 2010. The effects of feeding  
508 diets containing corn distillers dried grains with solubles, and withdrawal period of distillers  
509 dried grains with solubles, on growth performance and pork quality in grower-finisher pigs. *J.*  
510 *Anim. Sci.* 88:1388-1397.
- 511 Xu G, Baidoo SK, Johnston LJ, Cannon JE, Shurson GC. 2007. Effects of adding increasing  
512 levels of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) to corn-soybean meal diets on growth  
513 performance and pork quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(E-suppl):76.
- 514 Yang Z, Urriola PE, Hilbrands AM. 2019. Growth performance of nursery pigs fed diets  
515 containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles.  
516 *Transl Anim Sci.* 3(1):350-358.
- 517 Yari P, Yaghobfar A, Aghdamshahryar H, Ebrahim-Nezhad Y, Mirzaie-Goudarzi S. 2014.  
518 Productive and serum biological responses of broiler chicks to use of different patterns of diet  
519 formulation. *Int. J. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences.*  
520 4(3):459-464.

- 521 Yeom SC, Cho SY, Park CG, Lee WJ. 2012. Analysis of reference interval and age-related  
522 changes in serum biochemistry and hematology in the specific pathogen free miniature pig. *Lab*  
523 *Anim Res.* 28(4):245-253.
- 524 Zeng ZK, Shurson GC, Urriola PE. 2017. Prediction of the concentration of standardized ileal  
525 digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with solubles  
526 for growing pigs: A meta-analysis approach. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:150-159.



527 Table 1 - Composition and specification of nutrients ( $\text{g kg}^{-1}$ ) of the experimental diets  
 528 for finishing pigs (70-100 kg).

Ingredients	Levels of inclusion of DDGS				
	0 (RF*)	7,5	15	22,5	30
Corn	843.5	792.3	741.1	689.8	638.7
DDGS	0	75	150	225	300
Soybean meal (45%)	103.0	78.0	53.0	28.0	3.0
Dicalcium phosphate	9.00	7.60	6.20	4.80	3.40
Soybean oil	18.00	19.10	20.20	21.40	22.50
Limestone	6.50	7.80	9.10	10.40	11.70
Vit and Min Supplement <sup>1</sup>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Common salt	0.90	0.80	0.70	0.50	0.40
L-Lysine HCL	5.10	5.50	5.90	6.30	6.70
L-Threonine (98.5%)	1.70	1.60	1.60	1.50	1.40
L- Tryptophan (98.0%)	0.60	0.70	0.70	0.80	0.80
DL- Methionine, 99.0%	1.30	1.00	0.70	0.50	0.20
Sodium bicarbonate	4.70	4.90	5.10	5.30	5.50
Antioxidant <sup>2</sup>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Growth promoter <sup>3</sup>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Adsorbent <sup>4</sup>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Analyzed chemical composition ( $\text{g kg}^{-1}$ )					
ME pigs ( $\text{MJ Kg}^{-1}$ )	14.03	14.03	14.03	14.03	14.03
Crude protein	120.0	127.5	135.0	142.5	150.0
Digestible lysine	8.05	8.05	8.05	8.05	8.05
Digestible Met+Cyst	4.92	4.92	4.92	4.92	4.92

Digestible Methionine	3.05	2.89	2.74	2.58	2.42
Digestible Threonine	5.23	5.23	5.23	5.23	5.23
Digestible Tryptophan	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
Potassium	4.60	4.64	4.68	4.72	4.76
Sodium	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
Available Phosphorus	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
Calcium	4.97	4.97	4.97	4.97	4.97
Chlorine	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54

---

529 \* RF: Reference feed metabolism experiment;

530 <sup>1</sup> Quantity/kg diet; vit. A : 30000 IU, vit. D3: 5000 IU, vit. E: 120 IU, vit. K:5 mg, vit. B12:120  
531 mcg, Niacin: 150 mg, Calcium Pantothenate: 75 mg, Folic Acid: 8 mg, Choline Chloridate:  
532 0.48 g, Iron: 350 mg, Copper: 15 mg, Magnesium: 250 mg, Zinc: 0.75 g, Iodine: 10 mg,  
533 Selenium: 3 mg; <sup>2</sup> BHT; Enradin; Elitox.

534 Table 2- Characterization of the chemical composition (%) of corn DDGS for finishing pigs, in  
 535 natural matter

Nutrient	Analyzed nutritional composition
Dry Matter	85.57
Mineral Matter	5.30
Crude protein	30.27
Crude Fiber	7.54
Neutral Detergent Fiber	40.10
Acid detergent fiber	11.00
Ether Extract	7.70
Potassium	0.88
Total Phosphorus	0.71
Digestible phosphorus <sup>1</sup>	0.43
Calcium	0.03
Starch	6.45

536 Digestibility coefficient (STTD, %) applied to the value of total phosphorus, obtained in the  
 537 NRC (2012) for DDGS containing between 6 and 9% ether extract<sup>2</sup>.

538

539 Table 3 – Characterization of the amino acid (AA) profile of DDGS for pigs, in natural matter

Amino acids	AA <sup>t1</sup> (%)	CDIE <sup>2</sup> (%)	Digestible AA (%)
Lysine	0.882	61	0.538
Methionine	0.546	82	0.448
Cystine	0.553	73	0.404
Threonine	1.070	71	0.760
Tryptophan	0.224	71	0.159
Arginine	1.247	81	1.010
Valine	1.399	75	1.049
Isoleucine	1.018	76	0.774
Leucine	3.152	84	2.648
Histidine	0.780	78	0.608
Phenylalanine	1.343	81	1.088
Alanine	2.045	79	1.616
Glycine	1.178	64	0.754
Serine	1.358	77	1.046
Proline	2.450	74	1.813
Ac. Aspartic	1.809	69	1.248
Glutamic Ac.	5.852	81	4.740

540 AAt: total amino acids; SIDC: standardized ileal digestibility coefficients;

541 <sup>1</sup> Values determined by obtaining spectrum in EVONIK's NIRS; <sup>2</sup> Obtained from NRC (2012),

542 considering DDGS containing from 6 to 9% fat.

543 Table 4 - Energy values, digestibility and metabolizability coefficients and ME:DE ratio of  
 544 DDGS for finishing pigs in natural matter.

Item (kcal/kg)	Values Obtained
Gross Energy	4,500
Digestible energy (DE)	3,360
Metabolizable energy (ME)	3,223
Net energy	2,203
DCGE (%)	74.67
MCGE (%)	71.62
ME:DE Ratio	0.96

545 DCGE: digestibility coefficients of gross energy; MCGE: metabolizability coefficients of gross  
 546 energy.

547 Table 5 - Energy values, coefficients and ME:DE ratio of DDGS for finishing pigs fed with  
 548 increasing levels, in natural matter.

Item	% of DDGS replacement			
	0	10	20	30
GE (Kcal/kg)	3878.01	3971.48	4037.78	4109.92
DE (Kcal/kg)	3458.04	3497.74	3557.00	3445.36
ME (Kcal/kg)	3371.72	3401.24	3423.98	3309.13
DCGE (%)	89.17	88.07	88.09	83.83
MCGE (%)	86.94	85.64	84.80	80.52
ME:DE	0.98	0.97	0.96	0.96

549 DE: Digestible energy; ME: Metabolizable energy

550

551 Table 6 – Performance (kg) of finishing pig (70-100 kg) submitted to diets with different levels  
 552 of DDGS

	DDGS levels (%)					MSE	<i>P</i> - Anova
	0	7.5	15	22.5	30		
Initial weight	70.41	70.64	70.31	70.43	70.43		-
DWG	0.92	0.92	0.92	0.92	0.87	0.017	0.43
DFC	2.66	2.67	2.72	2.71	2.54	0.038	0.47
FC	2.92	2.96	2.97	2.95	2.93	0.032	0.97

553 DWG: Daily weight gain; DFC: Daily feed consumption; FC: Feed conversion; MSE: Mean  
 554 standard error.

555 Table 7 – Blood biochemical parameters of finishing pigs (70-100 kg) submitted to diets with  
 556 different levels of DDGS

Item (mg/dl)	DDGS levels (%)					MSE	<i>P</i> - Anova
	0	7.5	15	22.5	30		
Cholesterol	71.13	69.10	72.76	71.29	70.33	0.948	0.71
HDL	48.81	48.63	49.53	51.27	51.63	0.624	0.78
LDL	84.31	85.74	85.90	83.50	81.00	0.893	0.54
Triglycerides	58.53	36.73	41.44	39.54	44.78	3.813	0.6
Total proteins	2.24	2.21	2.24	2.16	2.13	0.029	0.19
Urea	26.40	27.44	27.69	26.69	30.00	0.838	0.41

557 MSE - Mean standard error;



558 Table 8 – Characteristics of finishing pig carcasses (70-100 kg) submitted to feeds with different  
 559 levels of DDGS

Item	DDGS levels (%)					MSE	P - Anova
	0	7.5	15	22.5	30		
CR (%)	83.16	82.97	83.09	82.68	82.79	0.188	0.44
CL (cm)	83.33	82.23	84.38	84.25	83.30	0.426	0.52
BT (mm)	13.79	13.67	13.64	13.84	13.23	0.330	0.69
MD (mm)	63.53	64.81	63.12	64.08	63.87	1.168	0.99
LMY (%)	58.36	58.08	58.40	58.43	58.71	0.238	0.53
T45 (°C)	29.16	29.28	28.78	29.83	29.35	0.248	0.60

560 MSE - Mean standard error; CY: Carcass Yield; CL: Carcass length; BT: Belly thickness; MD:  
 561 Muscle depth of *Longissimus dorsi*; LMY: Lean meat yield; T45: carcass temperature measured  
 562 45 minutes after slaughter;

563 Table 9 - *Longissimus dorsi* muscle meat quality of finishing pigs (70-100 kg) subjected to diets  
 564 with different levels of DDGS

Item	DDGS (%)					MSE	P - Anova
	0	7.5	15	22.5	30		
pH 45 min	6.32	6.36	6.41	6.29	6.39	0.037	0.81
pH 24 h	5.39	5.38	5.44	5.40	5.45	0.028	0.45
LLR <sup>8</sup> (%)	3.89	3.79	4.12	3.86	4.12	0.093	0.42
LLD <sup>9</sup> (%)	3.33	3.36	3.49	3.48	3.85	0.203	0.42
LLT <sup>10</sup> (%)	7.58	6.50	8.70	8.24	9.46	0.502	0.73
LLC <sup>11</sup> (%)	30.29	32.10	34.60	32.23	33.13	0.704	0.83
SF <sup>12</sup>	5.78	5.65	5.41	5.27	5.50	0.24	0.21
L	58.36	58.55	58.40	58.38	58.71	0.244	0.88
a*	8.90	8.75	9.01	8.39	9.00	0.144	0.63
b*	4.05	4.16	4.73	4.14	4.28	0.126	0.76

565 MSE - Mean standard error; LLR: Liquid loss by cooling; LLD: Liquid loss by dripping; LLT:  
 566 Liquid loss by thawing; LLC: Liquid loss by cooking; SF: Shearing force; L: Luminosity; a\*:  
 567 red-green component; b\*: yellow-blue component.

568 Table 10 – Variables related to the evaluation of the belly cut (in natura) of finishing pigs (70-  
569 100 kg) submitted to diets with different levels of DDGS.

Item	DDGS (%)					MSE	<i>P</i> - Anova
	0	7.5	15	22.5	30		
Weight (kg)	3.76	3.74	3.41	3.75	3.68	0.082	0.78
Length (cm)	45.23	45.58	45.90	45.97	45.03	0.468	0.99
Width (cm)	20.90	20.76	19.03	19.78	19.71	0.256	0.06
Flop (cm)	23.20	23.45	22.10	22.99	22.83	0.297	0.57
Thickness (cm)	4.44	4.39	4.23	4.25	4.34	0.044	0.27

570 MSE – Mean standard error.

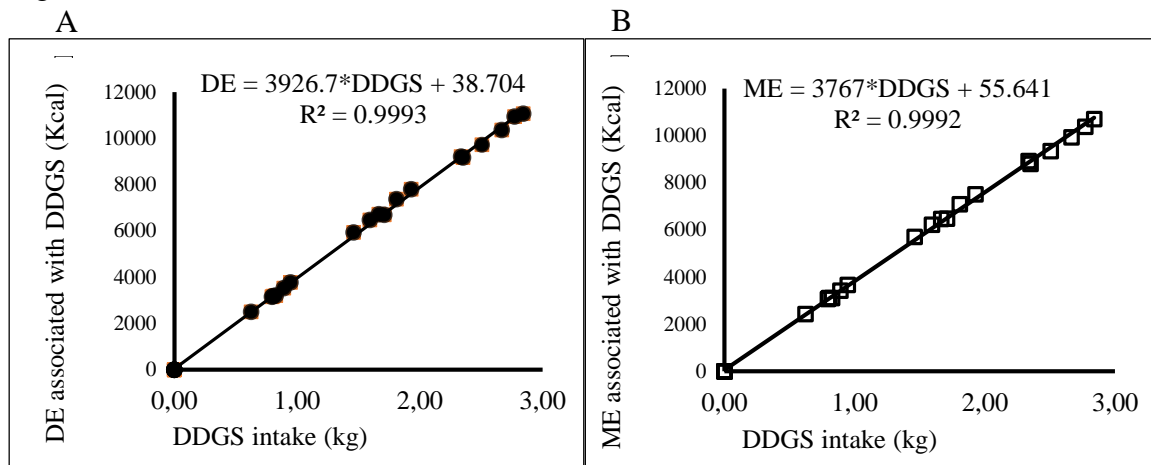
571 Table 11- Effect of feeding with increasing inclusion levels of DDGS in the fatty acid profile  
 572 of the fat obtained in the belly of pigs slaughtered at the finishing phase.

Acid	DDGS (%)					MSE	P - Anova	P - Regression
	0	7.5	15	22.5	30			
Lauric	0.25	0.26	0.23	0.26	0.25	0.01	0.882	-
Myristic	3.37	3.37	3.12	3.63	3.36	0.14	0.576	-
Palmitic	41.04	41.10	38.96	41.27	40.50	0.75	0.649	-
Palmitoleic	0.09	0.21	0.23	0.20	0.19	0.01	0.042	<0.01(Q) <sup>1</sup>
Margaric	0.04	0.08	0.03	0.04	0.02	0.02	0.141	-
Stearic	10.75	10.86	10.87	10.64	11.23	0.38	0.613	-
Oleic	34.60	33.54	34.47	33.27	32.79	0.64	0.070	-
Linoleic	8.81	9.77	11.16	9.88	10.81	0.72	0.102	-
Arachidonic	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.564	-
Linolenic	0.41	0.45	0.51	0.43	0.46	0.04	0.586	-
Gadoleic	0.32	0.27	0.36	0.32	0.34	0.03	0.409	-
Eicosanoic	0.18	0.15	0.12	0.13	0.18	0.05	0.822	-
Eicosatrienoic	0.08	0.08	0.11	0.08	0.01	0.01	0.163	-
Mufa	34.69	33.54	34.47	33.27	32.79	0.64	0.085	-
Pufa	9.80	10.73	12.26	10.84	11.79	0.79	0.114	-
Saturated	55.51	55.74	53.27	55.90	55.42	1.02	0.891	-

573 MSE – Mean standard error; Mufa: monounsaturated; Pufa: Polyunsaturated; Q: quadratic.

574 <sup>1</sup>Palmitoleic acid = -0.00039456\*DDGS<sup>2</sup>+ 0.01448\*DDGS + 0.1011, R<sup>2</sup>=0.71; DDGS for the  
 575 first derivation = 18.35%; Estimated response = 0.234.

576 Figure 1.



577

578 **Figure captions**

579

580 Figure 1. (A) Digestible energy (DE) and (B) metabolizable energy (ME) of DDGS, obtained  
581 from the consumption of DE and ME associated with DDGS in relation to the consumption of  
582 DDGS at each level of inclusion, in dry matter.

583 **Adjustment of prediction equations for the metabolizable energy of DDGS**  
584 **for pigs**

585 Suelen Maria Einsfeld<sup>a\*</sup>, A. E. Murakami<sup>a</sup>, J. S. Martins<sup>a</sup>, A. C. de Figueiredo<sup>a</sup>,  
586 P. C de Oliveira<sup>a</sup> and P. C. Pozza<sup>a</sup>

587 *<sup>a</sup>Department of Animal Science, Maringá State University, Colombo Avenue, Zip Code 87020-*  
588 *900, Maringá, Paraná State, Brazil.*

589 \*Corresponding author: [suelenmaria2010@hotmail.com](mailto:suelenmaria2010@hotmail.com).

590

591 **Adjustment of prediction equations for the metabolizable energy of DDGS**  
592 **for pigs**

593 **Abstract**

594 The objective of this work was to determine the energy values and chemical composition of  
595 different DDGS samples, as well as to adjust equations to predict the metabolizable energy of  
596 DDGS, for finishing pigs, using chemical composition variables as regressors. A digestibility  
597 test was performed with 44 castrated male pigs of commercial lineage (Landrace X Large White  
598 X Pientrain), with an initial average weight of  $80 \pm 1.25$  kg, distributed in ten treatments (10  
599 different DDGS), four replicates and one animal per experimental unit. DDGS replaced the  
600 reference feed by 20%. The experiment lasted 12 days, seven days of adaptation and five days  
601 of feces and urine collection. After determining the chemical and energetic composition of  
602 DDGS, the prediction equations for ME were adjusted. The simple and multiple linear  
603 regression procedure was adopted, as well as the Indirect Elimination (Backward) technique.  
604 The digestible and metabolizable energy values of DDGS ranged from 3853 to 4664 kcal/kg  
605 DM and 3755 to 4506 kcal/kg DM, respectively. The best-fit equation to estimate the ME of  
606 DDGS for finishing pigs was  $ME = 10368.9 - 192.561 * CP + 481.541 * CF - 101.953 * NDF -$   
607  $119.236 * EE - 112.994 * A$  ( $R^2 = 0.38$ ).

608 **Keywords:** Backward; digestibility coefficients; chemical composition

609 **Bulleted Highlights**

- 610 • *There is variation in the chemical composition between of DDGS analysed*  
611 • *There are no differences between the samples analyzed to the crude energy digestibility*  
612 *and metabolizability coefficients, even with a high variation in the EE concentration of the*  
613 *samples*



- 614 • *ME of DDGS presented a positive correlation with EE, CF, ADF, MM and Sta, and*  
615 *negative correlation with CP and NDF*

## 616 **Introduction**

617 The expansion of ethanol production as a fuel source increased the amount of co-products of  
618 cereal fermentation as possible alternative ingredients in animal feed. As a result, distiller's  
619 dried grains with solubles (DDGS) have been increasingly used in the production of non-  
620 ruminants, presenting a good cost/benefit ratio to producers.

621 Some factors such as the quality and type of raw material used (Silva et al., 2016) and  
622 the processing methods used (Brito et al., 2008) may provide variations in the nutritional  
623 composition of DDGS. The energy values presented in the literature show varied results of ME  
624 for DDGS, possibly due to differences in nutritional composition of the raw material,  
625 processing methods, quantities of solutions added to the distillate grains and analytical  
626 parameters used for bromatological analyses (Liu, 2011).

627 Thus, attention should be paid to the nutritional quality of this ingredient, since it can  
628 present great variation of nutrients in its composition, which can directly influence the ME  
629 values.

630 Therefore, several studies have been carried out to characterize the energy value of  
631 DDGS for pigs (Cozannet et al., 2010; Li et al., 2015; Kerr et al., 2013; Cristobal et al., 2020),  
632 obtained through direct methods, with digestibility tests. However, energy values can also be  
633 obtained by indirect methods, which use prediction equations to estimate the energy value of a  
634 food (Esteves, 2015).

635 Prediction equations provide an energy value that is more adaptable to variation between  
636 modern DDGS sources than published values, while eliminating the need for in vivo assays,  
637 which are costly and time-consuming, for each DDGS source to be used in feed formulations  
638 (Meloche et al., 2013).

639 Thus, the use of energy prediction equations, based on chemical composition, can be a  
640 useful tool in evaluating new ingredients, such as DDGS (Cozannet et al., 2010; Meloche et al.,  
641 2013; Yang et al. 2019).

642 Thus, the objective of this work was to determine the chemical composition and energy  
643 values of different DDGS samples, as well as to adjust equations for predicting the  
644 metabolizable energy of DDGS for finishing pigs, using chemical composition variables as  
645 regressors.

646

## 647 **Material and methods**

648 The experiment was carried out in the Swine Sector of the State University of Maringá's (UEM)  
649 Iguatemi Experimental Farm (Fei), in the Animal Nutrition Laboratory (LANA/UEM) of the  
650 Department of Animal Science and in the Research Support Centers Complex  
651 (COMCAP/UEM). The experimental procedures were previously approved by the UEM  
652 Animal Use Ethics Committee - CEUA/UEM (n° 3339180919).

653 Forty-four pigs, castrated males, with an average initial weight of  $80 \pm 1.25$  kg, housed  
654 individually in similar metabolism cages, as described by Pekas (1968), were used. The animals  
655 were distributed in an experimental design of randomized blocks, consisting of ten treatments  
656 and four replications. The temperature was partially controlled with the aid of air conditioning  
657 throughout the experimental period.

658 The reference feed (Table 1), based on corn and soybean meal (0% DDGS), was  
659 formulated to meet the nutritional requirements of pigs between 70 and 100 kg live weight, as  
660 recommended by Rostagno et al. (2017). Ten different DDGS parts from distillery industries  
661 were used, which replaced the reference feed by 20%.

662 The feeding and collection of feces and urine were performed according to the  
663 methodologies described by Sakomura and Rostagno (2016). Feed intake was established based  
664 on metabolic weight ( $P^{0.75}$ ) and feeding was divided into approximately 60% in the morning  
665 and 40% in the afternoon (the proportion obtained based on feed intake between morning and  
666 afternoon during the adaptation period). The feeds were moistened with water, in 10% of the  
667 feed supplied, to avoid waste, reduce dustiness and improve acceptability. After each meal,  
668 water was supplied in the feeder itself in the proportion of three ml of water/g of feed, to avoid  
669 excessive water consumption and compromising feed consumption.

670 The experimental period lasted 12 days, with seven days of adaptation to metabolism  
671 cages and feed, and five days of feces and urine collection, which were performed once a day  
672 at 8 am. Ferric oxide ( $Fe_2O_3$ ) was used as the fecal marker to define the beginning and end of  
673 the collection period.

674 The urine, as excreted, was filtered and collected in plastic buckets located at the bottom  
675 of the cage, containing 20 mL of 1:1 HCl to avoid nitrogen volatilization and microorganism  
676 proliferation. At the end of urine collections, an aliquot of 10% of each animal was stored and  
677 frozen ( $-5^{\circ}C$ ) for further analysis.

678 Feces were collected once a day, packed in plastic bags, identified and stored in a freezer  
679 until the end of the collection period. Subsequently, the material was homogenized, dried in a  
680 forced ventilation oven ( $55^{\circ}C$ ) and milled in a knife mill, equipped with a 1 mm sieve.

681 The gross energy (GE) of the experimental diets, feces and urine, were determined at  
682 the Research Support Centers Complex – COMCAP, by means of an adiabatic calorimeter (Parr  
683 ® Instrument Co. AC6200), following the procedures described by Silva and Queiroz (2005).  
684 DDGS was analyzed for dry matter content (DM, method 930.15), crude protein (CP, method  
685 990.03), fat (EE, method 920.39) and crude fiber (CF, method 978.10) according to

686 methodologies described by AOAC (2006). The values of ME, DE, DCGE, MCGE and ME:DE  
687 of the 10 different DDGS were determined.

688 The DCGE and MCGE of the different DDGS were submitted to variance analysis and  
689 subsequently evaluated by Tukey's test at a 5% probability level.

690 The adjustment of the prediction equations of the ME values was performed after the  
691 chemical composition was determined and the ME values of DDGS were obtained. The simple  
692 and multiple linear regression procedure was adopted, as well as the Indirect Elimination  
693 (Backward) technique. The Statistical and Genetic Analysis System - SAEG of the Federal  
694 University of Viçosa - UFV, (2007) was used to perform the statistical procedures.

695

## 696 **Results**

697 The DDGS analyzed presented variations in the chemical composition (Table 2), and the largest  
698 variations were observed for the values of Ca and EE, which vary from 0.01 to 0.03 and 3.54  
699 to 8.30, respectively. It was also observed that starch ranged from 4.95 to 6.99%, which can be  
700 considered as an expressive amplitude in the case of DDGS.

701 The DE and ME values also presented variations between the DDGS evaluated (Table  
702 3), which are possibly correlated with the variations observed in the chemical composition of  
703 the DDGS in the present study.

704 DDGS 4 presented higher values of GE, DE and ME, 5349, 4108 and 3966 kcal/kg,  
705 respectively, which can be attributed to the higher EE content (8.30%) observed for this DDGS  
706 (Table 2). On the other hand, the lowest EE value (3.54%) was observed for DDGS 3, which in  
707 turn, is the one that presented the lowest GE value (4814 kcal/kg).

708 The crude energy digestibility and metabolizability coefficients showed no differences  
709 ( $P>0.05$ ) between the samples analyzed, even with a high variation in the EE concentration of

710 the samples (8.30 vs. 3.54%). The ME:DE ratio (Table 3) ranged from 0.92 (DDGS 5) to 0.97  
711 (DDGS 2, 4 and 7). The NE concentration variation followed the GE profile, ranging from 1897  
712 to 2394 kcal/kg.

713 The correlation matrix, obtained by adjusting the prediction equations of the  
714 components of the different DDGS, showed that ME presented a positive correlation with EE,  
715 CF, ADF, MM and Sta, and negative correlation with CP and NDF (Table 4). Additionally, CP  
716 presented the highest correlation with ME.

717 When using all chemical composition variables (complete model), only one prediction  
718 equation was adjusted (Table 5), in which GE was the only regressor. When excluding GE,  
719 other predictors were included in the prediction models and the coefficients of determination  
720 increased.

721 The equations adjusted to predict ME, without GE as a regressor and composed of five  
722 chemical composition variables (CP, CF, NDF, EE, and A), provided a coefficient of  
723 determination of 38.06. As the regressors were eliminated from the model, the coefficients of  
724 determination were reduced.

725

## 726 **Discussion**

727 The concentrations of DM and MM ranged from 84.91 to 88.02% and 3.72 to 5.36%,  
728 respectively (Table 2); and are in agreement with those found by Li et al. (2015) for 17 DDGS  
729 samples from different ethanol manufactories. The dry matter content presented a variation  
730 higher than expected, since DDGS is subjected to a dehydration process which, in theory, would  
731 allow greater standardization of the dry matter contents of the co-product. The average P  
732 content observed in this study was similar to the values presented by the NRC (2012), for DDGS

733 with medium and low oil concentration. However, Ca levels were lower than the values found  
734 in the same literature.

735 Starch ranged from 4.95 to 6.99% among the different parts of DDGS. In turn, Kerr et  
736 al. (2013), when evaluating six different DDGS samples, observed a variation of 2.3 to 4.9%.  
737 Variations in DDGS starch contents can be influenced by several factors, but mainly by the  
738 quality of the raw material (Silva et al., 2016). Other factors related to variations in DDGS  
739 starch concentrations are the corn grain starch concentration, harvest time and starch to ethanol  
740 conversion efficiency during the fermentation process, which will allow only a small amount  
741 of starch to be found in DDGS (Corassa et al., 2018).

742 The concentration of starch in DDGS influences the concentration of other nutrients in  
743 the final product (Tsai et al., 2017), such as fiber fractions, clarifying the high values observed  
744 for ADF and NDF, as well as high concentrations of CP and EE in relation to corn.

745 In this sense, it is observed that the concentrations of CF, ADF and NDF showed a  
746 significant variation and still high levels (Table 2), when compared to those presented by Zang  
747 et al. (2017), who observed average percentages of CF, NDF and ADF of 8.2, 34.1 and 11.5,  
748 respectively.

749 The fiber fraction of corn grains is not converted into ethanol and thus the co-products  
750 contain approximately three times more fiber than the raw material, since the high starch  
751 concentration of the raw material is used in the fermentation process. Additionally, Stein and  
752 Shurson (2009) reported that most of the fiber contained in the co-products is insoluble (35%)  
753 and only 6% of the fiber is soluble. Some DDGS with lower fiber content may be related to the  
754 fact that some DDGS-producing mills use a corn grain fiber separation process prior to  
755 fermentation (Silva et al., 2021), which may contribute to the high variation of fibrous fractions  
756 found in different studies with DDGS.

757           However, animals in the finishing phase have greater capacity to use the fiber found in  
758 their diet, probably due to the greater development of the cecum, longer retention time of the  
759 digest and containing a greater number of fermentative bacteria in their digestive tract (Yen et  
760 al., 2004). In addition, the population of cellulitis bacteria is about 6.7 times higher in adult pigs  
761 compared to growing pigs (Castro Júnior et al., 2005).

762           Regarding CP, Anderson et al. (2012) and Kerr et al (2013), when evaluating the  
763 nutritional composition of different DDGS, found mean values of 41.89 and 35.30%, which  
764 were higher than the mean value found in this study (31.06%). As mentioned above, the  
765 chemical composition of DDGS is related to several factors, which will contribute to higher or  
766 lower concentrations of certain chemical compounds, depending on the concentration of the  
767 other chemical constituents of DDGS.

768           Additionally, the amount of condensed distillery solubles added to distillery grains is  
769 one of the factors affecting the chemical composition of DDGS, especially the EE content  
770 (Kingsly et al., 2010). In general, the chemical composition of the DDGS evaluated in this study  
771 is similar to the values presented by Corassa et al (2017), who performed a compilation of the  
772 nutritional compositions of the DDGS presented by several authors. However, the fat contents  
773 found by (Pedersen et al., 2007; Anderson et al., 2012; Kerr et al., 2013; Li et al., 2015; Wu et  
774 al., 2016) ranged from 8.63 to 11.62%. However, the EE values found in this study characterize  
775 the DDGS evaluated by the NRC (2012), as low (near and below 4%) and average (6 and 9%)  
776 concentrations of EE.

777           The variations in the composition of DDGS observed in this work (Table 2) may be  
778 associated with the different manufacturing processes in each mill, and related to the different  
779 models of equipment used, production flow, drying, soluble addition and the centrifugation  
780 period for oil extraction, among other steps performed distinctly in mills producing corn DDGS  
781 (Gica et al., 2021).

782           Among these factors, variation in DDGS composition caused by processing is  
783 considered more important than the variation in the corn's composition (Belyea et al., 2004),  
784 because the oil extraction process drastically alters the oil content of the DDGS, further altering  
785 the concentration of protein and fiber (Saunders and Rosentrater, 2009; Liu and Rosentrater,  
786 2012), also influencing the GE and DE concentrations of DDGS (Graham et al., 2014).

787           The GE, DE, ME, NE estimate, DCGE and MCGE levels of the GE, and the DE/ME  
788 ratio showed variations among the evaluated DDGS. It is known that the chemical composition  
789 of the ingredients is correlated with the energy content (Fries-Craft and Bobeck, 2019) which  
790 can be observed in this work, since the chemical and energetic compositions varied significantly  
791 among the DDGS evaluated.

792           The GE, DE and ME of the DDGS is equal to or higher than that of corn and, although  
793 energy concentrations vary considerably among the samples evaluated in this study (Table 3),  
794 the DE and ME values are high in relation to corn, as proposed by Rostagno et al. (2017).  
795 However, the NE values of the DDGS, estimated by the equation described by Noblet et al.  
796 (1994), are lower than those of corn, possibly because they have higher crude protein and fiber  
797 contents and lower starch concentration (NRC, 2012; Harris, 2014).

798           Even with the variations observed in the chemical composition and energy values, corn  
799 DDGS is a potential food to be used in feed for finishing pigs but, according to Corassa et al.  
800 (2018), the chemical composition must be analyzed before use in animal feed, because the  
801 greater the accuracy in the chemical composition and ME values of the DDGS to be used, the  
802 more accurate the diet formulation, optimizing the nutritional and economic value of DDGS in  
803 feeding pigs.

804           The correlation matrix (Table 4), obtained by adjusting the ME prediction equations,  
805 showed negative correlations of ME with NDF and CP. Similarly, the highest DCGE and



806 MCGE were observed for DDGS 8, which presented reduced values of NDF (32.88%) in  
807 relation to the average of the DDGS evaluated.

808 The fibers present in DDGS can directly influence digestive physiology, due to the  
809 interaction of the fibers with the intestinal microbiota, increased food passage and consequently  
810 reduced digestibility of the fibrous portions with less efficiency of energy use (Bindelle et al.  
811 2008; Albuquerque et al., 2011). Additionally, high fiber concentrations can increase acid  
812 detergent insoluble nitrogen, further causing a reduction in ileal nitrogen digestibility due to the  
813 lack of fibrolytic enzymes (Bottger and Sudeum, 2017).

814 CF and ADF showed a positive correlation with ME, which was generally not expected,  
815 and it should be more precisely evaluated whether the energy intake can be improved through  
816 fermentation of these fibrous fractions in the large intestine, and the production of volatile fatty  
817 acids (Kerr and Shurson, 2013).

818 EE and Sta also showed a positive correlation with ME (Table 4), which may be related  
819 to the higher rate of nutrient utilization caused by the presence of lipids, since higher  
820 concentrations of lipids in distillery grains reduce gastric emptying, which decreases the  
821 passage rate, allowing longer time for digestion (Curry et al., 2014).

822 Starch is characterized by high levels of DE and ME, reaching 3594 and 3533 kcal/kg  
823 DM, respectively (Rostagno et al. 2017), and its digestibility is related to the variation in the  
824 amylose:amylopectin ratio, food processing and physicochemical properties, such as  
825 gelatinization and retrogradation. The higher the proportion of amylopectin in the food, the  
826 greater its digestibility, since amylopectin consists of branches that have greater exposure to  
827 enzymes in the small intestine than amylose, which is a single and linear filament (Denardin  
828 and Silva, 2009; Noal and Dernadin, 2015).

829 The prediction equations have been widely used to determine the values of DE and ME  
830 for swines fed with diets that contain alternative ingredients (Anderson et al., 2012; Li et al.,  
831 2015), mainly given the great variation in the composition of these ingredients of vegetal origin.

832 Therefore, the use of such equations can substantially reduce the need for long and  
833 costly metabolism tests, improve the prediction of the estimation of energy values, maximize  
834 the use of data obtained through routine laboratory analysis and reduce costs, but these  
835 equations must be robust (Urriola et al., 2014).

836 Some researchers such as Just (1982) recommended the use of ME instead of DE as a  
837 unit of energy and the use of regression equations as a tool in the evaluation of energy value.

838 Thus, a series of prediction equations were generated for the ME content of corn DDGS  
839 (Table 5). The equation that presented the highest  $R^2$  was adjusted using more chemical  
840 composition variables as regressors (Table 5), represented by equation  $ME (Kcal/kg DM) =$   
841  $10368.9 - 192.561*CP + 481.541*CF - 101.953*NDF - 119.236*EE - 112.994*A$  ( $R^2 = 38.06$ ).

842 The choice of regressors to be used in the equation, by the level of significance  
843 (statistically) and not randomly, allows more reliable results (Souza et al., 2016). The equations  
844 shown in table 5, despite presenting low  $R^2$ , which indicates low adherence of the equations to  
845 the observed values of ME, can be used as a tool in the evaluation of the energy value of DDGS,  
846 after validation procedures.

847 Similarly, Li et al. (2015) adjusted several prediction equations, among them the best-  
848 fit equation for the 25 DDGS used was  $ME (kcal/kg DM) = 1,554 - 44.11*NDF \% + 0.77*GE$   
849  $\% - 68.51*MM\%$ ,  $R^2 = 0.84$ .

850 Several validation studies have shown good predicted results in relation to those  
851 observed when evaluating equations with low coefficients of determination, but which were  
852 adjusted for a single food (Ferreira et al. 2018). Additionally, DDGS is subjected to a thermal  
853 processing that, depending on the intensity of the temperature and exposure time, can form

854 compounds that impair the use of some nutrients (Cozannet et al., 2010; Bottger and Sudeum,  
855 2017), providing variations in the ME concentrations of different DDGS, even in the same  
856 producing mill.

857 Thus, there is another source of variation that is not only related to the chemical  
858 composition, which can influence the DE and ME values, which can contribute to obtaining the  
859 low  $R^2$ .

860 In a study carried out by Anderson et al. (2012), to determine and predict the values of  
861 digestible and metabolizable energy from the chemical composition of DDGS for pigs in the  
862 finishing phase, it is observed that the prediction equations of the ME values presented  $R^2$   
863 ranging from 0.46 to 0.99. The authors also observed that the use of DE as a regressor in ME  
864 prediction models provided higher values of  $R^2$ .

865 However, Wu et al (2016), when evaluating the effect of four different DDGS for  
866 growing and finishing pigs, used the prediction equation with the highest  $R^2$  adjusted by  
867 Anderson et al. (2012), and that DE was used as a regressor  $ME = -261 + 1.05*DE - 7.89*CP$   
868  $+ 2.47*NDF - 4.99*EE$  ( $R^2=0.99$ ), to determine the ME of DDGS.

869 In general, the prediction equations that have DE as a predictor have higher coefficients  
870 of determination and, according to Oliveira (2019), the high correlation of DE with ME  
871 highlights the importance of this regressor in explaining the values of ME in foods for pigs.  
872 However, the use of DE in the prediction model may not be feasible, since such a value must  
873 be known to provide an adequate prediction of ME and, therefore, only a digestibility test can  
874 provide an accurate and precise DE value, which makes it difficult to use equations to predict  
875 the ME values that present DE as a regressor (Oliveira, 2019).

876 It is desirable that the prediction equations have two to four independent variables, since  
877 the use of models with a lower number of regressors can improve the applicability of the  
878 equation (Pozza et al., 2008). Thus, it can be inferred that the equations adjusted in this work

879 have practicality, but there is a need to be evaluated for the accuracy and precision of the  
880 predicted ME values.

### 881 **Conclusion**

882 The digestible and metabolizable energy values of DDGS ranged from 3853 to 4664 kcal/kg  
883 DM and 3755 to 4506 kcal/kg DM, respectively. The equation to estimate the metabolizable  
884 energy of DDGS for finishing pigs, which presented the highest  $R^2$  for corn DDGS was  $ME =$   
885  $10368.9 - 192.561 *CP + 481.541 *CF - 101.953 *NDF - 119.236 *EE - 112.994 *A$  ( $R^2 =$   
886  $38.06$ ).

### 887 *Disclosure statement*

888 No potential conflict of interest was reported by the authors.

### 889 *Ethical approval*

890 The experimental protocol used in this study was approved by the UEM Animal Use Ethics  
891 Committee - CEUA/UEM (nº 3339180919).

### 892 *Data availability statement*

893 The original data of the article are available upon request from the corresponding author.

### 894 **References**

895 Albuquerque DMN, Lopes JB, Klein Junior MH, Merval RR, Silva FES, Teixeira MPF. 2011.  
896 Resíduo desidratado de cervejaria para suínos em terminação [Dehydrated residue from  
897 brewery for pigs in termination]. Arq Bras Med Vet Zootec. 63:465-472. Portuguese.

- 898 Anderson P, Kerr B, Weber T, Ziemer C, Shurson G. 2012 Determination and prediction of  
899 digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to  
900 finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254.
- 901 AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. 18th edn. Association of Official Analytical  
902 Chemist; Arlington, VA, USA.
- 903 Bindelle J, Leterme P, Buldgen A. 2008. Nutritional and environmental consequences of  
904 dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12:69-80.
- 905 Brito MS, Oliveira CFS, Silva TRG, Lima RB, Morais SN, Silva JHV. 2008. Polissacarídeos  
906 não amiláceos na nutrição de monogástricos – Revisão [Non -starch polysaccharides in  
907 monogastric nutrition – review]. *Acta Vet. Bras.* 2:111-117. Portuguese.
- 908 Castro Júnior FG, Moura Camargo JC, Castro AMMG, Budiño FEL. 2005. Fibra na  
909 alimentação de suínos [Fiber in swine feed]. *Bol. Ind. Anim.* 62(3):265-280. Portuguese.
- 910 Corassa A, Lautert IPAS, Silva LL, Souza C. 2018. Uso de DDGS de milho para suínos: uma  
911 breve revisão [Use of corn ddgs for pigs: a brief review]. *Sci. Agrar. Paran.* 17(2):157-164.  
912 Portuguese.
- 913 Cozannet P, Primot Y, Gady C, Métayer JP, Lessire M, Skiba F, Noblet J. 2010. Energy value  
914 of wheat distillers grains with solubles for growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.*  
915 88(7):2382-2392.
- 916 Cristobal M, Acosta JP, Lee SA, Stein HH. 2020. A new source of high-protein distillers  
917 dried grains with solubles (DDGS) has greater digestibility of amino acids and energy, but  
918 less digestibility of phosphorus, than de-oiled DDGS when fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*  
919 98(7):skaa200.

- 920 Curry SM, Navarro D, Almeida FN, Almeida JAS, Stein HH. 2014. Amino acid digestibility  
921 in low-fat distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*  
922 5(27):1-7.
- 923 Denardin C, Silva D. 2009. Starch granules structure and its regards with physicochemical  
924 properties. *Cienc Rural.* 39:945-954.
- 925 Ferreira SL, Vasconcellos RS, Rossi RM, Paula VRCD, Fachinello MR, Huepa LMD, Pozza  
926 PC. 2018. Using near infrared spectroscopy to predict metabolizable energy of corn for pigs.  
927 *Sci Agric.* 75:486-493.
- 928 Gica W, Hai-Long J, Simplisio E. 2021. Effect of Treated Corn Distillers Dried Grains with  
929 Solubles as Dietary Supplement on the Growth and Healthy Performance of Pigs: A Review.  
930 *Asian J Anim Vet Adv.* 7(4):36-48.
- 931 Graham AB, Goodband RD, Tokach MD, Dritz SS, Derouchey JM, Nitikanchana S. 2014.  
932 The effects of medium-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, carcass  
933 traits, and nutrient digestibility in growing–finishing pigs. *J Anim Sci.* 92(2):604-611.
- 934 Harris E. 2014. Effects of dried distillers grains with solubles (DDGS) feeding strategies on  
935 growth performance, nutrient intake, body composition, and lean and fat quality of  
936 immunologically castrated pigs harvested at 5, 7, or 9 weeks after the second Improvest dose  
937 [dissertation]. Minneapolis (MN): University of Minnesota.
- 938 Just A. (1982). The net energy value of balanced diets for growing pigs. *Livest Sci.* 8(6):541-  
939 555.
- 940 Kerr BJ, Dozier WA, Shurson, GC. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains  
941 with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in  
942 growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91(7):3231-3243.

- 943 Kingsly ARP, Ileleji KE, Clementson CL, Garcia A, Maier DE, Stroshine RL, Radcliff S.  
944 2010. The effect of process variables during drying on the physical and chemical  
945 characteristics of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) - Plant scale experiments.  
946 *Bioresour. Technol.* 101(1):193-199.
- 947 Li P, Li DF, Zhang HY, Li ZC, Zhao PF, Zeng ZK, Xu X, Piao XS. 2015. Determination and  
948 prediction of energy values in corn distillers dried grains with solubles sources with varying  
949 oil content for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93(7):3458-3470.
- 950 Liu K, Rosentrater KA, editors. 2012. Chemical composition of DDGS. *Distillers Grains:  
951 Production, Properties, and Utilization*. 1st ed. Urbana (IL): AOCS Publishing.
- 952 Meloche KJ, Kerr BJ, Shurson GC, Dozier WA. 2013. Apparent metabolizable energy and  
953 prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks  
954 from 10 to 18 days of age 1. *Poult. Sci.* 92:3176-3183.
- 955 National research council – NRC. 2012. *Nutrients requirement of swine*. 11th ed. Washington  
956 (DC): National Academies.
- 957 Noal DT, Denardin CC. (2015). Importância da resposta glicêmica dos alimentos na  
958 qualidade de vida. *Rev. Eletr. Farm.* 12(1), 60-78.
- 959 Noblet J, Fortune H, Shi SX. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J.  
960 Anim. Sci.* 72(2):344-354.
- 961 Oliveira ALG. 2019. Adjustment and evaluation of trend and precision of prediction models  
962 of final average weight and feed conversion of pigs in growing and finishing phases  
963 [dissertation] Marechal Cândido Rondon (PR): Western Paraná State University.
- 964 Pekas JC. 1968. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies.  
965 *J. Anim. Sci.* 27:1303-1306.

- 966 Pozza PC, Gomes PC, Donzele JL, Rostagno HS, Pozza MSS, Nunes RV. 2008. Composição  
967 química, digestibilidade e predição dos valores energéticos da farinha de carne e ossos para  
968 suínos [Chemical composition, digestibility and prediction of the energy values of meat and  
969 bone meal for swine]. *Acta Sci. Anim. Sci.* 30(1):33-40. Portuguese.
- 970 Rostagno SH, Albino LFT, Hannas MI, Donzele JL, Sakomura NK, Perazzo FG, Saraiva A,  
971 Abreu MLT, Rodrigues PB, Oliveira RF, Barreto SLT, Brito CO. 2017. Tabelas brasileiras para  
972 aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais [Brazilian tables for birds and  
973 pigs: food composition and nutritional requirements]. 4th ed. Viçosa (MG): UFV. Portuguese.
- 974 Silva BCR, Ton APS, Moreno FLV, Freitas LW. (2021). Uso do coproduto de etanol de milho  
975 na alimentação de aves: Revisão [Use of corn ethanol co-product in bird feeding: review]. *Res.,  
976 Soc. Dev.* 10(4):e15510413891-e15510413891. Portuguese.
- 977 Silva DJ, Queiroz AC. 2005. Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos [Análises  
978 de alimentos: métodos químicos e biológicos]. 3rd ed. Viçosa (MG):UFV. Portuguese.
- 979 Silva JR, Netto DP, Scussel VM. 2016. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em  
980 alimentos e segurança: Revisão [Dry distillery grains with solubles, food application and  
981 safety: review]. *PUBVET.* 10:257-270.
- 982 Statistical Analysis System - SAS.SAS User's Guide: Estatistics. Eletronic version 8.1. Cary:  
983 2007 (CD-ROM).
- 984 Stein HH, Shurson GC. 2009. Board-invited: review. The use and application of distillers  
985 dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87(4):1292-303.
- 986 Tsai T, Dove CR, Cline PM, Ousu-Asiedu A, Walsh MC, Azain M. 2017. The effect of  
987 adding xylanase or  $\beta$ -glucanase to diets with corn distillers dried grains with solubles



- 988 (CDDGS) on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs. *J. Anim. Sci.*  
989 88:2084-2091.
- 990 Universidade Federal de Viçosa. 2007. Manual de utilização do programa SAEG (Sistema  
991 para análises estatísticas e genéticas) [SAEG Program Use Manual (System for Statistical and  
992 Genetic Analysis System)]. Viçosa (MG): UFV. Portuguese.
- 993 Urriola PE, Li M, Kerr BJ, Shurson GC. 2014. Evaluation of prediction equations to estimate  
994 gross, digestible, and metabolizable energy content of maize dried distillers grains with  
995 solubles (DDGS) for swine based on chemical composition. *Anim. Feed Sci. Technol.*  
996 198:196-202.
- 997 Wu F, Johnston LJ, Urriola PE. 2016. Evaluation of NE predictions and the impact of feeding  
998 maize distillers dried grains with solubles (DDGS) with variable NE content on growth  
999 performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Anim Feed Sci and Tech.*  
1000 215:105-116.
- 1001 Yen JT, Varel VH, Nienaber JA. 2004. Metabolic and microbial responses in western  
1002 crossbred and Meishan growing pigs fed a high-fiber diet. *Anim. Sci.* 82:1740-1755.
- 1003 Zeng ZK, Shurson GC, Urriola PE. 2017 Prediction of the concentration of standardized ileal  
1004 digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with  
1005 solubles for growing pigs: A meta-analysis approach. *Anim. Feed Sci. Technol.* 231:150-159.

1006 Table 1. Centesimal, energetic and chemical composition of the reference feed

Ingredients	Quantity (g kg <sup>-1</sup> )
Corn	843.4
Soybean meal (45%)	103.0
Dicalcium phosphate	9.00
Soybean oil	18.0
Limestone	6.50
Vit and Min Supplement <sup>1</sup>	4.00
Common salt	0.94
L-Lysine HCL	5.08
L-Threonine 98.5%	1.70
L- Tryptophan 98.0%	0.62
DL- Methionine 99.0%	1.31
Sodium bicarbonate	4.73
Antioxidant <sup>2</sup>	0.10
Growth promoter <sup>3</sup>	0.15
Adsorbent <sup>4</sup>	1.50
Analyzed chemical composition (g kg <sup>-1</sup> )	
ME swines (MJ kg <sup>-1</sup> )	14.03
Crude protein	120.0
Available Phosphorus	2.42
Calcium	4.97
Potassium	4.60
Sodium	1.65
Chlorine	1.54

Digestible lysine	8.05
Digestible Met+Cyst	4.92
Digestible Methionine	3.05
Digestible Threonine	5.23
Digestible Tryptophan	1.61

- 
- 1007 1.Quantity/kg diet; vit. A: 30000 IU, vit. D3: 5000 IU, vit. E: 120 IU, vit. K: 5 mg, vit. B12:
- 1008 120 mcg, Niacin: 150 mg, Calcium Pantothenate: 75 mg, Folic Acid: 8 mg, Choline Chloridate:
- 1009 0.48 g, Iron: 350 mg, Copper: 15 mg, Magnesium: 250 mg, Zinc: 0.75 g, Iodine: 10 mg,
- 1010 Selenium: 3 mg. 2.BHT, 3.Enradin, 4.Elitox

1011 Table 2. Chemical composition of the different DDGS, expressed in natural matter

DDGS	DM	CP	CF	NDF	ADF	EE	MM	P	Ca	Sta
1	86.70	32.50	7.46	34.80	15.59	4.53	4.59	0.63	0.03	6.99
2	87.30	32.14	7.26	34.40	13.20	5.63	4.77	0.43	0.02	5.56
3	87.10	31.28	7.29	35.45	14.17	3.54	5.14	0.67	0.03	5.21
4	88.02	29.99	8.58	36.49	16.72	8.30	3.72	0.55	0.02	5.84
5	87.73	31.04	8.75	39.11	16.00	7.15	3.80	0.50	0.01	5.07
6	87.50	29.78	7.69	34.58	14.66	6.26	3.83	0.44	0.02	5.37
7	86.77	30.30	6.87	28.62	14.42	7.40	4.21	0.63	0.02	5.79
8	84.91	30.21	6.75	32.88	13.69	4.07	5.36	0.63	0.02	5.88
9	87.08	32.56	7.95	35.71	15.46	4.52	5.26	0.72	0.03	5.08
10	85.69	30.79	8.48	36.62	13.93	6.70	5.10	0.49	0.02	4.95

1012 DM: Dry Matter; MM: Mineral Matter; CP: Crude Protein; EE: Ethereal Extract; CF: Crude

1013 Fiber; ADF: Acid Detergent Fiber; NDF: Neutral Detergent Fiber; Ca: Calcium; P: Phosphorus;

1014 Sta: Starch.

1015 Table 3. Energy values (kcal kg<sup>-1</sup>), coefficients (%) of gross energy and ME:DE ratio of the  
 1016 different DDGS, in natural matter

DDGS	GE (Kcal/kg)	DE (kcal/kg)	ME (kcal/kg)	NE (kcal/kg)	DCGE (%)	MCGE (%)	ME:DE
1	4850	3696	3467	1989	76.21	71.49	0.94
2	4826	3363	3278	1897	69.68	67.92	0.97
3	4814	3644	3480	2125	80.01	76.43	0.95
4	5349	4105	3966	2394	76.66	74.14	0.97
5	5081	3726	3411	2004	73.34	67.13	0.92
6	5318	4084	3907	2323	76.79	73.47	0.96
7	5348	3866	3773	2239	72.29	70.55	0.97
8	4841	3736	3601	2039	77.17	74.38	0.96
9	4854	3572	3486	1951	73.59	71.83	0.96
10	4971	3702	3549	2037	74.46	71.39	0.96
Mean	5025.2	3749.4	3591.8	2099.8	75.02	71.873	0.956
P-Value	-	-	-	-	0.18	0.34	-
DP (%)	-	-	-	-	5.04	5.42	-

1017 GE: Gross energy; DE: Digestible energy; ME: Metabolizable energy; NE: Net energy; DCGE:  
 1018 digestibility coefficient of GE; MCGE: metabolizability coefficient of GE.

1019 Table 4. Correlation matrix of components of the different DDGS

Item	ME	GE	CP	EE	CF	NDF	ADF	MM	Sta
ME	1.000								
GE	0.536	1.000							
CP	-0.521	-0.842	1.000						
EE	0.331	0.826	-0.631	1.000					
CF	0.046	0.212	-0.150	0.515	1.000				
NDF	-0.194	-0.288	0.137	-0.007	0.806	1.000			
ADF	0.233	0.386	0.170	0.367	0.586	0.367	1.000		
MM	0.331	-0.814	0.641	-0.746	0.356	-0.037	-0.541	1.000	
Sta	0.049	-0.074	0.218	-0.179	0.443	-0.377	0.164	-0.017	1.000

1020 DM: Dry Matter; MM: Mineral Matter; CP: Crude Protein; EE: Ethereal Extract; CF: Crude

1021 Fiber; ADF: Acid Detergent Fiber; NDF: Neutral Detergent Fiber; Ca: Calcium; P: Phosphorus;

1022 Ami: Starch.

1023 Table 5. Intercepts, coefficients of regression and determination of the equations to predict  
 1024 DDGS metabolizable energy (ME) values, adjusted based on the dry matter

---

Equations adjusted using the complete model - GE, CP, EE, CF, NDF, ADF, MM, Sta

---

$$ME=482.876-81.0840 * GE (R^2= 28.75)$$


---

Equations adjusted using - CP, CF, NDF, EE, ADF, MM and Sta

---

$$ME=10368.9-192.561*CP+481.54*CF-101.95*NDF-119.236*EE-112.994*Sta (R^2= 38.06)$$

$$ME=10584.0-168.582*CP-94.614*NDF+392.338*CF-96.8957*EE (R^2= 34.24)$$

$$ME=8888.63-148.140*CP (R^2= 27.10)$$


---

1025 DM: Dry Matter; MM: Mineral Matter; CP: Crude Protein; EE: Ethereal Extract; CF: Crude  
 1026 Fiber; ADF: Acid Detergent Fiber; NDF: Neutral Detergent Fiber; Ca: Calcium; P: Phosphorus;  
 1027 Sta: Starch.

## **CLOSING REMARKS**

The results of the nutritional composition infer the distillers' dried grains with solubles as an alternative source to corn and soybean meal, proved to be an excellent protein and energy ingredient.

Diets with levels of up to 30% inclusion of DDGS did not compromise the performance of pigs in the finishing phase, nor the quality of the meat and carcass. Therefore, although the production of DDGS from corn is not very evident in Brazil, its use as an alternative ingredient for the formulation of diets for pigs proved to be efficient when administered at up to 30% in the diet.

The use of prediction equations is an important tool to determine the energy value of foods, as well as to increase the accuracy in feed formulation processes and to make the necessary adjustments according to the variation of DDGS compositions. The regression equations adjusted in this study can be used as a tool in the evaluation of the ME value of DDGS, but they need to be evaluated for the accuracy and precision of the predicted ME values.