

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Coprodutos de destilaria de milho: valor nutricional e efeitos na alimentação de
suínos em crescimento e terminação

Vinicius Ricardo Cambito de Paula

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

Piracicaba
2021

Vinicius Ricardo Cambito de Paula
Zootecnista

**Coprodutos de destilaria de milho: valor nutricional e efeitos na alimentação de suínos em
crescimento e terminação**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **URBANO DOS SANTOS RUIZ**

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

Piracicaba
2021

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

Paula, Vinicius Ricardo Cambito de

Coprodutos de destilaria de milho: Valor nutricional e efeitos na alimentação de suínos em crescimento e terminação / Vinicius Ricardo Cambito de Paula. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011 - - Piracicaba, 2021.

83 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Ácidos graxos 2. Coprodutos do etanol 3. DDGS 4. Digestibilidade ileal
I. Título

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha família, Regina M. Cambito, Terezino G. C. de Paula, João Paulo C. Fraga, Romeu L. Fraga Junior, Fabiano R. M. de Paula, Mylena C. S. de Paula, Zulmira S. Cambito e Genésio Cambito (*in memoriam*).

À minha companheira Yohana G. Vieira.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Universidade de São Paulo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Ao meu orientador Professor Doutor Urbano S. Ruiz.

Aos Professores Doutores Carmen J. C. Castillo, José Fernando M. Menten, Marcos L. P. Tse e Fábio E. L. Budiño.

Aos companheiros do grupo de pesquisa Doutora Natália C. Milani, Thais A. C. Vaz, Cândida P. F. Azevedo e Anderson A. Sedano.

Aos estagiários José M. M. Andrade, Hélio Moreira Junior, Raquel Fernandes, Gabriel A. G. Casarotti e Leonardo Granja.

Aos funcionários Gilberto Aliberti, José K. Knapik, Leonilson Ramos e Antonio Carlos Oliveira.

À Professora Doutora Kelley G. S. Wamsley, ao Department of Poultry Science e a Mississippi State University, USA.

Aos amigos Marcos A. Nascimento Filho, Evelyn P. Brito, Shilton R. Cavalcante, Diana Suckeveris e Mailson Alcantara.

As Doutoradas Simone Oliveira, Raquel T. Pereira e Priscila R. dos Santos-Donado.

À todos que de alguma forma contribuíram com esta tese.

BIOGRAFIA

VINICIUS RICARDO CAMBITO DE PAULA, filho de Fabiano Ricardo Messias de Paula e Regina Marcia Cambito, nasceu em Maringá, estado do Paraná, no Brasil, no dia 16 de abril de 1993.

Em fevereiro de 2011 iniciou o curso de Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá, em Maringá, PR, graduando-se em janeiro de 2016, obtendo o título de Zootecnista.

Em março de 2016 iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Botucatu, SP, área de concentração Nutrição e Alimentação Animal. No dia 16 de janeiro de 2018, submeteu-se à banca para defesa da dissertação, e obteve o título de Mestre em Zootecnia.

Em fevereiro de 2018 iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, na Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP. No dia 04 de julho de 2019 foi aprovado no exame de qualificação. De fevereiro a outubro de 2020 realizou estágio no exterior na Mississippi State University, Starkville, MS, Estados Unidos. Em setembro de 2021 submeteu-se à banca para defesa da tese, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

ΕΠÍΓΡΑΦΕ

"The great thing in this world is not so much where we are, but in what direction we are going."

"A child's education should begin at least 100 years before he/she was born."

Oliver Wendell Holmes Jr.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	10
LISTA DE TABELAS	11
1. INTRODUÇÃO	12
REFERÊNCIAS	15
2. COMPARAÇÃO DA ENERGIA DIGESTÍVEL E METABOLIZÁVEL, DO FÓSFORO DIGESTÍVEL E DO CONTEÚDO DE AMINOÁCIDOS DE COPRODUTOS DE DESTILARIA DE MILHO DO BRASIL E DOS ESTADOS UNIDOS, PRODUZIDOS UTILIZANDO A TECNOLOGIA DE SEPARAÇÃO DE FIBRAS PARA SUÍNOS	17
RESUMO	17
ABSTRACT	17
2.1. Introdução	18
2.2. Material e Métodos	19
2.2.1. Experimento 1: Energia e digestibilidade de nutrientes.....	19
2.2.2. Experimento 2: Digestibilidade do fósforo	20
2.2.3. Experimento 3: Digestibilidade dos aminoácidos.....	21
2.2.4. Análise estatística.....	21
2.3. Resultados e Discussão	22
REFERÊNCIAS	26
3. COMPARAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, CONTEÚDO ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DE FONTES DE ÓLEO DE MILHO DE DESTILARIA E ÓLEOS DE SOJA PARA SUÍNOS	43
RESUMO	43
ABSTRACT	43
3.1. Introdução	44
3.2. Material e Métodos	44
3.3. Resultados	45
3.4. Discussão	46
REFERÊNCIAS	48

4. GRÃOS SECOS DE DESTILARIA DE MILHO DE ALTA PROTEÍNA E ADITIVOS MELHORADORES DE DIGESTIBILIDADE EM DIETAS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO.....	53
RESUMO	53
ABSTRACT	53
4.1. Introdução.....	54
4.2. Material e Métodos.....	55
4.2.1. Animais e dietas	55
4.2.2. Desempenho	56
4.2.3. Digestibilidade total aparente	56
4.2.4. Características de carcaça e qualidade de carne	56
4.2.5. Perfil de ácidos graxos.....	57
4.2.6. Viabilidade econômica	58
4.2.7. Análise estatística	58
4.3. Resultados.....	58
4.3.1. Desempenho	58
4.3.2. Digestibilidade total aparente	59
4.3.3. Peso e comprimento de órgãos	59
4.3.4. Características de carcaça e qualidade de carne	60
4.3.5. Perfil de ácidos graxos.....	60
4.3.6. Viabilidade econômica	61
4.4. Discussão	61
REFERÊNCIAS	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83

RESUMO

Coprodutos de destilaria de milho: valor nutricional e efeitos na alimentação de suínos em crescimento e terminação

A presente tese foi dividida em três capítulos e consistiu na avaliação das digestibilidades de nutrientes de coprodutos do milho oriundos da produção de etanol que utilizam esse cereal como matéria-prima, além da avaliação dos efeitos do fornecimento dos coprodutos em dietas de suínos, sobre parâmetros de interesse zootécnico como desempenho, características e qualidade de carne, perfil de ácidos graxos e viabilidade econômica. No primeiro capítulo, avaliou-se as digestibilidades totais aparentes de nutrientes e a metabolizabilidade da energia, pelos métodos da coleta total e do indicador, a digestibilidade total estandardizada do fósforo e as digestibilidades ileais, aparente e estandardizada, dos aminoácidos e da proteína bruta de grãos secos de destilaria de milho com solúveis dos Estados Unidos, de um farelo de milho com solúveis do Brasil e grãos secos de destilaria de milho de alta proteína dos EUA e do Brasil. No segundo capítulo, avaliou-se a composição química e as digestibilidades da energia e do extrato etéreo do óleo extraído dos grãos secos de destilaria de milho produzido no Brasil, em comparação com óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos e com óleos de soja, degomado e refinado. O terceiro e último capítulo consistiu na comparação do desempenho zootécnico, digestibilidade aparente de dietas, características e qualidade de carne, perfil de ácidos graxos e viabilidade econômica de suínos alimentados com uma dieta padrão, composta por milho e farelo de soja, em relação a animais que receberam dietas com inclusões elevadas de grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, 40, 33 e 25%, nas fases de crescimento 1, 2 e de terminação 1, respectivamente. Adicionalmente, as dietas com o coproduto foram suplementadas ou não com um aditivo a base de algas e argila ou a enzima xilanase. Em todos os três estudos adotou-se delineamento em blocos casualizados, totalizando 10 repetições para os experimentos dos capítulos 1 e 2, e 8 repetições por tratamento no capítulo 3. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). No primeiro estudo, não houve diferença ($P > 0,05$) para a digestibilidade dos nutrientes entre os métodos avaliados, e a maioria das digestibilidades dos nutrientes, da energia e dos aminoácidos dos grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil foram maiores ($P < 0,05$) em relação aos demais coprodutos, enquanto os coprodutos norte americanos apresentaram maior digestibilidade total estandardizada do fósforo do que os coprodutos brasileiros. O farelo de milho com solúveis do Brasil foi o coproduto que de forma geral apresentou os menores valores digestíveis. No capítulo 2, o óleo de milho de destilaria do Brasil apresentou menor quantidade de ácido linoleico e maior quantidade de ácido oleico e palmítico que os demais óleos avaliados. O valor de anisidina, o teor de ácidos graxos livres e a acidez das amostras dos óleos de milho de destilaria foram superiores aos dos óleos de soja. A digestibilidade total aparente da energia bruta e o valor de energia digestível não diferiram entre as fontes de óleos. A digestibilidade do extrato etéreo do óleo de milho de destilaria brasileiro foi menor comparada a dos óleos de soja, mas semelhante ao do óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos. No capítulo 3, os animais que receberam as dietas com os grãos secos de destilaria de milho de alta proteína apresentaram pior desempenho, e de forma geral, menor digestibilidade dos nutrientes do que os animais alimentados com a dieta com milho e farelo de soja. Entretanto, os animais que receberam a dieta com o coproduto e a enzima xilanase apresentaram maior ($P < 0,05$) peso vivo final e ganho de peso diário do que os animais alimentados com o coproduto sem aditivos, além de maior comprimento de intestino delgado e grosso. Os suínos que receberam as dietas com os coprodutos apresentaram menor ($P < 0,05$) rendimento de carcaça e quantidade de ácidos graxos saturados no músculo *Longissimus dorsi* comparados aos animais que receberam a dieta a base de milho e farelo de soja. A inclusão dos aditivos nas dietas com os coprodutos não influenciou no custo da dieta por quilograma de peso vivo ganho, mas foram maiores do que na dieta a base de milho e farelo de soja.

Palavras-chave: Ácido graxo, Coprodutos do etanol, DDGS, Digestibilidade ileal

ABSTRACT

Corn distillers co-products: nutritional value and effects on feeding of growing and finishing pigs

The thesis was divided into three chapters and consisted of evaluating the nutrient digestibilities of co-products from the ethanol distillery that use corn as a raw material, in addition to evaluating the effects of suppling co-products in pig diets on parameters of zootechnical interest such as performance, meat characteristics and quality, fatty acid profile and economic viability. In the first chapter, nutrient digestibility and energy metabolizability were evaluated by the total collection method and index method, the standardized total tract digestibility of phosphorus and the apparent and standardized ileal digestibility of amino acids and crude protein of corn distillers dried grains with solubles from the USA, a corn bran with solubles from Brazil and corn high protein distillers dried grains from the USA and Brazil. In the second chapter, the chemical composition and digestibilities of energy and ether extract of corn oil extracted from distillers dried grains from a corn distiller plant from Brazil were evaluated, in comparison with corn distiller oil from USA and with refined and degummed soy oils. The third and last chapter consisted of the comparison of performance, apparent total tract digestibility of diets, meat characteristics and quality, fatty acid profile and economic viability of pigs fed a standard diet, based on corn and soybean meal, to animals receiving diets with high inclusions of corn high protein distillers dried grains, 40, 33 and 25%, in the growing 1, 2 and finishing 1 phases, respectively. Additionally, diets with the co-product were supplemented or not with an additive based on algae and clay or the enzyme xylanase. In all three chapters a randomized block design was adopted, with 10 replications for the experiments in chapters 1 and 2, and 8 replications per treatment in chapter 3. Data were submitted to analysis of variance and means were compared by Tukey's test ($P < 0.05$). In the first chapter, there was no difference ($P > 0.05$) for nutrient digestibility between the evaluated methods, and most nutrient and energy and amino acid digestibilities of high protein distillers dried grains from Brazil were higher ($P < 0.05$) compared to the other co-products, while the North American co-products presented higher standardized total tract digestibility of phosphorus than the Brazilian co-products. Corn bran with solubles from Brazil, in general, had the lowest digestible values. In chapter 2, corn distiller oil from Brazil had a lower amount of linoleic acid and a higher amount of oleic and palmitic acid than the other oils evaluated. The anisidine value, the free fatty acid content and the acidity of the corn distillers oils were higher than those of the soybean oils. The apparent total tract digestibility of gross energy and the digestible energy value of oils did not differ between oil sources. The apparent total tract digestibility of ether extract of the corn distiller oil from Brazil was lower compared to that of the soybean oils, but similar to that of the corn distiller oil from USA. In chapter 3, the pigs fed diets with corn high protein distillers dried grains presented lower performance, and in general, lower nutrient digestibility. However, animals that received the diet with the co-product and the xylanase enzyme had greater ($P < 0.05$) final body weight and daily weight gain and larger length of small and large intestine than animals fed with the co-product without additives. Pigs fed diets with co-products had lower ($P < 0.05$) carcass yield and amount of saturated fatty acids in *Longissimus dorsi* muscle compared to animals fed diet based on corn and soybean meal. The inclusion of additives in the diets with co-products did not influence the cost of the diet per kilogram of gained body weight, but it was greater than the diet based on corn and soybean meal.

Keywords: Ethanol co-products, DDGS, Fatty acid, Ileal digestibility

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química analisada (matéria natural) dos ingredientes, exp. 1, 2 e 3	30
Tabela 2. Composição química e analisada das dietas experimentais (matéria natural), exp. 1	31
Tabela 3. Composição química e analisada das dietas experimentais (matéria natural), exp. 2	32
Tabela 4. Composição química e analisada das dietas experimentais (matéria natural), exp. 3	33
Tabela 5. Ingestão de ração, fezes e urina excretadas, balanço energético e de n das dietas experimentais (MS), e energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e em corrigida para balanço de n (EMn) dos coprodutos de destilaria de milho, determinados pelo método de coleta total, exp. 1	35
Tabela 6. Digestibilidade total aparente (DTA) dos componentes químicos e da energia digestível (ed) dos coprodutos de destilaria de milho (MS) determinada pelo método de coleta total e pelo método do indicador, exp. 1	36
Tabela 7. Digestibilidade total aparente (DTA) e estandardizada (DTE) do P e conteúdo de P digestível aparente e estandardizado dos coprodutos de destilaria de milho (MS), exp. 2.....	37
Tabela 8. Digestibilidade ileal aparente (DIA) da PB e aa dos coprodutos de destilaria de milho, exp. 3	38
Tabela 9. Digestibilidade ileal estandardizada (DIE) da PB e aa dos coprodutos de destilaria de milho, exp. 3 ..	39
Tabela 10. Conteúdo de PB e AA digestível ileal aparente dos coprodutos de destilaria de milho (MS), exp. 3 ..	40
Tabela 11. Conteúdo de PB e AA digestível ileal estandardizado dos coprodutos de destilaria de milho (MS), exp. 3.....	41
Tabela 12. Ingredientes e composição química das dietas experimentais (matéria natural).....	50
Tabela 13. Composição química de óleo de milho de destilaria do brasil, óleo de milho de destilaria dos estados unidos, óleo de soja refinado e óleo de soja degomado, matéria natural	51
Tabela 14 - digestibilidade total aparente (DTA) da energia bruta e extrato etéreo e conteúdo de energia digestível (ED, matéria seca) de óleos de destilaria de milho e óleos de soja para suínos	52
Tabela 15. Ingredientes e composição calculada da dieta basal controle (CON) e da dieta com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína (HP-DDG) em diferentes fases (matéria seca)	74
Tabela 16. Desempenho de suínos em fase de crescimento e terminação alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase	76
Tabela 17. Digestibilidade aparente total das dietas (matéria seca) para suínos em fase de crescimento e terminação alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase	77
Tabela 18. Peso relativo e comprimento de órgãos de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação	78
Tabela 19. Características de carcaça de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação	79
Tabela 20. Qualidade de carne de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação	80
Tabela 21. Perfil de ácidos graxos (% do total de gordura) do músculo longissimus dorsi de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação	81
Tabela 22. Custo da ração por quilograma de peso vivo (CRPV), índice de eficiência econômico (IEE) e índice de custo da dieta (ICD) de suínos em fase de crescimento e terminação alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase	82

LISTA DE SIGLAS

AA – Aminoácidos	DDG-XYL – Dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína mais aditivo enzima xilanase
AG – Ácido graxo	DIA – Digestibilidade ileal aparente
AGL – Ácidos graxos livres	DIE – Digestibilidade ileal estandardizada
BRCBS – Farelo de milho com solúveis do Brasil	DSB – Óleo de soja degomado
BRHPDG – Grãos secos de destilaria de milho de alta proteína do Brasil	DTA – Digestibilidade total aparente
CA – Conversão alimentar	DTE – Digestibilidade total estandardizada
CBR – Óleo de milho de destilaria do Brasil	EB – Energia bruta
CBS – Farelo de milho com solúveis	EE – Extrato etéreo
CIA – Cinza insolúvel em ácido	EL – Energia líquida
CON – Dieta controle a base de milho e farelo de soja	EM – Energia metabolizável
CRD – Consumo de ração diário	EPM – Erro padrão da média
CRPV – Custo da ração por quilograma de peso vivo	FDA – Fibra em detergente ácido
CUS – Óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos	FDN – Fibra em detergente neutro
CV – Coeficiente de variação	FST – Tecnologia de separação de fibras
DB – Dieta basal	GPD – Ganho de peso diário
DCO – Óleo de milho de destilaria	HP-DDG – Grãos secos de destilaria de milho de alta proteína
DDG – Grãos secos de destilaria de milho	ICD – Índice de custo da dieta
DDG-ACC – Dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína mais aditivo melhorador de digestibilidade a base de algas e argila	IEE – Índice de eficiência econômica
DDG-PC – Dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína	MM – Matéria mineral
DDGS – Grãos secos de destilaria de milho com solúveis	MS – Matéria seca
	PB – Proteína bruta
	PNA – Polissacarídeos não amiláceos
	PV – Peso vivo
	RSB – Óleo de soja refinado
	TBARS – Substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico
	USDDGS – Grãos secos de destilaria de milho com solúveis dos Estados Unidos
	USHPDG – Grãos secos de destilaria de milho de alta proteína dos Estados Unidos

1. INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis são fontes de energia renovável amplamente difundidos ao redor do mundo. O etanol, umas das principais fontes de biocombustíveis existentes, possui maior teor de oxigênio em sua composição química comparado a gasolina padrão, propiciando uma queima “mais limpa”, com potencial redução de 20 a 50% dos gases do efeito estufa, a depender da fonte. No Brasil, o etanol é usado como combustível desde o ano de 1920, que teve sua produção aumentada e definida a longo prazo a partir do ano de 1975, com a criação do programa Proálcool, devido o elevado preço do petróleo naquele período. Desde então, com as crescentes preocupações sobre a utilização de combustíveis fósseis e seus impactos sobre a mudança climática global, diversos programas internacionais surgiram de modo a apoiar a produção e utilização de combustíveis renováveis, como o Renewable Energy Directive na União Europeia, o Renewable Fuels Standard nos Estados Unidos, e a Política Nacional de Biocombustíveis (Renovabio) no Brasil (Leite e Leal, 2007; Roitman, 2019).

As principais matérias-primas utilizadas para produção de etanol a base de cereais são o trigo, o sorgo, a cevada e principalmente o milho, sendo esse último a principal fonte para essa finalidade em alguns países, como os Estados Unidos (Stein e Shurson, 2009; Urriola et al., 2009; Tres et al., 2014; Schone et al., 2017). Diferentemente, mesmo o Brasil ocupando a terceira posição no ranking mundial na produção de milho, o etanol é produzido comumente da cana de açúcar. Devido aos potenciais da produção de etanol a partir de cereais, como o milho, que também gera coprodutos de alta qualidade de interesse comercial, e em razão de incentivos governamentais, como o próprio Renovabio, essa realidade está mudando no território nacional (Shurson, 2013; SNA, 2014; Ramos, 2017; USDA, 2018; FSB, 2019).

A produção de etanol a partir do milho envolve vários fluxos de processos após a obtenção do próprio etanol, que possibilita a geração de diferentes coprodutos como o farelo de glúten de milho, óleo de milho de destilaria, farelo de gérmen e os grãos secos de destilaria (DDG) ou DDG com solúveis (DDGS; dried distillers grains with solubles). Estima-se que a produção de DDG represente de 20 a 25% da receita total de uma usina produtora de etanol que utiliza o milho como matéria-prima, tornando a comercialização desses coprodutos uma importante fonte de recurso das plantas de destilaria de milho (Rausch e Belyea, 2006; Martin, 2010; Shurson, 2013).

O DDGS produzido nas destilarias a partir do milho possui aproximadamente 27% de proteína bruta, 9% de fibra em detergente ácido, 25% de fibra em detergente neutro e maior concentração e biodisponibilidade de fósforo (0,57 a 0,85%) que os grãos convencionais, além de apresentar 0,6 a 1,1% de lisina (Kim et al., 2008; Ortin e Yu, 2009; Shurson, 2009; Silva et al., 2016). Essas características fazem desse coproduto um interessante ingrediente para constituir as dietas de suínos, que nos Estados Unidos tem seu uso com essa finalidade a mais de 50 anos.

Apesar dessas características, mesmo em países onde sua utilização é mais difundida como ingrediente de ração animal, os coprodutos de destilaria de milho podem apresentar variações em suas composições químicas. Alguns estudos relatam variações consideráveis na composição dos coprodutos oriundos dessa origem, como por exemplo análises de 4.819 amostras de DDGS mostraram variação de 9,4 a 15,7% no conteúdo de gordura (Dairy One Forage Lab, 2011), e no estudo de Cromwell et al. (1993) diferenças de 23,4 a 28,7% no conteúdo de proteína bruta, 28,8 a 40,3% no conteúdo de fibra em detergente neutro, 10,3 a 18,1% no teor de fibra em detergente ácido e 3,4 a 7,3% em cinzas, foram relatados. Essas variações podem surgir em decorrência de diversos fatores, como o tipo de moagem dos grãos no início do processo da produção de etanol, da adição de compostos químicos no processamento para manutenção das condições ótimas ou aumento da fermentação, de tecnologias empregadas no processamento que

otimizam a produção de etanol, e/ou a própria composição química da matéria-prima utilizada, que pode variar a depender da origem de produção (Fastinger e Mahan, 2006; Belyea et al., 2010; Liu e Rosentrater, 2012).

Essas variações intervêm diretamente na utilização desses coprodutos nas rações de suínos, exigindo que suas aplicações sejam feitas sem causar prejuízos no que diz respeito a nutrição de precisão, e para isso análises frequentes de suas composições bromatológicas, bem como o entendimento dos efeitos que o emprego dos mesmos nas rações de não-ruminantes exercem sobre os produtos de origem animal, como a carne, sejam completamente esclarecidos.

Sabendo que no Brasil a produção de etanol ainda há de crescer nos próximos anos, e parte desse crescimento será devido a produção de etanol a partir de usinas instaladas no território nacional que produzem etanol da cana de açúcar e/ou milho, chamadas de usinas “flex”, e que por consequência, os coprodutos desse sistema de produção estarão em maior disponibilidade para os nutricionistas de suínos, e que ainda não há dados suficientes sobre esses ingredientes produzidos no Brasil, essa tese foi elaborada para gerar informações sobre a utilização dos coprodutos de destilaria de milho produzidos no Brasil na nutrição de suínos em crescimento e terminação.

No capítulo 1, foram avaliados em três experimentos as digestibilidades da matéria seca, nutrientes (proteína bruta, fibra em detergente neutro e ácido e extrato etéreo), da energia bruta e os conteúdos de energia digestível e metabolizável de quatro coprodutos de milho oriundos de destilaria, sendo dois do Brasil e dois dos Estados Unidos, para suínos. Os coprodutos avaliados foram produzidos em usinas de destilaria de milho que possuem uma tecnologia de separação de fibras que é empregada no início do processo de produção de etanol, chamada de Fiber Separation Technology (FST). O método visa maior eficiência em produção de etanol e melhoria das características nutricionais dos coprodutos gerados nas usinas. Essas determinações e comparações foram realizadas por meio de dois métodos usuais para determinação de valores digestíveis dos nutrientes de ingredientes para suínos, o método da coleta total e método do indicador. Além disso, foram determinados os conteúdos digestíveis, aparente e estandardizado, do fósforo, e as digestibilidades ileais, aparente e estandardizada, dos aminoácidos e proteína bruta dos coprodutos em suínos.

No segundo capítulo, foram determinados e comparados pela primeira vez a composição química, os indicadores de oxidação, a digestibilidade do extrato etéreo e o conteúdo de energia digestível de um óleo de milho de destilaria produzido no Brasil com um óleo de milho de destilaria produzido nos Estados Unidos e os óleos de soja refinado e degomado, para suínos.

Em posse dos resultados obtidos nos experimentos dos capítulos 1 e 2, e de acordo com resultados de estudos descritos na literatura, objetivou-se avaliar a alta inclusão de DDGS de milho de alta proteína produzido no Brasil em dietas para suínos em fase de crescimento e terminação, em um terceiro estudo. Tendo em vista o perfil nutricional do DDGS, que apresentou quantidade relativamente elevada de fibra, optou-se em avaliar a inclusão de aditivos melhoradores de digestibilidade (complexo de alga e argila e enzima xilanase) nas dietas dos animais, e compara-los com suínos alimentados com uma dieta comum a base de milho e farelo de soja. Foram avaliados os parâmetros de desempenho, digestibilidade dos nutrientes das dietas, comprimento e peso relativo de órgãos, características de carcaça e qualidade de carne, perfil de ácidos graxos e viabilidade econômica de suínos alimentados com um coproduto do etanol de milho associado ou não com os aditivos.

Esse estudo oferece informações exclusivas à respeito do perfil nutricional e características de novos coprodutos da destilaria de milho produzidos no Brasil, a partir de uma nova tecnologia, na alimentação de suínos. Essas informações são essenciais para a atualização precisa das matrizes nutricionais dos ingredientes de fábricas de rações e para a agronegócio. Além disso, a presente tese traz informações sobre os efeitos da utilização desses coprodutos diretamente aos animais, e informações da associação de aditivos que estão disponíveis no mercado.

Compreender os efeitos que esses novos ingredientes bem como os aditivos podem ter na nutrição de suínos são passos importantes para melhoria progressiva da suinocultura global.

Referências

- Belyea, R. L., K. D. Rauschb, T. E. Clevenger, V. Singhb, D. B. Johnstond, and M. E. Tumbleson. 2010. Sources of variation in composition of DDGS. *Anim. Feed Sci. Technol.* 159:122-130.
- Cromwell, G. L., K. L. Herkelman, and T. S. Stahly. 1993. Physical, chemical and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71:679-686.
- Fastinger, N. D., and D. C. Mahan. 2006. Determination of the ileal acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with solubles using grower-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:1722-1728.
- FSB - FS Bioenergia. Relatórios de sustentabilidade. Disponível em: <www.fsbioenergia.com.br/pt-br/sustentabilidade> Acesso em 05 de Junho de 2019.
- Kim, Y., R. Hendrickson, N. Mosier, M. R. Ladisch, B. Bals, V. Balan, and B. E. Dale. 2008. Enzyme hydrolysis and ethanol fermentation of liquid hot water and AFEX pretreated distillers' grains at high solids loadings. *Bioresour. Technol.* 99:5206-5215.
- Leite, R. C. C., and M. R. L. Leal. 2007. O biocombustível no Brasil. *Novos Estudos.* 78:15-21.
- Liu, K., and K. A. Rosentrater. 2012. 1st Ed. *Distillers Grains: Production, Properties, and Utilization.* CRC Press: Boca Raton, FL. 564p.
- Martin, M. A. 2010. First generation biofuels compete. *New Biotechnol.* 27:596-608.
- Dairy One Forage Lab. 2011. Valores acumulados desde el 01/05/2000 hasta el 30/04/2011. Disponible online: <www.dairyone.com> Aceso em 20 de Maio de 2018.
- Ortin, W. G. N., and P. Yu. 2009. Nutrient variation and availability of wheat DDGS, corn DDGS and blend DDGS from bioethanol plants. *J. Sci. Food Agric.* 89:1754-1761.
- Ramos, C. S. Indústrias de etanol de milho criam associação para representar setor. Valor Econômico. São Paulo, 20/09/2017 às 17h54. Disponível em: <www.valor.com.br/agro/5127370/industrias-de-etanol-de-milho-criam-associacao-para-representar-setor> Acesso em 13 de Setembro de 2018.
- Rausch, K. D., and R. L. Belyea. 2006. The future of coproducts from corn processing. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 128:47-86.
- Roitman, T. 2019. Programas internacionais de incentivo aos biocombustíveis e o renovabio. *Boletim Energético. FGV Energia.* Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27829/A27%20coluna_opiniao_3_-_marco.pdf Acesso em: 20/05/2021.
- Rosentrater, K. A. *Distillers grains production, properties, and utilization.* CRC Press: Boca Raton, FL, 2012.
- Schone, R. A., R. V. Nunes, R. Frank, C. Eyng, and L. D. Castilha. 2017. Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte (22-42 dias). *Rev. Ciênc. Agron.* 48:548-557.
- Shurson, G. J. 2013. Pannonia Gold – Seminar on DDGS. November, 14 and 15, 2013. Budapest, Hungary. Disponível em: Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=CR9FwxXhnik> e <https://www.youtube.com/watch?v=3Xpcvo2UmsQ>> Acesso em 05 de Junho de 2019.
- Shurson, G. J. 2009. Analysis of current feeding practices of distiller's grains with solubles in livestock and poultry feed relative to land use credits associated with determining the low carbon fuel standard for ethanol. Department of Animal Science, University of Minnesota. March 25, 2009. Acessado em 10 de outubro de 2018.

- Silva, J. R., D. Peres Netto, V. M. Scussel. 2016. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança: Revisão. PUBVET. 10:257-270.
- SNA. Sociedade Nacional de Agricultura. 2014. Disponível em: <sna.agr.br/capa-agronegocio/> Acesso em 12 de Setembro de 2018.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303.
- Tres, A., S. P. Heenan, and S. Van Ruth. 2014. Authentication of dried distilled grain with solubles (DDGS) by fatty acid and volatile profiling. *Food Sci. Technol.* 59:215–221.
- USDA. United States Department of Agriculture. 2018. World Agricultural Supply and Demand Estimates: Interagency Commodity Estimates Committee Forecasts World. World Agricultural Outlook Board, Charing Agency, 47p. September 12, 2018.
- Urriola, P. E., C. Pedersen, H. H. Stein, and G. C. Shurson. 2009. Amino acid digestibility of distillers dried grains with solubles, produced from sorghum, a sorghum-corn blend, and corn fed growing pigs. *J. Anim. Sci.* 87-1454-1462.

2. COMPARAÇÃO DA ENERGIA DIGESTÍVEL E METABOLIZÁVEL, DO FÓSFORO DIGESTÍVEL E DO CONTEÚDO DE AMINOÁCIDOS DIGESTÍVEIS DE COPRODUTOS DE DESTILARIA DE MILHO DO BRASIL E DOS ESTADOS UNIDOS, PRODUZIDOS UTILIZANDO A TECNOLOGIA DE SEPARAÇÃO DE FIBRAS PARA SUÍNOS

RESUMO: Foram realizados três experimentos (Exp.) para determinar e comparar a digestibilidade dos nutrientes e da energia de grãos secos de destilaria de milho com solúveis (DDGS) dos EUA (USDDGS), de um farelo de milho com solúveis (CBS) do Brasil (BRCBS), e grãos secos de destilaria de milho de alta proteína (HP-DDG) dos EUA (USHPDG) e do Brasil (BRHPDG) em suínos em crescimento. Os ingredientes das rações foram avaliados quanto à digestibilidade total aparente (DTA) da energia bruta (EB), matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro e ácido (FDN e FDA, respectivamente), energia digestível e metabolizável (ED e EM, respectivamente) utilizando os métodos de coleta total e indicador no Exp. 1; DTA e digestibilidade total estandardizada (DTE) do fósforo (P) no Exp. 2; e digestibilidade ileal aparente (DIA) e estandardizada (DIE) da PB e aminoácidos (AA) no Exp. 3. Cinquenta suínos machos castrados mestiços ($32,4 \pm 6,9$ kg, $38,3 \pm 5,2$ kg e $46,2 \pm 5,3$ kg de PV, no Exp. 1, 2 e 3, respectivamente) receberam uma dieta basal no Exp. 1, uma dieta isenta de P no Exp. 2 e uma dieta isenta de N no Exp. 3, ou dietas com 40% de inclusão dos ingredientes testes, totalizando 10 repetições por tratamento. Os animais foram alojados individualmente em gaiolas de metabolismo (Exp. 1) ou em baias (Exp. 2 e 3) e alimentados em quantidade para suprir em 2,8 vezes a exigência de ED de manutenção (110 kcal / kg PV^{0,75}) com base no PV no início de cada experimento. Com exceção da DTA da FDN, que tendeu ($P = 0,058$) a ser maior pelo método do indicador em comparação com o método de coleta total, não foi observada diferença entre os métodos para a DTA dos demais nutrientes e ED. O conteúdo de DTA da MS, EB, FDN e ED do BRHPDG foi maior ($P < 0,001$) do que do USHPDG, BRCBS e USDDGS. A DIA da PB, Arg, His, Ile, Leu, Lys, Thr e Val; e a DIE da His, Leu, Lys, e Val do BRHPDG foram de 8 a 36% maiores ($P < 0,05$) do que os do USHPDG. Exceto para o Trp, todos os valores de DIA e DIE dos AA foram maiores ($P < 0,05$) para o BRHPDG do que o USHPDG. A DTA da MS, EB, FDN e FDA; conteúdo de ED e EM; DIA da PB, Arg, Ile, Leu, Phe, Thr e Trp; e DIE da PB, Arg, Phe e Thr do USDDGS foram 9 a 45% maiores ($P < 0,05$) do que os do BRCBS. A DTA e a DTE do P do USHPDG e USDDGS foram 26 a 42% maiores ($P < 0,05$) do que os do BRHPDG e BRCBS. Em conclusão, o BRHPDG apresentou maior digestibilidade da energia e da maioria dos AA do que o USHPDG, enquanto que o BRCBS avaliado apresentou valor nutricional mais baixo do que o USDDGS.

Palavras-chave: aminoácidos digestíveis, energia digestível, fósforo digestível, grãos secos de destilaria de milho com solúveis, grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, suínos em crescimento

ABSTRACT: Three experiments (Exp.) were conducted to determine and compare the digestibility of nutrients and energy of corn distillers dried grains with solubles (DDGS) from the US (USDDGS), a dried mixture of corn bran with solubles (CBS) from Brazil (BRCBS), and high protein corn distillers dried grains (HP-DDG) from the US (USHPDG) and Brazil (BRHPDG) in growing pigs. The feed ingredients were evaluated for apparent total tract digestibility (ATTD) of gross energy (GE), dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral and acid detergent fiber (NDF and ADF, respectively), digestible and metabolizable energy (DE and ME, respectively) using total collection and index methods in Exp. 1; ATTD and standardized total tract digestibility (STTD) of phosphorus (P) in Exp. 2; and apparent (AID) and standardized (SID) ileal digestibilities of CP and amino acids (AA) in Exp. 3. Fifty crossbred barrows (32.4 ± 6.9 kg, 38.3 ± 5.2 kg and 46.2 ± 5.3 kg BW, in Exp. 1, 2 and 3, respectively) were fed a corn basal diet in Exp. 1, a P-free diet in Exp. 2, and a N-free diet in Exp. 3, or diets with 40% inclusion of test ingredients to provide 10 replications per treatment. Pigs were housed individually in metabolism cages (Exp. 1) or in pens (Exp. 2 and 3) and fed at 2.8 times the maintenance DE requirement (110 kcal / kg BW^{0.75}) based on their BW at the beginning of each experiment. Except for ATTD of NDF, which tended ($P = 0.058$) to be greater by index method compared to total collection method, no difference between methods were observed for ATTD of

remaining nutrients and DE. The ATTD of DM, GE, NDF and DE content of BRHPDG were greater ($P < 0.001$) than USHPDG, BRCBS and USDDGS. The AID of CP, Arg, His, Ile, Leu, Lys, Thr and Val; and the SID of His, Leu, Lys, and Val of BRHPDG were 8 to 36% greater ($P < 0.05$) than those from USHPDG. Except for Trp, all AID and SID AA values were greater ($P < 0.05$) in BRHPDG than in USHPDG. The ATTD of DM, GE, NDF, and ADF; DE and ME content; AID of CP, Arg, Ileu, Leu, Phe, Thr, and Trp; and SID of CP, Arg, Phe, and Thr of USDDGS were 9 to 45% greater ($P < 0.05$) than those in BRCBS. The ATTD and the STTD of P in USHPDG and USDDGS were 26 to 42% greater ($P < 0.05$) compared with BRHPDG and BRCBS. In conclusion, BRHPDG had a greater digestibility of energy and most AA than USHPDG, while the BRCBS evaluated had lower nutritional value than the USDDGS source.

Keywords: corn distillers dried grains with solubles, corn high protein distillers grains, digestible amino acids, digestible energy, digestible phosphorus, growing pigs

2.1. Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, que historicamente tem sido a principal matéria-prima utilizada para a produção de etanol no país, conferindo-lhe a segunda posição mundial na produção desta fonte de energia renovável, que pode substituir os combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa (Manochio et al. 2017; Bordonal et al., 2018; USDA, 2020). Entretanto, novos programas governamentais foram lançados para aumentar a produção e utilização de combustíveis renováveis, incluindo o etanol (EPE, 2019), e isto será parcialmente alcançado através da implementação de novas usinas que produzem etanol a partir do milho.

A produção de etanol a partir de cereais baseia-se na fermentação do amido, e o conteúdo restante dos grãos após a fermentação, é utilizado para produzir diferentes coprodutos, tais como os grãos secos de destilaria (DDG) e DDG com solúveis (DDGS), que são ricos em proteínas, lipídeos e fibras, e são amplamente utilizados em dietas de suínos (Stein e Shurson, 2009; Chatzifragkou e Charalampopoulos, 2018). Contudo, a composição nutricional desses coprodutos pode variar em função de muitos fatores, incluindo a composição nutricional da matéria-prima, bem como a utilização de várias tecnologias aplicadas no processo de produção de etanol e coprodutos (Liu, 2011). Nos Estados Unidos (EUA), a maioria das unidades produtoras de etanol utilizam o milho do tipo dentado como matéria-prima, que contém cerca de 8,24% de proteína bruta (PB), 3,48% de extrato etéreo (EE), 9,11% de fibra em detergente neutro (FDN) e 62,65% de amido (NRC, 2012). Em outras partes do mundo, outras cultivares de milho são cultivadas em diferentes regiões climáticas e tipos de solo, o que resulta em uma composição nutricional diferente. No Brasil, a composição nutricional do milho é de 7,86% de PB, 3,81% de EE, 13,80% de FDN e 63,40% de amido (Rostagno et al., 2017). Além disso, a utilização de diferentes técnicas de processamento pode também afetar as características nutricionais dos coprodutos da destilaria de milho, tais como a distribuição da granulometria do grão moído e processamento e técnicas de secagem (Balat e Balat, 2009; Rho et al., 2017). Portanto, todos esses fatores podem ter efeitos sobre as características nutricionais dos coprodutos produzidos pelas plantas de etanol (Liu, 2011).

Novas tecnologias e métodos de processamento surgiram nas usinas de destilaria de milho, para produzir mais etanol e tipos diversificados de coprodutos. Recentemente, a Tecnologia de Separação de Fibras (Fiber Separation Technology - FST; ICM, Inc., Colwich, KS) foi implementada em algumas usinas comerciais de etanol nos EUA e no Brasil, resultando na produção de novos coprodutos à base de milho. A FST remove a fibra (casca) do grão antes da fermentação do amido de milho para produção de etanol, o que aumenta a quantidade de amido fermentável e a capacidade de produção de etanol através do aumento de álcool produzido. Como resultado, as plantas de etanol têm a capacidade de produzir DDG de alta proteína (HP-DDG), que contém cerca de 40% de PB, assim como o coproduto farelo de milho com solúveis (CBS) (Shurson, 2018).

Estudos recentes avaliando a digestibilidades de HP-DDG produzidos por novas tecnologias de fracionamento, mostraram uma maior digestibilidade dos nutrientes para suínos (Espinosa e Stein, 2018; Cristobal et al., 2020) do que os HP-DDG tradicionais produzidos por tecnologias de fracionamento mais antigas (NRC, 2012). Contudo, não existem dados publicados sobre a digestibilidade da energia e nutrientes dessas novas fontes de coprodutos de etanol produzidos no Brasil utilizando a FST. Sendo assim, considerando as possíveis diferenças na composição química e nos nutrientes e energia digestível dos coprodutos de etanol de milho de diferentes origens e tecnologias de produção, e a importância de avaliar estas características para uma formulação de ração ideal, os objetivos deste estudo foram determinar e comparar o valor nutricional de CBS e HP-DDG de milho produzidos no Brasil (BRCBS e BRHPDG, respectivamente) com DDGS e HP-DDG de milho dos EUA (USDDGS e USHPDG, respectivamente), além de comparar a utilização dos métodos de coleta total e do indicador, para determinação do conteúdo de energia digestível (ED) e de energia metabolizável (EM) em suínos em crescimento.

2.2. Material e Métodos

Os protocolos desse estudo seguiram as diretrizes estabelecidas pelo Conselho Nacional Brasileiro de Experimentação Animal e foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (protocolo número 2017.5.1622.11.6).

Foram importados DDGS de milho convencional e HP-DDG de milho dos EUA (USDDGS e USHPDG, respectivamente; Corn Plus Co-Op & Lllp, Winnebago, MN, EUA) para serem avaliados e comparados com CBS e HP-DDG de milho produzidos no Brasil (BRCBS e BRHPDG, respectivamente; FS Bioenergia Inc., Lucas do Rio Verde, MT, Brasil). O BRCBS foi produzido a partir de farelo de milho derivado de um processo de moagem seletiva seguido da FST, misturado com solúveis condensados de destilaria e posteriormente submetidos a secagem. O BRHPDG foi produzido a partir de milho submetido a moagem seletiva, liquefação, e a FST para remoção da fibra, seguido de fermentação, destilação, decantação e combinado com o conteúdo do sistema de separação de vinhaça fina, antes de ser submetido a secagem. Todos os quatro ingredientes foram analisados para matéria seca (MS; Método 934.01; AOAC, 2006); energia bruta (EB) em calorímetro adiabático (Modelo C5003 Control, IKA-Works, Inc.), Wilmington, NC, US); nitrogênio (N; Método 990.03; AOAC, 2006) para estimativa do teor de PB; FDN e fibra detergente ácido (FDA) de acordo com Van Soest et al. (1991); EE (Método 945.16; AOAC, 2006); cinzas (Método 942.05; AOAC, 2006); cálcio (Ca; Método 968.08; AOAC, 2006); fósforo (P; Método 965.17; AOAC, 2006); e aminoácidos (AA) por cromatografia líquida de alta eficiência (Método 982.30E; AOAC, 2006; Tabela 1).

2.2.1. Experimento 1: Energia e digestibilidade de nutrientes

O Exp. 1 foi realizado para determinar a digestibilidade total aparente (DTA) da MS, EB, PB, FDN, FDA, EE, EB, juntamente com a ED, EM e EM corrigida para o balanço de N ($EM_n \text{ (kcal/kg)} = EM - (5,45 \times \text{balanço de N})$) dos coprodutos da destilaria de milho, e para comparar valores obtidos a partir da utilização do método da coleta total de fezes e do método do indicador para suínos em crescimento, de acordo com Adeola (2001). Cinquenta suínos de linhagem comercial machos castrados ($32,4 \pm 6,9$ kg de peso vivo; PV), foram alojados individualmente em gaiolas metabólicas, semelhantes as descritas por Pekas (1968), em duas rodadas com 25 animais cada. Os suínos foram

distribuídos em um delineamento em blocos casualizados (10 blocos) e alimentados com uma dieta basal de milho (DB, Kerr et al., 2013), ou quatro dietas compostas por 40% de cada ingrediente teste (BRHPDG; USHPDG, BRCBS e USDDGS), em substituição do milho na DB (Tabela 2), totalizando 10 repetições por tratamento. Todas as dietas experimentais foram suplementadas com minerais e vitaminas para atender as exigências nutricionais estabelecidas pelo NRC (2012) para suínos em crescimento (25-50 kg), e todas as dietas continham 0,30% de dióxido de titânio como indicador indigestível. Os animais foram alimentados em 2,8 vezes a exigência de ED para manutenção ($2,8 \times 110 \text{ kcal / kg PV}^{0,75}$) com base no PV metabólico no início do experimento. O fornecimento diário de ração foi dividido em 2 refeições iguais e foram fornecidas às 0800 e 1600 h com acesso à vontade à água.

As dietas foram fornecidas aos animais durante 11 d. Os 7 d iniciais foram considerados o período de adaptação às dietas e as gaiolas e os 4 d restantes foram utilizados para a coleta total de fezes e urina. As fezes foram coletadas em sacos plásticos duas vezes ao dia e armazenadas a -20°C . A urina foi coletada diariamente em baldes plásticos contendo 20 mL de ácido clorídrico, pesada, filtrada e uma subamostra, representando cerca de 20% da produção total de urina diária foi armazenada a -20°C . No final do período de coleta, as fezes foram misturadas por animal, pesadas e uma amostra (500 g) de cada unidade experimental foi seca em estufa a 55°C durante 72 h (Modelo MA035, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) e posteriormente moída a 1 mm (Modelo MA680, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil). As amostras de dietas também foram moídas a 1 mm e foram analisadas assim como as amostras de fezes para MS, N, FDN, FDA, EE e EB, usando os procedimentos previamente descritos para os ingredientes, e o dióxido de titânio foi determinado de acordo com Myers et al. (2004). As amostras de urina foram homogeneizadas por animal, subamostradas e analisadas para o conteúdo de MS, N e EB (Kim et al., 2009).

A DTA da MS, PB, FDN, FDA, EE e EB juntamente com conteúdo de ED, EM e EMn das dietas experimentais foram determinados pelos métodos de coleta total e indicador, e a DTA dos coprodutos foram calculadas utilizando o método da diferença como descrito por Adeola (2001).

2.2.2. Experimento 2: Digestibilidade do fósforo

O Exp. 2 foi conduzido para determinar a DTA, e a digestibilidade total estandardizada (DTE) do P dos coprodutos de destilaria de milho. Cinquenta suínos de linhagem comercial machos castrados ($38,3 \pm 5,2 \text{ kg de PV}$) foram alojados individualmente em baias (chão de concreto e parcialmente de estrado de polietileno), equipadas com bebedouro tipo “nipple” e alimentador semi-automático, em duas rodadas com 25 animais cada. Os animais foram distribuídos em um delineamento em blocos casualizados (10 blocos) e alimentados com uma dieta semi-purificada isenta de P para determinar as perdas endógenas de P (Petersen e Stein, 2006; Widmer et al., 2007; Baker et al., 2013; Adhikari et al., 2015 e 2016), ou dietas contendo 40% dos ingredientes testes (BRHPDG; USHPDG, BRCBS e USDDGS) como a única fonte de P (Tabela 3), totalizando 10 repetições por tratamento. Foi adicionado calcário para manter relação Ca: DTE P de 2,1:1 nas dietas, exceto para a dieta isenta de P. Gelatina e aminoácidos sintéticos foram adicionados à dieta isenta de P como fonte de proteína e aminoácidos. As dietas experimentais foram suplementadas com minerais e vitaminas para atender as exigências nutricionais estabelecidas pelo NRC (2012) para suínos em crescimento (25-50 kg), e todas as dietas continham 0,30% de dióxido de titânio como marcador indigestível. Os animais foram alimentados em quantidade de 2,8 vezes a exigência de ED para manutenção ($2,8 \times 110 \text{ kcal / kg PV}^{0,75}$) com duas refeições diárias iguais durante 9 d (7 d de período de adaptação e 2 d de coleta parcial de fezes).

No final do período de coleta, as amostras de fezes e das dietas foram submetidas aos mesmos procedimentos descritos no Exp. 1, sendo analisadas para MS e P usando os procedimentos previamente descritos

para os ingredientes, e para análise de dióxido de titânio. As DTA do P foram calculadas utilizando o método do indicador de acordo com Adeola (2001). As perdas endógenas de P e a DTE do P foram calculadas conforme descrito por Petersen e Stein (2006).

2.2.3. Experimento 3: Digestibilidade dos aminoácidos

O objetivo do Exp. 3 foi determinar a digestibilidade ileal aparente (DIA) da PB e AA; a digestibilidade ileal estandardizada (DIE) da PB e AA; e os respectivos conteúdos ileais digestíveis aparentes e estandardizados da PB e AA dos coprodutos de destilaria de milho. Cinquenta suínos machos castrados de linhagem comercial ($46,2 \pm 5,3$ kg de PV) foram alojados individualmente em baias como as descritas no Exp. 2, em duas rodadas com 25 animais cada. Os animais foram distribuídos em um delineamento em bloco casualizados (10 blocos) e alimentados com uma dieta semi-purificada isenta de N à base de amido de milho, para determinar as perdas endógenas de N (Widmer et al., 2007), ou dietas contendo 40% dos ingredientes testes (BRHPDG; USHPDG, BRCBS e USDDGS) como única fonte de PB e AA (Tabela 4), totalizando 10 repetições por tratamento. As dietas foram suplementadas com minerais e vitaminas para atender as exigências nutricionais estabelecidas pelo NRC (2012) para suínos em crescimento (25-50 kg), e todas as dietas continham 0,30% de dióxido de titânio como marcador indigestível. Os animais foram alimentados em quantidades de 2,8 vezes a exigência de ED para manutenção ($2,8 \times 110$ kcal / kg PV^{0,75}) com base no PV inicial no início do experimento. O experimento durou 9 d (7 d de adaptação e 2 d de coleta parcial de fezes), e as dietas experimentais avaliadas foram fornecidas diariamente em duas refeições iguais, com o acesso à vontade à água, como descrito no Exp. 1.

No 10º d, 10 h após terem consumido a última refeição, os animais foram insensibilizados por eletronarcole e depois eutanasiados por exsanguinação. Sequencialmente, foi feita uma incisão no abdômen dos animais para expor o trato gastrointestinal. Aproximadamente 1 m do íleo da porção anterior a junção íleo-cecal foi separada e todo o seu conteúdo foi coletado, como descrito por Donkoh et al. (1994). As amostras de digesta ileal foram coletadas e armazenadas em recipientes plásticos contendo ácido fórmico (5%) e congeladas a -20°C.

Para as análises, o conteúdo ileal e as fezes foram descongelados, homogeneizados por animal e subamostras foram realizadas. A digesta ileal foi liofilizada, moída a 1 mm e processada como descrito na Exp. 1. Foram analisadas amostras das dietas, digesta e das fezes para determinar MS, N e AA como descrito previamente para os ingredientes, e dióxido de titânio (Myers et al., 2004).

A DIA e DIE da PB e AA e o seus respectivos conteúdos digestíveis foram calculados pelo método do indicador de acordo com Adeola (2001). As perdas endógenas de N e AA e a DIE da PB e AA foram calculadas conforme descrito por Widmer et al. (2007).

2.2.4. Análise estatística

Em todos os experimentos foi utilizado delineamento em blocos casualizados, tendo o suíno como unidade experimental. Os dados relativos a DTA dos coprodutos de destilaria de milho do Exp. 1 foram submetidos a ANOVA, considerando os efeitos dos métodos (coleta total e método do indicador) e tratamentos (BRHPDG, BRCBS, USHPDG e USDDGS). Os dados dos Exp. 2 e 3 foram submetidos a ANOVA, as médias foram separadas pelo teste Tukey e dois testes de contraste ortogonal foram realizados para comparar as médias do BRHPDG com USHPDG e

BRCBS com USDDGS, utilizando o procedimento MIXED do SAS (versão 9.2; SAS Inst. Inc., Cary, NC). No modelo, o ingrediente foi considerado efeito fixo e o bloco foi considerado efeito aleatório. Todos os dados foram examinados quanto à normalidade residual, homogeneidade de variância e outliers. As médias dos tratamentos (LSMEANS) estão reportadas nas tabelas. As diferenças entre os tratamentos foram consideradas estatisticamente significativas quando $P < 0,05$, e tendência quando $P < 0,10$. A seção Resultados e Discussão relativa aos Exp. 2 e 3 foi baseada nos resultados obtidos pelos testes de contrastes ortogonais, tendo em vista as diferentes categorias dos ingredientes.

2.3. Resultados e Discussão

A utilização de etanol à base de milho e a produção de coprodutos está em expansão no Brasil e novas usinas de etanol que utilizam o milho como matéria-prima estão sendo construídas e operadas utilizando novas FST, gerando os novos coprodutos de milho (BRHPDG e BRCBS) para o mercado brasileiro de rações. Embora os benefícios e as limitações da adição do USDDGS de milho convencional nas dietas de suínos tenham sido extensivamente estudados durante muitos anos, esse coproduto não está disponível no Brasil, e os nutricionistas de suínos têm conhecimentos limitados sobre a energia, composição nutricional e digestibilidade do USDDGS comparado ao BRHPDG e BRCBS. De fato, não existem dados de composição nutricional para DDGS brasileiros e outros coprodutos de milho nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos – Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais (Rostagno et al., 2017). Portanto, este é o primeiro estudo a determinar a energia e a composição dos nutrientes e a digestibilidade de novos coprodutos de milho (HP-DDG e CBS) para suínos que são produzidos utilizando FST no Brasil, e a comparar com o valor nutricional de um HP-DDG e de uma fonte convencional de DDGS de milho norte-americanos.

É importante reconhecer que a utilização de tecnologias de fracionamento no início dos processos de produção de etanol de milho, chamados de “front-end-back-end” para produzir HP-DDG nos EUA, resultou em perfis de nutrientes muito diferentes (Widmer et al., 2007; Kim et al., 2009; Jacela et al., 2010; Anderson et al., 2012; NRC, 2012) do que os atuais processos de FST utilizados para produção dos novos HP-DDG (Rho et al., 2017; Espinosa e Stein, 2018; Yang et al., 2019; 2020). Como resultado, o NRC (2012) reporta que o conteúdo de PB do HP-DDG é de aproximadamente 50%, o que é muito superior ao conteúdo de PB das fontes de HP-DDG do Brasil (46,5%) e dos EUA (38,9%) avaliadas neste estudo (Tabela 1) e em estudos recentes, variando entre 37,1% a 39,4% para PB (Rho et al., 2017; Espinosa e Stein, 2018; e Yang et al., 2019; 2020). Apesar de utilizar processos de FST semelhantes, o conteúdo de Lys como porcentagem do conteúdo de PB foi maior no BRHPDG (3,19%) comparado com o USHPDG (2,87%). Curiosamente, apesar do conteúdo de PB muito mais baixo do BRCBS (13,87%) comparado aos outros 3 coprodutos avaliados neste estudo (Tabela 1), o teor de Lys foi semelhante em percentagem da PB (2,88%) ao USHPDG e foi superior ao USDDGS (2,77%). A relação Lys:PB pode ser um indicativo de danos causados pelo calor em decorrência do processamento dos coprodutos de milho nas usinas de etanol. Os valores mais baixos significam danos por calor mais elevados, e conseqüentemente, uma qualidade inferior, e mesmo os DDGS de melhores qualidades no mercado têm uma porção considerável de Lys indisponível devido ao calor aplicado no processamento (Fontaine et al., 2007).

Além do conteúdo de PB, a composição química dos 4 coprodutos de milho avaliados variou consideravelmente (Tabela 1), com um intervalo na EB de 4.513 a 5.296 kcal/kg, na PB de 13,87 a 42,93%, no EE de

6,40 a 10,30%, na FDN de 36,59 a 47,48%, no conteúdo de P de 0,46 a 0,71% e na Lys de 0,40 a 1,37%, com os maiores valores de EB, PB, EE e Lys presentes no BRHPDG em comparação com outros coprodutos. O coproduto BRCBS apresentou conteúdo semelhante de EB (4.513 kcal/kg) em comparação ao USDDGS (4.532 kcal/kg), o que ocorreu provavelmente devido a um maior conteúdo de EE e conteúdo similar de FDN, apesar de ter aproximadamente 50% do conteúdo de PB do USDDGS. Anderson et al. (2012) avaliaram um coproduto CBS que continha menor conteúdo de EB (4.982 kcal/kg MS), PB (15,2%), EE (9,7%), FDN (25,2%) e P (0,76%), porém maior Lys (0,62%) em comparação com o BRCBS avaliado no presente estudo. Os valores da EB e da composição de nutrientes da fonte USDDGS avaliada no presente estudo estavam dentro dos intervalos reportados por Kerr et al. (2013) e Espinosa et al. (2019) para DDGS com teor de gordura reduzido. Estes resultados sugerem que devido a diversidade na composição química entre as fontes convencionais de DDGS do milho e os coprodutos que são emergentes dessa origem, que suas utilizações sejam baseadas em definições claras do que realmente são os ingredientes, minimizando algum possível confundimento sobre composição e o valor nutricional para todas as espécies animais, uma vez que são produzidos utilizando processos divergentes (AAFCO, 2017).

O consumo de EB não diferiu ($P > 0,05$) entre suínos alimentados com BRHPDG e USHPDG, mas a excreção fecal de EB foi maior ($P < 0,001$) e a excreção urinária de EB foi menor ($P = 0,017$) para suínos alimentados com USHPDG em comparação com os alimentados com BRHPDG, utilizando o método da coleta total (Tabela 5). Essas diferenças na utilização de EB resultaram em maior ($P < 0,001$) ED (4.399 kcal/kg), EM (4.070 kcal/kg), e EMn (3.924 kcal/kg) para o BRHPDG comparado com USHPDG (3.740 kcal/kg, 3.477 kcal/kg e 3.396 kcal/kg, respectivamente). No entanto, as ED e EM do presente estudo foram inferiores às reportadas em estudos recentes. Rho et al. (2017) relataram que o conteúdo de ED de duas fontes de HP-DDG produzidas usando o mesmo processo de FST, foram maiores (4.494 e 4.555 kcal/kg) do que os observados no presente estudo. Cristobal et al. (2020) reportaram que o conteúdo de ED e EM de outra fonte de HP-DDG produzida usando processos diferentes foi de 4.945 kcal/kg e 4.669 kcal/kg, respectivamente. Da mesma forma, Espinosa e Stein (2018) relataram que uma fonte de HP-DDG produzida utilizando um processo diferente continha 4.424 kcal/kg e 4.275 kcal/kg de ED e EM, respectivamente. Uma possível explicação para as diferenças no conteúdo de ED e EM de fontes de HP-DDG de outros estudos em comparação com os resultados encontrados neste estudo, pode ser os diferentes processos utilizados para produzir estes coprodutos de milho, tendo em vista que o conteúdo de EB do BRHPDG foi maior do que o conteúdo de fontes de HP-DDG relatadas por Cristobal et al. (2020; 5.100 kcal/kg), Rho et al. (2017; 4.935 e 4.986 kcal/kg) e Espinosa e Stein (2018; 4.825 kcal/kg). Além disso, a digestibilidade dos nutrientes e da energia variam de acordo com o PV ou a idade dos animais (Noblet e Shi, 1994). Espinosa e Stein (2018) avaliaram a digestibilidade dos coprodutos utilizando suínos mais pesados (72 kg), em comparação com o estudo atual. No entanto, não foi observada qualquer diferença no conteúdo de ED entre os coprodutos de milho determinados pelos métodos de coleta total ou indicador no presente estudo (Tabela 6).

Interessantemente, o conteúdo de EM do USHPDG (3.477 kcal/kg) foi similar ao USDDGS (3.417 kcal/kg), mas como esperado, o USDDGS apresentou o conteúdo de EM e EMn superior ($P < 0,008$) ao BRCBS (Tabela 5). Estudos que compararam o conteúdo de ED e EM de fontes de HP-DDG com fontes de DDGS convencionais de milho mostraram que geralmente o HP-DDG apresenta maiores valores energéticos do que as fontes de DDGS (Anderson et al., 2012; NRC, 2012; Cristobal et al., 2020). Contudo, o conteúdo de EM do USDDGS está dentro do intervalo de 3.266 a 3.696 kcal/kg relatado por Kerr et al. (2013) para 15 amostras de DDGS de milho, e também dentro do intervalo de 3.050 a 3.478 kcal/kg de 8 amostras de DDGS com teor reduzido de EE, relatadas por Espinosa et al. (2019). Anderson et al. (2012) determinaram o teor de ED e EM de um farelo de milho com

solúveis contendo 4.982 kcal/kg de EB e reportaram valores de ED e EM de 3.282 e 3.031 kcal/kg, respectivamente, sendo o teor de EM semelhante ao teor de EM de 3.060 kcal/kg observado para BRCBS do presente estudo (Tabela 5).

Não houve diferença no conteúdo de DTA da MS, EB, PB, FDA e ED dos coprodutos de milho determinados pelos métodos de coleta total e indicador, e não houve interação entre métodos e ingredientes (Tabela 6). Houve uma tendência de aumento ($P = 0,058$) da DTA da FDN pelo método do indicador em comparação com o método de coleta total. Vários estudos compararam a utilização do método de coleta total e do indicador para determinar a energia e a digestibilidade dos nutrientes dos ingredientes das rações. Agudelo et al. (2010) sugeriram que o método do indicador pode ser menos sensível do que o método de coleta total, pois os autores observaram diferenças entre tratamentos dietéticos utilizando dados derivados do método de coleta total, mas não foram observadas diferenças utilizando valores da DTA para MS, energia e N, que foram de 2 a 3 pontos percentuais inferiores quando determinados pelo método do indicador. Kavanagh et al. (2001) observaram diferenças na energia e na digestibilidade da MS entre esses dois métodos, mas apenas quando o dióxido de titânio foi utilizado como marcador indigestível e não quando o óxido de cromo e as cinzas insolúveis em ácido foram utilizados. Li et al. (2016) compararam estes métodos juntamente com o tipo de dieta basal para determinar a digestibilidade de nutrientes de uma dieta a base de milho e farelo de soja e dieta a base de milho, farelo de soja e DDGS, e não observaram diferenças na digestibilidade de nutrientes do DDGS utilizando dietas basais diferentes, e embora os valores mais baixos observados quando se utilizou o método do indicador, a classificação relativa das dietas e ingredientes foi semelhante entre os dois métodos. Kong e Adeola (2014) sugeriram que a acurácia e precisão das estimativas dos valores digestíveis utilizando o método da coleta total depende da acurácia da coleta e registro da produção fecal e da ingestão de alimentos, enquanto a acurácia dos valores obtidos a partir do método do indicador depende fortemente da acurácia da análise química do marcador indigestível nas fezes e nos alimentos. Teoricamente, a quantidade de marcador indigestível recuperada nas fezes a partir da quantidade consumida nas rações deve ser igual a 100% quando se utiliza o método do indicador (Li et al., 2016; Zhang e Adeola, 2017). No presente estudo, a recuperação de 97% de dióxido de titânio resultou em nenhuma diferença ($P > 0,05$) na DTA de nutrientes utilizando ambos os métodos.

Houve diferenças nos valores de DTA para MS, EB e nutrientes entre os 4 coprodutos avaliados neste estudo (Tabela 6). A DTA da MS, EB, FDN e ED do BRHPDG foi superior a DTA do USHPDG, BRCBS e USDDGS, em que o BRCBS apresentou os valores de digestibilidade mais baixos ($P < 0,001$). A DTA da PB e FDN do BRHPDG foram também maiores ($P < 0,001$) do que do BRCBS. Não há uma explicação clara para as diferenças nos valores de DTA de cada nutriente entre as duas fontes de HP-DDG. Espinosa e Stein (2018) determinaram a DTA da EB para uma fonte de HP-DDG produzida utilizando processos semelhantes aos utilizados para produzir BRHPDG e USHPDG do presente estudo. Os autores relataram um valor de 77,8%, comparável com o obtido para o BRHPDG (75,43% e 76,99%), porém maior do que o valor obtido para o USHPDG (66,42% e 66,56%) avaliados no presente estudo. Da mesma forma, a DTA da EB determinada por Espinosa e Stein (2018) para uma fonte convencional de DDGS foi de 75,3%, sendo superior ao valor encontrado para o USDDGS (67,53% e 70,23%). Embora o BRCBS tivesse o menor conteúdo de EB, o coproduto apresentou o maior conteúdo de EE e DTA do EE dos quatro coprodutos avaliados, o que resultou em um valor de DTA razoavelmente elevado de EB (60,3%).

Em contraste com a EB, a DTA da MS e PB das fontes de HP-DDG avaliadas foram maiores ($P < 0,001$) do que os valores reportados por Rho et al. (2017) para duas fontes semelhantes de HP-DDG (MS = 58,4% e 60,8%; PB = 52,3% e 65,5%) e uma fonte convencional de DDGS de milho (MS = 50,3%; PB = 58,7%). Estudos demonstraram que a DTA da energia e de nutrientes é altamente variável entre as fontes de DDGS com teor de óleo

variável (Kerr et al., 2013; Espinosa et al., 2019). Kerr et al. (2013) reportaram intervalos na DTA da MS (66,8 a 77,3%), EB (68,3 a 79,1%), FDN (44,5 a 61,5%), N (76,9 a 84,8%) e EE (52,7 a 81,2%). Em geral, os valores da DTA da MS, PB, EB e ED do BRHPDG estavam dentro dos intervalos reportados por Kerr et al. (2013), exceto para a FDN que foi maior (78,21% e 80,95%). Diferentemente, os valores da DTA da MS, PB, EB e ED do USHPDG foram inferiores aos valores mais baixos reportados por Kerr et al. (2013), exceto para o EE, que foi maior (58,02% e 53,98%).

Existem estimativas limitadas da DTA e DTE do P para fontes de HP-DDG, e ainda não foram publicados dados sobre a digestibilidade de P do BRCBS. A DTA do P no BRHPDG (38,16%) e BRCBS (39,71%) foram inferiores ($P < 0,001$) em comparação com os coeficientes de digestibilidade para USHPDG (58,98%) e USDDGS (54,32%), e as possíveis razões para estas diferenças não são claras (Tabela 7). Uma resposta semelhante para a DTE do P também foi observada, em que o BRHPDG (48,31%) e BRCBS (46,44%) apresentaram coeficientes de digestibilidade menores ($P < 0,001$) do que o USHPDG (67,58%) e o USDDGS (62,69%). Como resultado, a DTE do P foi maior ($P < 0,001$) para o USHPDG (0,30%) do que BRHPDG (0,25%) e maior ($P < 0,001$) para USDDGS (0,49%) do que BRCBS (0,39%). Durante a fermentação do etanol de milho e a produção dos coprodutos, uma porção de P fítico presentes no grão é hidrolisada, o que aumenta a DTA do P em DDGS em comparação com o milho (Stein e Shurson, 2009). O NRC (2012) sugere que a DTA e a DTE do P em DDGS (>6 e <9% de óleo) são de 60% e 65%, respectivamente, e a DTA e a DTE do P em HP-DDG são de 64% e 73%, respectivamente. Embora a DTE do P no USDDGS encontrado no presente estudo seja semelhante ao reportado pelo NRC (2012), os coeficientes de DTA e DTE para todos os outros coprodutos avaliados neste estudo foram inferiores aos reportados no NRC (2012). Contudo, Widmer et al. (2007) reportaram valores de 59,6% e 69,3% para a DTA e digestibilidade total verdadeira do P, respectivamente, para uma fonte de HP-DDG, que foram semelhantes aos valores obtidos para a fonte USHPDG do presente estudo. Kerr et al. (2013) relataram que a DTA do P variou de 52,3% a 66,5% entre 15 fontes de DDGS, sugerindo que a extensão da hidrólise de fitato durante a fermentação varia entre os processos utilizados em várias plantas de etanol. As diferenças no conteúdo total de P entre as fontes de DDGS podem variar entre 0,47 a 1,12%, conforme reportado por Martínez-Amezcuca et al. (2007). Algumas plantas de etanol adicionam fitase durante o processo de fermentação que pode aumentar a digestibilidade de P do DDGS, mas também contribui para a variação do conteúdo de P digestível entre fontes de DDGS (Reis et al., 2018).

A DIA da PB e dos AA essenciais e não essenciais dos 4 coprodutos avaliados neste estudo estão apresentados na Tabela 8, bem como a DIE dos mesmos nutrientes estão apresentados na Tabela 9. O BRHPDG apresentou a maior DIA da PB (63,48%), enquanto o USDDGS apresentou a DIE da PB mais elevada (71,71%), e ambos foram inferiores aos reportados no NRC (2012), em que a DIA e a DIE da PB para o HP-DDG é de 70% e 76%, respectivamente, enquanto para o DDGS (>6 e <9% de óleo) esses valores são de 64% e 74%, respectivamente. Rho et al. (2017) reportaram valores inferiores aos do NRC (2012) para a DIE da PB de duas fontes semelhantes de HP-DDG (61% e 73%), e também reportaram valores inferiores para a DIE da PB para um DDGS convencional (67%), que eram comparáveis aos valores determinados para os mesmos coprodutos do presente estudo. Diferentemente, a DIA e a DIE da PB dos 4 coprodutos avaliados no presente estudo foram inferiores aos reportados por Espinosa e Stein (2018) e Cristobal et al. (2020) para HP-DDG, e Espinosa et al. (2019) para fontes de DDGS com teor de gordura reduzido.

Apesar da menor DIA e DIE da PB para os coprodutos avaliados no presente estudo em comparação com os valores da literatura, os intervalos da DIA dos AA indispensáveis no BRHPDG (52% a 78%), USHPDG (41% a 69%) e USDDGS (40% a 68%) são comparáveis a DIA dos AA para HP-DDG (39% a 82%) e DDGS (44% a 77%) relatados por Rho et al. (2017) para coprodutos produzidos utilizando processos semelhantes aos avaliados no presente

estudo. O BRHPDG apresentou maior ($P < 0,05$) DIA da PB, Arg, His, Ile, Leu, Lys, Thr, Val, Ala, Asp, Cys, Glu, Pro, Ser e Tyr em comparação com o USHPDG, e tendeu ($P < 0,10$) a ser maior para DIA da Met e Phe. A DIA de todos os AA do USDDGS foram maiores ($P < 0,05$) do que o BRCBS. Da mesma forma, a DIE da His, Leu, Lys, Val, Ala, Cys, Glu, Ser e Tyr do BRHPDG foram maiores ($P < 0,05$), e a DIE da Arg, Met, Phe, Thr, Asp e Pro tendeu a ser maior ($P < 0,1$) do que os do USHPDG. Contudo, o USDDGS apresentou maior DIE ($P < 0,05$) para PB, Arg, Phe, Thr, Asp e Cys em comparação com os do BRCBS, e também uma DIE da PB maior ($P = 0,004$) do que a do USHPDG. Essa diferença pode ser parcialmente explicada devido a diferente relação Lys:PB entre os coprodutos, como foi mencionado anteriormente, e porque o USDDGS apresentou valor da FDN muito menor (36,59%) em comparação com o USHPDG (47,48%). O intervalo na DIE dos AA indispensáveis do BRHPDG (66% a 83%), USHPDG (53% a 76%) e USDDGS (55% a 84%) são comparáveis aos intervalos reportados por Rho et al. (2017) para HP-DDG (47% a 84%) e DDGS (52% a 82%). Contudo, o intervalo na DIA dos AA indispensáveis (17 a 58%) e da DIE dos AA (46 a 74%) do BRCBS foi inferior aos outros coprodutos avaliados, especialmente para a DIA e a DIE da Lys, que foi de 17% e 46%, respectivamente.

O conteúdo digestível ileal aparente da PB e dos AA dos coprodutos estão apresentados na Tabela 10 e conteúdo digestível ileal estandardizado da PB e dos AA estão apresentados na Tabela 11. Exceto para o Trp ($P > 0,05$), todos os AA e PB digestíveis ileais aparentes e estandardizados do BRHPDG foram maiores ($P < 0,001$) que os do USHPDG, e todos os AA e PB digestíveis ileais aparentes e estandardizados do USDDGS foram maiores ($P < 0,05$) que os do BRCBS. Esses efeitos podem ser uma consequência do teor de fibras dos ingredientes das rações. Os suínos não produzem enzimas para digerir fibras, o que pode reduzir a digestão de outros componentes dietéticos, como as proteínas, dependendo do tipo e concentração das fibras na dieta (Noblet e Le Goff, 2001; Owusu-Asiedu et al., 2006; Le Gall et al., 2009), diminuindo a digestibilidade e absorção de AA (Schulze et al., 1994; Urriola e Stein, 2010). Estes efeitos estão relacionados com o encapsulamento dos nutrientes pela fibra e com alterações fisiológicas causadas pela presença da fibra alimentar que afetam a taxa de passagem, reduzindo assim o acesso das enzimas endógenas aos nutrientes, bem como quaisquer perdas de nutrientes endógenos causadas pela fibra (Bach Knudsen, 2001). Em geral, à medida que o conteúdo de fibras alimentares aumenta, a digestibilidade tende a diminuir, como se observa no presente estudo. A fonte USHPDG avaliada no presente estudo tinha maior conteúdo de FDN e menor DTA da maioria dos nutrientes e energia em comparação com o BRHPDG. No entanto, Adeola e Ragland (2016) observaram que a DIE de alguns AA (Ile, Lys, Met, Met, Phe e Tyr) em um HP-DDG foi maior do que os de um DDGS, embora a fonte de HP-DDG tivesse maior conteúdo de FDA e FDN do que o DDGS.

Em conclusão, os resultados mostram que o HP-DDG produzido usando a FST no Brasil tem um excelente valor nutricional para suínos devido ao seu conteúdo relativamente elevado de EM e DIE dos AA em comparação com o DDGS convencional dos EUA e uma fonte de HP-DDG produzida usando tecnologia semelhante. Os resultados deste estudo fornecem conteúdos ED e EM, DTE do P e DIE de AA de dois novos coprodutos de etanol de milho produzidos no Brasil (BRHPDG e BRCBS) que podem ser utilizados na formulação de dietas precisas, quando estes coprodutos forem utilizados em dietas de suínos.

Referências

- AAFCO. 2017. Official Publication. Association of American Feed Control Officials, Champaign, IL.
- Adeola, O. 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: A. J. Lewis and L. L. Southern, editors, Swine Nutrition. 2nd ed. CRC Press, New York, NY. p. 903-906.

- Adeola, O., and D. Ragland. 2016. Comparative ileal amino acid digestibility of distillers' grains for growing pigs. *Anim. Nutr.* 2:262-266. doi:10.1016/j.aninu.2016.07.008.
- Adhikari, P. A., J. M. Heo, and C. M. Nyachoti. 2015. True and standardized total tract phosphorus digestibility in canola meals from *Brassica napus* black and *Brassica juncea* yellow fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93:209-216. doi:10.2527/jas.2014-7569.
- Adhikari, P. A., J. M. Heo, and C. M. Nyachoti. 2016. Standardized total tract digestibility of phosphorus in camelina (*Camelina sativa*) meal fed to growing pigs without or phytase supplementation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 214:104-109. doi:10.1016/j.anifeedsci.2016.02.018
- Agudelo, J. H., M. D. Lindemann, and G. L. Cromwell. 2010. A comparison of two methods to assess nutrient digestibility in pigs. *Livest. Sci.* 133:74-77. doi:10.1016/j.livsci.2010.06.029.
- Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. 2012. Determination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 90:1242-1254. doi:10.2527/jas.2010-3605.
- AOAC. 2006. Official methods of analysis. 18th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Washington, DC.
- Bach Knudsen, K.E. 2001. The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90:3–20. doi:10.1016/S0377-8401(01)00193-6.
- Baker, S. R., B. G. Kim, and H. H. Stein. 2013. Comparison of values for standardized total tract digestibility and relative bioavailability of phosphorous in dicalcium phosphate and distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:203–210. doi:10.2527/jas2010-3776.
- Balat, M., and H. Balat. 2009. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. *Appl. Energy.* 86:2273–2282. doi:10.1016/j.apenergy.2009.03.015.
- Bordonal, R. O., J. L. N. Carvalho, R. Lal, E. B. Figueiredo, B. G. Oliveira, and N. L. Scala Junior. 2018. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38:1-23. doi:10.1007/s13593-018-0490-x.
- Chatzifragkou, A., and D. Charalampopoulos. 2018. Distiller’s dried grains with solubles (DDGS) and intermediate products as starting materials in biorefinery strategies. In: C. M. Galanakis, editors, *Sustainable Recovery and Reutilization of Cereal Processing By-products*. Elsevier, Amsterdam, p.63-86. doi:10.1016/C2016-0-03883-4.
- Cristobal, M., J. P. Acosta, S. A. Lee, and H. H. Stein. 2020. A new source of high-protein distillers dried grains with solubles (DDGS) has greater digestibility of amino acids and energy, but less digestibility of phosphorus, than de-oiled DDGS when fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 98:1–9. doi:10.1093/jas/skaa200.
- Donkoh, A., P. J. Moughan, and W. C. Smith. 1994. Comparison of the slaughter method and simple T-piece cannulation of the terminal ileum for determining ileal amino acid digestibility in meat and bone meal for the growing pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49:43–56. doi:10.1016/0377-8401(94)90080-9.
- EPE. 2019. Empresa de Pesquisa Energética. Ethanol supply scenarios and Otto cycle demand 2020-2030. Executive summary. Ministry of Mines and Energy. Available: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-255/topico-503/EPE-DPG-SGB-Bios-2019-Executive_Summary_Ethanol_Supply_Scenarios.pdf. Accessed: June 8th, 2020.
- Espinosa, C. D., and H. H. Stein. 2018. High-protein distillers dried grains with solubles produced using a novel front-end–back-end fractionation technology has greater nutritional value than conventional distillers dried grains with solubles when fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 96:1869–1876. doi:10.1093/jas/sky052.

- Espinosa, C.D., S.A. Lee, and H.H. Stein. 2019. Digestibility of amino acids, energy, acid hydrolyzed ether extract, and neutral detergent fiber, and concentration of digestible and metabolizable energy in low-oil distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *Transl. Anim. Sci.* 3:662-675. doi: 10.1093/tas/txz025.
- Fontaine, J., U. Zimmer, P.J. Moughan, and S.M. Rutherford. 2007. Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysine contents of soy products and corn distillers dried grains with solubles. use of the results to check on lysine damage in common qualities of these ingredients. *J. Agric. Food Chem.* 55:10737-10743. doi:10.1021/jf071747c.
- Jacela, J.Y., H.L. Frobose, J.M. DeRouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L. Nelssen. 2010. Amino acid digestibility and energy concentration of high-protein corn dried distillers grains and high-protein sorghum dried distillers grains with solubles for swine. *J. Anim. Sci.* 88:3617-3623. doi:10.2527/jas.2010-3098.
- Kavanagh, S., P. B. Lynch, F. O'Mara, and P. J. Caffrey. 2001. A comparison of total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 89:49-58. doi:10.1016/S0377-8401(00)00237-6.
- Kerr, B. J., W. A. Dozier III, and G. C. Shurson. 2013. Effects of reduced-oil corn distillers dried grains with solubles composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:3231-6252. doi:10.2527/jas.2013-6252.
- Kim, B. G., G. I. Petersen, R. B. Hinson, G. L. Allee, and H. H. Stein. 2009. Amino acid digestibility and energy concentration in a novel source of high-protein distillers dried grains and their effects on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 87:4013–4021. doi:10.2527/jas.2009-2060.
- Kong, C., and O. Adeola. 2014. Evaluation of amino acid and energy utilization in feedstuff for swine and poultry diets. *Asian. Australas. J. Anim. Sci.* 27:917e25. doi:10.5713/ajas.2014.r.02.
- Le Gall, M., M. Warpechowski, Y. Jaguelin-Peyraud, and J. Noblet. 2009. Influence of dietary fibre level and pelleting on the digestibility of energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Animal.* 3:352–359. doi:10.1017/S1751731108003728.
- Li, Y. S., H. Tran, J. W. Bundy, T. E. Burkey, B. J. Kerr, M. K. Nielsen, and P. S. Miller. 2016. Evaluation of collection method and diet effects on apparent digestibility and energy values of swine diets. *J. Anim. Sci.* 94:2415–2424. doi:10.2527/jas2016-0275.
- Liu, K. Chemical composition of distillers grains, a review. 2011. *J. Agric. Food Chem.* 59:1508-1526. doi:10.1021/jf103512z.
- Manochio, C., B. R. Andrade, and R. P. Rodriguez. 2017. Ethanol from biomass: a comparative overview. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 80:743–755. doi:10.1016/j.rser.2017.05.063.
- Martinez-Amezcu, C., C. M. Parsons, V. Singh, R. Srinivasan, and G. S. Murthy. 2007. Nutritional characteristics of corn distillers dried grains with solubles as affected by the amounts of grains versus solubles and different processing techniques. *Poul. Sci.* 86:2624–2630. doi:10.3382/ps.2007-00137.
- Myers, W. D., P. A. Ludden, V. Nayigihugu, and B. W. Hess. 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *J. Anim. Sci.* 82:179-183. doi: 10.2527/2004.821179x.
- Noblet, J., and X. S. Shi. 1994. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 37:323-338. doi:10.1016/0301-6226(94)90126-0.
- Noblet, J., and G. Le Goff. 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 90:35–52. doi:10.1016/S0377-8401(01)00195-X.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

- Owusu-Asiedu, A., J. F. Patience, B. Laaryeld, A. G. van Kessel, P. H. Simmins, and R. T. Zijlstra. 2006. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J. Anim. Sci.* 84:843–852. doi:10.2527/2006.844843x.
- Pekas, J. C. 1968. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. *J. Anim. Sci.* 27:1303–1306. doi:10.2527/jas1968.2751303x.
- Petersen, G. L., and H. H. Stein. 2006. Novel procedure for estimating endogenous losses and measurement of apparent and true digestibility of phosphorus by growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:2126–2132. doi:10.2527/jas.2005-479.
- Reis, C.E.R., Q. He, P.E. Urriola, G.C. Shurson, and B. Hu. 2018. Effects of modified processes in dry-grind ethanol production on phosphorus distribution in coproducts. *Ind. Eng. Chem. Res.* 57:14861–14869. doi:10.1021/acs.iecr.8b02700.
- Rho, Y., C. Zhu, E. Kiarie, and C. F. M Lange. 2017. Standardized ileal digestible amino acids and digestible energy contents in high-protein distiller's dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 95:3591–3597. doi:10.2527/jas2017.1553.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, M. I. Hannas, J. L. Donzele, N. K. Sakomura, F. G. Perazzo, A. Saraiva, M. L. Teixeira, P. B. Rodrigues, R. F. Oliveira, S. L. T. Barreto, C. O. Brito. 2017. *Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais.* 4th ed. UFV, Viçosa, MG. p.149.
- Schulze, H., P. van Leeuwen, M. W. A. Verstegen, J. Huisman, W. B. Souffrant, and F. Ahrens. 1994. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2362–2368. doi: 0.2527/1994.7292362x.
- Shurson, G. C. 2018. *DDGS User Handbook. Precision DDGS Nutrition.* (4th ed) U.S. Grain Council. 375p. Available: https://grains.org/wp-content/uploads/2019/07/USGC-Precision-DDGS-Handbook-2019_07_02-WEB.pdf. Accessed: May 16th, 2020.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. Board-invited review: the use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292–1303. doi:10.2527/jas.2008-1290.
- Urriola, P. E., and H. H. Stein. 2010. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1454–1462. doi:10.2527/jas.2009-2162.
- USDA. 2020. United States Department of Agriculture. *Sugar: World Markets and Trade.* May 2020, p.1-8. Available: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/Sugar.pdf>. Accessed: June 8th, 2020.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implication in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74:3583–3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Widmer, M. R., L. M. McGinnis, and H. H. Stein. 2007. Energy, phosphorus, and amino acids digestibility of high-protein distillers dried grains and corn germ fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:2994–3003. doi:10.2527/jas.2006-840.
- Yang, Z., P.E. Urriola, A. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2020. Effects of feeding high-protein corn distillers dried grains and a mycotoxin mitigation additive on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality of growing-finishing pigs. *Transl. Anim. Sci.* 2020.4:1-16. doi:10.1093/tas/txaa051.

Yang, Z., P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2019. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles. *Transl. Anim. Sci.* 2019.3:350-358. doi:10.1093/tas/txy101.

Zhang, F. and O. Adeola. 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim. Nutr.* 3:344-352. doi:10.1016/j.aninu.2017.06.008.

Tabela 1. Composição química analisada (matéria natural) dos ingredientes, Exp. 1, 2 e 3

Item	Ingredientes ¹			
	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS
MS, %	92,30	89,62	87,59	86,08
PB, %	42,93	34,83	13,87	26,37
EE, %	10,30	7,80	9,00	6,40
FDN, %	37,40	47,48	39,07	36,59
FDA, %	17,53	19,81	13,31	14,31
EB, kcal/kg	5.296	4.915	4.513	4.532
Cinzas, %	2,81	3,39	4,80	4,89
Ca, %	0,02	0,02	0,02	0,04
P, %	0,48	0,46	0,71	0,68
Mg, %	0,01	0,18	0,33	0,28
Na, %	0,09	0,47	0,24	0,44
K, %	0,41	0,63	1,50	1,09
Cu, mg/kg	7,10	7,9	7,14	14,26
Fe, mg/kg	112,50	52,1	87,32	59,56
Mn, mg/kg	9,97	9,0	16,81	12,72
Zn, mg/kg	75,55	56,4	61,26	63,39
AA Essenciais, %				
Arg	2,06	1,50	0,69	1,10
His	1,26	0,89	0,36	0,64
Ile	1,79	1,46	0,46	0,98
Leu	5,30	4,38	1,20	2,90
Lys	1,37	1,00	0,40	0,73
Met	0,95	0,54	0,25	0,43
Phe	2,16	1,86	0,54	1,21
Thr	1,66	1,32	0,51	0,95
Trp	0,23	0,22	0,11	0,15
Val	2,37	1,82	0,64	1,30
AA Não Essenciais, %				
Ala	3,28	2,65	0,90	1,86
Asp	3,29	2,72	1,02	2,02
Cys	1,09	0,80	0,34	0,59
Glu	7,98	6,21	2,03	4,34
Gly	1,77	1,40	0,66	1,08
Pro	3,99	3,08	1,08	2,14
Ser	2,18	1,74	0,61	1,20
Tyr	1,91	1,45	0,49	1,09
AA Totais	44,39	34,76	12,16	24,44
Relação Lys:PB	3,19	2,87	2,88	2,77

¹BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

Tabela 2. Composição química e analisada das dietas experimentais (matéria natural), Exp. 1

Ingredientes, %	Dietas ¹				
	Basal	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS
Milho	96,67	57,00	57,00	57,20	57,20
HP-DDG de milho do Brasil	-	40,00	-	-	-
HP-DDG de milho dos EUA	-	-	40,00	-	-
Farelo de milho com solúveis do Brasil	-	-	-	40,00	-
DDGS de milho dos EUA	-	-	-	-	40,00
Calcário	1,28	1,40	1,40	1,45	1,45
Fosfato bicálcico	1,25	0,80	0,80	0,55	0,55
Sal	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Suplemento vitamínico ²	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Suplemento mineral ³	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Dióxido de titânio	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição analisada					
MS, %	88,63	90,63	89,90	89,79	88,78
PB, %	6,18	21,69	17,52	9,33	14,28
EB, kcal/kg	3.843	4.400	4.241	4.062	4.105
FDN, %	9,85	19,48	24,26	21,60	21,07
FDA, %	2,46	7,16	9,28	6,64	8,14
EE, %	3,20	6,44	4,69	5,85	4,16

¹BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

²Quantidade por kg de ração: Se como selenito de sódio e levedura de selênio, 0,3 mg; vitamina A como acetato de retinil, 6500 UI; vitamina D3 como colecalciferol, 1500 UI; vitamina E como DL-alfa tocoferil, 36 UI; vitamina K3 como bissulfato de menadiona nicotinamida 2.75 mg; tiamina como mononitrato de tiamina, 1,1 mg; riboflavina, 3,5 mg; piridoxina como cloridrato de piridoxina, 20 mg; vitamina B12, 0,02 mg; ácido fólico, 3,8 mg; ácido pantotênico como D-pantotenato de cálcio, 13 mg; niacina, 28 mg; biotina, 0,1 mg.

³Quantidade por kg de ração: Fe, 100 mg como sulfato de ferro, Cu, 13 mg como sulfato de cobre, Mn, 50 mg como monóxido de manganês; Zn, 97 mg como sulfato de zinco; I, 1 mg como iodato de cálcio.

Tabela 3. Composição química e analisada das dietas experimentais (matéria natural), Exp. 2

Ingredientes, %	Dietas ¹				
	Isenta de P	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS
Amido de milho	50,97	41,42	41,42	36,42	36,42
HP-DDG de milho do Brasil	-	40,00	-	-	-
HP-DDG de milho dos EUA	-	-	40,00	-	-
Farelo de milho com solúveis do Brasil	-	-	-	40,00	-
DDGS de milho dos EUA	-	-	-	-	40,00
Gelatina ²	20,00	-	-	5,00	5,00
Açúcar ³	20,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Celulose ⁴	4,00	-	-	-	-
Óleo de soja	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Calcário	0,80	0,58	0,58	0,81	0,81
Carbonato de potássio	0,50	0,20	0,20	-	-
Sal	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20
Dióxido de titânio	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Óxido de magnésio	0,30	-	-	-	-
Suplemento vitamínico ⁵	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Suplemento mineral ⁶	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
DL - Metionina	0,27	-	-	-	-
L - Isoleucina	0,16	-	-	-	-
L - Triptofano	0,14	-	-	0,02	0,02
L - Histidina	0,08	-	-	-	-
L - Treonina	0,08	-	-	-	-
L - Valina	0,05	-	-	-	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição analisada					
MS, %	92,22	92,54	92,17	91,23	91,27
Cinzas, %	2,59	2,42	3,72	3,01	3,92
P, %	0,002	0,18	0,20	0,27	0,27
Ca, %	0,65	0,63	0,57	0,67	0,78

¹Isenta de P = dieta isenta de fósforo; BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

²Rousselot Corp., Amparo, SP, Brasil.

³Açucareira Boa Vista Ltda. Limeira, SP, Brasil.

⁴J. Rettenmaier & Söhne Corp. - Rosenberg, OS, Alemanha.

⁵Quantidade por kg de ração: Se como selenito de sódio e levedura de selênio, 0,3 mg; vitamina A como acetato de retinil, 6500 UI; vitamina D3 como colecalciferol, 1500 UI; vitamina E como DL-alfa tocoferil, 36 UI; vitamina K3 como bissulfato de menadiona nicotinamida 2.75 mg; tiamina como mononitrato de tiamina, 1,1 mg; riboflavina, 3,5 mg; piridoxina como cloridrato de piridoxina, 20 mg; vitamina B12, 0,02 mg; ácido fólico, 3,8 mg; ácido pantotênico como D-pantotenato de cálcio, 13 mg; niacina, 28 mg; biotina, 0,1 mg.

⁶Quantidade por kg de ração: Fe, 100 mg como sulfato de ferro, Cu, 13 mg como sulfato de cobre, Mn, 50 mg como monóxido de manganês; Zn, 97 mg como sulfato de zinco; I, 1 mg como iodato de cálcio.

Tabela 4. Composição química e analisada das dietas experimentais (matéria natural), Exp. 3

Ingredientes, %	Dietas ¹				
	Isenta de N	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS
Amido de milho	85,43	51,42	51,42	51,85	51,85
HP-DDG de milho do Brasil	-	40,00	-	-	-
HP-DDG de milho dos EUA	-	-	40,00	-	-
Farelo de milho com solúveis do Brasil	-	-	-	40,00	-
DDGS de milho dos EUA	-	-	-	-	40,00
Açúcar ²	5,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Celulose ³	3,00	-	-	-	-
Óleo de soja	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Fosfato bicálcico	1,90	1,22	1,22	0,95	0,95
Calcário	1,22	1,38	1,38	1,45	1,45
Suplemento vitamínico ⁴	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Suplemento mineral ⁵	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Carbonato de potássio	0,50	0,18	0,18	-	-
Dióxido de titânio	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Sal	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20
Óxido de magnésio	0,10	-	-	-	-
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição analisada					
MS, %	90,8	91,9	88,8	90,5	88,5
PB, %	0,32	17,4	14,6	5,71	11,2
AA Essenciais, %					
Arg	0,02	0,87	0,63	0,31	0,51
His	0,01	0,52	0,37	0,17	0,30
Ile	0,01	0,73	0,61	0,21	0,47
Leu	0,03	2,17	1,85	0,55	1,33
Lys	0,02	0,56	0,41	0,18	0,33
Met	0,01	0,39	0,30	0,11	0,23
Phe	0,01	0,89	0,78	0,24	0,57
Thr	0,04	0,75	0,61	0,24	0,47
Trp	-	0,10	0,12	0,05	0,09
Val	0,01	0,95	0,78	0,30	0,58
AA Não Essenciais, %					
Ala	0,02	1,34	1,11	0,42	0,84
Asp	0,03	1,11	0,88	0,33	0,77
Cys	0,03	0,51	0,34	0,11	0,24
Glu	0,04	3,18	2,55	0,93	1,98
Gly	0,01	0,73	0,58	0,30	0,50
Pro	0,01	1,63	1,31	0,49	0,99
Ser	0,01	0,87	0,72	0,27	0,54
Tyr	0,01	0,76	0,65	0,21	0,46
AA Totais, %	0,31	18,0	14,5	5,44	11,2

¹Isenta de N = dieta isenta de nitrogênio; BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

²Açucareira Boa Vista Ltda. Limeira, SP, Brasil.

³J. Rettenmaier & Söhne Corp.- Rosenberg, OS, Alemanha.

⁴Quantidade por kg de ração: Se como selenito de sódio e levedura de selênio, 0,3 mg; vitamina A como acetato de retinil, 6500 UI; vitamina D3 como colecalciferol, 1500 UI; vitamina E como DL-alfa tocoferil, 36 UI; vitamina K3 como bissulfato de menadiona nicotinamida 2.75 mg; tiamina como mononitrato de tiamina, 1,1 mg; riboflavina, 3,5 mg; piridoxina como cloridrato de piridoxina, 20 mg; vitamina B12, 0,02 mg; ácido fólico, 3,8 mg; ácido pantotênico como D-pantotenato de cálcio, 13 mg; niacina, 28 mg; biotina, 0,1 mg.

⁵Quantidade por kg de ração: Fe, 100 mg como sulfato de ferro, Cu, 13 mg como sulfato de cobre, Mn, 50 mg como monóxido de manganês; Zn, 97 mg como sulfato de zinco; I, 1 mg como iodato de cálcio.

Tabela 5. Ingestão de ração, fezes e urina excretadas, balanço energético e de N das dietas experimentais (MS), e energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e EM corrigida para balanço de N (EMn) dos coprodutos de destilaria de milho, determinados pelo método de coleta total, Exp. 1¹

Item	Dietas ²					EPM	Valor de P
	Basal	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS		
Ingestão de ração, g/d ⁴	1046,78 ^a	945,32 ^b	991,03 ^b	946,93 ^b	1040,71 ^a	42,79	0,052
Fezes excretadas, g/d ³	124,89 ^b	155,51 ^b	200,14 ^a	214,66 ^a	206,93 ^a	11,67	<0,001
Urina excretada, g/d ⁴	30,98 ^c	58,66 ^a	58,86 ^a	45,44 ^b	58,77 ^a	3,58	<0,001
Consumo de EB, kcal/d ⁴	4,531	4,592	4,675	4,341	4,813	323,22	0,203
Excreção fecal de EB, kcal/d ³	588 ^c	811 ^b	1002 ^a	1004 ^a	994 ^a	56,98	<0,001
Excreção de EB na urina, kcal/d ^{3,4}	74 ^d	163 ^a	145 ^{ab}	109 ^c	134 ^b	9,65	<0,001
Ingestão de N, g/d ^{3,4}	11,68 ^d	34,24 ^a	30,90 ^{ab}	15,95 ^c	26,86 ^b	1,86	<0,001
N nas fezes, g/d ⁴	3,36 ^b	7,32 ^a	8,21 ^a	4,89 ^b	7,48 ^a	0,44	<0,001
N na urina, g/d ^{3,4}	5,95 ^d	16,60 ^a	14,73 ^{ab}	7,94 ^d	12,87 ^b	0,92	<0,001
ED do ingrediente, kcal/kg ^{3,4}	-	4.399 ^a	3.740 ^b	3.246 ^c	3.641 ^b	90,22	<0,001
EM do ingrediente, kcal/kg ^{3,4}	-	4.070 ^a	3.477 ^b	3.060 ^c	3.417 ^b	92,99	<0,001
EMn do ingrediente, kcal/kg ^{3,4}	-	3.924 ^a	3.396 ^b	3.032 ^c	3.348 ^b	87,51	<0,001

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

³BRHPDG vs. USHPDG, $P < 0,05$.

⁴BRCBS vs. USDDGS, $P < 0,05$.

Tabela 6. Digestibilidade total aparente (DTA) dos componentes químicos e da energia digestível (ED) dos coprodutos de destilaria de milho (MS) determinada pelo método de coleta total e pelo método do indicador, Exp. 1¹

Item, %	Ingredientes ²								EPM	Valor de P			
	Método	Coleta Total				Indicador				Ingrediente	Método	Ing×Met ³	
		BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS	BRHPDG	USHPDG	BRCBS					USDDGS
MS	75,02 ^a	65,30 ^b	57,19 ^c	65,60 ^b	76,79 ^a	65,15 ^b	57,36 ^c	68,44 ^b	1,74	<0,001	0,275	0,722	
EB	75,43 ^a	66,42 ^b	60,32 ^c	67,53 ^b	76,99 ^a	66,56 ^b	60,31 ^c	70,23 ^b	1,72	<0,001	0,299	0,770	
PB	78,23 ^a	70,82 ^{ab}	66,58 ^b	69,78 ^{ab}	79,85 ^a	71,33 ^{ab}	64,60 ^b	71,82 ^{ab}	2,43	<0,001	0,718	0,786	
FDN	78,21 ^a	72,59 ^b	48,78 ^c	60,43 ^b	80,95 ^a	71,66 ^b	49,04 ^c	67,64 ^b	1,70	<0,001	0,058	0,101	
FDA	83,09 ^a	80,57 ^a	53,60 ^b	77,70 ^a	84,34 ^a	79,32 ^a	51,61 ^b	79,03 ^a	1,63	<0,001	0,884	0,646	
EE	64,86 ^{ab}	58,02 ^b	76,46 ^a	64,47 ^{ab}	69,97 ^{ab}	53,98 ^b	76,00 ^a	66,73 ^{ab}	4,46	0,001	0,832	0,886	
ED, kcal/kg	4.295 ^a	3.636 ^b	3.063 ^c	3.538 ^b	4.384 ^a	3.643 ^b	3.064 ^c	3.679 ^b	91,71	<0,001	0,286	0,769	

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em P < 0,05.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

³Ing×Met = Ingredientes x Métodos.

Tabela 7. Digestibilidade total aparente (DTA) e estandardizada (DTE) do P e conteúdo de P digestível aparente e estandardizado dos coprodutos de destilaria de milho (MS), Exp. 2¹

Item, %	Ingredientes ²				EPM	Valor de P
	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS		
DTA do P ^{3,4}	38,16 ^b	58,98 ^a	39,71 ^b	54,32 ^a	2,32	<0,001
DTE do P ^{3,4}	48,31 ^b	67,58 ^a	46,44 ^b	62,69 ^a	2,43	<0,001
P digestível aparente ^{3,4}	0,20 ^c	0,30 ^b	0,31 ^b	0,44 ^a	0,02	<0,001
P digestível estandardizado ^{3,4}	0,25 ^c	0,35 ^b	0,39 ^b	0,49 ^a	0,02	<0,001

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

³BRHPDG vs. USHPDG, $P < 0,05$.

⁴BRCBS vs. USDDGS, $P < 0,05$.

Tabela 8. Digestibilidade ileal aparente (DIA) da PB e AA dos coprodutos de destilaria de milho, Exp. 3¹

Item, %	Ingredientes ²				EPM	Valor de P
	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS		
PB ^{3,4}	63,48 ^a	46,84 ^b	25,94 ^c	53,10 ^{ab}	3,07	<0,001
AA Essenciais						
Arg ^{3,4}	72,95 ^a	60,42 ^b	43,54 ^c	65,70 ^{ab}	2,64	<0,001
His ^{3,4}	70,82 ^a	57,92 ^b	51,24 ^b	62,18 ^{ab}	3,25	0,002
Ile ^{3,4}	69,39 ^a	61,03 ^{ab}	44,25 ^c	57,41 ^b	3,32	<0,001
Leu ^{3,4}	78,01 ^a	68,22 ^b	58,70 ^c	68,25 ^b	2,82	<0,001
Lys ^{3,4}	56,59 ^a	40,56 ^b	17,03 ^c	39,65 ^b	4,49	<0,001
Met ⁴	77,69 ^a	69,43 ^a	57,26 ^b	67,31 ^{ab}	3,02	<0,001
Phe ⁴	73,25 ^a	66,71 ^a	46,54 ^b	63,86 ^a	3,10	<0,001
Thr ^{3,4}	67,03 ^a	55,46 ^{ab}	29,21 ^c	53,82 ^b	3,38	<0,001
Trp ⁴	52,34 ^a	52,02 ^a	23,15 ^b	48,65 ^a	4,50	<0,001
Val ^{3,4}	70,63 ^a	61,42 ^b	46,99 ^c	56,41 ^b	2,91	<0,001
AA Não Essenciais						
Ala ^{3,4}	72,47 ^a	60,33 ^b	50,35 ^c	63,81 ^{ab}	2,71	<0,001
Asp ^{3,4}	68,03 ^a	57,75 ^a	37,18 ^b	58,23 ^a	3,73	<0,001
Cys ^{3,4}	77,04 ^a	64,07 ^b	39,40 ^c	59,57 ^b	3,36	<0,001
Glu ^{3,4}	77,87 ^a	65,22 ^{bc}	57,76 ^c	69,39 ^{ab}	2,67	<0,001
Gly ³	52,50 ^a	20,19 ^c	-	35,92 ^b	7,65	<0,001
Pro ^{3,4}	47,33 ^a	33,72 ^{ab}	27,83 ^b	46,81 ^a	7,57	0,021
Ser ^{3,4}	70,10 ^a	52,57 ^b	33,15 ^c	50,76 ^b	3,45	<0,001
Tyr ^{3,4}	73,80 ^a	64,54 ^{ab}	45,71 ^c	61,38 ^b	2,81	<0,001
Total ⁴	57,55 ^a	51,47 ^a	30,00 ^b	45,46 ^{ab}	5,05	0,003

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

³BRHPDG vs. USHPDG, $P < 0,05$.

⁴BRCBS vs. USDDGS, $P < 0,05$.

Tabela 9. Digestibilidade ileal estandardizada (DIE) da PB e AA dos coprodutos de destilaria de milho, Exp. 3^{1,2}

Item, %	Ingredientes ³				EPM	Valor de P
	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS		
PB ⁵	67,20 ^{ab}	61,98 ^b	58,85 ^b	71,71 ^a	3,11	0,004
AA Essenciais						
Arg ⁵	83,43 ^a	76,12 ^{ab}	74,18 ^b	84,07 ^a	2,99	0,042
His ⁴	76,40 ^a	65,88 ^b	68,80 ^{ab}	71,84 ^{ab}	3,21	0,094
Ile	75,56 ^a	68,49 ^{ab}	65,21 ^b	67,23 ^{ab}	3,27	0,081
Leu ⁴	81,41 ^a	72,21 ^b	72,10 ^b	73,81 ^b	2,81	0,003
Lys ⁴	65,62 ^a	53,35 ^b	45,90 ^c	54,90 ^b	4,41	0,036
Met	82,12	75,28	73,19	74,83	2,86	0,151
Phe ⁵	78,10 ^a	72,28 ^{ab}	64,31 ^b	71,49 ^{ab}	3,01	0,004
Thr ⁵	75,70 ^a	66,50 ^a	54,00 ^b	67,8 ^a	3,32	<0,001
Trp	73,09	70,53	65,68	73,63	4,46	0,638
Val ⁴	76,22 ^a	68,64 ^{ab}	64,77 ^b	66,17 ^b	2,86	0,005
AA Não Essenciais						
Ala ⁴	81,57 ^a	71,95 ^{ab}	79,18 ^{ab}	78,41 ^{ab}	2,07	0,073
Asp ⁵	72,76 ^a	64,24 ^{ab}	52,93 ^b	65,40 ^{ab}	3,72	0,002
Cys ^{4 5}	82,07 ^a	71,75 ^a	58,70 ^b	69,76 ^{ab}	3,40	<0,001
Glu ⁴	81,13 ^a	69,66 ^b	69,39 ^b	75,00 ^{ab}	2,66	0,011
Gly	92,96	72,88	80,30	94,22	8,11	0,264
Pro	54,73	43,20	52,16	59,00	7,57	0,101
Ser ⁴	79,19 ^a	64,43 ^b	62,98 ^b	65,82 ^{ab}	3,43	0,009
Tyr ⁴	78,52 ^a	70,10 ^{ab}	62,37 ^b	69,44 ^{ab}	2,76	0,001
Total	68,04	64,64	65,01	62,33	5,07	0,870

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²Perdas endógenas ileais (g/kg de ingestão de MS): Arg, 0,104; His, 0,032; Ile, 0,050; Leu, 0,082; Lys, 0,057; Met, 0,019; Phe, 0,048; Thr, 0,073; Trp, 0,027; Val, 0,062; Ala, 0,141; Asp, 0,063; Cys, 0,028; Glu, 0,124; Gly, 0,337; Pro, 0,327; Ser, 0,093; Tyr, 0,041.

³BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos

⁴BRHPDG vs. USHPDG, $P < 0,05$.

⁵BRCBS vs. USDDGS, $P < 0,05$.

Tabela 10. Conteúdo de PB e AA digestível ileal aparente dos coprodutos de destilaria de milho (MS), Exp. 3¹

Item, %	Ingredientes ²				EPM	Valor de P
	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS		
PB ^{3,4}	30,14 ^a	18,18 ^b	4,05 ^d	15,84 ^b	1,21	<0,001
AA Essenciais						
Arg ^{3,4}	1,63 ^a	1,01 ^b	0,34 ^d	0,83 ^c	0,06	<0,001
His ^{3,4}	0,97 ^a	0,58 ^b	0,21 ^c	0,46 ^b	0,03	<0,001
Ile ^{3,4}	1,34 ^a	0,99 ^b	0,23 ^d	0,64 ^c	0,05	<0,001
Leu ^{3,4}	4,48 ^a	3,33 ^b	0,80 ^d	2,28 ^c	0,10	<0,001
Lys ^{3,4}	0,84 ^a	0,45 ^b	0,08 ^c	0,33 ^b	0,06	<0,001
Met ^{3,4}	0,76 ^a	0,42 ^b	0,18 ^d	0,33 ^c	0,02	<0,001
Phe ^{3,4}	1,72 ^a	1,38 ^b	0,29 ^d	0,89 ^c	0,05	<0,001
Thr ^{3,4}	1,21 ^a	0,82 ^b	0,17 ^d	0,59 ^c	0,04	<0,001
Trp ⁴	0,13 ^a	0,13 ^a	0,03 ^c	0,09 ^b	0,01	<0,001
Val ^{3,4}	1,81 ^a	1,24 ^b	0,33 ^d	0,84 ^c	0,05	<0,001
AA Não Essenciais						
Ala ^{3,4}	2,58 ^a	1,78 ^b	0,52 ^d	1,37 ^c	0,07	<0,001
Asp ^{3,4}	2,24 ^a	1,57 ^b	0,36 ^d	1,17 ^c	0,09	<0,001
Cys ^{3,4}	0,91 ^a	0,57 ^b	0,15 ^d	0,41 ^c	0,03	<0,001
Glu ^{3,4}	6,74 ^a	4,52 ^b	1,34 ^d	3,47 ^c	0,17	<0,001
Gly ³	1,01 ^a	0,31 ^b	-	0,45 ^b	0,09	<0,001
Pro ^{3,4}	2,32 ^a	1,24 ^b	0,36 ^c	1,12 ^b	0,22	<0,001
Ser ^{3,4}	1,66 ^a	1,02 ^b	0,23 ^d	0,70 ^c	0,05	<0,001
Tyr ^{3,4}	1,53 ^a	1,04 ^b	0,26 ^d	0,77 ^c	0,04	<0,001

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

³BRHPDG vs. USHPDG, $P < 0,05$.

⁴BRCBS vs. USDDGS, $P < 0,05$.

Tabela 11. Conteúdo de PB e AA digestível ileal estandardizado dos coprodutos de destilaria de milho (MS), Exp. 3¹

Item, %	Ingredientes ²				EPM	Valor de P
	BRHPDG	USHPDG	BRCBS	USDDGS		
PB ^{3,4}	35,89 ^a	23,83 ^b	9,39 ^c	21,29 ^b	1,22	<0,001
AA Essenciais						
Arg ^{3,4}	1,88 ^a	1,26 ^b	0,59 ^d	1,07 ^c	0,04	<0,001
His ^{3,4}	1,04 ^a	0,65 ^b	0,28 ^d	0,52 ^c	0,03	<0,001
Ile ^{3,4}	1,46 ^a	1,11 ^b	0,34 ^d	0,76 ^c	0,05	<0,001
Leu ^{3,4}	4,68 ^a	3,53 ^b	0,98 ^d	2,47 ^c	0,10	<0,001
Lys ^{3,4}	0,98 ^a	0,59 ^b	0,21 ^c	0,46 ^b	0,06	<0,001
Met ^{3,4}	0,83 ^a	0,44 ^b	0,20 ^d	0,35 ^c	0,01	<0,001
Phe ^{3,4}	1,83 ^a	1,50 ^b	0,39 ^d	1,00 ^c	0,05	<0,001
Thr ^{3,4}	1,36 ^a	0,98 ^b	0,31 ^d	0,74 ^c	0,04	<0,001
Trp ⁴	0,18 ^a	0,18 ^a	0,09 ^c	0,13 ^b	0,01	<0,001
Val ^{3,4}	1,95 ^a	1,39 ^b	0,46 ^d	0,99 ^c	0,05	<0,001
AA Não Essenciais						
Ala ^{3,4}	2,68 ^a	1,98 ^b	0,79 ^d	1,59 ^c	0,06	<0,001
Asp ^{3,4}	2,40 ^a	1,75 ^b	0,52 ^d	1,30 ^c	0,09	<0,001
Cys ^{3,4}	0,97 ^a	0,64 ^b	0,23 ^d	0,47 ^c	0,02	<0,001
Glu ^{3,4}	7,01 ^a	4,82 ^b	1,60 ^d	3,75 ^c	0,17	<0,001
Gly ^{3,4}	1,78 ^a	1,13 ^b	0,61 ^c	1,19 ^b	0,10	<0,001
Pro ^{3,4}	2,64 ^a	1,56 ^b	0,66 ^c	1,41 ^b	0,22	<0,001
Ser ^{3,4}	1,87 ^a	1,25 ^b	0,44 ^d	0,91 ^c	0,05	<0,001
Tyr ^{3,4}	1,62 ^a	1,13 ^b	0,35 ^d	0,88 ^c	0,04	<0,001

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²BRHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína do Brasil; USHPDG = grãos secos de destilaria de alta proteína dos Estados Unidos; BRCBS = farelo de milho com solúveis do Brasil; USDDGS = grãos secos de destilaria com solúveis dos Estados Unidos.

³BRHPDG vs. USHPDG, $P < 0,05$.

⁴BRCBS vs. USDDGS, $P < 0,05$.

3. COMPARAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, CONTEÚDO ENERGÉTICO E DIGESTIBILIDADE DE FONTES DE ÓLEO DE MILHO DE DESTILARIA E ÓLEOS DE SOJA PARA SUÍNOS

RESUMO: O objetivo desse estudo foi determinar e comparar a composição química, indicadores de oxidação, digestibilidade do extrato etéreo (EE) e o conteúdo de energia digestível (ED) dos óleos de milho de destilaria (DCO) do Brasil (CBR) e dos Estados Unidos (CUS) com os óleos de soja refinado (RSB) e degomado (DSB) produzidos no Brasil para suínos em crescimento. Cinquenta suínos machos castrados de linhagem comercial ($23,1 \pm 3,4$ kg de peso vivo - PV) receberam uma dieta basal a base de milho e farelo de soja (DB) ou dietas compostas por 90% da DB e 10% de uma das quatro fontes de óleo (CBR, CUS, RSB ou DSB). Os suínos foram alimentados em quantidades equivalentes a 2,8 vezes a exigência de ED de manutenção por 9 d (7 d adaptação e 2 d coleta parcial de fezes). O CBR apresentou menos ácido linoleico (47,4%) do que o CUS (53,9%), RSB (54,2%) e DSB (51,5%) e maior conteúdo de ácido oleico (32,1%) e palmítico (14,6%) em comparação com o CUS (27,0 e 12,9%), RSB (22,9 e 11,2%) e DSB (23,5 e 11,2%). A umidade e a matéria insaponificável do CBR (0,17 e 1,64%) e CUS (0,20 e 1,64%) foram semelhantes, mas maiores do que os valores encontrados para o RSB (0,05 e 1,20%) e DSB (0,12 e 1,02%). O valor de anisidina, o teor de ácidos graxos livres e a acidez das amostras dos DCO foram superiores aos óleos de soja. O valor de peróxido e as TBARS aumentaram nas amostras de óleo ao longo do tempo. A digestibilidade total aparente (DTA) da EB e o valor de ED dos óleos não diferiram entre as fontes de óleos e variaram de 87,8 a 91,5%, e de 8.280 a 8.630 kcal kg⁻¹, respectivamente. A DTA do EE do RSB e DSB foi maior do que do CBR, mas semelhante ao do CUS. Estes resultados sugerem que o óleo de milho de destilaria produzido no Brasil é uma excelente fonte de energia para suínos, com valor de ED semelhante ao DCO dos EUA e RSB e DSB produzidos no Brasil.

Palavras-chave: ácidos graxos; ácidos graxos insaturados; ácidos graxos poli insaturados; oxidação

ABSTRACT: The objective of this study was to determine and compare the chemical composition, change in oxidation indicators, ether extract (EE) digestibility, and digestible energy (DE) content of distillers corn oil (DCO) from Brazil (CBR) and the United States (CUS), with refined (RSB) and degummed soybean oil (DSB) produced in Brazil and fed to growing pigs. Fifty crossbred barrows (23.1 ± 3.4 kg body weight – BW) were fed a corn-soybean meal basal diet (BD), or diets composed of 90% BD and 10% of one of the four oil sources (CBR, CUS, RSB or DSB). The pigs were fed an amount of their respective experimental diets equivalent to 2.8 times the maintenance DE requirement for 9 d (sequentially 7 d adaptation and 2 d partial collection of feces). CBR contained lower linoleic acid (47.4%) than CUS (53.9%), RSB (54.2%) and DSB (51.5%), but greater contents of oleic (32.1%) and palmitic (14.6%) acids compared to CUS (27.0 and 12.9%), RSB (22.9 and 11.2%) and DSB (23.5 and 11.2%). The moisture and unsaponifiable contents of CBR (0.17 and 1.64%) and CUS (0.20 and 1.64%) were similar, but greater than the values found for RSB (0.05 and 1.20%) and DSB (0.12 and 1.02%). The anisidine value, the free fatty acid content, and acidity of DCO samples were higher than soybean oils. The peroxide value and TBARS content increased in the oil's samples over time. The ATTD of GE and the DE value of the oils did not differ among oils sources and ranged from 87.8 to 91.5%, and from 8280 to 8630 kcal kg⁻¹, respectively. The ATTD of EE was greater in RSB and DSB than for CBR, but similar to CUS. These results suggest that distillers corn oil produced in Brazil is an excellent energy source for pigs, with a DE value similar to that of DCO from the US, and RSB and DSB produced in Brazil

Keywords: fatty acids; oxidation; polyunsaturated fatty acid; swine; unsaturated fatty acid

3.1. Introdução

Os Estados Unidos (EUA) e o Brasil são responsáveis por mais de 80% da produção global de etanol (RFA, 2021). No Brasil, a principal matéria-prima utilizada para este fim é a cana de açúcar, enquanto os EUA produzem etanol a partir do milho (Chum et al., 2014). Contudo, novos programas foram lançados pelo governo brasileiro para impulsionar a produção de combustíveis renováveis, com um grande aumento na produção de etanol a partir do milho (EPE, 2019).

Nos EUA, quase todas as usinas de etanol que têm o grão de milho como matéria-prima separam uma porção do óleo de milho de destilaria (DCO), gerando um coproduto adicional além dos grãos úmidos ou secos de destilaria com solúveis (Shurson, 2018), e 51% desse DCO nos EUA é utilizado em dietas de suínos e aves (RFA, 2017; Shurson, 2018). Embora as gorduras e óleos sejam importantes fontes de energia para as dietas de suínos, a composição química, o grau de oxidação, o conteúdo de energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e o conteúdo de energia líquida (EL) são altamente variáveis entre as fontes (Shurson et al., 2021). Shurson et al. (2021) reportaram que a variabilidade do conteúdo de ED do óleo de soja para suínos foi de 7.977 a 9.979 kcal kg⁻¹, enquanto a ED de fontes de DCO variou de 8.001 kcal kg⁻¹ (Lindblom et al., 2017) a 8.828 kcal kg⁻¹ (Kerr et al., 2016).

A digestibilidade das fontes lipídicas e os seus valores energéticos são afetados por vários fatores, incluindo o comprimento da cadeia dos ácidos graxos (AG) que as compõe, o grau de insaturação, a posição do AG nos triglicerídeos, proporções relativas de vários AG na fonte lipídica, conteúdo AG livres (AGL), bem como a idade do suíno (Shurson et al., 2021). As equações de predição baseadas no teor de AGL e na relação de AG insaturado a saturado de gorduras e óleos têm sido amplamente utilizadas para estimar o conteúdo de ED de lipídeos para suínos (Wiseman et al., 1998), uma vez que a digestibilidade é melhorada com a maior relação de AG insaturados e saturados e menor teor de AGL (Powles et al., 1995). Embora o DCO contenha até 15% de AGL, o conteúdo de ED entre fontes de DCO com conteúdo de AGL variável ainda é inconsistente (Kerr et al., 2016), e geralmente é superestimado utilizando equações, como as de Wiseman et al. (1998) por exemplo. Portanto, devido a variabilidade no conteúdo de ED entre fontes de DCO e óleo de soja existentes, e sem dados publicados sobre a composição química e conteúdo de ED de DCO produzido no Brasil, o objetivo deste estudo foi determinar a composição química, o conteúdo de ED e digestibilidade do extrato etéreo (EE) de um DCO produzido no Brasil (CBR), com um DCO dos EUA (CUS), óleo de soja refinado (RSB) e óleo de soja degomado (DSB) para suínos em crescimento.

3.2. Material e Métodos

O protocolo experimental desse estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (protocolo número 2017.5.1622.11.6) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo. O experimento foi realizado nas instalações do setor de suinocultura da mesma instituição, em Piracicaba, São Paulo, Brasil (22° 43' 30" S, 47° 38' 51" W, 524 m).

Cinquenta suínos mestiços machos castrados (23,1 ± 3,4 kg de peso vivo - PV) foram alojados individualmente em baias com chão parcialmente vazado, equipadas com bebedouros do tipo “nipple” e alimentadores semiautomáticos, em duas rodadas de 25 animais cada. Os suínos foram distribuídos em tratamentos baseados no PV em um delineamento de blocos casualizados, para receberem uma dieta basal formulada a base milho e farelo de soja (DB), ou dietas compostas de 90% de DB e 10% de uma das quatro fontes lipídicas: óleo de milho de destilaria do Brasil (CBR; FS Bioenergia Inc., Lucas do Rio Verde, MT, Brasil); óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos

(CUS; Corn Plus Co-Op & LLP, Winnebago, MN, EUA); óleo de soja refinado (RSB; Cocamar Coop., Maringá, PR, Brasil); ou óleo de soja degomado (DSB; Brejeiro, Produtos Alimentícios Orlândia S. A., Orlândia, SP, Brasil) do Brasil, totalizando 10 repetições por tratamento. As dietas experimentais foram formuladas para atender as exigências nutricionais propostas pelo NRC (2012) para suínos de 11-25 kg, e todas as dietas continham 0,30% de dióxido de titânio como marcador indigestível (Tabela 12).

Todos os animais foram alimentados com uma quantidade equivalente a 2,8 vezes a exigência de ED de manutenção (110 kcal ED/kg PV^{0,75}) com base no PV metabólico de cada animal no início do experimento. As dietas foram oferecidas diariamente em duas porções iguais, e a água estava disponível a vontade durante todo o período experimental, que durou 7 d para adaptação e 2 d de coleta parcial de fezes. Foram coletadas as fezes frescas do chão das baias, logo após a defecação pelos animais, retirando as porções que entravam em contato com a urina, sobra de ração ou outra sujidade, durante os dois dias de coleta. As fezes foram pesadas e cerca de 300 g eram coletados em sacos plásticos e armazenados a -20°C. Antes da análise laboratorial, as amostras de fezes foram descongeladas, homogêneas por animal, e uma subamostra foi seca a 55°C durante 72 h em estufa de ventilação forçada (Modelo MA035, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil). Amostras de fezes e dietas foram moídas a 1 mm em um moinho de facas (Modelo MA680, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) e foram analisadas para titânio (Myers et al., 2004), matéria seca (MS; método número 934.01; AOAC, 2006), EE (método número 2003.06; AOAC, 2006) e EB em calorímetro adiabático (Modelo C5003, Ika-Werke, Staufen, Alemanha). Os óleos foram armazenados em barris de polietileno e foram amostrados em três datas diferentes (CBR = A - 26 de fevereiro de 2018; B - 26 de março de 2018; C - 25 de abril de 2018) ou dois (CUS, RSB e DSB = B - 26 de março de 2018) 2018; C - 25 abr. 2018), de acordo com a chegada à unidade experimental, para avaliar sua composição química e o efeito do tempo nos parâmetros de oxidação. O experimento foi realizado considerando as amostras obtidas no período B. As amostras dos óleos foram analisadas para o conteúdo de AG (método número 969.33 963.22; AOAC, 2006), AGL (método número Ca 5a-40; AOCS, 1989), acidez (método número Cd 3d-63; AOCS, 2011), índice de peróxidos (método número 940.28; AOAC, 2006), substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS; método número Cd 19-90; AOCS, 2011), valor de anisidina (método número Cd 18-90; AOCS, 2011), umidade e matéria volátil (método número Ca 2c-25; AOCS, 2011), impurezas insolúveis (método número Ca 3a-46; AOCS, 2011) e matéria insaponificável (método número Cd 8b-90; AOCS, 2011).

A digestibilidade total aparente (DTA) da EB, EE e MS das fontes lipídicas e os seus respectivos valores de ED, foram calculados pelo método da diferença utilizando o método do indicador, de acordo com Adeola (2001). Os dados foram submetidos à ANOVA utilizando o procedimento MIXED da SAS (versão 9.2; SAS Inst. Inc., Cary, NC). Os ingredientes (óleos) foram considerados efeitos fixos e os blocos foram considerados efeitos aleatórios no modelo, como se segue: $Y(ij) = \mu + t(i) + b(j) + \epsilon(ij)$, em que $Y(ij)$ = variável dependente; μ = média geral; $t(i)$ = efeito fixo dos tratamentos ($i = 1, \dots, 4$); $b(j)$ = efeito aleatório dos blocos ($j = 1, \dots, 10$); e $\epsilon(ij)$ = erro residual. Todos os dados foram examinados quanto à normalidade residual, homogeneidade da variância e outliers. Os valores médios de cada tratamento (LSMEANS) estão reportados nas tabelas. As diferenças entre os tratamentos foram consideradas estatisticamente significativas quando $P < 0,05$, pelo teste de Tukey.

3.3. Resultados

A composição química dos óleos está apresentada na Tabela 13. O conteúdo de EB e EE entre os óleos foram semelhantes, variando entre 9.290 e 9.400 kcal kg⁻¹, e 98,5 e 100%, respectivamente. O CBR apresentou menor

teor de ácido linoleico (46,9%) que o CUS (53,9%), RSB (54,2%) e DSB (51,5%), porém maior conteúdo de ácido oleico (31,9%) e palmítico (14,4%) em comparação com o CUS (27,0 e 12,9%), RSB (22,9 e 11,2%) e DSB (23,5 e 11,2%). A umidade e a matéria insaponificável do CBR (0,19 e 1,52%) e CUS (0,20 e 1,46%) foram semelhantes, mas maiores do que os valores encontrados para o RSB (0,05 e 1,20%) e DSB (0,12 e 1,02%). Os valores de peróxido do CBR, CUS, RSB e DSB foram de 0,78, 0,78, 2,34 e 1,17 MEq kg⁻¹, respectivamente, na primeira amostragem e aumentaram nas amostras de óleo ao longo do tempo. Os valores de anisidina (7,04), AGL (13,7%) e acidez (27,3 mg KOH g⁻¹) do CBR foram superiores comparados com os do CUS (4,81, 8,97% e 17,9 mg KOH g⁻¹, respectivamente). Contudo, os DCO apresentaram valores superiores em relação ao RSB (1,34, 0,46% e 0,92 mg KOH g⁻¹, respectivamente) e DSB (2,13, 1,42% e 2,83 mg KOH g⁻¹, respectivamente).

A DTA da MS e EB da DB e das dietas com CBR, CUS, RSB e DSB foram 86,7, 86,8, 86,7, 87,0 e 87,3%, respectivamente, e 86,5, 87,0, 87,1, 87,4 e 87,5%, respectivamente. No entanto, a DTA do EE da DB foi inferior em comparação as dietas contendo as diferentes fontes lipídicas (60,1 vs. 84,5 - 87,6%). A DTA da EB e o conteúdo de ED dos óleos (Tabela 14) não diferiram ($P>0,05$) e variaram de 87,8 a 91,5%, e de 8.280 a 8.630 kcal kg⁻¹, respectivamente. A DTA do EE foi maior ($P=0,004$) para o RSB (94,6%) e DSB (95,1%) do que para o CBR (90,7%), mas semelhante ao CUS (93,5%).

3.4. Discussão

Este foi o primeiro estudo a determinar a composição química e o conteúdo ED de um DCO produzido no Brasil para suínos e a comparar com o conteúdo de ED de um DCO dos EUA, juntamente com dois óleos de soja (refinado e degomado) utilizados comumente em dietas de suínos no Brasil. Além disso, não existem dados de composição ou estimativas do conteúdo de ED para DCO brasileiro nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos - Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais (Rostagno et al., 2017).

O perfil de AG do CBR e CUS foram sutilmente diferentes para os três principais AG, linoleico (46,9 vs. 53,9%), oleico (31,9 vs. 27,0%) e palmítico (14,4 vs. 12,9%, respectivamente). Kerr et al. (2016) avaliaram três diferentes DCO produzidos nos EUA, com conteúdo de AGL variado e relataram que a média dos AG linoleico, oleico e palmítico foi de 53,7, 28,5 e 12,8%, respectivamente, corroborando as concentrações destes AG no CUS avaliado neste estudo. Da mesma forma, Lindblom et al. (2017) relataram que as concentrações médias de ácido linoleico, oleico e palmítico de duas fontes de DCO produzidas nos EUA foram 56,2, 26,8 e 12,9%, respectivamente, e comparáveis aos valores para o CUS obtidos no presente estudo. O teor de ácido linoleico, ácido oleico e ácido palmítico do RSB (54,2, 22,9, 11,2%, respectivamente) e DSB (51,5, 23,5, e 11,2%, respectivamente) foram semelhantes, e também similares a uma fonte de óleo de soja avaliada por Lindblom et al. (2019) (53,2, 23,1, e 10,7%, respectivamente). Além disso, as concentrações dos AG foram comparáveis aos do CUS. Tanto o RSB como o DSB apresentaram perfis de AG semelhantes aos relatados no NRC (2012) e por Rostagno et al. (2017).

O somatório da umidade, insolúveis e matéria insaponificável entre os quatro óleos avaliados foi inferior a 2% e comparável aos valores habitualmente encontrados nas fábricas de rações comerciais (Shurson et al., 2015). De fato, o CBR avaliado no presente estudo atendeu todos os requisitos estabelecidos pela Association of American Feed Control Officials (2017) para a composição de um DCO apto para ser utilizado na alimentação de animais, incluindo um teor de AG superior a 85%, bem como matéria insaponificável e impurezas insolúveis inferiores a 2,5 e 1%, respectivamente.

As medidas de oxidação lipídica (valor de peróxido, valor de anisidina, AGL e TBARS) aumentaram ao longo do tempo das amostragens, independentemente do óleo. De acordo com Dibner et al. (2011) e Song e Shurson (2013), o grau de peroxidação em ingredientes ricos em lipídeos pode variar dependendo das condições de armazenamento e processamento. O CBR e o CUS apresentaram maior conteúdo de AGL e maior valor de anisidina em comparação com as fontes de óleo de soja, porém essas diferenças nesses dois indicadores de oxidação não foram aparentemente suficientes para afetar o conteúdo de ED desses óleos. O uso de valores de indicadores de forma isolada tem fraca correlação com o conteúdo de ED de gorduras e óleos, sendo indicado avalia-los de forma conjunta com outros indicadores e não de forma individual (Shurson et al., 2015; Shurson et al., 2021). Os valores de peróxido do CBR e do CUS durante os primeiros períodos de amostragem, e os valores de anisidina observados para essas fontes de DCO foram inferiores aos determinados por Kerr et al. (2016), e os valores de anisidina foram inferiores nas amostras de DCO avaliadas por Lindblom et al. (2017), sugerindo que uma peroxidação mínima dos óleos ocorreu no período experimental.

O aumento do conteúdo de AGL em fontes lipídicas pode ser o resultado da peroxidação. Embora o conteúdo de AGL seja considerado um fator importante que afeta o conteúdo de ED e EM de gorduras e óleos para suínos (Powles et al., 1995), vários estudos demonstraram que o conteúdo de AGL não é tão preditivo ao conteúdo de ED como era sugerido anteriormente na literatura (Kerr et al., 2016; Kellner and Patience, 2017; Lindblom et al., 2017). Embora a DTA do EE do CBR foi menor comparada a dos óleos de soja avaliados neste estudo, o conteúdo de AGL mais elevado do CBR não afetou a DTA do conteúdo de EB e ED. Esses resultados estão de acordo com os relatados por Lindblom et al. (2017), em que foi observada uma redução na digestibilidade do EE de DCO quando o conteúdo de AGL aumentou de 4,5 para 10%, mas não foram observadas diferenças no conteúdo de ED entre as fontes.

Os valores de ED do CBR ($8.520 \text{ kcal kg}^{-1}$) e CUS ($8.280 \text{ kcal kg}^{-1}$) estão dentro do intervalo de 8.036 a $8.828 \text{ kcal kg}^{-1}$ para fontes de DCO com conteúdo de AGL variável avaliada por Kerr et al. (2016), sendo o valor de ED do CBR comparável ao valor de ED de um DCO com AGL de 13,9% ($8.465 \text{ kcal kg}^{-1}$) determinado por Kerr et al. (2016). No entanto, Lindblom et al. (2017) encontraram valores de ED inferiores de duas fontes de DCO (8.000 e $8.052 \text{ kcal kg}^{-1}$). Porém, os valores da DTA do EE e ED de ambas as fontes de DCO avaliadas neste estudo estavam de acordo com os valores reportados por Rostagno et al. (2017) para o óleo de milho (88,8% e $8.580 \text{ kcal kg}^{-1}$, respectivamente).

O conteúdo de DTA da EB e ED de ambos os óleos de soja no presente estudo foram semelhantes e não diferiram dos valores obtidos para as fontes de DCO. Embora os valores de ED para o RSB ($8.580 \text{ kcal kg}^{-1}$) e DSB ($8.630 \text{ kcal kg}^{-1}$) foram semelhantes ao valor de ED de $8.527 \text{ kcal kg}^{-1}$ observado por Zhao et al. (2017), estes valores foram inferiores ao valor de $8.749 \text{ kcal kg}^{-1}$ sugerido pelo NRC (2012) e ao valor de $9.388 \text{ kcal kg}^{-1}$ observado por Lindblom et al. (2017). Contudo, Rostagno et al. (2017) sugerem que a DTA do EE é de 88,5% e o valor de ED é de $8.600 \text{ kcal kg}^{-1}$, que são semelhantes aos resultados encontrados neste estudo. Portanto, os valores de ED para as fontes de óleo de soja estão dentro dos valores anteriormente reportados e semelhantes ao conteúdo de ED do DCO produzido no Brasil.

Em conclusão, as fontes de óleo de milho de destilaria e de óleos de soja apresentaram valores de energia digestível semelhantes, comparáveis aos resultados de estudos existentes na literatura. O óleo de milho de destilaria produzido no Brasil é uma excelente fonte de energia para suínos com um valor de ED semelhante ao do DCO dos EUA e aos dos óleos de soja degomado e refinado produzidos no Brasil.

Referências

- AAFCO - Association of American Feed Control Officials. 2017. Official Publication. 5th ed. Champaign, IL.
- Adeola, O. 2001. Digestion and balance techniques in pigs. p. 903-906. In: Swine Nutrition. 2nd ed. Lewis, A. J. and Southern, L. L. ed. CRC Press, New York, NY.
- AOAC - Association of Official Agricultural Chemists International. 2006. Official methods of analysis. 18th ed. AOAC Int., Washington, DC.
- AOCS - American Oil Chemists' Society. 1989. Official methods and recommended practices of the AOCS. 4th ed. AOCS, Champaign, IL.
- AOCS - American Oil Chemists' Society. 2011. Official methods and recommended practices of the AOCS. 6th ed. AOCS, Champaign, IL.
- Chum, H. L.; Warner, E.; Seabra, J. E. A. and Macedo, I. C. 2014. A comparison of commercial ethanol production systems from Brazilian sugarcane and US corn. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 97:979–991. <https://doi.org/10.1002/bbb.1448>
- Dibner, J.; Vazquez-Anon, M. and Knight, C. 2011. Understanding oxidative balance and its impact on animal performance. p.1-7. In: Proceedings 2011 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, East Syracuse, NY.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. 2019. Ethanol supply scenarios and Otto cycle demand 2020-2030. Executive summary. Ministry of Mines and Energy. Available at: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-255/topico-503/EPE-DPG-SGB-Bios-2019-Executive_Summary_Ethanol_Supply_Scenarios.pdf>. Accessed on: Jun. 8, 2020.
- Kellner, T. A. and Patience, J. F. 2017. The digestible energy, metabolizable energy, and net energy content of dietary fat sources in thirteen-and fifty-kilogram pigs. *Journal of Animal Science* 95:3984–3995. doi: 10.2527/jas2017.1824
- Kerr, B. J.; Dozier III, W. A. and Shurson, G. C. 2016. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. *Journal of Animal Science* 94:2900–2908. <https://doi.org/10.2527/jas2016-0440>
- Lindblom, S. C.; Dozier III, W. A.; Shurson, G. C. and Kerr, B. J. 2017. Digestibility of energy and lipids and oxidative stress in nursery pigs fed commercially available lipids. *Journal of Animal Science* 95:239–247. <https://doi.org/10.2527/jas2016.0915>
- Lindblom, S. C.; Gabler, N. K.; Bobeck, E. A. and Kerr, B. J. 2019. Oil source and peroxidation status interactively affect growth performance and oxidative status in broilers from 4 to 25 d of age. *Poultry Science* 98:1749–1761. <https://doi.org/10.3382/ps/pey547>
- Myers, W. D.; Ludden, P. A.; Nayigihugu, V. and Hess, B. W. 2004. A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *Journal of Animal Science* 82:179-183. <https://doi.org/10.2527/2004.821179x>
- NRC - National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. National Academies Press, Washington, DC.
- Powles, J.; Wiseman, J.; Cole, D. J. A. and Jagger, S. 1995. Prediction of the apparent digestible energy value of fats given to pigs. *Animal Science* 61:149–154. <https://doi.org/10.1017/S1357729800013631>
- RFA - Renewable Fuels Association. 2017. Annual Industry Outlook. Available at: <<http://www.ethanolrfa.org/pages/annual-industry-outlook>>. Accessed on: Mar. 8, 2021.
- RFA - Renewable Fuels Association. 2021. Annual Industry Outlook. Available at: <http://www.ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2021/02/RFA_Outlook_2021_fin_low.pdf>. Accessed on: Jul. 23, 2020.

- Rostagno, H. S.; Albino, L. F. T.; Hannas, M. I.; Donzele, J. L.; Sakomura, N. K.; Perazzo, F. G.; Saraiva, A.; Teixeira, M. L.; Rodrigues, P. B.; Oliveira, R. F.; Barreto, S. L. T. and Brito, C. O. 2017. Tabelas brasileiras para aves e suínos. composição de alimentos e exigências nutricionais. 4th ed. UFV, Viçosa, MG.
- Shurson, G. C. 2018. DDGS User Handbook. Precision DDGS Nutrition. 4th ed. U.S. Grain Council, Washington, DC. Available at: <http://www.grains.org/wp-content/uploads/2019/07/USGC-Precision-DDGS-Handbook-2019_07_02-WEB.pdf>. Accessed on: Feb. 24, 2019.
- Shurson, G. C.; Hung, Y. -T.; Jang, J. C. and Urriola, P. E. 2021. Measures matter – Determining the true nutri-physiological value of feed ingredients for swine. *Animals* 11:1259. <https://doi.org/10.3390/ani11051259>
- Shurson, G. C.; Kerr, B. J. and Hanson, A. R. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 6:10. <http://doi.org/10.1186/s40104-015-0005-4>
- Song, R. and Shurson, G. C. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers grains with solubles. *Journal of Animal Science* 91:4383–4388. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6319>
- Wiseman, J.; Powles, J. and Salvador, F. 1998. Comparison between pigs and poultry in the prediction of the dietary energy value of fats. *Animal Feed Science and Technology* 71:1-9. doi: 10.1016/S0377-8401(97)00142-9
- Zhao, J.; Li, Z.; Lyu, M.; Liu, L.; Piao, X. and Li, D. 2017. Evaluation of available energy and total tract digestibility of acid-hydrolyzed ether extract of cottonseed oil for growing pigs by the difference and regression methods. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 30:712-719. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0546>.

Tabela 12. Ingredientes e composição química das dietas experimentais (matéria natural)

Ingredientes (%)	Dietas ¹				
	DB	CBR	CUS	RSB	DSB
Milho	65,29	58,76	58,76	58,76	58,76
Farelo de soja	30,00	27,00	27,00	27,00	27,00
Óleo de milho de destilaria do Brasil	-	10,00	-	-	-
Óleo de milho de destilaria dos EUA	-	-	10,00	-	-
Óleo de soja refinado	-	-	-	10,00	-
Óleo de soja degomado	-	-	-	-	10,00
Fosfato bicálcico	1,160	1,044	1,044	1,044	1,044
Calcário	1,220	1,098	1,098	1,098	1,098
Sal	0,680	0,612	0,612	0,612	0,612
Suplemento vitamínico ²	0,150	0,135	0,135	0,135	0,135
Suplemento mineral ³	0,100	0,090	0,090	0,090	0,090
L-Lisina HCl	0,565	0,509	0,509	0,509	0,509
DL-Metionina	0,240	0,216	0,216	0,216	0,216
L-Treonina	0,220	0,198	0,198	0,198	0,198
L-Valina	0,050	0,045	0,045	0,045	0,045
Dióxido de titânio	0,330	0,297	0,297	0,297	0,297
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Composição química					
Matéria seca (%) ⁴	88,9	89,7	90,0	90,4	90,5
Energia bruta (kcal kg ⁻¹) ⁴	3.930	4.430	4.440	4.420	4.360
Energia líquida (kcal kg ⁻¹) ⁵	2.409	2.923	2.923	2.923	2.923
Extrato etéreo (%) ⁴	2,9	12,1	12,1	12,3	12,2
Proteína bruta (%) ⁵	20,04	18,03	18,03	18,03	18,03
Lisina DIE (%) ^{5,6}	1,37	1,23	1,23	1,23	1,23
Metionina + cistina DIE (%) ⁵	0,75	0,68	0,68	0,68	0,68
Treonina DIE (%) ⁵	0,81	0,73	0,73	0,73	0,73
Valina DIE (%) ⁵	0,88	0,79	0,79	0,79	0,79
Ca (%) ⁵	0,77	0,70	0,70	0,70	0,70
DTE P (%) ^{5,7}	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
Fibra em detergente neutro (%) ⁵	8,3	7,5	7,5	7,5	7,5
Fibra em detergente ácido (%) ⁵	3,0	3,4	3,4	3,4	3,4

¹ DB - dieta basal; CBR - dieta com óleo de milho de destilaria do Brasil; CUS - dieta com óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos; RSB - dieta com óleo de soja refinado do Brasil; DSB - dieta com óleo de soja degomado do Brasil.

² Quantidade por kg de ração: Se como selenito de sódio e levedura de selênio, 0,3 mg; vitamina A como acetato de retinil, 6500 UI; vitamina D3 como colecalciferol, 1500 UI; vitamina E como DL-alfa tocoferil, 36 UI; vitamina K3 como bissulfato de menadiona nicotinamida 2.75 mg; tiamina como mononitrato de tiamina, 1,1 mg; riboflavina, 3,5 mg; piridoxina como cloridrato de piridoxina, 20 mg; vitamina B12, 0,02 mg; ácido fólico, 3,8 mg; ácido pantotênico como D-pantotenato de cálcio, 13 mg; niacina, 28 mg; biotina, 0,1 mg.

³ Quantidade por kg de ração: Fe, 100 mg como sulfato de ferro, Cu, 13 mg como sulfato de cobre, Mn, 50 mg como monóxido de manganês; Zn, 97 mg como sulfato de zinco; I, 1 mg como iodato de cálcio.

⁴ Valores determinados.

⁵ Valores calculados.

⁶ DIE – digestível ileal estandardizada.

⁷ DTE – digestibilidade total estandardizada.

Tabela 13. Composição química de óleo de milho de destilaria do Brasil, óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos, óleo de soja refinado e óleo de soja degomado, matéria natural

Item	Óleos ¹								
	CBR			CUS		RSB		DSB	
	A ²	B	C	B	C	B	C	B	C
Energia bruta (kcal kg ⁻¹)	9.290	9.310	9.380	9.300	9.310	9.400	9.400	9.400	9.310
Extrato etéreo (%)	99,9	98,8	99,1	98,6	98,6	100	98,5	99,2	99,6
Ácidos graxos (% do óleo total)									
Palmitico (16:0)	14,6	14,4	14,4	12,9	12,9	11,2	11,0	11,2	11,2
Palmitoleico (9c-16:1)	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,09	0,09	0,09	0,08
Margarico (17:0)	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,18	0,18	0,18	0,17
Esteárico (18:0)	2,79	2,74	2,74	2,06	2,08	4,29	4,18	4,46	4,47
Oleico (9c-18:1)	32,1	31,9	31,9	27,0	27,0	22,9	23,6	23,5	23,6
Linoleico (18:2n-6)	47,4	46,9	46,9	53,9	53,8	54,2	52,5	51,5	51,8
Linolênico (18:3n-3)	1,11	1,08	1,08	1,31	1,31	5,51	5,20	6,63	6,67
Linolênico (18:3n-6)	-	-	-	-	-	0,03	0,04	-	0,02
Araquídico (20:0)	0,58	0,58	0,58	0,40	0,41	0,42	0,40	0,41	0,43
Gonódico (20:1n-9)	0,30	0,29	0,29	0,28	0,28	0,24	0,25	0,24	0,24
Becenoico (22:0)	0,19	0,14	0,18	0,11	0,14	0,49	0,51	0,50	0,51
Lignocérico (24:0)	0,38	0,41	0,41	0,28	0,30	0,25	0,26	0,26	0,22
Outros ácidos graxos	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,02	0,33	0,26	0,25
Ácidos graxos totais	99,9	98,8	98,8	98,6	98,6	100	98,5	99,2	99,6
Umidade (%)	0,17	0,19	0,25	0,20	0,36	0,05	0,09	0,12	0,32
Insolúveis (%)	-	-	0,07	0,17	0,09	0,25	0,04	-	-
Insaponificáveis (%)	1,64	1,52	1,36	1,46	1,61	1,20	0,57	1,02	0,59
Peróxidos (MEq kg ⁻¹)	0,39	0,78	3,70	0,78	0,97	2,34	4,28	1,17	1,55
Valor de anisidina	6,42	7,04	6,24	4,81	5,10	1,34	2,39	2,13	1,28
Ácidos graxos livres (%)	14,4	13,7	14,1	8,97	10,6	0,46	0,54	1,42	2,50
Acidez (mg KOH g ⁻¹)	28,7	27,3	28,1	17,9	21,1	0,92	1,08	2,83	4,98
TBARS (mg kg ⁻¹) ³	0,41	0,54	0,57	0,31	0,35	0,52	0,31	0,32	0,35

¹ CBR - óleo de milho de destilaria do Brasil; CUS - óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos; RSB - óleo de soja refinado; DSB - óleo de soja degomado.

² Data de amostragem dos óleos: A - 26 de fevereiro de 2018; B - 26 de março de 2018; C - 25 de abril de 2018.

³ TBARS - substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico.

Tabela 14 - Digestibilidade total aparente (DTA) da energia bruta e extrato etéreo e conteúdo de energia digestível (ED, matéria seca) de óleos de destilaria de milho e óleos de soja para suínos ¹

Item	Óleos ²				EPM	Valor de P
	CBR	CUS	RSB	DSB		
DTA						
Energia bruta	90,2	87,8	90,9	91,5	4,9	0,384
Extrato etéreo	90,7 ^b	93,5 ^{ab}	94,6 ^a	95,1 ^a	4,6	0,004
ED (kcal kg ⁻¹)	8.520	8.280	8.580	8.630	464	0,384

As médias com diferentes letras dentro da mesma linha diferem em $P < 0,05$.

¹Média de 10 observações por tratamento.

²CBR - óleo de milho de destilaria do Brasil; CUS - óleo de milho de destilaria dos Estados Unidos; RSB - óleo de soja refinado; DSB - óleo de soja degomado.

4. GRÃOS SECOS DE DESTILARIA DE MILHO DE ALTA PROTEÍNA E ADITIVOS MELHORADORES DE DIGESTIBILIDADE EM DIETAS DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO

RESUMO: Um experimento foi realizado para avaliar e comparar a inclusão de grãos secos de destilaria de milho de alta proteína (HP-DDG) associados ou não com aditivos alimentares em dietas de suínos em crescimento e terminação. Cento e vinte e oito ($35,71 \pm 4,28$ kg de peso vivo (PV)) suínos com 73 dias de idade foram distribuídos em um delineamento de blocos casualizados de acordo com o PV e sexo, para receberem uma dieta a base de milho e farelo de soja (CON) ou dietas com HP-DDG (DDG-PC), DDG-PC e 0,1% de complexo de algas e argila (DDG-ACC) ou DDG-PC e 0,01% da enzima xilanase (DDG-XYL), gerando oito repetições por tratamento. Os animais foram alojados em baias e receberam as dietas à vontade, formuladas de acordo com as fases de crescimento 1 e 2 e terminação 1. Os animais do tratamento CON apresentaram maior GPD, CRD, PV final e melhor CA ($P < 0,001$) do que os animais tratados com HP-DDG, nas fases de crescimento 1 e 2 e período total. Os animais do tratamento DDG-XYL apresentaram maior ($P < 0,001$) GPD e PV final do que os animais do DDG-PC e DDG-ACC. Os animais do tratamento CON apresentaram maior ($P < 0,05$) digestibilidade da MS e PB do que os animais alimentados com HP-DDG nas três fases, e os animais do DDG-XYL apresentaram maior ($P = 0,002$) digestibilidade da FDN dos que os animais dos demais tratamentos na fase de crescimento 1. Os animais do DDG-PC apresentaram menor ($P < 0,05$) comprimento de intestino delgado e grosso do que os animais do DDG-XYL. O rendimento de carcaça quente do tratamento CON foi maior ($P = 0,01$) dos que os animais tratados com HP-DDG, e o perímetro do lombo maior ($P = 0,045$) do que os animais do DDG-PC. Os animais do tratamento DDG-ACC apresentaram maior ($P = 0,03$) Minolta b* do que os animais do CON. O teor de ácidos graxos saturados e a relação de ácidos graxos saturados: insaturados nos animais do tratamento CON foram maiores ($P < 0,05$) do que nos dos animais tratados com HP-DDG, que apresentaram maior ($P < 0,05$) concentração de ácidos graxos insaturados e relação insaturados: saturados que os animais do tratamento CON. O custo de ração por quilograma de PV produzido foi menor ($P < 0,001$) para o tratamento CON do que para os tratamentos com HP-DGG. O HP-DDG, de forma geral, prejudicou o desempenho dos animais, mas a enzima xilanase mostrou efeitos positivos nos parâmetros de desempenho e digestibilidade em comparação a dieta DDG-PC.

Palavras-chave: ácidos graxos, HP-DDG, digestibilidade, qualidade de carne

ABSTRACT: An experiment was carried out to evaluate and compare the inclusion of corn high protein distillers dried grains (HP-DDG) associated or not with feed additives in diets of growing and finishing pigs. One hundred twenty-eight (35.71 ± 4.28 kg body weight (BW)) 73 d-old pigs were distributed in a randomized block design according to BW and gender, to receive a diet based on corn and soybean meal (CON) or diets with HP-DDG (DDG-PC), DDG-PC plus 0.1% algae and clay complex (DDG-ACC) or DDG-PC plus 0.01% xylanase enzyme (DDG-XYL), with eight replications per treatment. The animals were housed in pens and received diets ad libitum, formulated according to growing 1 and 2 and finishing 1 phases. The animals of CON diet presented greater BWG, ADFI, final BW and better FCR ($P < 0.001$) than animals receiving HP-DDG, in growing 1 and 2 and full period. The DDG-XYL animals had greater ($P < 0.001$) BWG and final BW than the DDG-PC and DDG-ACC animals. The animals receiving the CON diet showed greater ($P < 0.05$) DM and CP digestibility than the animals fed HP-DDG in the three phases, and the DDG-XYL animals presented greater ($P = 0.002$) NDF digestibility than the animals of the other treatments in the growing 1. The DDG-PC animals had shorter ($P < 0.05$) length of small and large intestine than the DDG-XYL animals. The carcass yield from animals fed CON diet was greater ($P = 0.01$) than the animals receiving HP-DDG based diets, and the loin perimeter was greater ($P = 0.045$) than the animals fed DDG-PC diet. The animals receiving DDG-ACC diet had higher ($P = 0.03$) Minolta b* value than the animals of CON diet. The amount of saturated fatty acids and the ratio of saturated: unsaturated fatty acids of the CON diet were greater ($P < 0.05$) than in the animals receiving HP-DDG, which showed increased ($P < 0.05$) unsaturated fatty acid concentration and unsaturated:saturated ratio compared to animals from CON

diet. The feed cost per kilogram of BW produced was lower ($P < 0.001$) for the CON treatment than for the HP-DDG treatments. HP-DDG, in general, impaired animal performance, but the xylanase enzyme showed positive effects on performance and digestibility parameters compared to DDG-PC diet.

Keywords: ácidos graxos, HP-DDG, digestibilidade, qualidade de carne

4.1. Introdução

O milho e o farelo de soja são os ingredientes que compõem em maior parte as rações de suínos no Brasil, haja vista que são alimentos de alta qualidade nutricional. Entretanto, em alguns locais do país, dependendo da época, a disponibilidade de algum deles é incapaz de atender a demanda humana e animal, tornando os preços dessas commodities elevados, afetando a cadeia produtiva animal (Marques et al., 2007). Assim, alimentos alternativos são procurados de modo a suprir essa demanda, sem causar perdas na relação custo: benefício, ou para melhoria desse e outros aspectos na produção animal.

Os grãos secos de destilaria, conhecidos pela sigla em inglês como DDG (dried distillers grains) ou DDG com solúveis (DDGS) são coprodutos do processo de fermentação do amido de cereais como trigo, sorgo, cevada e principalmente o milho, para produção de etanol (Stein; Shurson, 2009; Tres et al., 2014; Schone et al., 2017), que podem ser utilizados nas rações de suínos (Stein, 2011), e que têm sido uma prática comum nos EUA. O DDG contém pouco amido, mas elevadas concentrações de proteína, óleo e fibra (NRC, 2012), podendo apresentar variações em sua composição química, a depender do processo de fabricação do álcool, pela extração da fração fibrosa ou do óleo, gerando diferentes variedades de DDG, como os DDG de alta proteína (high protein), HP-DDG. No Brasil, a produção de etanol a partir de usinas que utilizam o milho como matéria prima vem se tornando mais comum nos últimos anos.

Estudos avaliando a inclusão de até 40% de HP-DDGS, associada a adição de aminoácidos sintéticos para o ideal balanço de aminoácidos na alimentação de suínos em crescimento, mostraram não haver prejuízo ao desempenho dos animais (Widmer et al., 2008), e que esse ingrediente pode substituir completamente o farelo de soja das rações de suínos em terminação (Widmer et al., 2008; Kim et al., 2009). Entretanto, algumas variedades de DDG apresentam valores de nutrientes e energia digestíveis divergentes, devido as diferenças existentes nos processamentos dos grãos, entre as plantas produtoras de etanol, e em suas próprias composições químicas (Widmer et al., 2007; Kim et al., 2009; Jacela et al., 2010a).

As diferenças entre os resultados observados em estudos em que avaliaram os valores digestíveis e efeitos no desempenho e outros parâmetros de interesse zootécnico com uso de coprodutos de destilaria de milho, podem ser atribuídas parcialmente a quantidade e tipo de fibra presente nos coprodutos utilizados nas dietas. Coprodutos dessa origem são conhecidos por possuírem elevadas concentrações de fibra, composta principalmente por polissacarídeos não amiláceos (PNA's), que abrange a porção da celulose e a porção da hemicelulose, sendo essa última também conhecida como polissacarídeos não celulósicos (Back Knudsen, 2011; Bach Knudsen, 2014). Os arabinoxilanos são os polímeros não celulósicos que estão presentes em maior quantidade na parede celular de cereais, como o milho, com diferentes características estruturais, indicada principalmente pela proporção de arabinose: xilose, que pode variar conforme o tipo de grão, e que no milho geralmente é de 0,74 (Voragen et al., 1992; Bach Knudsen, 2014). A maior parte dos PNA's do DDG de milho se encontra na forma insolúvel (Rosentrater e Muthukumarappan, 2006; NRC, 2012; Silva et al., 2016), e suas estruturas variam de acordo com o processamento. Os efeitos da fibra sobre

digestibilidade dos nutrientes e energia podem ser influenciados pelas características físico químicas da fibra dietética, e que pode reduzir a digestibilidade de outros nutrientes, como os aminoácidos (Schulze et al., 1994; Urriola e Stein, 2010).

De forma a amenizar os efeitos prejudiciais que dietas com elevados teores de fibra podem ter sobre a nutrição de suínos, alguns aditivos, como as enzimas ou aditivos compostos a base de algas, são algumas das alternativas disponíveis para serem utilizadas por nutricionistas. Dentre as enzimas comumente utilizadas em rações de suínos, as xilanases são interessantes aditivos, tendo em vista que atuam na fração fibrosa dos ingredientes, mais especificamente na estrutura dos arabino-xilanos, para a liberação de oligossacarídeos (Van Dyk e Pletschke, 2012; Biely et al., 2016), que quando fracionados podem ser absorvidos pelos animais ou fermentados rapidamente pela microbiota no trato gastrointestinal (Adeola e Cowieson, 2011; Feng et al., 2018). Outros aditivos, como aqueles que possuem como base de sua composição as algas ou seus derivados, têm capacidade de melhorar a função antioxidante do animal, devido a presença dos grupamentos hidroxilas hemiacetais nos polissacarídeos presentes nas algas, melhorando características do intestino dos animais, como aumento na altura dos vilos do intestino delgado, o que pode se refletir em maior capacidade dos animais em aproveitar os nutrientes das dietas (Laurienzo, 2010; Lui et al., 2020).

Desse modo, uma vez que no Brasil a produção de etanol a partir de usinas que utilizam o milho como matéria prima ocorre principalmente em regiões onde a disponibilidade do grão é abundante (Corassa et al., 2017), e que há diferenças não somente no tipo de milho produzido entre diferentes regiões, mas também nos processamentos adotados entre as plantas, o objetivo desse estudo foi avaliar e comparar dietas contendo alta inclusão de HP-DDG, associadas ou não a um aditivo melhorador de digestibilidade a base de alga e argila ou a enzima xilanase, com uma dieta padrão a base de milho e farelo de soja, na alimentação de suínos em fase de crescimento e terminação, sobre parâmetros de desempenho, digestibilidade, características de carcaça e qualidade de carne, perfil de ácidos graxos e viabilidade econômica.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Animais e dietas

O experimento foi conduzido nas instalações experimentais de suinocultura da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (Piracicaba, São Paulo), com aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais da mesma instituição, protocolo número 2019-12. Foram utilizados 128 suínos de linhagem comercial (64 machos castrados e 64 fêmeas), com peso vivo (PV) médio de $35,71 \pm 4,28$ kg e 73 dias de idade. Os animais foram alojados em grupos de quatro animais por baia ($3,55\text{m}^2$) de acordo com o PV e sexo (dois machos e duas fêmeas), e distribuídos em um delineamento de blocos ao acaso. As baias possuíam comedouro semiautomático e bebedouro tipo “nipple”. Os animais receberam uma das quatro seguintes dietas: CON - dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC – dieta contendo HP-DDG; DDG-ACC – dieta DDG-PC mais aditivo melhorador de digestibilidade a base de algas (*Ulva* sp. e *Solieria chordalis*) e argila (montmorilonita), na inclusão de 0,1%; e DDG-XYL - dieta DDG-PC mais aditivo enzima xilanase (endo- β -1,4-xilanase, > 10.000 U/g), na inclusão de 0,01% (Tabela 15). As inclusões dos aditivos nas dietas DDG-ACC e DDG-XYL foram sobre o total da dieta final. Durante o período experimental (10 semanas) os animais foram alimentados em um programa de alimentação de três fases, crescimento 1 (de 73 a 94 dias), crescimento 2 (de 95 a 116 d de idade) e terminação 1 (de 117 a 143 d de idade), e formuladas para

atender as exigências nutricionais de machos castrados com desempenho médio-regular, de acordo com Rostagno et al. (2017) (Tabela 15). O HP-DDG foi incluído nas proporções de 40% na fase de crescimento 1, 33% na fase de crescimento 2 e 25% na fase de terminação 1 nos tratamentos DDG-PC, DDG-ACC e DDG-XYL. O HP-DDG utilizado nas dietas apresentou 88,17% de matéria seca (MS), 31,66% de proteína bruta (PB), 6,23% de extrato etéreo (EE), 1,15% de matéria mineral (MM), 47,17% de fibra em detergente neutro (FDN), 17,48% de fibra em detergente ácido (FDA) e 4.749,00 kcal/kg de energia bruta (EB). As recuperações de xilanase nas dietas DDG-XYL foram 1117,18, 884,64 e 566,18 U/kg nas fases de crescimento 1, crescimento 2 e terminação 1, respectivamente. As rações e água foram fornecidas à vontade durante todo o período experimental.

4.2.2. Desempenho

A ração fornecida, as sobras nos comedouros, a ração desperdiçada e os animais foram pesados semanalmente para cálculo do consumo de ração diário (CRD), ganho de peso diário (GPD), que foram utilizados para o cálculo de conversão alimentar (CA), realizados por fase.

4.2.3. Digestibilidade total aparente

No meio de cada fase (crescimento 1 e 2, e terminação 1) as fezes dos animais foram coletadas (± 1 kg) por dois dias consecutivos. Ao final do período de coleta, as fezes foram homogêneas por baia, pesadas, e uma subamostra (± 500 g) foi seca a 55°C por 72 horas e, assim como dietas, foram moídas (1 mm). Sequencialmente, amostras das dietas, ingredientes e fezes foram submetidas às determinações de MS [método 934.01 (AOAC, 2006)]; N, pelo método de combustão [método 990.03 (AOAC, 2006)], para estimativa da PB; FDN e FDA (Van Soest et al., 1991); EE [método 2003.06 (AOAC, 2006)]; MM [método 942.05; (AOAC, 2006)], e cinza insolúvel em ácido (CIA) (Van Keulen e Young, 1977). As digestibilidades dos nutrientes das dietas foram determinadas pelo método da coleta parcial de fezes, utilizando-se CIA como indicador, de acordo com Adeola (2001).

4.2.4. Características de carcaça e qualidade de carne

Ao final do período experimental (70 dias), os suínos permaneceram em jejum de 12 horas, e foram transportados para abatedouro comercial, onde foram insensibilizados por eletronarcose e abatidos por exsanguinação. Um animal por baia (macho castrado), o que apresentou o PV mais próximo ao PV médio da baia, foi selecionado para as avaliações de carcaça.

As carcaças foram divididas ao meio, pesadas e resfriadas (1-2°C) por 24 horas, e posteriormente submetidas às avaliações quantitativas, seguindo o Método Brasileiro de Avaliação de Carcaças e o método americano de NPPC (1991), indicados por Bridi e Silva (2009). O pH dos músculos *Longissimus dorsi* e *Semimembranosus* foi medido na carcaça quente (45 minutos após o abate, pH 45 min) e na carcaça resfriada, mantida em câmara fria (1-2°C) por 24 horas (pH 24 h), utilizando um medidor de pH digital portátil (DM-2P, Digimed, Embu Guaçu, SP, Brasil) (Bridi e Silva, 2009). O estômago, fígado, pulmão, baço, rins e coração foram pesados para obtenção do peso absoluto e relativo dos órgãos, calculado com base no peso da carcaça quente. Os intestinos delgado e grosso foram esvaziados para mensuração de comprimento total e massa.

Logo após a mensuração do pH 24 h, efetuou-se seção transversal na meia carcaça esquerda, na região da última costela, de modo a expor o músculo *Longissimus dorsi*. Nessa porção, a seis centímetros da linha dorsal média, foi medido com paquímetro a profundidade do lombo e a espessura da gordura dorsal, bem como foi realizado o desenho do músculo em papel manteiga para obtenção da área de olho de lombo e perímetro do lombo (Bridi e Silva, 2009). O comprimento da carcaça foi medido do bordo cranial da sínfise púbica até o bordo crânio ventral do atlas (ABCS, 1973). O rendimento de carne magra nas carcaças foi estimado de acordo com DELC (2012). Os cortes (pernil, paleta, sobrepaleta, barriga, costela e lombo) foram realizados segundo ABCS (1973) e Pork World (2004), e seus rendimentos calculados a partir do peso da carcaça fria.

Para a avaliação qualitativa das carcaças, foi retirada uma amostra do músculo *Longissimus dorsi* da região da última vértebra torácica e da primeira vértebra lombar com aproximadamente 30 cm, no sentido caudal-cranial. Sequencialmente, fatias de 2,5 cm foram realizadas para posterior mensuração da perda por gotejamento e cocção, cor e força de cisalhamento, de acordo com Bridi e Silva (2009). Para as medidas de cor, na superfície muscular, foram realizadas seis medidas de luminosidades Minolta (L^* , a^* e b^*), expressas no sistema de cores CIELAB, utilizando um colorímetro portátil, e o valor médio foi utilizado como unidade experimental. Os valores obtidos foram utilizados para calcular o croma, que indica a saturação ($Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5}$), e a tonalidade (Tonalidade (h) = $\tan^{-1}(\frac{a^*}{b^*})$), que é o atributo pela qual se identificam as cores, e é a percepção da absorção da energia radiante em vários comprimentos de onda. Para análise e força de cisalhamento, a média de seis subamostras de cada bife foi utilizada como unidade experimental.

4.2.5. Perfil de ácidos graxos

Os lipídios totais das amostras do músculo *Longissimus dorsi* coletadas para análise do perfil de ácidos graxos foram extraídos pelo método a frio (Bligh e Dyer, 1959). Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram determinados de acordo com o método de Hartman e Lago (1973) com adaptações do método Ce-1b-89 da AOCS (2003). Os ésteres metílicos de ácidos graxos foram analisados em cromatógrafo gasoso (GC-2010, Shimadzu, Kyoto, Japão), equipado com uma coluna capilar de sílica fundida SP-2560 (100 m x 0,25 mm diâmetro interno x 0,20 µm espessura de filme - Supelco, Bellefonte, PA, USA), acoplado a um detector de ionização de chama.

A programação de temperatura da coluna utilizada foi ajustada conforme segue: iniciou-se em 140°C a uma taxa de 8°C/min, permanecendo nessa temperatura por 5 minutos, aumentando para 180°C a 4°C/min, e depois, a uma taxa de 20°C/min, atingindo 210°C. A temperatura final foi de 250°C, permanecendo por 7 minutos. A temperatura do injetor e detector também foi de 250°C. O gás hidrogênio foi utilizado como gás de arraste, com velocidade linear de 40 cm/seg. O volume da injeção foi de 1,0 µL no modo split de 1/100. A identificação foi realizada por comparação dos tempos de retenção de misturas, utilizando padrão comercial de 37 FAMES Mix (Supelco, Bellefonte, PA; CRM47885), com os tempos de retenção dos picos das amostras.

A quantificação dos ácidos graxos foi realizada por normalização da área e a transformação da porcentagem de área (área do pico de ácido graxo/área total dos picos) em mg de ácidos graxos/100 g da amostra, calculada usando a equação $C_i = \frac{\%A_i \times \%L \times F}{100}$, em que C_i = concentração do componente i na amostra, expressa em mg/100 g; $\%A_i$ = área (em porcentagem) do componente i expressa como o éster metílico; $\%L$ = porcentagem de gordura total no produto; F = fator de conversão (0,910 para lombo suíno), de acordo com Food Standards Agency (2002).

Com base nos resultados dos ésteres metílicos de ácidos graxos foram calculados os somatórios dos ácidos graxos saturados, ácidos graxos insaturados, ácidos graxos monoinsaturados, ácidos graxos poli-insaturados e a razão ácidos graxos saturados: ácido graxos insaturados.

4.2.6. Viabilidade econômica

A viabilidade econômica foi determinada pelos cálculos de custo da ração por quilograma de peso vivo (CRPV), índice de eficiência econômico (IEE) e índice de custo da dieta (ICD), dos animais alimentados com dietas contendo HP-DDG, complexo de alga e argila e enzima xilanase de acordo com Bellaver et al. (1985) e Barbosa et al. (1992), pelas seguintes equações: 1) $CRPV = \frac{Q_i \times P_i}{G_{Pi}}$, em que CRPV = Custo médio da dieta por quilo ganho no i-ésimo tratamento; Q_i = Quantidade de ração utilizada no i-ésimo tratamento; P_i = Preço médio por quilograma da dieta utilizada no i-ésimo tratamento; G_{Pi} = ganho de peso médio no i-ésimo tratamento); 2) $IEE = \frac{M_{Ce}}{C_{Dei}} \times 100$, em que IEE = índice de eficiência econômica; M_{Ce} = menor custo médio da dieta por kg de ganho entre os tratamentos; C_{Dei} = custo da dieta i considerado; e 3) $ICM = \frac{C_{Dei}}{M_{Ce}} \times 100$, em que ICM = índice de custo médio. Os preços dos ingredientes usados nas dietas para calcular os custos das dietas foram os preços praticados na região de Piracicaba, SP, no primeiro bimestre de 2020, em reais (R\$).

4.2.7. Análise estatística

Os dados de desempenho, digestibilidade total aparente, peso de órgãos, características de carcaça e qualidade de carne, perfil de ácidos graxos e viabilidade econômica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo procedimento MIXED do programa estatístico SAS 9.4 (SAS Institute Inc, Cary, NC, EUA), e as médias submetidas ao teste Tukey quando observadas diferenças ($P < 0,05$). Os efeitos das dietas e dos blocos foram incluídos no modelo, adotando-se a baía como unidade experimental para os parâmetros de desempenho, digestibilidade e viabilidade econômica, e o animal como unidade experimental para as demais análises. Os PV iniciais dos animais nas fases de crescimento 2 e terminação 1 foram utilizados como covariável para as análises dos dados de desempenho nas respectivas fases, e o PV final como covariável para as análises de órgãos e características de carcaça. A análise de contrastes ortogonais foi usada para comparar as médias dos tratamentos DDG-PC, DDG-ACC e DDG-XYL (DDG-PC vs. DDG-ACC, DDG-PC vs. DDG-XYL e DDG-ACC vs. DDG-XYL). Todos os dados foram examinados para normalidade residual, linearidade, homogeneidade de variância e outliers.

4.3. Resultados

4.3.1. Desempenho

Na fase de crescimento 1, o GPD, CRD e o PV final dos animais do tratamento CON foram maiores e a CA melhor ($P > 0,001$) do que os animais tratados com HP-DDG. Os animais do DDG-XYL apresentaram maior

GPD e PV final do que os animais do DDG-PC ($P > 0,001$). Os animais do DDG-XYL apresentaram maior GPD, CRD e PV final, e melhor CA ($P < 0,05$) do que os animais do DDG-PC pelo contraste ortogonal (Tabela 16).

Na fase de crescimento 2, os animais do tratamento CON apresentaram maior GPD, CRD e PV final ($P < 0,05$) do que os animais tratados com HP-DDG. Não houve diferença ($P > 0,05$) para GPD, CRD, CA e PV final entre os tratamentos para fase de terminação 1. Os animais do tratamento CON obtiveram maior GPD, CRD e PV final ($P < 0,001$) do que os animais tratados com HP-DDG no período total (Tabela 16).

4.3.2. Digestibilidade total aparente

Na fase de crescimento 1, os animais alimentados com a dieta CON apresentaram maior ($P < 0,001$) digestibilidade da MS e da PB do que os animais tratados com HP-DDG. Os animais alimentados com DDG-XYL apresentaram maior ($P = 0,001$) digestibilidade da FDN do que os animais do CON, DDG-PC e DDG-ACC, e maior ($P = 0,002$) digestibilidade da FDA do que os animais do CON e DDG-ACC. Os animais que receberam DDG-ACC apresentaram menor ($P = 0,013$) digestibilidade da MM do que os suínos alimentados com a dieta CON. Os animais DDG-XYL apresentaram maiores ($P < 0,05$) digestibilidades da MS, PB e FDN do que os do DDG-PC, e maiores ($P < 0,05$) digestibilidades da MS, FDN e FDA do que os animais do DDG-ACC, pelo contraste ortogonal. Os animais submetidos a DDG-ACC apresentaram menor ($P < 0,05$) digestibilidade da FDA em comparação aos animais do DDG-PC, pelo contraste ortogonal (Tabela 17).

Na fase de crescimento 2, os animais que receberam a dieta CON apresentaram maiores ($P < 0,05$) digestibilidades da MS, PB e MM do que os animais submetidos a HP-DDG, e menor ($P = 0,001$) digestibilidade da FDA do que os animais alimentados com as dietas com HP-DDG. Houve diferença ($P < 0,05$) pelo contraste ortogonal, com maior digestibilidade da FDA para o DDG-ACC comparado ao DDG-PC (Tabela 17).

Na fase de terminação 1, os animais do tratamento CON apresentaram maior ($P = 0,004$) digestibilidade da MS do que os animais que receberam HP-DDG, e maior ($P = 0,007$) digestibilidade da PB do que os animais alimentados com as dietas DDG-PC e DDG-XYL. Os animais submetidos às dietas DDG-PC e DDG-ACC apresentaram maior ($P = 0,001$) digestibilidade da FDN em comparação aos animais alimentados com as dietas CON e DDG-XYL, e maior ($P = 0,012$) digestibilidade da FDA do que os animais CON. A digestibilidade da MM da dieta DDG-ACC foi maior ($P < 0,001$) do que a das demais dietas. Os animais do tratamento DDG-ACC apresentaram maior ($P < 0,05$) digestibilidade da FDA e MM do que os animais do DDG-XYL, e maior ($P < 0,05$) digestibilidade da MM do que os animais do DDG-PC (Tabela 17).

4.3.3. Peso e comprimento de órgãos

Os animais que receberam a dieta DDG-PC apresentaram menor ($P = 0,003$) comprimento de intestino delgado do que aqueles do DDG-ACC e DDG-XYL, e menor ($P = 0,038$) comprimento do intestino grosso do que os suínos do DDG-XYL. Os animais do DDG-ACC apresentaram maior ($P = 0,002$) peso relativo do pulmão comparados aos dos tratamentos DDG-PC e DDG-XYL, e os suínos do DDG-PC, menor peso relativo do pulmão em comparação aos animais do tratamento CON. Os animais alimentados com a dieta CON apresentaram maior ($P = 0,010$) peso relativo dos rins quando comparados aos alimentados com dietas contendo HP-DDG (Tabela 18).

O contraste ortogonal indicou maior ($P < 0,05$) comprimento de intestino delgado e grosso e maior peso relativo do intestino delgado e pulmão dos animais que receberam a dieta DDG-ACC em comparação aos animais do DDG-PC. Os animais do tratamento DDG-XYL apresentaram maior ($P < 0,05$) comprimento de intestino delgado e grosso e peso relativo do fígado em comparação aos animais do tratamento DDG-PC, de acordo com o contraste ortogonal. Os animais do tratamento DDG-ACC apresentaram maior ($P < 0,05$) comprimento do intestino delgado e peso relativo do intestino delgado, pulmão e baço, e menor peso relativo do fígado, quando comparados aos animais do DDG-XYL (Tabela 18).

4.3.4. Características de carcaça e qualidade de carne

O rendimento de carcaça quente dos animais CON foi maior ($P = 0,010$) do que os animais alimentados com dietas contendo HP-DDG, e o rendimento de carcaça fria foi maior ($P = 0,046$) comparado ao dos animais DDG-PC. O perímetro do lombo dos animais que receberam as dietas CON e DDG-ACC foi maior ($P = 0,045$) do que os animais que receberam a dieta DDG-PC. Os animais que receberam a dieta DDG-ACC apresentaram maior ($P = 0,002$) rendimento de lombo do que os animais que receberam as dietas CON e DDG-XYL (Tabela 19).

Os animais do DDG-ACC apresentaram maior ($P < 0,05$) perímetro e rendimento do lombo comparados aos animais do DDG-PC, pelo contraste ortogonal. Os animais que receberam a dieta DDG-XYL apresentaram maior ($P < 0,05$) comprimento de carcaça, perímetro do lombo e peso da costela, e menor rendimento de lombo comparados aos animais que receberam a dieta DDG-PC, no contraste ortogonal. O peso da carcaça quente e fria, o comprimento de carcaça e o peso da costela dos animais do DDG-XYL foram maiores ($P < 0,05$) comparados aos animais do DDG-ACC, enquanto o rendimento do lombo foi menor ($P < 0,05$), de acordo com o contraste ortogonal (Tabela 19).

Os animais que receberam a dieta DDG-XYL apresentaram maior ($P = 0,046$) pH 45 min do músculo *Longissimus dorsi* do que os animais que receberam a dieta DDG-PC. Os animais do tratamento DDG-ACC apresentaram maior ($P = 0,030$) Minolta b* do que os animais do tratamento CON, e maior ($P = 0,049$) perda por gotejamento do que os animais do tratamento DDG-XYL (Tabela 20).

O contraste ortogonal indicou que os animais do tratamento DDG-XYL apresentaram maior ($P < 0,05$) pH 45 min dos músculos *Longissimus dorsi* e *Semimembranosus* e menor perda por gotejamento do que os animais do DDG-PC. Também pelo contraste ortogonal, os animais do DDG-XYL apresentaram maior ($P < 0,05$) pH 45 min do músculo *Longissimus dorsi*, e menor Minolta L* e perdas por gotejamento e cocção comparados aos animais do DDG-ACC (Tabela 20).

4.3.5. Perfil de ácidos graxos

Os animais alimentados com a dieta CON apresentaram maiores ($P < 0,05$) concentrações dos ácidos graxos palmítico e palmitoleico do que os animais do DDG-ACC, esteárico do que os animais do DDG-PC e DDG-ACC, e oleico do que os animais do DDG-PC e DDG-XYL. Por outro lado, os animais que receberam as dietas com HP-DDG apresentaram maiores ($P < 0,05$) concentrações dos ácidos graxos insaturados linoleico e linolênico do que os animais que receberam a dieta CON. Os animais do tratamento CON apresentaram maior ($P = 0,002$) teor do ácido graxo eicosanoico do que os animais dos tratamentos DDG-ACC e DDG-XYL, maior ($P = 0,007$) concentração de ácidos graxos saturados e maior ($P = 0,005$) relação saturados: insaturados do que os animais dos tratamentos com

HP-DDG. Do mesmo modo, os animais dos tratamentos com HP-DDG apresentaram maior ($P < 0,05$) porcentagem de ácidos graxos insaturados e relação insaturados: saturados do que os animais do tratamento CON. Os animais do tratamento DDG-PC apresentaram maior ($P < 0,05$) teor do ácido graxo eicosanoico em comparação aos animais do tratamento DDG-XYL, pelo contraste ortogonal (Tabela 21).

4.3.6. Viabilidade econômica

Na fase de crescimento 1, o CRPV do tratamento CON foi menor ($P < 0,001$) comparado aos dos tratamentos com HP-DDG. Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) para as demais fases, bem como para o IEE e para o ICD (Tabela 22).

4.4. Discussão

O etanol à base de milho e a produção de seus coprodutos estão crescendo no Brasil e novas usinas de etanol de milho vêm sendo construídas, com a produção de novos coprodutos de milho, como HP-DDG, para o mercado nacional de rações. Nos EUA, a disponibilidade desses coprodutos é maior e, portanto, há mais informações sobre seu uso na alimentação animal. No entanto, existem diferenças em alguns aspectos da produção e na própria-matéria prima desses coprodutos entre diferentes locais, o que inviabiliza a replicação fiel das características de coprodutos de diferentes origens.

A exemplo da relevância da composição química da própria matéria-prima, nos EUA o milho produzido é do tipo dentado, e contém cerca de 8,2% de PB, 3,5% de EE, 9,1% de NDF e 62,6% de amido (NRC, 2012), enquanto no Brasil o milho contém, em média, 7,9% de PB, 3,8% de EE, 13,8% de FDN e 63,4% amido (Rostagno et al., 2017). O uso de diferentes técnicas de processamento também pode afetar as características nutricionais dos coprodutos de etanol de milho, como o calor aplicado durante o processamento e a remoção da fração fibrosa do milho, que podem impactar na qualidade do coproduto (Balat e Balat, 2009; NRC, 2012; Rho et al., 2017). Adicionalmente, ainda não há dados de composição de coprodutos da destilaria de milho produzidos no Brasil, como DDGS e HP-DDG, nas Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Suínos e Aves (Rostagno et al., 2017). Desta forma, os efeitos da utilização de DDG e HP-DDG produzidos no Brasil na alimentação de suínos sobre parâmetros zootécnicos ainda não são completamente conhecidos.

Tendo em vista o exposto, no presente o estudo, os animais que receberam as dietas contendo HP-DDG, nas fases de crescimento 1 e 2 e no período total, apresentaram desempenho inferior em comparação aos animais que receberam a dieta a base de milho e farelo de soja. Do mesmo modo, no estudo de Cromwell et al. (2011) em que foram avaliados níveis crescentes de DDGS (15 a 45%) em rações de suínos dos 33 aos 121 kg de PV, observou-se redução no GPD com os aumentos na inclusão de DDGS comparados a animais que receberam uma dieta controle a base de milho e farelo de soja. Comparando a inclusão de três níveis de DDGS (10, 20 e 30%) com uma dieta a base de milho e farelo de soja, para suínos dos 20 aos 120 kg de PV, Xu et al. (2010) observaram redução no CRD e piora na CA dos animais alimentados com dietas com 20 e 30% de DDGS. Concomitantemente, Tran et al. (2012) observaram redução no GPD e CRD, e pior CA em leitões alimentados com níveis crescentes (15 e 30%) de DDGS

comparados aos leitões do tratamento controle. Zhu et al. (2010) observaram tendência na redução do GPD e CRD de suínos alimentados com dietas com 30% de DDGS comparados a suínos alimentados sem o coproduto.

Uma das possíveis razões da piora no GPD, CRD e CA dos animais alimentados com HP-DDG no presente estudo, pode ter sido o teor de fibra dietética presente nas rações com a inclusão do coproduto, que foi relativamente alta. A concentração de FDN nas dietas com inclusão de HP-DDG foi de 26, 24 e 21% nas fases de crescimento 1, 2 e terminação 1, respectivamente, enquanto na dieta CON esses valores permaneceram em 14% nas três fases. Os teores de FDA nas dietas com HP-DDG variaram de 7 a 9% nas três fases de criação, enquanto na dieta CON a concentração foi de 4%. A digestibilidade da fibra por suínos pode variar consideravelmente em mais de 50%, a depender da fonte da fibra, do método de processamento e da concentração na dieta (Stagonias e Pearce, 1985; Fadel et al., 1989; Goodland e Mathers, 1991; Knudsen e Hansen, 1991), tornando os suínos capazes de utilizá-la de forma moderada, mas não em concentrações elevadas desde as fases iniciais de criação até as fases finais (Whitney e Shurson, 2004; Whitney et al., 2006; Weber et al., 2008). Além disso, a depender da porção da fibra, como os PNA's solúveis, podem afetar a viscosidade da digesta, reduzindo a digestibilidade de outros nutrientes presentes nos demais ingredientes da dieta (i.e. gordura e proteína) (Choct and Annison, 1992; Steenfeldt, 2001).

Ademais, frente aos diversos meios que a alimentação com uma dieta rica em fibras exerce sobre as características do trato gastrointestinal, a exigência de energia de manutenção dos suínos pode ser destacada. Apesar de no presente estudo não terem sido observadas diferenças para o peso dos órgãos, de acordo com Grieshop et al. (2001) e Wenk (2001), a exigência energética pode aumentar em decorrência da maior demanda metabólica, devido às necessidades de nutrientes para o desenvolvimento e manutenção dos órgãos viscerais de animais que recebem dietas com alta fibra.

Outro fator que pode ter influenciado negativamente o desempenho dos animais tratados com o HP-DDG, pode ter sido o excesso do aminoácido Leu nas dietas, ocasionado com a alta inclusão do coproduto. Geralmente, os coprodutos da destilaria de milho possuem teor relativamente alta do aminoácido Leu, podendo chegar a ser cinco vezes superior a de Leu presente no grão de milho (NRC, 2012). Há consenso de que o fornecimento exato do balanço de aminoácidos, sem escassez ou excesso aos animais, atenda as exigências de manutenção, bem como para máxima deposição de carne magra (Emmert e Baker, 1997), e que imbalanços de aminoácidos podem levar a alterações no metabolismo que influenciam o comportamento alimentar dos suínos, alterando a concentração dos aminoácidos plasmáticos e nos tecidos, com redução considerável do aminoácido limitante (Bertechini, 2006). Isso ocorre devido um mecanismo cerebral que responde à variação na concentração sérica de aminoácidos, e que sintetiza neurotransmissores no cérebro responsáveis por essas funções (D'Mello, 2003). Além disso, a existência de aminoácidos antagonistas (interação entre os estruturalmente similares), que podem competir pelo mesmo transportador, e a nível intestinal e cerebral competem em absorção, prejudicam as funções específicas do aminoácido no organismo (D'Mello, 2003; Pasquetti, 2014; Castilha, 2015).

Sendo assim, o excesso do aminoácido Leu, que gerou uma relação SID Leu:Lys de 178% na fase de crescimento 1, 187% na fase de crescimento 2 e 191% na fase de terminação 1, pode ter prejudicado o consumo de ração e consequentemente o ganho de peso dos animais alimentados com HP-DDG no presente estudo, haja vista que o atendimento às exigências dos aminoácidos nas dietas foi realizado sobre as recomendações de Rostagno et al. (2017) para suínos machos castrados de desempenho médio-regular, em fase de crescimento e terminação, não considerando o excesso do aminoácido Leu nas dietas. De forma a contornar parte desse problema, em um estudo de Kwon et al. (2021) os autores avaliaram os efeitos da suplementação dos aminoácidos Val, Ile e/ou Trp, em dietas contendo HP-DDG para suínos em fase de crescimento. A suplementação dos aminoácidos foi realizada de modo a

aumentar a relação SID Val:Lys em 10%, Ile:Lys em 10% e Trp:Lys em 5% nas dietas com o HP-DDG, em comparação com a dieta controle com HP-DDG sem a suplementação dos três aminoácidos. Foi observado que os animais que receberam as dietas com HP-DDG suplementadas com a combinação dos aminoácidos Val e Trp, apresentaram ganho de peso similar aos animais que consumiram uma dieta basal sem adição do coproduto. O que diferiu dos animais que receberam somente o HP-DDG ou dietas com HP-DDG suplementadas somente com algum dos três aminoácidos, ou as outras combinações.

Por outro lado, há estudos com resultados divergentes aos encontrados no presente trabalho, mesmo sem a correção da relação do aminoácido Leu com os demais aminoácidos. Kim et al. (2009) avaliando a substituição crescente (33, 66 e 100%) de farelo de soja de uma dieta controle, por HP-DDG para suínos dos 58 aos 130 kg de PV, não observaram diferenças para GPD, CRD e CA em nenhuma das fases de criação, bem como para o período total. Widmer et al. (2008) avaliaram inclusões de DDGS de 10 e 20% e HP-DDG de 15 e 40% em dietas para suínos nas fases de crescimento e terminação 1 e 2 e não encontraram diferenças nos parâmetros de desempenho entre os grupos tratados com os coprodutos e o grupo controle. Stein (2007) em uma revisão de literatura sugeriu que o nível de inclusão de no máximo 20% de DDGS não ocasionaria efeitos indesejáveis no desempenho de suínos em crescimento e terminação. Mais tarde, Stein e Shurson (2009) concluíram que até 30% do coproduto não afetaria negativamente o desempenho dos animais.

Os animais alimentados com o tratamento DDG-XYL apresentaram maior GPD e PV final em comparação aos animais alimentados com o tratamento DDG-PC, na fase de crescimento 1. A enzima xilanase hidrolisa as ligações glicosídicas β -(1-4) dos arabino-xilanos presentes na porção fibrosa dos ingredientes, liberando os monossacarídeos xilose e arabinose e xilooligossacarídeos. Esses carboidratos na forma de monossacarídeos podem ser absorvidos ou fermentados como os xilooligossacarídeos pelos microrganismos presentes no intestino dos animais, gerando ácidos graxos de cadeia curta, como por exemplo o ácido butírico, que podem ser utilizados como fonte energética, seja de forma direta nos enterócitos, ou para outras funções metabólicas dos suínos (Dodd e Cann, 2009; Merriman et al. 2021). Tendo em vista que em teoria, uma dieta com maior concentração de fibra insolúvel como as testadas no presente estudo, possuem mais substrato para atuação da enzima xilanase, a contribuição energética dessa foi maior do que a dieta contendo somente HP-DGG, e que resultou em maior desempenho dos animais.

Os resultados de melhoria nos parâmetros de desempenho de suínos alimentados com dietas contendo HP-DDG e enzima, em comparação a suínos alimentados com dietas contendo somente o coproduto, podem estar relacionados com a melhora na digestibilidade dos nutrientes presentes nas dietas, devido a presença da enzima xilanase. No presente estudo, os animais que consumiram a dieta com milho e farelo de soja, de forma geral, apresentaram melhor digestibilidade dos nutrientes em comparação aos animais que consumiram as dietas contendo o HP-DDG. Entretanto, os animais que consumiram a dieta DDG-XYL, além de numericamente terem apresentado quase 5% maior digestibilidade da PB do que os animais do DDG-PC, também apresentaram melhor digestibilidade da FDN do que os animais que consumiram as dietas DDG-PC e DDG-ACC, e inclusive do que os animais que consumiram a dieta CON, na fase de crescimento 1. Essa constatação pode ter contribuído para o maior desempenho desse grupo de animais comparados aos animais do DDG-PC e DDG-ACC, mas não ao ponto de se igualar aos animais do tratamento CON.

No processo digestivo da fibra ao qual a enzima xilanase atua, pode ocorrer a liberação de arabinoxilanos-oligossacarídeos simbióticos, que em aves promoveram regulação positiva da microbiota intestinal capaz de degradar fibra, melhorando a capacidade de fermentação do intestino grosso, e em suínos, alteraram a microbiota cecal, favorecendo a proliferação de bactérias do filo Firmicutes, que por sua vez possui espécies que produzem enzimas

para metabolizar arabinoxilanos-oligossacarídeos, podendo gerar melhores condições de saúde intestinal e liberação de compostos para serem aproveitados para geração de energia (Sheridan et al., 2016; Bedford, 2018; Zhang et al., 2018).

Avaliando a digestibilidade de suínos alimentados com dietas contendo DDGS de trigo e a enzima fitase e um complexo multi-enzimático (celulase, pectinase, manase, galactanase, xilanase, glucanase, amilase e protease), Woyengo et al. (2016) observaram maior digestibilidade para os animais suplementados com as enzimas apenas para MM e fósforo. Por outro lado, no estudo de Petry et al. (2020), em que os autores avaliaram uma dieta a base de milho e farelo de soja, e dietas contendo 30% de casca de milho sem solúveis como fonte de fibra insolúvel, associadas ou não com a enzima xilanase, para suínos em fase de crescimento, foram observadas maiores digestibilidade da energia, relação altura de vilo: profundidade de cripta, e expressão das proteínas ocludinas e claudinas (parâmetros para avaliação da integridade do epitélio intestinal), para suínos alimentados com farelo de milho sem solúveis e enzima xilanase em comparação aos animais alimentados somente com o coproduto, sem a adição da enzima. Além disso, os autores observaram maior GPD, eficiência alimentar e PV dos animais que consumiram as dietas com a enzima xilanase em comparação aos animais que foram submetidos a mesma dieta sem a enzima, mas ainda assim valores menores comparados aos animais alimentados com uma dieta a base de milho e farelo de soja. Avaliando a inclusão de xilanase em dietas de suínos a base de farelo de trigo, cevada e colza, Merriman et al. (2021) observaram melhora na CA em comparação as dos animais consumindo a mesma dieta sem a presença da enzima.

Apesar da melhora no GPD e PV final, e na maior digestibilidade da FDN dos animais do tratamento DDG-XYL em comparação aos animais do DDG-PC e DDG-ACC na fase de crescimento 1, essa melhora não foi observada para as fases seguintes. Tais resultados podem ter ocorrido devido a redução na atividade enzimática da xilanase observada nas rações das fases de crescimento 2 e terminação 1, bem como a redução da inclusão do coproduto nas demais fases, com conseqüente redução na quantidade de substrato para atuação da enzima, diminuindo assim, um efeito positivo esperado da enzima nas fases subsequentes. Além disso, uma possível adaptação dos animais e da microbiota intestinal a dieta com alta inclusão do HP-DDG já na fase de crescimento 1, pode ter feito com que os animais sentissem menos os efeitos da inclusão do coproduto nas fases de crescimento 2 e terminação 1, uma vez que os níveis de HP-DDG foram reduzidos de 40% para 33% na fase de crescimento 2, e 25% na fase de terminação 1. Além disso, esse acontecimento foi concomitante ao aumento do peso e idade dos animais, que é um fator que influencia a capacidade de digestão da fibra (Noblet e Shi, 1994; Kerr e Shurson, 2013). A ausência de melhora no desempenho de suínos alimentados com dietas contendo DDGS de milho além de ser atribuída a composição dos arabino-xilanos presentes na porção da FDN do ingrediente, também é atribuída a concentração total da FDN nas dietas (Jacela et al., 2010b; Kerr et al., 2013; Petry et al., 2020).

De acordo com Patience e Petry (2019), a variação dos resultados entre estudos avaliando a inclusão de enzimas pode ser atribuída ao período de suplementação da enzima, o tipo de fibra e a concentração da mesma nas dietas. Por fim, a própria natureza do milho utilizado na produção de etanol com a conseqüente geração do coproduto, assim como o processamento a que o coproduto é submetido no processo, com possíveis modificações na estrutura e proporção de arabinose e xilose, podem exercer efeitos nos parâmetros de produção animal (Pedersen et al., 2014; Jaworski et al., 2015).

Apesar digestibilidade da MM da dieta DDG-ACC e do comprimento de intestino nos animais que a consumiram terem sido maiores do que na DDG-PC na fase de terminação 1, não foram observadas diferenças entre os suínos submetidos aos dois tratamentos para os parâmetros de desempenho. A ausência de efeitos no GPD, CDR e CA e na maior parte dos resultados de digestibilidade dos suínos DDG-ACC comparados aos animais do DDG-PC não era esperada, uma vez que o aditivo possuía em sua composição um argilomineral rico em íons, que em teoria,

atuam como cofatores de enzimas relacionadas aos processos de digestão de nutrientes, através da formação de um complexo estável entre o composto argilomineral e a enzima. Além disso, o aditivo continha extratos de duas algas, e estudos relatam alguns efeitos benéficos que determinadas algas podem exercer, como atividades nutracêuticas, antioxidantes, antibacterianas e parasitárias, imunomodulação e proteção gastrintestinal (Laurienzo, 2010; Avila et al., 2016). De modo contrário ao presente estudo, Del Tuffo et al. (2019) avaliaram um complexo de alga e argila melhorador de digestibilidade em dietas contendo 30% de DDGS para suínos a partir de 50 kg de PV, e observaram maior GPD e eficiência alimentar para os animais que consumiram o aditivo, comparados aos que receberam dieta similar sem o aditivo, na última fase de terminação.

Os resultados de comprimento de órgãos do presente estudo corroboram os dados de desempenho e digestibilidade encontrados. Os animais que consumiram os tratamentos DDG-ACC e DDG-XYL apresentaram maior comprimento de intestino delgado e intestino grosso comparados aos animais do DDG-PC, o que em teoria, resulta em maior área para digestão e absorção de nutrientes. No presente estudo, o peso relativo dos rins dos animais do tratamento CON foi maior do que os animais dos tratamentos contendo HP-DDG.

Os animais do tratamento CON apresentaram maior rendimento de carcaça quente do que os animais dos tratamentos com HP-DDG, e maior rendimento de carcaça fria do que os animais do DDG-ACC. Esse resultado era esperado, haja vista que a inclusão de ingredientes ricos em fibras em dietas de suínos, pode reduzir o rendimento de carcaça devido ao aumento do preenchimento e da massa intestinal (Kass et al., 1980). Do mesmo modo, Thacker (2006) observou redução no rendimento de carcaça de suínos alimentados com DDGS de trigo até o nível de 25% na fase de crescimento e 15% na fase de terminação. Leick et al. (2010) avaliando níveis crescentes (15, 30, 45 e 60%) de DDGS em dietas de suínos dos 40 aos 130 kg de PV, observaram redução no rendimento de carcaça com a inclusão do coproduto. Por outro lado, incluindo até 45% de DDGS em dietas de suínos, McClelland et al. (2012) não constataram diferenças para rendimento de carcaça. Ainda assim, os valores de rendimento e demais parâmetros de carcaça encontrados no presente estudo foram similares aos reportados na literatura, seja para suínos alimentados com dietas contendo ou não os coprodutos de etanol. Ying et al. (2013) não observaram diferenças para rendimento de carcaça entre suínos alimentados com 30% de DDGS na fase de crescimento e 20% de DDGS na fase de terminação, comparados a animais alimentados com dietas isentas do coproduto.

As diferenças para os parâmetros de qualidade de carne foram observadas para o pH 45 min do músculo *Longissimus dorsi* e perda por gotejamento, entre os tratamentos contendo HP-DDG. O mecanismo exato de atuação desses aditivos sobre esses parâmetros em que foram observadas essas diferenças ainda não são completamente esclarecidos. Ainda assim, os valores de pH de ambos os músculos avaliados em todos os tratamentos, seja 45 min ou 24 h, estão dentro dos descritos por Bridi e Silva (2009), em que classificam a carne como normal, ou seja, não sendo classificadas como pálida, mole e exsudativa (PSE) ou escura, firme e seca (DFD). Além disso, os valores encontrados para pH do músculo *Longissimus dorsi* e *Semimembranosus* estão de acordo com os descritos por Shircliff et al. (2019), que também avaliaram a inclusão de HP-DDG ou DDGS em dietas de suínos.

Todos os valores encontrados referentes a Minolta L* estão próximos aos valores médios reportados por Leick et al. (2010) (45,1), Moreno et al. (2011) (49,6) e Ying et al. (2013) (54,7), e os de Minolta a* próximos aos valores de Leick et al. (2010) (6,4) e Ying et al. (2013) (7,9), mas abaixo dos reportados por Moreno et al. (15,1), que também avaliaram dietas contendo coprodutos de destilaria para suínos, comparando com dietas a base de milho e farelo de soja, e também não encontraram diferenças para esses parâmetros. O valor de Minolta b* dos animais que consumiram o tratamento CON foi menor do que os animais do tratamento DDG-ACC, e numericamente menor do que os dos tratamentos DDG-PC e DDG-XYL, o que pode ter ocorrido porque as fontes de gordura com uma proporção maior

de ácidos graxos insaturados são comumente descritas como amarelas (expressa por maior valor de Minolta b*) (Leick et al. 2010). Esse resultado é complementar aos resultados relativos ao perfil de ácidos graxos do músculo *Longissimus dorsi* encontrados no presente estudo.

Os teores de ácidos graxos insaturados presentes no músculo dos animais que consumiram os tratamentos com HP-DDG foi maior do que nos animais que consumiram a dieta CON, assim como as concentrações de ácidos graxos saturados dos animais do tratamento CON foram maiores do que nos animais alimentados com HP-DDG. Os suínos depositam os ácidos graxos na carcaça de forma similar em que eles se encontram nas dietas (Enser et al. 2000), e tendo em vista que os coprodutos da destilaria de milho são conhecidos por apresentarem maior teor de ácidos graxos insaturados, sendo essa uma característica herdada do cereal que o origina, o milho (Díaz-Royón et al. 2012; NRC, 2012), esses resultados eram esperados.

A quantidade de ácidos graxos insaturados na carcaça está diretamente relacionada com a qualidade de carne, principalmente no que diz respeito ao tempo de armazenamento, bem como com a firmeza de determinados cortes em que a concentração de gordura é maior, como por exemplo a barriga (Lerner et al. 2020). Muitos fatores podem determinar o tempo de prateleira das carnes, como por exemplo a oxidação da fração lipídica, que por sua vez é influenciada por fatores como temperatura, presença de oxigênio, metais de transição, sais não dissociados, umidade e o grau de insaturação dos ácidos graxos (Sheard et al., 2000; Shurson et al., 2015). Como os ácidos graxos insaturados têm ligações duplas, eles são considerados menos estáveis quimicamente. Geralmente, arranjos de ácidos graxos insaturados têm ponto de fusão mais baixo que as formas de ácidos graxos saturados, devido às ligações duplas que os deixam menos compactados como os saturados, permitindo maior ação de temperatura e outros fenômenos químicos (Nelson e Cox, 2011).

Carcaças de suínos alimentados com dietas contendo teores de coprodutos da destilaria de milho maiores que 20% têm sido descritas na literatura como carcaças que apresentam a gordura mais mole (Xu et al., 2010; Graham et al., 2014), o que reflete na qualidade de produtos de origem animal, como por exemplo o bacon. O bacon produzido a partir de carcaças de suínos que possuem maior quantidade de ácidos graxos insaturados é reportado por apresentar maior quantidade de fatias grudadas quando fatiados, aparência oleosa, separação da gordura da carne magra durante o fatiamento e aumento da taxa de rancidez oxidativa (NPPC, 2000).

A diminuição na concentração de ácidos graxos saturados na carne dos suínos alimentados com HP-DDG neste estudo, corrobora os achados de Cromwell et al. (2011), que fornecendo dietas com até 45% de DDGS para suínos, também encontraram menor concentração dos ácidos graxos saturados palmítico, esteárico e o monoinsaturado oleico, no toucinho, em comparação a animais consumindo dieta a base de milho e farelo de soja. Entretanto, estudos buscando alternativas para diminuir esses efeitos na composição da gordura da carcaça de suínos que recebem dietas contendo coprodutos do etanol de milho, vêm sendo conduzidos e apresentando alternativas viáveis para mitigação dessa desvantagem no uso desses coprodutos.

Por fim, o CRPV do tratamento CON foi menor do que os dois animais dos tratamentos contendo HP-DDG na fase de crescimento 1. Isso pode ser justificado, tendo em vista que para o cálculo desse parâmetro, o ganho de peso e o consumo de ração são relacionados com o custo da dieta. Mesmo o HP-DDG apresentando menor custo do que o milho e farelo de soja, a alta inclusão do aditivo associada com o menor ganho de peso e consumo de ração dos animais tratados com HP-DDG, não foi compensatória. Ainda assim, não foram observadas diferenças entre os tratamentos contendo o coproduto para esse parâmetro nessa mesma fase, o que pode ser considerado um ponto positivo, haja vista que adição de enzima proporcionou melhor desempenho aos animais comparados aos dos animais do DDG-PC, não onerando a dieta.

Em conclusão, a inclusão de HP-DDG diminuiu o desempenho dos suínos nas fases de crescimento 1 e 2 e no período total, diminuiu a digestibilidade dos nutrientes e as características de carcaça, aumentando a quantidade de ácidos graxos insaturados no lombo, além de aumentar o CRPV. A adição da enzima xilanase em dietas contendo alta inclusão de HP-DDG melhorou o desempenho e a digestibilidade dos suínos na fase de crescimento 1, enquanto a adição de aditivo melhorador de digestibilidade a base de alga e argila não proporcionou melhorias para os parâmetros avaliados. Novos estudos são sugeridos para avaliar diferentes níveis e estratégias da substituição de milho e farelo de soja por coprodutos da destilaria de milho, de modo a encontrar resultados em que o coproduto consiga substituir as duas principais commodities sem prejuízos à produção de suínos.

Referências

- Adeola, O. 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: A. J. Lewis and L. L. Southern, editors, *Swine Nutrition*. 2nd ed. CRC Press, New York, NY. p. 903-906.
- Adeola, O., and A. J. Cowieson. 2011. Board-Invited Review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *J. Anim. Sci.* 89:3189–3218. doi:10.2527/jas.2010-3715.
- Agyekum, A. K., B. A. Slominski, and C. M. Nyachoti. 2012. Organ weight, intestinal morphology, and fasting whole-body oxygen consumption in growing pigs fed diets containing distillers dried grains with solubles alone or in combination with a multienzyme supplement. *J. Anim. Sci.* 90:3032–3040. doi:10.2527/jas.2011-4380
- AOAC International. 2006. *Official methods of analysis*. 18th ed. AOAC Int., Washington, DC.
- AOCS. 2003. *Official methods and recommended practices of the American oil Chemists' Society*.
- ABCS. 1973. *Associação Brasileira de Criadores de Suínos. Métodos brasileiro de classificação de carcaças*. 2nd ed. Rio Grande do Sul: Estrela. 17 p.
- Avila, L. M. T., R. E. Gonzalez, P. R. Santillan, J. A. A. Briseño, D. R. Marie, C. R. Padilla, and L. E. C. Suarez. 2016. Innocuity and anti-Newcastle-virus-activity of *Cladosiphon okamuranus* fucoidan in chicken embryos. *Poul. Sci.* 95:2795–2802. doi: 10.3382/ps/pew201.
- Balat, M., and Balat, H. 2009. Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. *Appl. Energy.* 86:2273-2282. doi:10.1016/j.apenergy.2009.03.015.
- Barbosa, H. P., E. T. Fialho, A. S. Ferreira, G. J. M. M. Lima, and M. F. M. Gomes. 1992. Triguilho para suínos nas fases inicial, de crescimento, crescimento e terminação. *Rev Bras. de Zootec.* 21:827-837.
- Bedford, M. R. 2018. The evolution and application of enzymes in the animal feed industry: the role of data interpretation. *Br. Poult. Sci.* 59:486–493. doi:10.1080/00071668.2018.1484074.
- Bellaver, C., E. T. Fialho, J. F. S. Protas, and P. C. Gomes. 1985. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 20:969-974.
- Bertechini, A. G. 2006. *Nutrição de monogástricos*. 1st ed. Editora UFLA, Lavras, MG.
- Biely, P., S. Singh, and V. Puchart. 2016. Towards enzymatic breakdown of complex plant xylan structures: state of the art. *Biotechnol. Adv.* 34:1260e1274. doi: 10.1016/j.biotechadv.2016.09.001.
- Bligh, E.G., and W. J. Dyer. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:911-917. doi: 0.1139/o59-099.
- Bridi, A. M., and C. A. Silva. 2009. *Avaliação da Carne Suína*. 1st ed. Midigraft, Londrina, PR.
- Burrough, E. R., B. L. Arruda, J. F. Patience, and P. J. Plummer. 2015. alterations in the colonic microbiota of pigs associated with feeding distillers dried grains with solubles. *PLoS ONE* 10(11):e0141337. doi:10.1371/journal.pone.0141337.

- Castilha, L. D. Níveis de triptofano e piridoxina em dietas com redução de proteína bruta para suínos nas fases de crescimento e terminação. 2015. 153p. Tese (Doutor em Zootecnia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR.
- Choct M., and G. Annison. 1992. Anti-nutritive effect of wheat pen-tosans in broiler chickens: Roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poult. Sci.*, 33:821-834. doi:10.1080/00071669208417524
- Corassa, A., I. P. A. S. Lautert, D. S. Pina, C. Kiefer, A. P. S. Ton, C. M. Komiyama, A. B. Amorin, and A. O. Teixeira. 2017. Nutritional value of Brazilian distillers dried grains with solubles for pigs as determined by different methods. *R. Bras. Zootec.*, 46:740-746. doi:10.1590/S1806-92902017000900005.
- Cromwell, G. L., M. J. Azain, O. Adeola, S. K. Baidoo, S. D. Carter, T. D. Crenshaw, S. W. Kim, D. C. Mahan, P. S. Miller, and M. C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 2011. 89:2801–2811. doi:10.2527/jas.2010-3704.
- Del Tuffo, L., J. C. Woodworth, S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, and R. D. Goodband. 2019. Effects of diet formulation and supplementation of an algoclay complex-based feed additive in grow-finish diets on pig growth performance and carcass characteristics. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*: 5:8. doi:10.4148/2378-5977.7862.
- DELC - Decisión de Ejecución de la Comisión de 12 de julio de 2012 que modifica la Decisión 2009/11/CE relativa a la autorización de métodos de clasificación de las canales de cerdo en España (2012/384/UE). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 14.7.2012, L186-32/L186-35.
- Diaz-Royón, F., A. Garcia, and K. A. Rosentrater. 2012. Composition of fat in distillers grains. *iGrow. Livest. Dairy Sci.* 2:2003-2012.
- D'Mello, J. P. F. Amino Acids as Multifunctional Molecules. In: J. P. F. D'Mello, editor, *Amino acids in animal nutrition*. 2nd ed. CAB International, New York p.1-14.
- Dodd, D., and I. K. Cann. 2009. Enzymatic deconstruction of xylan for biofuel production. *Glob. Change Biol. Bioenergy* 1:2–17. doi:10.1111/j.1757-1707.2009.01004.x
- Emmert, J. L., and D. H. Baker. 1997. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *J. Appl. Poultry Res.* 6:462–470. doi: 10.1093/japr/6.4.462.
- Enser, M., R. I. Richardson, J. D. Wood, B. P. Gill, and P.R. Sheard. 2000. Feeding linseed to increase then-3 PUFA of pork: fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages. *Meat Sci.* 55:201-212. doi:10.1016/s0309-1740(99)00144-8.
- Fadel, J. G., R. K. Newman, C. W. Newman, and H. Graham. 1989. Effects of baking hullless barley on the digestibility of dietary components as measured at the ileum and in the feces in pigs. *J. Nutr.* 119:722–726. doi: 10.1093/jn/119.5.722.
- Feng, G., B. M. Flanagan, D. Mikkelsen, B. A. Williams, W. Yu, R. G. Gilbert, and M. J. Gidley. 2018. Mechanisms of utilisation of arabinoxylans by a porcine faecal inoculum: competition and co-operation. *Sci. Rep.* 8:4546. doi:10.1038/s41598-018-22818-4
- FSA. Food Standards Agency. 2002. McCance and Widdowson's the composition of foods. 6th ed. *Nutrition Bulletin*. Cambridge. 537p.
- Goodlad, J. S., and Mathers, J. C. 1991. Digestion by pigs of non-starch polysaccharides in wheat and raw peas (*Pisum sativum*) fed in mixed diets. *Br. J. Nutr.* 65:259–270. doi:10.1079/BJN19910085.

- Graham, A. B., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. M. DeRouche, S. Nitikanchana, and J. J. Updike. 2014. The effects of low-, medium-, and high-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and fat quality in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:3610–3623. doi: 10.2527/jas.2014-7678.
- Grieshop, C. M., D. E. Reece, and G. C. Fahey. 2001. Nonstarch polysaccharides and oligosaccharides in swine nutrition. In: A. J. Lewis and L. L. Southern, editors, *Swine Nutrition*. 2nd ed. CRC Press, New York, NY. p. 107-130.
- Hartman, L., and B. C. A. Lago. 1973. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab. Pract.* 22:475-477.
- Jacela, J. Y., S. S. Dritz, J. M. DeRouche, M. D. Tokach, R. D. Goodband, and J. L. Nelssen. 2010b. Effects of supplemental enzymes in diets containing distillers dried grains with solubles on finishing pig growth performance. *Prof. Anim. Sci.* 26:412–424. doi:10.15232/S1080-7446(15)30623-9
- Jacela, J. Y., H. L. Frobose, K. M. Derouche, M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. L. Nelssen. 2010a. Amino acid digestibility and energy concentration of high-protein corn dried distillers grains and high-protein sorghum dried distillers grains with solubles for swine. *J. Anim. Sci., Cary. Anim. Sci.* 88:3617-3623. doi: 10.2527/jas.2010-3098.
- Jaworski, N. W., H. N. Lærke, K. E. Bach Knudsen, and H. H. Stein. 2015. Carbohydrate composition and in vitro digestibility of dry matter and nonstarch polysaccharides in corn, sorghum, and wheat and coproducts from these grains. *J. Anim. Sci.* 93:1103–1113. doi:10.2527/jas.2014-8147.
- Jørgensen, H., X. Q. Zhao, and B. O. Eggum. 1996. The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *Br. J. Nutr.* 75:365–378. doi:10.1079/BJN19960140.
- Kass, M. L., P. J. van Soest, and W. G. Pond. 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.* 50:175–191. doi: 10.2527/jas1980.501175x.
- Kerr, B. J., T. E. Weber, and G. C. Shurson. 2013. Evaluation of commercially available enzymes, probiotics, or yeast on apparent total-tract nutrient digestion and growth in nursery and finishing pigs fed diets containing corn dried distillers grains with solubles. *Prof. Anim. Sci.* 29:508–517. doi:10.15232/S1080-7446(15)30272-2.
- Kerr, B., and G. C. Shurson. 2013. Strategies to improve fiber utilization in swine. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4:11. doi:10.1186/2049-1891-4-11.
- Kim, B. G., G. I. Petersen, R. B. Hinson, G. L. Alle, and H. H. Stein. 2009. Amino acid digestibility and energy concentration in a novel source of high-protein distillers dried grains and their effects on growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 874013–4021. doi: 10.2527/jas.2009-2060.
- Knudsen, K. E., and I. Hansen. 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *Br. J. Nutr.* 65:217–232. doi: 10.1079/bjn19910082.
- Kwon, W. B., J. A. Soto, and H. H. Stein. 2021. Effects of dietary valine, isoleucine, and tryptophan supplementations to diets containing excess leucine from corn protein on growth performance of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 99:61-62. doi: 10.1093/jas/skab054.103.
- Laurienzo, P. 2010. Marine polysaccharides in pharmaceutical applications: an overview. *Mar. Drugs* 8:2435–2465. doi:10.3390/md8092435.

- Leick, C. M., C. L. Puls, M. Ellis, J. Killefer, T. R. Carr, S. M. Scramlin, M. B. England, A. M. Gaines, B. F. Wolter, S. N. Carr, and F. K. McKeith. 2010. Effect of distillers dried grains with solubles and ractopamine (Paylean) on quality and shelf-life of fresh pork and bacon. *J. Anim. Sci.* 2010. 88:2751–2766. doi:10.2527/jas.2009-2472.
- Lerner, A. B., M. D. Tokach, J. M. DeRouchey, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. C. Woodworth, and M. Allerson. 2020. Effects of switching from corn distillers dried grains with solubles- to corn- and soybean meal-based diets on finishing pig performance, carcass characteristics, and carcass fatty acid composition. *Transl. Anim. Sci.* 2020.4:715–723. doi: 10.1093/tas/txaa070.
- Marques, B. M. F. P. P., G. B. Rosa, L. Hauschild, A.d'A. Carvalho, P. A. Lovatto. 2007. Substituição de milho por sorgo baixo tanino em dietas para suínos: digestibilidade e metabolismo. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 59:767-772. doi: 10.1590/S0102-09352007000300031.
- McBride, B. W., and J. M. Kelly. 1990. Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant gastrointestinal tract and liver: A review. *J. Anim. Sci.* 68:2997–3010. doi: 10.2527/1990.6892997x.
- McClelland, K. M., G. Rentfrow, G. L. Cromwell, M. D. Lindemann, and M. J. Azain. 2012. Effects of corn distillers dried grains with solubles on quality traits of pork. *J. Anim. Sci.* 2012.90:4148–4156. doi:10.2527/jas2011-4779.
- Merriman, L., P. Wilcock, and G. Cordero. The effect of xylanase on finisher pig performance. *J. Anim. Sci.* 99:170. doi:10.1093/jas/skab054.287.
- Moreno, R., P. Miller, T. E. Burkey, S. J. Jones, S. Cuppett, T. Carr, T. Jones, and R. Diedrichsen. 2011. The effect of corn distillers dried grains with solubles (ddgs) on carcass quality, color stability, and sensory characteristics of pork. *Nebraska Swine Reports.* 259:16-21.
- NPPC. National Pork Producers Council. 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. Des Moines, IA.
- Nelson, D. L. and Cox, M. M. 2011. Lipídeos. In: D. L. Nelson, and M. M. Cox, editors, *Princípios da bioquímica de Lehninger*. 5th ed. Artmed, Porto Alegre, RS. p.343-370.
- Noblet, J., and X. S. Shi. 1994. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 37:323-338. doi:10.1016/0301-6226(94)90126-0.
- NPPC. National Pork Producers Council. 2000. Pork composition & quality assessment procedures. Des Moines, IA.
- NRC - National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed. National Academies Press, Washington, DC.
- Pasquetti, T. J. Triptofano para leitões e sua relação com a lisina na fase inicial. 2014. 120p. Tese. (Doutor em Zootecnia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.
- Patience, J. F., and A. L. Petry. 2019. Susceptibility of fibre to exogenous carbohydrases and impact on performance in swine. In: Gonzalez-Ortiz, G., M. R. Bedford, K. E. Bach Knudsen, C. Courtin, and H. L. Classen, editors. *The value of fibre. Engaging the second brain for animal nutrition*. Wageningen Academic Press, Wageningen. p. 99-115. doi: 10.3920/978-90-8686-893-3.
- Pedersen, M. B., S. Dalsgaard, K. B. Knudsen, S. Yu, and H. N. Lærke. 2014. Compositional profile and variation of distillers dried grains with solubles from various origins with focus on non-starch polysaccharides. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197:130–141. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.07.011.
- Petry, A. L., N. F. Huntley, M. R. Bedford, and J. F. Patience. 2020. Xylanase increased the energetic contribution of fiber and improved the oxidative status, gut barrier integrity, and growth performance of growing pigs fed insoluble corn-based fiber. *J. Anim. Sci.* 98:1–11. doi: 10.1093/jas/skaa233.
- Pork World. 2004. Manual de cortes de carne suína. Animalworld, São Paulo, SP. 3.

- Rho, Y., C. Zhu, E. Kiarie, and C. F. M. Lange. 2017. Standardized ileal digestible amino acids and digestible energy contents in high-protein distiller's dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 95:3591–3597. doi:10.2527/jas2017.1553.
- Rosentrater, K. A., and K. Muthukumarappan. 2006. Corn ethanol coproducts: Generation, properties, and future prospects. *Int. Sugar J.* 108:648-657.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, M. I. Hannas, J. L. Donzele, N. K. Sakomura, F. G. Perazzo, A. Saraiva, M. L. Teixeira, P. B. Rodrigues, R. F. Oliveira, S. L. T. Barreto, C. O. Brito. 2017. *Tabelas Brasileiras Para Aves e Suínos. Composição de Alimentos e Exigências Nutricionais*. 4th ed. UFV, Viçosa, MG. 488p.
- Schone, R. A., R. V. Nunes, R. Frank, C. Eying, and L. D. Castilha. 2017. Resíduo seco de destilaria com solúveis (DDGS) na alimentação de frangos de corte (22-42 dias). *Rev. Ciênc. Agron.* 48:548-557.
- Schulze, H., P. van Leeuwen, M. W. A. Verstegen, J. Huisman, W. B. Souffrant, and F. Ahrens. 1994. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2362–2368. doi:10.2527/1994.7292362x.
- Sheard, P. R., M. Ensera, J.D. Wooda, G.R. Nutea, B.P. Gillb, and R.I. Richardson. 2000. Shelf life and quality of pork and pork products with raised n-3 PUFA. *Meat Sci.* 55:213-221. doi:10.1016/S0309-1740(99)00145-X.
- Sheridan, P. O., J. C. Martin, T. D. Lawley, H. P. Browne, H. M. B. Harris, A. Bernalier-Donadille, S. H. Duncan, P. W. O'Toole, K. P. Scott, and H. J. Flint. 2016. Polysaccharide utilization loci and nutritional specialization in a dominant group of butyrate-producing human colonic Firmicutes. *Microb. Genom.* 2:e000043. doi:10.1099/mgen.0.000043
- Shircliff, K. E., G. L. Alle, and B. R. Wiegand. 2019. 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. *Appl. Anim. Sci.* 35:550–562. doi:10.15232/aas.2019-01846.
- Shurson, G. C., B. J. Kerr, and A. R. Hanson. 2015. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6:10. doi:10.1186/s40104-015-0005-4
- Silva, J. R., D. Peres Netto, V. M. Scussel. 2016. Grãos secos de destilaria com solúveis, aplicação em alimentos e segurança: Revisão. *Pubvet.* 10:257-270.
- Stanogias, G., and G. R. Pearce. 1985. The digestion of fibre by pigs. 3. Effects of the amount and type of fibre on physical characteristics of segments of the gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.* 53:537–548.
- Steenfeldt, S. The dietary effect of different wheat cultivars for broiler chickens. *Br. Poult. Sci.*, 42:595-609. doi:10.1080/00071660120088416
- Stein, H. H. 2007. Distillers dried grains with solubles (DDGS) in diets fed to swine. Department of Animal Science, University of Illinois, Urbana.
- Stein, H. H. 2011. Feeding Ethanol Coproducts to Swine. In: Liu, K. and K. A. Rosentrater. 1st Ed. *Distillers Grains: Production, Properties, and Utilization*. CRC Press: Boca Raton. 564p.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303. doi:10.2527/jas.2008-1290.
- Thacker, P. A. 2006. Nutrient digestibility, performance and carcass traits of growing-finishing pigs fed diets containing dried wheat distillers grains with solubles. *Can. J. Anim. Sci.* 86:527–529. doi:10.4141/A06-025.
- Tran, H., R. Moreno, E. E. Hinkle, J. W. Bundy, J. Walter, T. E. Burkey, and P. S. Miller. 2012. Effect of corn distillers dried grains with solubles on growth performance and health status indicators in weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 90:790–801. doi:10.2527/jas.2011-4196

- Tres, A., S. P. Heenan, S. Van Ruth. 2014. Authentication of dried distilled grain with solubles (DDGS) by fatty acid and volatile profiling. *Food Sci. Technol.* 59:215–221. doi: 10.1016/j.lwt.2014.05.044.
- Urriola, P. E., and H. H. Stein. 2010. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1454–1462. doi:10.2527/jas.2009-2162
- Van Dyk, J. S., and B. I. Pletschke. 2012. A review of lignocellulose bioconversion using enzymatic hydrolysis and synergistic cooperation between enzymes-factors affecting enzymes, conversion and synergy. *Biotechnol. Adv.* 30:1458e1480. doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.03.002.
- Van Keulen, J., and B. A. Young. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44:282–287. doi:10.2527/jas1977.442282x.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implication in dairy cattle. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597. doi:10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Weber, T. E, C. J. Ziemer, and B. J. Kerr. 2008. Effects of adding fibrous feedstuffs to the diet of young pigs on growth performance, intestinal cytokines, and circulating acute-phase proteins. *J. Anim. Sci.* 86:871–881. doi:10.2527/jas.2007-0330.
- Wenk, C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim Feed Sci Tech* 2001, 90:21–33.
- Whitney, M. H., G. C. Shurson, L. J. Johnston, D. M. Wulf, and B. C. Shanks. 2006. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 84:3356–3363. doi:10.2527/jas.2006-099.
- Whitney, M. H., and G. C. Shurson. 2004. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of corn distiller0s dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 82:122–128. doi:10.2527/2004.821122x.
- Widmer, M. R., L. M. McGinnis, and H. H. Stein. 2007. Energy, phosphorus, and amino acids digestibility of high-protein distillers dried grains and corn germ fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:2994-3003.
- Widmer, M. R., L. M. McGinnis, D. M. Wulf, and H. H. Stein. 2008. Effects of feeding distillers dried grains with solubles, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J. Anim. Sci.* 86:1819-1831. doi:10.2527/jas.2007-0594.
- Woyengo, T. A., D.V. Ige, O. O. Akinremi, and C. M. Nyachoti. 2016. Performance and nutrient digestibility in growing pigs fed wheat dried distillers' grain with solubles-containing diets supplemented with phytase and multi-carbohydrase. *Anim. Sci. J.* 87:570–577. doi:10.1111/asj.12461.
- Wu, F., L. J. Johnston, P. E. Urriola, and G. C. Shurson. 2016. Pork fat quality of pigs fed distillers dried grains with solubles with variable oil content and evaluation of iodine value prediction equations. *J. Anim. Sci.* 94:1041–1052. doi:10.2527/jas2015-9593.
- Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, D. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. *J. Anim. Sci.* 88:1398–1410. doi:10.2527/jas.2008-1404.
- Ying, W., M. D. Tokach, J. M. DeRouche, T. E. Houser, S. S. Dritz, R. D. Goodband, and J. L. Nisssen. 2013. Effects of dietary L-carnitine and dried distillers grains with solubles on growth, carcass characteristics, and loin and fat quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 2013.91:3211–3219. doi:10.2527/jas2012-5606.

- Zhang, Z., H. M. Tun, R. Li, B. J. M. Gonzalez, H. C. Keenes, C. M. Nyachoti, E. Kiarie, and E. Khafipour. 2018. Impact of xylanases on gut microbiota of growing pigs fed corn- or wheat-based diets. *Anim. Nutr.* 4:339–350. doi:10.1016/j.aninu.2018.06.007
- Zhu, Z., R. B. Hinson, L. Ma, D. Li, G. L. Alle. 2010. Growth performance of nursery pigs fed 30% distillers dried grain with solubles (DDGS) and the effects of pelleting on performance and nutrient digestibility. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 23:792-798. doi:10.5713/ajas.2010.90513.

Tabela 15. Ingredientes e composição calculada da dieta basal controle (CON) e da dieta com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína (HP-DDG) em diferentes fases (matéria seca)

Ingredientes, %	73 – 94 d de idade		95 – 116 d de idade		117 – 143 d de idade	
	CON	HP-DDG	CON	HP-DDG	CON	HP-DDG
Milho	72,28	52,49	77,44	60,94	80,87	70,09
HP-DDG	-	40,00	-	33,00	-	25,00
Farelo de soja	20,00	-	17,00	-	13,20	-
Farelo de trigo	3,69	-	2,20	-	2,96	-
Óleo de soja	-	2,88	-	2,20	-	1,50
Fosfato bicálcico	1,230	1,165	0,850	0,710	0,550	0,535
Calcário	0,702	0,930	0,628	0,860	0,670	0,755
L-Lisina HCl	0,378	0,830	0,313	0,698	0,285	0,590
DL-Metionina	0,115	0,025	0,060	0,010	0,030	0,020
L-Treonina	0,122	0,150	0,078	0,110	0,055	0,080
L-Triptofano	0,035	0,110	0,027	0,090	0,030	0,079
L-Valina	0,016	-	-	-	-	-
Suplemento vitamínico ¹	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Suplemento mineral ²	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Sal	0,430	0,420	0,400	0,380	0,350	0,350
Celite	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800
Total ³	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Composição calculada						
Energia líquida, kcal/kg	2.430	2.436	2.474	2.464	2.496	2.498
Proteína bruta, %	16,10	17,80	14,74	16,07	13,30	14,13
FDN, %	14	26	14	24	14	21
FDA, %	4	9	4	8	4	7
DIE Lys, % ⁴	0,962	0,961	0,836	0,835	0,725	0,724
DIE Met + Cys, %	0,574	0,570	0,494	0,511	0,432	0,469
DIE Thr, %	0,622	0,625	0,540	0,545	0,468	0,468
DIE Trp, %	0,191	0,193	0,165	0,167	0,149	0,148
DIE Val, %	0,665	0,666	0,598	0,606	0,537	0,535
DIE Leu, %	1,281	1,711	1,218	1,562	1,131	1,387
DIE Ile, %	0,572	0,523	0,521	0,473	0,457	0,414
Met+Cys:Lys, g/g	0,597	0,593	0,590	0,611	0,596	0,647
Thr:Lys, g/g	0,647	0,650	0,646	0,653	0,646	0,647
Trp:Lys, g/g	0,198	0,201	0,198	0,200	0,205	0,204
Val:Lys, g/g	0,692	0,693	0,716	0,725	0,741	0,739
Leu:Lys, g/g	1,332	1,780	1,457	1,870	1,560	1,914
Ile:Lys, g/g	0,595	0,544	0,623	0,566	0,631	0,571
Cálcio, %	0,657	0,656	0,524	0,518	0,454	0,435
DTE do P, % ⁵	0,322	0,347	0,260	0,271	0,215	0,231
Ca:DTE P	2,038	1,887	2,016	1,909	2,109	1,881

¹Se como selenito de sódio, 0,3 mg; vitamina A como acetato de retinol, 6500 UI; vitamina D3 como colecalciferol, 1500 UI; vitamina E como DL-alfa tocoferol, 36 UI; vitamina K3 como bissulfito de nicotinamida de menadiona 2,75 mg; tiamina como mononitrato de tiamina, 1,1 mg; riboflavina, 3,5 mg; piridoxina como cloridrato de piridoxina, 20 mg; vitamina B12, 0,02 mg; ácido fólico, 3,8 mg; ácido pantotênico como pantotenato de D-cálcio, 13 mg; niacina, 28 mg; biotina, 0,1 mg.

²Quantidade por kg de dieta: Fe como sulfato de ferro, 100 mg; Cu como sulfato de cobre, 13 mg; Mn como monóxido de manganês, 50 mg; Zn como sulfato de zinco, 97 mg; I como iodato de cálcio, 1 mg.

³Complexo de alga e argila incluído em 0,1% e a enzima xilanase incluída em 0,01%, sobre o total da dieta.

⁴Digestibilidade ileal estandardizada.

⁵Digestibilidade total estandardizada do fósforo.

Tabela 16. Desempenho de suínos em fase de crescimento e terminação alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase

Item	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
	CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
n ³	8	8	8	8			
PV inicial, kg	35,71	35,73	35,70	35,72	11,36	1,510	0,708
		Crescimento 1 ⁴					
GPD, kg ^{5,6}	1,015 ^a	0,464 ^c	0,502 ^{bc}	0,526 ^b	38,50	0,029	<0,001
CRD, kg ^{5,6}	2,255 ^a	1,356 ^b	1,414 ^b	1,454 ^b	26,13	0,074	<0,001
CA ^{5,6}	2,245 ^a	3,244 ^b	2,980 ^b	2,914 ^b	17,77	0,128	<0,001
PV final, kg ⁶	57,03 ^a	45,44 ^c	46,22 ^{bc}	46,76 ^b	14,48	1,930	<0,001
		Crescimento 2 ⁴					
GPD, kg	0,847 ^a	0,716 ^b	0,704 ^b	0,692 ^b	17,67	0,025	0,005
CRD, kg	2,474 ^a	2,061 ^b	2,169 ^{ab}	1,997 ^b	19,91	0,083	0,009
CA	3,024	2,927	3,218	2,907	12,68	0,156	0,310
PV final, kg	66,64 ^a	63,94 ^b	63,66 ^b	63,37 ^b	14,69	0,516	0,003
		Terminação 1 ⁴					
GPD, kg	0,815	0,758	0,759	0,771	11,44	0,031	0,713
CRD, kg	2,367	2,359	2,373	2,393	12,85	0,115	0,986
CA	2,959	3,200	3,224	3,207	10,14	0,130	0,655
PV final, kg	86,31	86,05	86,08	86,42	13,36	1,528	0,999
		Total					
GPD, kg	0,925 ^a	0,640 ^b	0,652 ^b	0,662 ^b	18,74	0,023	<0,001
CRD, kg	2,546 ^a	1,897 ^b	1,966 ^b	1,943 ^b	16,40	0,079	<0,001
CA	2,853	3,141	3,120	3,004	8,71	0,089	0,085
PV final, kg	100,61 ^a	80,62 ^b	81,43 ^b	82,20 ^b	13,36	2,907	<0,001

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

³Média do número de observações por tratamento.

⁴Dietas formuladas para atender as exigências nutricionais de suínos machos castrados de desempenho regular-médio (Rostagno et al., 2017). Inclusão de HP-DDG no Crescimento 1 = 40%; Crescimento 2 = 33%; e Terminação 1 = 25%.

⁵GPD = ganho de peso diário; CRD = consumo de ração diário; CA = conversão alimentar.

⁶DDG-PC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

^{abc} Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

Tabela 17. Digestibilidade aparente total das dietas (matéria seca) para suínos em fase de crescimento e terminação alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase

Item, % ³	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
	CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
	Crescimento 1 ⁴						
MS ^{6,7}	81,39 ^a	71,34 ^b	71,37 ^b	74,27 ^b	6,41	1,074	<0,001
PB ⁶	74,27 ^a	63,28 ^b	64,95 ^b	68,00 ^b	6,75	1,689	<0,001
FDN ^{6,7}	48,97 ^b	51,04 ^b	50,31 ^b	57,73 ^a	8,69	1,446	0,001
FDA ^{5,7}	48,71 ^c	56,50 ^{ab}	52,02 ^{bc}	59,24 ^a	11,22	1,428	0,002
MM	47,48 ^a	40,72 ^{ab}	37,32 ^b	39,46 ^{ab}	14,98	2,902	0,013
	Crescimento 2 ⁴						
MS	84,85 ^a	76,57 ^b	76,89 ^b	77,55 ^b	6,09	0,853	<0,001
PB	77,11 ^a	68,25 ^b	68,06 ^b	68,82 ^b	7,14	1,322	0,002
FDN	50,87	57,62	55,13	56,06	8,87	1,933	0,228
FDA ⁵	44,92 ^b	55,26 ^a	60,82 ^a	59,35 ^a	9,99	1,805	0,001
MM	49,11 ^a	37,76 ^b	37,60 ^b	37,62 ^b	18,91	2,713	0,003
	Terminação 1 ⁴						
MS	85,08 ^a	80,62 ^b	81,61 ^b	80,62 ^b	3,46	0,675	0,004
PB	77,47 ^a	70,57 ^b	72,29 ^{ab}	69,99 ^b	6,82	1,175	0,007
FDN	44,92 ^b	58,24 ^a	58,75 ^a	54,82 ^b	10,01	1,574	0,001
FDA ⁷	48,37 ^b	57,64 ^a	58,77 ^a	53,00 ^{ab}	9,98	1,920	0,012
MM ^{5,7}	43,33 ^b	43,69 ^b	63,09 ^a	44,49 ^b	17,94	2,665	<0,001

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

³MS = matéria seca; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; MM = matéria mineral.

⁴Dietas formuladas para atender as exigências nutricionais de suínos machos castrados de desempenho regular-médio (Rostagno et al., 2017). Inclusão de HP-DDG no Crescimento 1 = 40%; Crescimento 2 = 33%; e Terminação 1 = 25%.

⁵DDG-PC vs. DDG-ACC (P < 0,05).

⁶DDG-PC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

⁷DDG-ACC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

Tabela 18. Peso relativo e comprimento de órgãos de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação

Item	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
	CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
Intestino delgado, m ^{3,4,5}	17,88 ^{ab}	16,45 ^b	20,08 ^a	18,88 ^a	4,44	0,626	0,003
Intestino grosso, m ^{3,4}	4,91 ^{ab}	4,84 ^b	5,32 ^{ab}	5,67 ^a	5,53	0,417	0,038
Intestino delgado, % ^{3,5}	1,337	1,415	1,633	1,370	7,88	0,115	0,097
Intestino grosso, %	1,661	1,761	1,794	1,719	14,84	0,146	0,942
Estômago, %	0,538	0,502	0,487	0,504	11,50	0,031	0,809
Fígado, % ^{4,5}	1,546	1,355	1,358	1,480	5,65	0,047	0,071
Pulmão, % ^{3,5}	1,045 ^{ab}	0,794 ^c	1,090 ^a	0,832 ^{bc}	14,84	0,062	0,002
Baço, % ⁵	0,168	0,132	0,168	0,126	23,79	0,018	0,208
Rins, %	0,313 ^a	0,263 ^b	0,264 ^b	0,244 ^b	6,76	0,011	0,010
Coração, %	0,387	0,350	0,382	0,340	8,59	0,021	0,323

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

³DDG-PC vs. DDG-ACC (P < 0,05).

⁴DDG-PC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

⁵DDG-ACC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

Tabela 19. Características de carcaça de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação

Item	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
	CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
Peso carcaça quente, kg ⁵	68,71	66,80	65,65	69,56	5,03	1,377	0,093
Rendimento quente, %	79,10 ^a	77,00 ^b	76,60 ^b	77,06 ^b	1,36	0,411	0,010
Peso de carcaça fria, kg ⁵	68,57	65,33	63,05	67,23	5,17	1,685	0,081
Rendimento fria, %	77,95 ^a	75,08 ^{ab}	74,63 ^b	75,19 ^{ab}	1,45	0,503	0,046
Comprimento, cm ^{4, 5}	90,05	90,48	90,89	94,76	3,54	1,618	0,063
Espessura de toucinho, mm	9,13	12,48	14,29	13,09	24,28	1,319	0,130
Profundidade do lombo, mm	51,18	55,46	53,21	53,43	12,24	3,690	0,306
Carne magra, %	60,69	61,93	63,29	60,76	4,86	1,040	0,130
Área de olho de lombo, cm ²	38,48	35,21	35,35	34,97	6,39	1,705	0,606
Perímetro do lombo, cm ^{3, 4}	23,03 ^a	21,82 ^b	22,99 ^a	22,59 ^{ab}	3,33	0,593	0,045
Peso de pernil, kg	8,69	8,77	8,73	9,01	6,30	0,256	0,658
Rendimento de pernil, %	25,66	26,75	27,31	26,84	3,81	0,712	0,483
Peso de paleta, kg	4,72	5,01	4,86	5,08	7,09	0,174	0,527
Rendimento de paleta, %	13,85	15,12	15,60	15,14	6,47	0,559	0,279
Peso de sobrepaleta, kg	3,03	3,09	3,21	3,06	14,47	0,200	0,910
Rendimento de sobrepaleta, %	9,13	9,62	9,74	9,26	13,23	0,612	0,864
Peso de barriga, kg	3,09	3,32	3,19	3,45	10,47	0,131	0,232
Rendimento de barriga, %	9,41	10,02	9,95	9,74	5,61	0,290	0,594
Peso da costela, kg ^{4, 5}	4,07	4,12	4,10	4,60	12,83	0,195	0,133
Rendimento de costela, %	11,90	12,74	13,05	13,85	11,62	0,615	0,214
Peso do lombo, kg	5,14	5,36	5,35	5,29	9,29	0,305	0,968
Rendimento do lombo, % ^{3, 4, 5}	14,48 ^b	16,16 ^{ab}	16,99 ^a	15,18 ^b	5,08	0,595	0,002

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

³DDG-PC vs. DDG-ACC (P < 0,05).

⁴DDG-PC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

⁵DDG-ACC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

Tabela 20. Qualidade de carne de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação

Item	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
	CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
pH 45 min <i>Semimembr.</i> ³	6,11	5,87	6,02	6,21	4,73	0,095	0,085
pH 24 h <i>Semimembr.</i>	5,80	5,81	5,73	5,84	3,25	0,073	0,636
pH 45 min <i>L. dorsi</i> ^{3,4}	6,29 ^{ab}	5,95 ^b	6,06 ^{ab}	6,38 ^a	6,26	0,129	0,046
pH 24 h <i>L. dorsi</i> ⁴	5,58	5,56	5,51	5,59	1,57	0,031	0,112
Minolta L ⁴	50,14	51,24	53,18	50,89	9,99	1,861	0,078
Minolta a	7,74	8,20	8,10	7,87	16,42	0,482	0,705
Minolta b	1,70 ^b	2,06 ^{ab}	2,55 ^a	2,12 ^{ab}	37,29	0,269	0,030
Croma	7,92	8,49	8,51	8,17	16,73	0,507	0,439
Tonalidade	12,08	13,87	17,36	14,99	31,36	1,539	0,105
Perda por gotejam., % ^{3,4}	5,92 ^{ab}	7,98 ^{ab}	8,35 ^a	5,37 ^b	37,82	0,842	0,049
Perda por cocção, % ⁴	25,85	25,86	29,00	24,66	15,37	1,471	0,169
Força de cisalhamento, kg	4,01	3,70	3,61	4,17	27,33	0,384	0,651

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

³DDG-PC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

⁴DDG-ACC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

Tabela 21. Perfil de ácidos graxos (% do total de gordura) do músculo *Longissimus dorsi* de suínos machos castrados aos 143 dias de idade alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase, nas fases de crescimento e terminação

Item, %	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
	CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
Mirístico	1,44	1,28	1,27	1,36	13,34	0,597	0,193
Palmítico	29,91 ^a	27,73 ^{ab}	27,62 ^b	28,66 ^{ab}	5,68	0,600	0,040
Palmitoleico	3,32 ^a	2,68 ^{ab}	2,61 ^b	3,01 ^{ab}	18,86	0,189	0,048
Esteárico	13,88 ^a	12,36 ^b	12,50 ^b	12,60 ^{ab}	7,95	0,428	0,027
Oleico ($\Omega 9$)	38,88 ^a	35,65 ^b	36,59 ^{ab}	34,56 ^b	6,43	0,871	0,010
Linoleico ($\Omega 6$)	11,19 ^b	18,65 ^a	16,36 ^a	18,33 ^a	16,59	1,116	<0,001
Linolênico ($\Omega 3$)	0,41 ^b	0,69 ^a	0,69 ^a	0,64 ^a	23,31	0,052	0,002
Araquídico	0,18	0,18	0,18	0,17	13,95	0,013	0,744
Eicosanoico ³	0,74 ^a	0,70 ^{ab}	0,65 ^b	0,61 ^b	8,00	0,029	0,002
Eicosapentaenoico	0,18	0,15	0,10	0,20	62,08	0,054	0,527
Saturados	45,41 ^a	42,80 ^b	41,58 ^b	42,79 ^b	4,53	0,851	0,007
Insaturados	54,60 ^b	57,20 ^a	58,35 ^a	57,21 ^a	3,49	0,862	0,009
Monoinsaturados	42,90 ^a	39,01 ^b	39,86 ^{ab}	38,17 ^b	6,65	0,933	0,006
Polinsaturados	11,70 ^b	19,46 ^a	17,04 ^a	19,04 ^a	16,45	1,350	<0,001
Sat:Insaturados	0,83 ^a	0,75 ^b	0,72 ^b	0,75 ^b	7,73	0,025	0,005
Insat:Saturados	1,17 ^b	1,34 ^a	1,41 ^a	1,34 ^a	7,10	0,043	<0,001

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

³DDG-PC vs. DDG-XYL (P < 0,05).

^{ab} Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

Tabela 22. Custo da ração por quilograma de peso vivo (CRPV), índice de eficiência econômico (IEE) e índice de custo da dieta (ICD) de suínos em fase de crescimento e terminação alimentados com dietas contendo grãos secos de destilaria de milho de alta proteína, complexo de alga e argila e enzima xilanase

Item	Fase	Tratamentos ¹				CV	EPM ²	Valor de P
		CON	DDG-PC	DDG-ACC	DDG-XYL			
CRPV, R\$/kg	Crescimento 1	2,67 ^a	3,42 ^b	3,34 ^b	3,23 ^b	11,95	0,088	<0,001
	Crescimento 2	3,43	3,13	3,44	3,17	11,04	0,124	0,155
	Terminação 1	3,36	3,29	3,37	3,30	10,19	0,126	0,943
	Total	3,16	3,28	3,39	3,24	7,00	0,085	0,224
IEE, %	Crescimento 1	100,00	78,35	80,00	82,67	-	-	-
	Crescimento 2	91,32	100,00	90,82	98,73	-	-	-
	Terminação 1	97,70	100,00	90,82	98,73	-	-	-
	Total	100,00	96,29	93,16	97,54	-	-	-
ICD, %	Crescimento 1	100,00	127,63	124,86	120,96	-	-	-
	Crescimento 2	109,51	100,00	110,11	101,28	-	-	-
	Terminação 1	102,35	100,00	102,67	100,36	-	-	-
	Total	100,00	103,85	107,34	102,52	-	-	-

¹CON = dieta controle a base de milho e farelo de soja; DDG-PC = dieta controle positivo com grãos secos de destilaria de milho de alta proteína; DDG-ACC = DDG-PC mais complexo de alga e argila a 0,1%; DDG-XYL = DDG-PC mais enzima xilanase a 0,01%.

²Erro padrão da média.

^{ab} Letras diferentes na mesma linha diferem (P < 0,05).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de coprodutos, não somente de destilaria de milho, mas também de outras cadeias, são empregados na alimentação de suínos há anos, e diversos estudos já foram conduzidos com objetivo de determinar os valores nutricionais e os seus efeitos sobre os animais. Tendo em vista que o maior custo de produção de suínos é a alimentação, que por sua vez é vinculada diretamente ao mercado do milho e do farelo de soja, que apresentou variações dos preços de forma frequente nos últimos anos, a utilização desses coprodutos nas dietas animais se mostra ainda mais pertinente, de modo a minimizar os custos de produção.

Se tratando especificamente dos coprodutos de destilaria de milho, embora existam estudos relativamente antigos avaliando seus valores nutricionais e os efeitos em suínos no mundo, no Brasil, dados sobre o assunto ainda são escassos. Baseado nos três capítulos desenvolvidos nesta tese, é permitido a inferência de algumas afirmações sobre o uso de coprodutos de destilaria de milho produzidos no Brasil na alimentação de suínos.

A utilização de coprodutos de destilaria de milho produzidos no Brasil tem potencial de ser utilizado como ingrediente na dieta de suínos, haja vista que são coprodutos que apresentam valores digestíveis similares ou superiores a coprodutos que são produzidos em locais onde essa prática é realizada há anos, sejam os grãos secos de destilaria com solúveis de alta proteína ou o óleo de milho de destilaria.

Apesar dos valores nutricionais dos coprodutos de destilaria de milho serem considerados de qualidade, ainda há limitações de seu uso como ingrediente nas dietas animais. Ainda assim, aditivos nutricionais como os avaliados nesta tese, podem ser utilizados de forma efetiva para melhorar a digestibilidade dos nutrientes e, conseqüentemente, o desempenho dos suínos, quando coprodutos forem utilizados nas rações.

Estudos futuros são necessários para estabelecer os níveis ideais de inclusão dos coprodutos de destilaria de milho nacionais nas dietas dos suínos, sem comprometimento no desempenho e características de carcaça. Além disso, o mecanismo de ação dos aditivos, como a xilanase e o complexo de alga e argila, também deve ser melhor explorado para maior eficiência do uso dos mesmos, quando associados com os coprodutos de destilaria de milho.

Os resultados desta tese oferecem indicadores importantes sobre os coprodutos de destilaria de milho produzidos no Brasil na alimentação de suínos, sendo esse um mercado ascendente, e gerou informações relevantes para nutricionistas de suínos.