

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Leonardo Tombesi da Rocha

**EFEITO DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS E BALANÇO DE
NITROGÊNIO DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Santa Maria, RS
2016

Leonardo Tombesi da Rocha

**EFEITO DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS E BALANÇO DE NITROGÊNIO
DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Zootecnia**.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Oliveira

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rocha, Leonardo Tombesi
EFEITO DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS E BALANÇO DE
NITROGÊNIO DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO / Leonardo Tombesi
Rocha.-2016.
67 p.; 30cm

Orientador: Vladimir Oliveira
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia, RS, 2016

1. Aminoácidos 2. Digestibilidade 3. Meta-análise 4.
Proteína 5. Retenção de nitrogênio I. Oliveira, Vladimir
II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Leonardo Tombesi da Rocha. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: leonardo_ltr@live.com

Leonardo Tombesi da Rocha

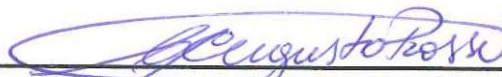
**EFEITO DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS E BALANÇO DE NITROGÊNIO
DE SUÍNOS EM CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Zootecnia**.

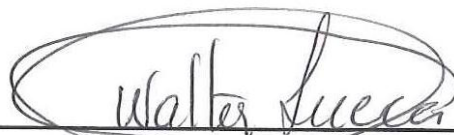
Aprovado em 26 de fevereiro de 2016;



Vladimir de Oliveira, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Carlos Augusto Rigon Rossi, Dr. (UFSM)



Walter Lucca, Dr. (IFRS - Sertão)

Santa Maria, RS
2016

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Gislaine Rigo Tombesi e minha avó Elenir Rigo Tombesi (*in memoriam*) por serem minhas eternas professoras, pela educação e criação que tive. Muito obrigado por me ensinarem a ser uma pessoa simples e batalhadora. Por acreditarem junto comigo nos meus sonhos e nos meus objetivos e por estarem sempre ao meu lado.

A minha comadre Wiviane e ao meu afilhado Thalles pela amizade, carinho e por toda confiança que depositaram em mim.

A meu avô Nelson Rodrigues Tombesi "*in memoriam*" que sempre me incentivou na busca de um futuro melhor, aconselhando-me, hoje deixa saudades, minha eterna gratidão.

Aos meus irmãos Eduardo e Ana Paula pelo incentivo e pelo companheirismo. Por me ajudarem, inclusive, com os custos da minha formação. Agradeço aos dois por toda ajuda recebida nessa caminhada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vladimir de Oliveira pela participação decisiva em minha trajetória profissional. Muito obrigado pela toda ajuda e confiança depositadas em mim ao longo desses dois anos. Obrigado pelas palavras de incentivo e também pelas cobranças que, tenho certeza, só aumentaram a minha determinação de seguir no ramo da pesquisa.

Aos professores Gerson Guarez Garcia e Arlei Rodrigues Bonet de Quadros, aos colegas de pós-graduação Claudiele, Fernanda, Graciele e Mariana pela cooperação na execução dos trabalhos, companheirismo e disponibilidade em todos os momentos em que precisei. Também a ex-colega Débora Aline Alves, pela amizade, ajuda e parceria.

A todos os estagiários do Setor de Suínos, pela parceria, amizade e ajuda na execução do experimento e nas análises laboratoriais.

RESUMO

EFEITO DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS E BALANÇO DE NITROGÊNIO DE SUÍNOS EM CRECIMENTO

AUTOR: Leonardo Tombesi da Rocha
ORIENTADOR: Vladimir de Oliveira

A primeira parte da dissertação descreve um estudo meta-analítico realizado com o objetivo de quantificar a influência da fibra nas perdas endógenas de nitrogênio (N) e aminoácidos (AA), e identificar formas de expressão da fibra que melhor expliquem o efeito desse componente nas perdas endógenas de N e AA. A segunda parte aborda dois experimentos de digestibilidade planejados para verificar se alimentos fibrosos contribuem com o balanço de N de suínos. Quanto a meta-análise, a regressão entre o nitrogênio endógeno total ($NEND_{TOTAL}$) (mg/kg matéria seca ingerida (MSI)) e as concentrações de fibra dietética total (FDT) e fibra em detergente neutro (FDN) resultou nas equações: $y = 1504 + 160,8 * FDT$ ($r^2 = 0,73$) e $y = 1773 + 161,0 * FDN$ ($r^2 = 0,69$). Os coeficientes angulares das regressões entre $NEND_{TOTAL}$ e FDT ou FDN indicaram que a cada ponto percentual de aumento na concentração de fibra dietética ocorre incremento de 160 mg/kg MSI no $NEND_{TOTAL}$. O N endógeno específico ($NEND_{ESPEC}$) também foi utilizado como variável dependente na relação com FDT e FDN e o resultado foi descrito pelas equações $y = 124 + 154,9 * FDT$ ($r^2 = 0,69$) e $y = 210 + 146,9 * FDN$ ($r^2 = 0,60$). Verifica-se pelo coeficiente angular da regressão linear entre $NEND_{ESPEC}$ e FDT ou FDN que ocorre incremento de 150 mg/kg MSI nas perdas endógenas de N por ponto percentual de aumento na fibra dietética. No que tange aos AA, a fibra influencia as perdas endógenas específicas de treonina e valina mais intensamente que os demais AA. Concluímos que as perdas endógenas de N e AA são diretamente proporcionais ao consumo de fibra e a FDT e FDN foram as variáveis que melhor descreveram essa relação. Para o experimento de digestibilidade, foram utilizados 24 suínos divididos em dois grupos experimentais: a) CT1 – dieta controle, e b) FT – dieta com 15% farelo de trigo, no primeiro experimento e, c) CT2 – dieta controle, e d) CS – dieta com 6% casca de soja, no segundo experimento. Percebeu-se que o nitrogênio retido (NRET) foi maior (15%) nos suínos ingerindo a dieta FT, embora a proporção de NRET expressa em relação ao N ingerido (NING) (50%) ou NABS (55,5%) foi semelhante ($P > 0,05$) entre os tratamentos. A inclusão de CS não teve efeito ($P > 0,05$) no NRET quando esse foi expresso em termos absolutos (g/d) ou proporcionais. Em média, o NRET representou 48 e 55,5% do NING e N absorvido (NABS), respectivamente. Analisando os dados conjuntamente, percebe-se que o FT promoveu aumento no NRET e que esse aumento foi proporcional ao NABS. Por outro lado, o N incorporado com a CS foi totalmente recuperado nas fezes, indicando baixa digestibilidade desse ingrediente. A eficiência de utilização do NABS não foi alterada com a inclusão dos alimentos fibrosos, o que indica que nos níveis estudados a inclusão de FT ou CS não impactou significativamente o metabolismo pós-absortivo do N, contrariando nossa hipótese inicial.

Palavras-chave: Aminoácidos. Digestibilidade. Meta-análise. Proteína. Retenção de nitrogênio.

ABSTRACT

FIBER EFFECTS ON THE ENDOGENOUS LOSSES AND NITROGEN BALANCE OF GROWING PIGS

AUTHOR: Leonardo Tombesi da Rocha

ADVISER: Vladimir de Oliveira

The first part of the dissertation describes a meta-analytic study in order to quantify the influence of fiber on endogenous losses of nitrogen (N) and amino acids (AA), and identify ways of expression of fiber that better explain the effect of this component on these losses. The second part covers two digestibility experiments designed to determine whether fibrous feedstuffs may contribute to the N balance of pigs. About the meta-analysis, from the regression analysis of total endogenous N ($NEND_{TOTAL}$) (mg/kg dry matter intake (DMI)) and the concentrations of total dietary fiber (TDF) and neutral detergent fiber (NDF), resulted the equations: $y = 1504 + 160.8 * TDF$ ($r^2 = 0,73$) and $y = 1773 + 161.0 * NDF$ ($r^2 = 0,69$). The slopes of the regression between $NEND_{TOTAL}$ and TDF or NDF indicated that by every percentage point increase in dietary fiber the $NEND_{TOTAL}$ is increased by 160 mg/kg DMI. The specific endogenous losses of N ($NEND_{SPEC}$) was used as dependent variable in relation with TDF and NDF. The result was described by the equations: $y = 124 + 154.9 * TDF$ ($r^2 = 0,69$) and $y = 210 + 146.9 * NDF$ ($r^2 = 0,60$). We can observe by the slope of regression between $NEND_{SPEC}$ and TDF or NDF is an increase of 150 mg/kg DMI in $NEND_{SPEC}$ by each percentage point increase in dietary fiber. About AA, it was observed that the fiber influences more intensively the specific endogenous losses of threonine and valine than other AA. We conclude that it is possible to assume that the endogenous losses of N and AA are directly proportional to the fiber intake and the TDF and NDF were the variables that better describe this relation. For the digestibility experiment, 24 pigs were divided in experimental two groups: a) CT1 – control diet, and b) WB – diet with inclusion of 15% wheat bran, in the trial 1 and, c) CT2 – control diet, and d) SH – diet with inclusion of 6% of soybean hulls, in the trial 2. The NRET was higher (15%) in the pigs ingesting WB diet, although the proportion of NRET expressed relative to ingested N (NING) (50%) or absorbed N (NABS) (55.5%) was similar ($P > 0.05$) between treatments. The inclusion of SH had no effect ($P > 0.05$) in NRET when the result was expressed in absolute (g/d) or proportional terms. On average, the NRET represented 48 and 55.5% of NING and NABS for CT2 and SH diets, respectively. Looking all data, we can observe that the WB increased NRET and that increase it was proportional to NABS. On the other hand, the amount of N incorporated with the SH was totally recovered in the feces, indicating a low digestibility of this ingredient. The NABS utilization efficiency was not affected by the inclusion of fibrous feedstuffs, which indicates that in the studied levels, adding WB or SH, does not significantly impacts in the post-absorptive metabolism of N, counteracting our initial hypothesis.

Key words: Amino acids. Digestibility. Meta-analysis. Nitrogen retention. Protein.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 DEFINIÇÃO DE FIBRA	10
2.2 FORMAS DE EXPRESSAR FIBRA.....	11
2.2.1 Fibra bruta	12
2.2.2 Fibra em detergente neutro e ácido	13
2.2.3 Fibra dietética total	13
2.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA FIBRA	15
2.3.1 Capacidade de retenção de água	15
2.3.2 Viscosidade.....	16
2.3.3 Fermentabilidade.....	17
2.3 FIBRA NO METABOLISMO DO NITROGÊNIO E AMINOÁCIDOS	18
3 ARTIGO I: INFLUÊNCIA DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS DE NITROGÊNIO DE SUÍNOS: ESTUDO META-ANALÍTICO	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
INTRODUÇÃO.....	24
MATERIAIS E MÉTODOS	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
4 ARTIGO II: CONTRIBUTION OF FIBER FEEDSTUFFS FOR THE NITROGEN BALANCE OF GROWING PIGS	39
ABSTRACT	41
INTRODUCTION.....	41
MATERIALS AND METHODS.....	42
RESULTS	45
DISCUSSION.....	46
CONCLUSION	49
REFERENCES	49
5 DISCUSSÃO GERAL	59
6 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, entre 80 a 90% da dieta de suínos na fase de terminação são constituídas de milho e farelo de soja, alimentos com alta disponibilidade comercial e características nutricionais complementares. Entretanto, o crescimento populacional, a produção de biocombustíveis e mudanças climáticas globais podem provocar redução da disponibilidade de cereais e oleaginosas para uso na alimentação animal, tendência que fica clara quando se analisa o mercado globalmente (LINDBERGER, 2014).

Diante desse cenário, projeta-se para os próximos anos, o incremento da inclusão de coprodutos nas dietas de suínos (ZIJLSTRA & BELTRANENA, 2013). Coprodutos são resíduos da industrialização de um produto primário, normalmente destinado a alimentação humana e, geralmente, contêm fatores anti-nutricionais, como, por exemplo, elevados níveis de fibra. Embora seja pertinente considerar a fibra como um fator antinutricional, dietas com níveis intermediários de fibra favorecem a saúde intestinal, bem estar animal, sustentabilidade, redução da emissão de gases do efeito estufa e melhoria da qualidade de carcaça (LINDBERGER, 2014).

Não restam dúvidas de que alimentos fibrosos podem contribuir como fontes de energia, minerais, vitaminas e aminoácidos (AA). Contudo, essa contribuição é variável e depende diretamente da quantidade e tipo de fibra predominante. Apesar disso, pode-se afirmar que a fibra influencia o metabolismo da energia (Le GOFF e NOBLET, 2001) e minerais (METZLER & MOSENTHIN, 2008), além de prejudicar o metabolismo do nitrogênio (N) e AA (HANSEN et al., 2006; DÉGEN et al., 2011; BLANK et al., 2012).

Com relação aos efeitos no metabolismo do N, pode-se afirmar, de um modo geral, que a fibra reduz a digestibilidade da proteína e aumenta as exigências de AA para manutenção. O incremento das perdas endógenas de N e AA variam de 0,5 a 1,5 g/kg MSI (SCHULZE et al., 1995; MYRIE et al., 2008) em razão inclusão de fibra. Diante disso, pode-se admitir que parte dos AA absorvidos, que originalmente iriam ser utilizados para deposição de proteína corporal serão desviados para síntese de proteínas endógenas. Como o perfil de AA ideal para manutenção e deposição é diferenciado (van MILGEN e DOURMAD, 2015), espera-se que ocorra desequilíbrio no padrão de AA, o que induzirá aumento de N urinário. A maioria dos subprodutos fibrosos contêm quantidades relativamente baixas de N e AA digestíveis e assim, é possível especular que a contribuição desses alimentos para a retenção de N é baixa ou até mesmo nula. Entretanto, a fibra inclui uma grande variedade de componentes, que diferem em suas propriedades físico-químicas e em seus efeitos fisiológicos, tornando difícil afirmar quais

frações são responsáveis pelos efeitos observados nas perdas endógenas de N (LETERME et al., 2000). Frente a essa dificuldade, a realização de um estudo meta-analítico torna-se interessante, pois pode integrar diferentes variáveis, ajustadas as diversidades experimentais (SAUVANT et al., 2008), permitindo observar o efeito das diferentes frações fibrosas nas perdas endógenas de N.

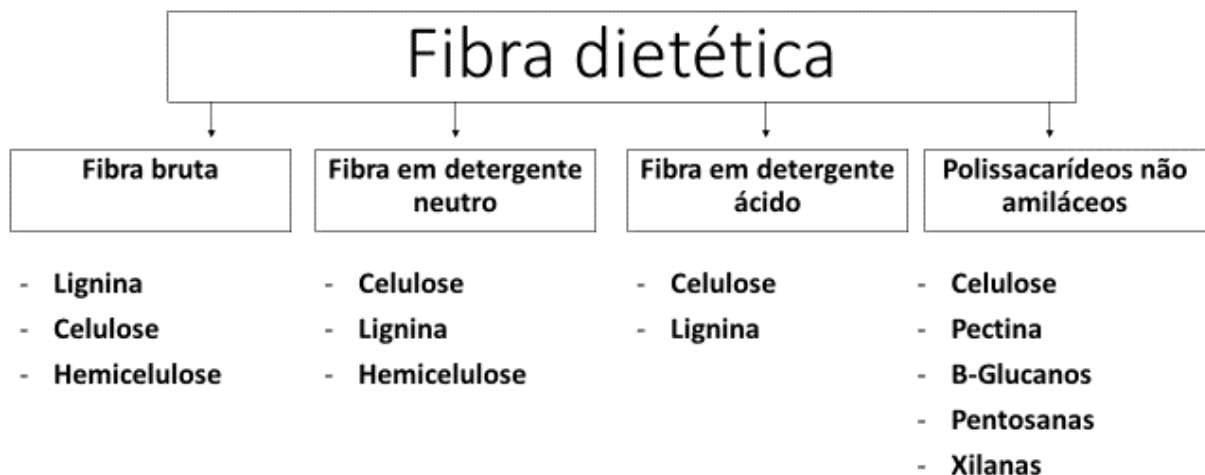
Diante do exposto, os objetivos desta dissertação foram: quantificar a influência da fibra nas perdas endógenas de N e AA em suínos, e avaliar métodos analíticos da fibra como preditores destas perdas e, por meio de um estudo de digestibilidade, avaliar se a inclusão de alimentos fibrosos em dietas para suínos em crescimento influencia a eficiência com que o N dietético é utilizado para retenção de proteína.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DEFINIÇÃO DE FIBRA

Em termos gerais, a fibra não é uma fração química mas sim um grupo de componentes, constituída principalmente pela parede celular das plantas e lignina, que é identificado por procedimentos analíticos específicos (Figura 1) (SOUFFRANT, 2001). Definida no século XIX pelo método de Weende como o resíduo orgânico que é insolúvel a tratamentos ácidos e alcalinos, sem nenhum valor nutricional aos animais, a fibra bruta foi uma das primeiras definições de fibra dietética (MERTENS, 2003).

Figura 1 – Formas de expressão e componentes da fibra dietética



Fonte: Adaptação de Souffrant (2001).

Um dos principais aspectos na definição de fibra, é a condição que seus constituintes não sejam digeridos pelas enzimas endógenas dos animais (BACH KNUDSEN, 2001). A fibra dietética é uma mistura complexa entre polissacarídeos não amiláceos (PNAs) e lignina (URIOLLA et al., 2013). Os PNAs, que são os principais constituintes da fibra, podem ser divididos em celulose, e polissacarídeos não celulósicos e ou pectínicos (SOUFFRANT, 2001).

Atualmente, a definição de fibra inclui os seguintes aspectos: (1) é uma fração indigestível da dieta, (2) é originária de carboidratos ou lignina, (3) tem sua origem nos vegetais e (4) sua inclusão acarreta em efeitos fisiológicos nos animais (URIOLLA et al., 2013). É sabido que a fibra causa uma grande variedade de efeitos fisiológicos nos animais, os

quais serão determinados pela composição química da fibra (URIOLLA et al, 2013, BACH KNUDSEN, 2001).

A fibra pode ser caracterizada de acordo com a sua solubilidade. A fração solúvel, que é constituída por carboidratos isolados (pectinas, arabinogalactanas e B-glucanos) que possuem efeitos fisiológicos benéficos, está associada com a regulação da digestão e absorção de nutrientes do trato digestório. A fração insolúvel (celulose, galactomamans, xilanas e xiloglucanas) exerce função principalmente no intestino grosso onde, devido a sua presença, provoca significativo aumento na quantidade de fezes e diminui o tempo de transito oro-retal (URIOLLA et al., 2013).

2.2 FORMAS DE EXPRESSAR FIBRA

O termo fibra recebe muitas definições, possivelmente devido à diversidade químico-físico das moléculas que compõe a fração fibrosa dos vegetais. Frente a essa complexidade, a determinação analítica completa e acurada da fibra nos alimentos se torna difícil (BLANK, 2012). As três formas mais usuais de expressão do conteúdo fibroso em alimentos e rações para suínos são: fibra bruta, fibra em detergente ácido e neutro e fibra dietética total (tabela 1) (AOAC, 2005).

Tabela 1 – Formas de expressão do conteúdo fibroso, % na matéria natural, dos principais alimentos utilizados na alimentação de suínos

Composição (%)	Ingredientes					
	FS	Milho	FT	CS	FAI	FC
Fibra Bruta	6,10	2,20	9,20	34,20	7,80	12,40
FDN	12,40	10,40	39,60	56,40	20,50	28,30
FDA	7,40	2,60	11,90	40,40	8,90	19,60
FDT	19,20	9,10	38,50	61,60	23,80	32,70

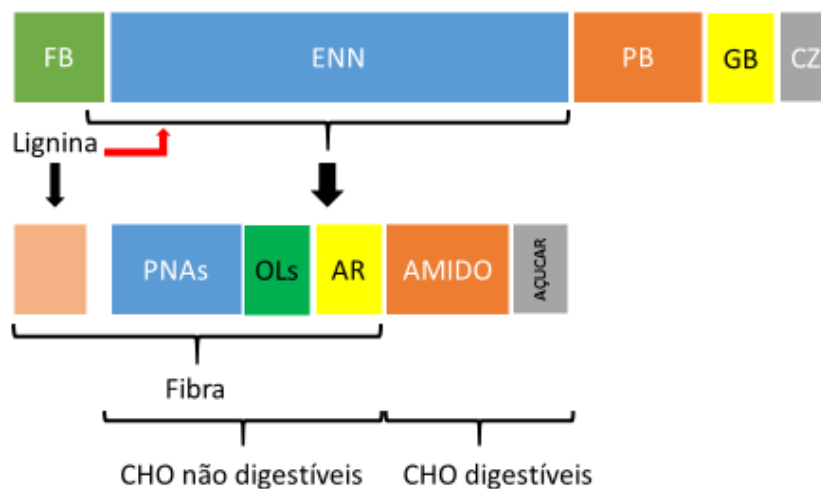
Fonte: adaptado de Sauvant et al (2004)

FS, farelo de soja; FT, farelo de trigo; CS, casca de soja; FAI, Farelo de arroz integral; FC, farelo de canola.

2.2.1 Fibra bruta

O método de quantificação da fibra bruta, faz parte da análise proximal de ingredientes desenvolvida pela Estação de Agricultura Experimental em Weende, na Alemanha (GRIESHOP et al., 2001). É o método mais antigo, mas ainda muito utilizado na determinação da fibra devido sua simplicidade, rapidez e custo. A metodologia de Weende separa os carboidratos em duas frações, extrativo não nitrogenado (ENN) e fibra bruta (figura 2).

Figura 2 – Composição do extrativo não-nitrogenado determinado pela metodologia de Weende, com possível contaminação por lignina.



Fonte: Adaptação de Bach Knudsen (2012).

Trata-se do resíduo resultante após a digestão de uma amostra com 1,25% de ácido sulfúrico e 1,25% de hidróxido de sódio (McCLEARY, 2003). O procedimento de análise da fibra bruta é bastante difundido, porém não existe relação entre as definições de fibra bruta e fibra dietética da AOAC (2005), uma vez que a recuperação da celulose, hemicelulose, e lignina não é completa (MERTENS, 2003). De acordo com a literatura, uma das principais falhas do método de Weende é a solubilização parcial da lignina. A lignina solubilizada será então computada como ENN, fração que representa os componentes mais digestíveis do alimento. Embora defasado, o procedimento continua sendo utilizado para determinar níveis de garantia de fibra em dietas para suínos em muitos países do mundo, inclusive no Brasil.

2.2.2 Fibra em detergente neutro e ácido

O procedimento foi desenvolvido por Van Soest (1963), e divide a fibra dietética em três frações, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina em detergente ácido. Este procedimento é considerado uma evolução quando comparado com o método da fibra bruta. A determinação da FDN mensura a celulose, hemicelulose e lignina, enquanto a FDA determina celulose e lignina, a quantia de hemicelulose é calculada por diferença (URIOLLA et al., 2013). Entretanto, o método não é capaz de recuperar frações solúveis da fibra, como pectinas e B-glucanos (GRIESHOP et al, 2001). A não recuperação destes componentes é menos preocupante em grãos de cereais, como milho e DDGS que possuem altas concentrações de fibra insolúvel (JOHNSTON et al., 2003), e se agrava em alimentos que contêm elevados níveis de fibra solúvel, tais como casca de soja e polpa de beterraba. Outras deficiências do procedimento incluem a possível contaminação do resíduo de FDN por amido e proteína, o que reduz sua confiabilidade (MERTENS, 2003; BACH KNUDSEN, 2001).

2.2.3 Fibra dietética total

Diferentemente das análises de fibra bruta, FDN e FDA, existem vários métodos descritos na literatura que podem ser utilizados na determinação da fibra dietética total (McCLEARY, 2003). As duas abordagens principais são os procedimentos gravimétricos enzimáticos ou não-enzimáticos da Assosiation of Official Analytical Chemists (AOAC) e o procedimento químico-enzimático de Englyst. Em termos gerais, todos os métodos que estimam a FDT são capazes de determinar PNAs, lignina e amido resistente, com exceção da metodologia de Englyst, que não inclui amido resistente e lignina.

Os procedimentos enzimáticos se valem de enzimas (amilases, glicoamilases e proteases) para simular a digestão que ocorre no intestino delgado (URIOLLA et al., 2013). Todos os componentes não fibrosos são removidos da amostra, e o resíduo resultante é pesado e corrigido para matéria mineral e proteína (BACH KNUDSEN, 2001). Os métodos não-enzimáticos mensuram a fibra dietética após a remoção de açúcares de baixo peso molecular, do amido, hidrólise ácida dos polissacarídeos e determinação dos monossacarídeos por calorimetria (BACH KNUDSEN, 2001)

A determinação da FDT é mais demorada e difícil se comparada com FB e ou FDN e FDA. Entretanto, os valores obtidos são mais próximos do verdadeiro conceito de fibra

dietética (MERTENS, 2003). A fibra dietética total é composta pela soma entre PNAs totais e lignina.

Tabela 2 – Metodologias usuais para determinação da fibra dietética total

Procedimento	Frações mensuráveis
Cromatografia enzimática gasosa, Englyst	PNAs totais Açúcares individuais
Enzimático calorimétrico, Englyst	PNAs solúveis e insolúveis PNAs totais
Enzimático gravimétrico, AOAC 991.43	Fibra dietética total Fibra solúvel Fibra Insolúvel
Enzimático gravimétrico, AOAC 993.21	Fibra dietética total
Enzimático espectrofotométrico, AOAC 999.03	Frutanos
Enzimático gravimétrico, AOAC 992.16	Fibra dietética total Fibra solúvel Fibra Insolúvel
Enzimático gravimétrico, Prosky	Fibra dietética total
Enzimático gravimétrico, AOAC 991.42	Fibra Insolúvel
Enzimático gravimétrico, AOAC 993.19	Fibra solúvel
Enzimático calorimétrico, Southgate (1969)	Fibra dietética total Fibra solúvel Fibra Insolúvel
Cromatografia enzimática gasosa, AOAC 994.13	PNAs neutros Ácidos urônicos Lignina de Klason Fibra dietética total

Fonte: Adaptação de Caprita et al (2011).
PNAs, polissacarídeos não amiláceos.

Os métodos para a determinação da fibra dietética total costumemente a dividem em fração solúvel e insolúvel em água, o que possibilita uma visão geral das propriedades funcionais da fibra (BACH KNUDSEN, 2001). Em cereais a fibra dietética solúvel é

composta por alguns PNAs como B-glucanas e arabinosilanas, enquanto a fibra insolúvel possui PNAs, principalmente celulose, e lignina (MANTHEY et al., 1999).

2.3 PROPRIEDADES FISICO-QUÍMICAS DA FIBRA

2.3.1 Capacidade de retenção de água

O termo capacidade de retenção de água (CRA) é usado para descrever a propriedade de hidratação da fibra, ou seja, a capacidade da fibra de incorporar água em suas células vazias (LETERME et al., 1998). A água presente no trato gastrointestinal expande a matriz fibrosa tridimensionalmente, durante esse processo, alguns PNAs são solubilizados, causando aumento da viscosidade no intestino (BACH KNUDSEN, 2012). Assim, durante a passagem através do intestino, a fibra dietética pode expandir (inchar) em um grau variável (figura 2).

Figura 3 – Processo de hidratação da fibra, demonstração da capacidade de retenção de água



Fonte: Adaptação de Bach Knudsen (2012).

A CRA está positivamente correlacionada com a solubilidade da fibra. Fibras classificadas como solúveis normalmente possuem maior CRA do que as insolúveis (ROBERTSON et al., 2000). Frações da fibra, como celulose e lignina, foram caracterizadas por Leterme et al (1996) como tendo baixa CRA, em contra partida, a hemicelulose possui uma alta capacidade de reter água. Alguns monossacarídeos que compõem a hemicelulose,

como xilose e arabinose, são positivamente correlacionados com a CRA (LETERME et al., 1998).

Kyriazakis & Emmans (1995), em estudo que avaliou a influência de dietas baseadas em farelo de trigo, polpa cítrica ou volumoso moído no consumo voluntário de suínos, concluíram que os animais que receberam dietas com maior CRA apresentaram o menor consumo de ração. Leterme et al (1996), avaliando o impacto de diferentes fontes de fibra nas perdas endógenas de N, em dietas com quantidades constantes de FDN, destacaram que aquelas fibras que possuem maior CRA tiveram maior influência nas perdas endógenas de N. Em outro estudo, Leterme et al (1998) encontrou uma alta correlação ($R^2 = 0,996$) entre o fluxo ileal de N e a CRA das fontes de fibra testadas.

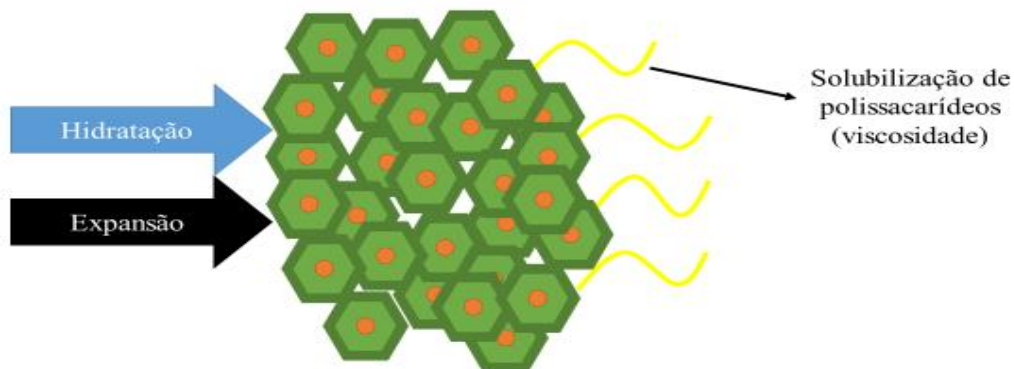
2.3.2 Viscosidade

Viscosidade é uma medida de resistência de um fluído ao corte ou a tensão de tração. Em termos gerais, a viscosidade é a “espessura”. Assim, a água é “fina” por ter uma baixa viscosidade e o mel é “grosso” por possuir elevada viscosidade. Na nutrição animal, viscosidade determina o fluxo de nutrientes e a taxa de passagem do alimento pelo trato digestivo (TAKAHASHI et al., 2009).

No que se refere a fibra, viscosidade é a habilidade desta fração, principalmente a porção solúvel, de engrossar ou formar géis em solução, sendo o grau de aumento da viscosidade dependente da estrutura primária, capacidade de retenção de água, e concentração de fibra na dieta (figura 3) (DIKEMAN e FAHEY, 2006). De acordo com os mesmos autores o aumento da viscosidade não é linear ao aumento da concentração de fibra. A fibra insolúvel, geralmente, não está associada com a viscosidade mas pode influencia-la através da sua CRA (TAKAHASHI et al., 2009).

Em baixas concentrações de fibra solúvel, as moléculas permanecem separadas e ficam livres para seguir seu fluxo normal, entretanto, em altas concentrações, o movimento das moléculas começa a ficar limitado e ocorre um “enredamento” das moléculas da fibra (OAKENFULL, 2001).

Figura 4 – Aumento da viscosidade por influência dos processos de hidratação e expansão da fibra.



Fonte: Adaptação de Bach Knudsen (2012).

O aumento da viscosidade imposto pela fibra dietética também é afetado pelo peso molecular das partículas, onde quanto maior for o peso da molécula maior será a viscosidade (DIKEMAN & FAHEY, 2006). De acordo com Takahashi & Sakata (2002), outro fator interferente é o tamanho de partícula. Tamanhos de partícula maiores contribuem mais para o aumento da viscosidade do que os menores.

No intestino delgado, as fibras que induzem ao aumento da viscosidade (solúveis) podem prejudicar o esvaziamento do estômago, além de reduzir a taxa de absorção dos nutrientes (BACH KNUDSEN, 2001). Essa afirmação foi confirmada pelo estudo de Rainbird et al (1984), que ao adicionarem frações extremamente solúveis da fibra em dietas para suínos, observaram que as taxas de absorção de glicose reduziram praticamente pela metade. Em contraste, Low et al (1989), utilizando fontes de fibra predominantemente insolúveis (farelo de trigo e celulose purificada) observaram uma redução quase que insignificante na taxa de absorção de glicose.

2.3.3 Fermentabilidade

A susceptibilidade a fermentação microbiana varia dependendo da acessibilidade da fibra dietética pela população microbiana no intestino, principalmente no intestino grosso (OAKENFULL, 2001). Segundo Bach Knudsen (2001), um dos principais fatores interferentes na taxa de fermentação da fibra é a sua CRA. Após absorver água, a fibra expande aumentando desta forma sua área superficial para aderência dos microrganismos presentes no trato digestivo. Como, em termos gerais, a fração solúvel da fibra possui maior CRA, seu volume aumenta significativamente mais quando comparada com a porção insolúvel. Devido a este fato, a fibra solúvel é fermentada mais rapidamente que a insolúvel

(OAKENFULL, 2001). Carboidratos fermentáveis dão suporte ao crescimento microbiano, o que resultara em um aumento na excreção de fezes pelo aumento da massa microbiana fecal (PATRAS et al., 2012).

Um das principais características da fibra fermentável é a produção de ácidos graxos voláteis (AGVs) no intestino grosso (BACH KNUDSEN & HANSEN, 1991). A partir da fermentação da fibra são produzidos acetato, propionato, butirato, dióxido de carbono e metano, sendo essa produção totalmente dependente da estrutura química e física da fibra (LUNN & BUTTRISS, 2007). Os suínos têm a capacidade de absorver esses AGVs, que irão contribuir para seu balanço energético (URIOLLA et al., 2013). A absorção dos AGVs no intestino grosso é um processo extremamente eficiente, quando infuso no cécum de suínos em crescimento menos de 1% desses AGVs é recuperado nas fezes (JORGENSEN et al., 1997). Entretanto a energia provida pelos AGVs é menor do que a obtida pela digestão dos monossacarídeos (BACH KNUDSEN, 2001).

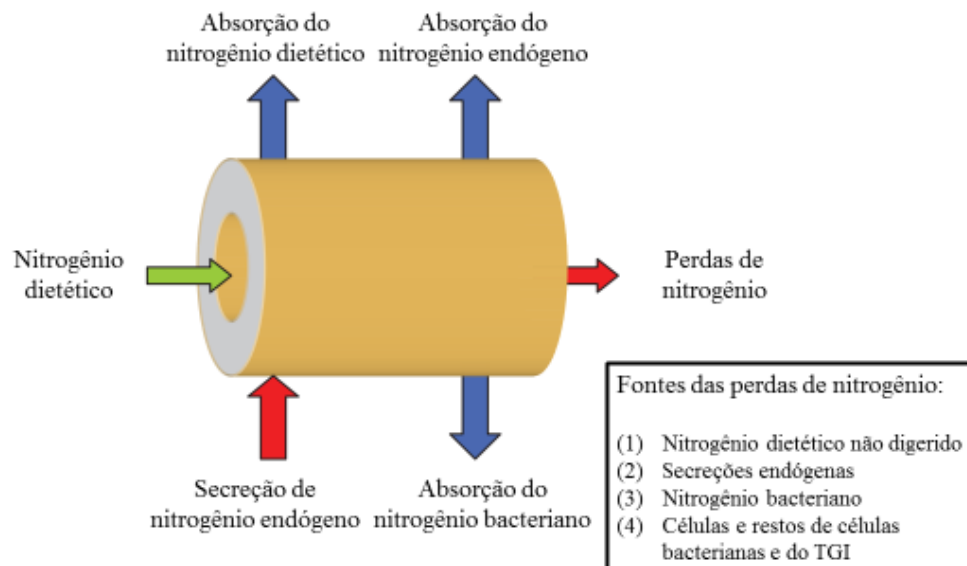
Um dos apelos para a utilização de fibra em dietas para suínos é sua contribuição para a redução do impacto ambiental da suinocultura. Características da fibra, principalmente a fermentabilidade, são responsáveis pela redução do N excretado através da urina, e aumento da excreção via fezes (PATRAS et al., 2012). A mudança na rota de excreção do N ingerido é interessante, pois o N urinário volatiliza com facilidade, contaminando o ar e aumentando os riscos à saúde humana e animal (AARNIK e VERSTEGEN, 2007), enquanto o N fecal, por ter origem microbiana, é mais facilmente degradado (MROZ et al., 2000).

2.3 FIBRA NO METABOLISMO DO NITROGÊNIO E AMINOÁCIDOS

Um dos principais aspectos da fibra no metabolismo de N em suínos se dá na partição entre N urinário para N fecal. Bindelle et al (2009) descreve os efeitos da fibra no balanço de N. Dentre esses efeitos, destaca-se a característica de aumentar o N fecal, seja através do aumento de secreções endógenas e descamação do epitélio intestinal, da fermentação bacteriana ou da redução na reabsorção das secreções intestinais (figura 5). O consumo das frações solúveis da fibra é responsável pelo aumento da fermentação microbiana, enquanto a fração insolúvel causa aumento no volume de fezes, e sua abrasividade culmina em maior descamação do epitélio intestinal (URIOLLA et al., 2013). O aumento do nitrogênio fecal devido a inclusão de fibra já foi observado nos trabalhos de Bindelle et al (2009), Blank et al (2012) e Zhang et al (2013).

De acordo com Patras et al (2012), uma das consequências da maior fermentação microbiana que ocorre em virtude da fibra, é a diminuição da amônia disponível para absorção no intestino grosso, que implicaria na redução do N utilizável para a produção de ureia e conseqüentemente de N na urina. Outra fração que compõem o N urinário é proveniente de AA em excesso ou desbalanceados (GALASSI et al., 2010). Bach Knudsen et al., (1991), descrevem os PNAs solúveis como os principais fornecedores de energia para a fermentação microbiana, e conseqüente redução do N urinário.

Figura 5 – Absorção e secreção de compostos nitrogenados no intestino delgado



Fonte: Adaptação de Willians (2012).

A digestibilidade do nitrogênio e AA é influenciada pela fibra de diferentes maneiras, dependendo das características físicas químicas do material fibroso (JANSMAN et al., 2002). A redução na digestibilidade ileal dos AA, ocorre devido ao aumento de perdas endógenas induzidas pela fibra dietética. Esse incremento pode ocorrer em razão de dois processos biológicos distintos, mas complementares: a) um aumento na secreção sem reabsorção proporcional, ou b) secreção constante com decréscimo na reabsorção (SCHULZE et al., 1993). O aumento da atividade microbiana no intestino delgado também é associado à redução da digestibilidade da proteína e AA em dietas contendo fibra solúvel.

Verificou-se que o incremento de 100 gramas de FDN por quilograma de dieta pode induzir perda endógena adicional equivalente a, no mínimo, 3,6 gramas de proteína por quilo

de matéria seca ingerida (SCHULZE et al., 1995). Por meio de revisão de literatura, Dégen et al. (2011) estimaram que a digestibilidade aparente da proteína reduz entre 3 a 8% a cada 100 gramas de aumento no conteúdo de FDN na dieta de suínos.

A treonina é um dos AA que tem sua utilização influenciada pelo teor de fibra da dieta, o que pode ser explicado pelo fato desse aminoácido constituir parcela significativa da mucina, uma glicoproteína que protege o epitélio intestinal e cuja secreção correlaciona-se positivamente com a ingestão de fibra (MOREL et al., 2005). Exigências de treonina ileal digestível aumentaram 0,37 g para cada 100 g de FDN ingerida (BLANK et al., 2012). Acredita-se que a digestibilidade verdadeira da treonina subestima sua digestibilidade em 15% (SÈVE et al., 1994). Evidentemente que outros AA como a valina, lisina e isoleucina tem suas perdas aumentadas consideravelmente com o incremento de fibra na dieta (JANSMAN et al., 2002).

A secreção endógena que ocorre para auxiliar os processos digestivos no lúmen intestinal pode ser considerada como custo metabólico que impacta a utilização dos AA (SÈVE e HENRY, 1996). Como há certa ineficiência biológica na síntese dos AA que constituem a proteína intestinal e perdas endógenas, se espera que a reposição de nitrogênio e AA dietéticos precisa ser maior que as perdas observadas no final do íleo (SÈVE e HENRY, 1996; NYACHOTI et al., 1997).

Utilizando os dados mencionados anteriormente (SHULZE et al., 1994), e assumindo o perfil de AA para as perdas endógenas basais sugerido por Jansman et al. (2002), é possível estimar que a adição de 15% de farelo de trigo na dieta de suínos em crescimento aumenta as perdas endógenas em 2200, 75, 116,6, 61,7 e 26,8 mg de proteína, lisina, treonina, metionina + cistina e triptofano, respectivamente. A influência que alimentos fibrosos no balanço de nitrogênio também foi evidenciada no estudo de Myrie et al. (2008), os quais constataram que a adição de 10% de farelo de trigo propiciou uma redução de 10 pontos percentuais na retenção de nitrogênio.

3 ARTIGO I: INFLUÊNCIA DA FIBRA NAS PERDAS ENDÓGENAS DE NITROGÊNIO DE SUÍNOS: ESTUDO META-ANALÍTICO

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação na Revista **Ciência Rural**.

1 **Influência da fibra nas perdas endógenas de nitrogênio de suínos: estudo meta-analítico**

2 **Influence of fiber in the endogenous nitrogen losses of pigs: meta-analytic study**

3

4 Leonardo Tombesi da Rocha^I, Vladimir de Oliveira^{I*}

5

6 **RESUMO**

7 O objetivo deste estudo foi quantificar a influência da fibra nas perdas endógenas de
8 nitrogênio (N) e aminoácidos (AA) e identificar formas de expressão da fibra que podem
9 servir como preditores destas perdas. A base de dados foi composta de artigos que avaliaram
10 as perdas endógenas de N e ou AA variando os teores de fibra como fibra em detergente
11 neutro (FDN) e fibra dietética total (FDT), por exemplo. Foram utilizados 170 animais,
12 totalizando 44 tratamentos, com média de 4 animais por tratamento, aproximadamente. Os
13 principais alimentos utilizados foram: celulose purificada, casca de arroz, farelo e casca de
14 cevada, farelo de trigo, centeio, FDN purificada, casca de girassol e fibra de ervilha. Da
15 análise de regressão entre o nitrogênio endógeno total ($NEND_{TOTAL}$) (mg/kg matéria seca
16 ingerida (MSI) e as concentrações (%) de FDT e FDN resultaram as equações: $y = 1504 +$
17 $160,8 * FDT$, e $y = 1773 + 161,0 * FDN$. As equações apresentaram R^2 de 73,14 e 69,53%
18 para FDT e FDN respectivamente. Os coeficientes angulares das regressões entre $NEND_{TOTAL}$
19 e FDT ou FDN indicaram que a cada ponto percentual de aumento na concentração de fibra
20 na dieta ocorre incremento de 160 mg/kg MSI de $NEND_{TOTAL}$. O N endógeno específico
21 ($NEND_{ESPEC}$) foi utilizado como variável dependente na relação com FDT e FDN. O resultado
22 foi descrito pelas equações $y = 124 + 154,9 * FDT$ e $y = 210 + 146,9 * FDN$, que apresentaram
23 R^2 de 69,58 e 60,11% para FDT e FDN respectivamente. Verifica-se pelo coeficiente angular
24 da regressão linear entre $NEND_{ESPEC}$ e FDT ou FDN que ocorre incremento de 150 mg/kg
25 MSI nas perdas endógenas de N por ponto percentual de aumento na fibra dietética. No que

26 tange aos AA, percebeu-se que a fibra influencia as perdas endógenas específicas de treonina
27 e valina mais intensamente que os demais AA. Concluímos ser possível assumir que as perdas
28 endógenas de N e AA são diretamente proporcionais ao consumo de fibra. FDT e FDN foram
29 as variáveis que melhor descreveram essa relação. Alguns AA foram mais influenciados do
30 que outros, como a treonina, por exemplo.

31 **Palavras-chave:** AA, fibra em detergente neutro, fibra dietética total, perdas endógenas
32 específicas, regressão

33

34 **ABSTRACT**

35 The aim of this study was to quantify the influence of fiber on endogenous losses of
36 nitrogen (N) and amino acids (AA) and identify ways to express fiber that can serve as
37 predictors of these losses. The database was composed by articles that evaluate the
38 endogenous losses of N and AA varying the fiber content like neutral detergent fiber (NDF)
39 and total dietary fiber (TDF), e.g. 170 animals were used, totaling 44 treatments, with an
40 average of 4 animals per treatment, approximately. The main ingredients used as fiber sources
41 were purified cellulose, rice hulls, barley bran, barley hulls, wheat bran, rye, purified NDF,
42 sunflower and pea hulls. From the regression analysis of total endogenous N ($NEND_{TOTAL}$)
43 (mg/kg dry matter intake (DMI)) and the concentrations (%) of TDF and NDF, resulted the
44 equations: $y = 1504 + 160.8 * TDF$ and $y = 1773 + 161.0 * NDF$. The equations presented a
45 R^2 of 73.14 and 69.53% for TDF and NDF, respectively. The slopes of the regression between
46 $NEND_{TOTAL}$ and TDF or NDF indicated that every percentage point increase in dietary fiber
47 the $NEND_{TOTAL}$ is increased by 160 mg/kg DMI. The specific endogenous losses of N
48 ($NEND_{SPEC}$) was used as dependent variable in relation with TDF and NDF. The result was
49 described by the equations: $y = 124 + 154.9 * TDF$ and $y = 210 + 146.9 * NDF$, the R^2 was
50 69.58 and 60.11% for TDF and NDF, respectively. What can be seen by the slope of the

51 linear regression between $NEND_{SPEC}$ and TDF or NDF is an increase of 150 mg/kg DMI in
52 endogenous losses of N by each percentage point increase in dietary fiber. About AA, it was
53 observed that the fiber influences more intensively the specific endogenous losses of
54 threonine and valine than other AA. We conclude that it is possible to assume that the
55 endogenous losses of N and AA are directly proportional to the fiber intake and the TDF and
56 NDF were the variables that better describe this relation. The AA profile of the protein lost is
57 modified and the losses of some AA are more affected than others, such as threonine, for
58 example.

59 **Key words:** Amino acids, endogenous specific losses, neutral detergent fiber, regression,
60 total dietary fiber

61

62 INTRODUÇÃO

63 A Proteína bruta (PB), nitrogênio (N) ou aminoácidos (AA) endógenos são
64 constituintes recuperados na digesta ileal ou nas fezes, que não possuem origem dietética
65 (SOUFFRANT, 2001). O nitrogênio endógeno ($NEND_{TOTAL}$) consiste de secreções salivares,
66 gástricas, secreções do intestino delgado, muco, descamações de células epiteliais e proteína
67 microbiana (JANSMAN et al., 2002).

68 A quantidade e composição do $NEND_{TOTAL}$ não é constante, e pode variar devido a
69 fatores intrínsecos aos animais ou alimentos (JANSMAN et al., 2002), podendo ser
70 decomposto em N endógeno basal ($NEND_{BASAL}$) e específico ($NEND_{ESPEC}$). O primeiro é
71 influenciado exclusivamente pelo consumo de matéria seca e considerado independente do
72 alimento consumido, enquanto o segundo, ocorre devido a características dos alimentos *per*
73 *si*, como fibra e fatores antinutricionais. (MOSENTHIN et al., 2000).

74 O termo fibra não designa uma fração química, mas sim uma mistura complexa entre
75 polissacarídeos não amiláceos (PNAs) e lignina, identificada por procedimentos analíticos

76 específicos (URRIOLA et al., 2013), embora a determinação analítica completa e acurada da
77 fibra nos alimentos seja difícil (BLANK, 2012). As três formas mais usuais de expressão do
78 conteúdo fibroso em alimentos e rações para suínos são: fibra bruta (FB), fibra em detergente
79 neutro (FDN) e ácido (FDA) e fibra dietética total (FDT).

80 Embora exista apelo para utilização de alimentos fibrosos na alimentação de suínos,
81 estudos comprovam que a fibra induz alterações na quantidade e composição da proteína
82 recuperada na digesta ileal. BLANK et al (2012) em estudo que avaliou o efeito da fibra sobre
83 dietas onde a treonina era o aminoácido limitante, observaram redução na retenção de
84 nitrogênio, resultado atribuído pelos autores a maior secreção de proteínas endógenas,
85 induzidas pela inclusão de fibra.

86 De um modo geral, pode-se afirmar que a fibra atua reduzindo a digestibilidade da
87 proteína e aumentando as exigências de manutenção dos AA. De acordo com
88 JONDREVILLE et al (2000), a fibra atua aumentando as secreções digestivas e a descamação
89 e renovação de células epiteliais. Altera a taxa de reabsorção e também a velocidade de
90 passagem do alimento através do trato gastrointestinal, efeito já comprovado nos estudos de
91 SCHULZE et al (1995), LETERME et al (1996), LETERME et al (2000), YIN et al (2000),
92 POZZA et al (2003), entre outros.

93 Entretanto, a fibra inclui uma grande variedade de componentes, que diferem em suas
94 propriedades físico-químicas e em seus efeitos fisiológicos, tornando difícil afirmar quais
95 frações são responsáveis pelos efeitos observados nas perdas endógenas de N (LETERME et
96 al., 2000). Frente a essa dificuldade, a realização de um estudo meta-analítico torna-se
97 interessante, pois pode integrar diferentes variáveis, ajustadas as diversidades experimentais,
98 permitindo observar o efeito das diferentes frações fibrosas nas perdas endógenas de N
99 (SAUVANT et al., 2008).

100 É interessante salientar importância prática de identificar se, alguma das frações
101 analisadas pode ser utilizada para antecipar os efeitos nas perdas endógenas de N e AA.
102 Assim, o objetivo deste estudo foi quantificar a influência da fibra nas perdas endógenas de N
103 e AA e identificar formas de expressão da fibra que podem servir como preditores destas
104 perdas.

105

106 **MATERIAIS E MÉTODOS**

107 A base de dados foi composta de artigos indexados que avaliaram as perdas endógenas
108 de N e ou AA utilizando dietas que variaram quanto ao teor de FB, FDA, FDN, FDT, fibra
109 insolúvel (FIN) e/ou fibra solúvel (FSL), determinados com suínos em fase de creche e
110 crescimento, com peso vivo (PV) mínimo e máximo de 9,00 e 60,00 kg, respectivamente. A
111 estatística descritiva dos dados pode ser visualizada na tabela 1.

112 Os dados foram selecionados das seções material e métodos e resultados, de cada
113 artigo, e tabuladas em uma base de dados elaborada em planilha eletrônica. As variáveis
114 incluídas foram relacionadas ao sexo, PV, composição nutricional das rações, consumo de
115 matéria seca (CMS), consumo das frações fibrosas citadas e perdas endógenas de N e AA.
116 Nos artigos onde a composição da fibra não foi determinada, a mesma foi calculada,
117 considerando os níveis de inclusão dos alimentos com a respectiva composição das frações
118 fibrosas encontrada na literatura.

119 As diferentes condições experimentais entre os estudos podem influenciar a resposta
120 ao tratamento. Para identificar esses efeitos, os fatores interferentes foram avaliados, em cada
121 um dos experimentos, analisando-se o coeficiente angular da reta obtido pela associação entre
122 o N endógeno e a variável de interesse (SAUVANT et al., 2008). Foram testados os seguintes
123 fatores interferentes quantitativos: FB (g/d), FDN (g/d), FDA (g/d), FDT (g/dia), FIN (g/dia) e
124 FSL (g/dia). Os níveis de ingestão mínimos e máximos podem ser vistos na tabela 1.

125 Foram incluídos 11 artigos totalizando 15 estudos, publicados em periódicos nacionais
126 e internacionais. Os trabalhos incluídos foram: de LANGE et al (1988), SCHULZE et al
127 (1994), SCHULZE et al (1995), LETERME et al (1996), LENIS et al (1996), LETERME et al
128 (1998), GRALA et al (1999), LETERME et al (2000), YIN et al (2000), BARTELT et al
129 (2002) e POZZA et al (2003). Publicados nos periódicos Revista Brasileira de Zootecnia,
130 British Journal of Nutrition, Journal of Cereal Science, Journal of Agricultural and Food
131 Chemistry, Journal of Animal Science, Livestock Production Science, Journal of the Science
132 of Food and Agriculture, Asian Australasian Journal of Animal Sciences, Archives of Animal
133 Nutrition e Journal of Feed Science and Technology.

134 A base foi composta de 44 tratamentos (dietas), com um total de 170 animais
135 utilizados, média de 4 animais por tratamento, aproximadamente. Os principais alimentos
136 utilizados como fonte de fibra foram: celulose purificada, casca de arroz, farelo e casca de
137 cevada, farelo de trigo, centeio, FDN purificada, casca de girassol e fibra de ervilha. Em todos
138 os experimentos os animais passaram por cirurgia para implantação de uma cânula “T”, para
139 coleta ileal. Os delineamentos experimentais utilizados foram 40% quadrado latino, 20%
140 inteiramente casualizados, 30% “cross-over” e 10% blocos ao acaso.

141 Modelo matemático: $Y_{ij} = a + \alpha_i + b * Fibra_{ij} + e_{ij}$, onde Y_{ij} é a variável dependente no
142 experimento i com o nível j de fibra, α é o intercepto total com a condição que a soma do
143 efeito de cada um dos experimentos α_i é zero, b_i é o coeficiente quadrático, e e_{ij} é o erro
144 residual. Foi ajustado considerando a resposta *intra* experimentos utilizando variáveis
145 dependentes (NEND e AA) e covariáveis (FDT, FDN, FDA, FB), conforme SAUVANT et al.
146 (2008). As equações de regressão foram geradas por meio da análise de variância-covariância.
147 Todas as análises foram realizadas com o pacote estatístico MINITAB.

148

149

150 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

151 Da análise de regressão entre o nitrogênio endógeno total ($NEND_{TOTAL}$) (mg/kg MSI) e
152 as concentrações (%) de FDT e FDN resultaram as equações $y = 1504$ (EPM= 189,00; $P < 0,05$)
153 $+ 160,8$ (EPM= 15,30; $P < 0,05$) * FDT e $y = 1773$ (EPM= 188,00; $P < 0,05$) $+ 161,0$ (EPM=
154 $16,60$; $P < 0,05$) * FDN, nas quais o intercepto representa uma estimativa das perdas endógenas
155 basais de nitrogênio e o coeficiente angular indica o incremento de $NEND_{TOTAL}$ por unidade
156 percentual de aumento de fibra na dieta.

157 Em nosso estudo, o valor estimado para as perdas basais de N é 20,5% superior aos
158 1,36 mg/kg MSI obtidos por van MILGEN et al (2008), enquanto equivaleu a 50% do valor
159 proposto pelo NRC (2012), que é de 2,25 mg/kg MSI. Destacamos entretanto, que nossas
160 estimativas se baseiam em dietas virtualmente livres de fibra, embora os níveis de FDT e
161 FDN indicados para elaboração de dietas que tenham por finalidade estimar perdas endógenas
162 sejam relativamente baixos (3,75 e 3,81%, respectivamente) (STEIN et al., 2007).

163 Se extrapolarmos nossos resultados para um suíno com peso corporal médio de 50 kg,
164 considerando uma ingestão diária de 1,9 kg de matéria seca, se constata perda basal na ordem
165 de 2,86 e 17,88 g/d para N e PB ($N * 6,25$), respectivamente. Usando dados de revisão de
166 literatura realizada por BOISEN & MOUGHAN (1996) é possível estimar uma perda basal de
167 proteína entre 19 e 28,5 g/d para uma ingestão semelhante a nosso, o que demonstra que
168 nossas estimativas estão dentro da faixa de variação obtida em outros estudos. Mesmo assim,
169 é possível encontrar estimativas de perdas endógenas basais de N superiores às obtidas no
170 presente estudo. Utilizando a equação de BUTTS et al. (1993), por exemplo, se obtém perda
171 endógena basal de N na ordem de 2,9 g/kg MSI, o que associado com a ingestão de 1,9 kg de
172 MS resultará no valor de 5,5 e 34,4 g/d de N e PB endógeno, respectivamente.

173 Os coeficientes angulares das regressões entre $NEND_{TOTAL}$ e FDT ou FDN foram
174 semelhantes e indicaram que a cada ponto percentual de aumento na concentração de fibra na

175 dieta ocorre incremento de 160 mg/kg MSI de $NEND_{TOTAL}$. É possível decompor o
176 $NEND_{TOTAL}$ em $NEND_{BASAL}$ e $NEND_{ESPEC}$, sendo o primeiro associado a ingestão de matéria
177 seca e o segundo a fatores específicos presentes nos alimentos, tais como fibra e fatores
178 antinutricionais (RIEGEL & SUSENBETH, 2009).

179 Utilizando estimativas de $NEND_{BASAL}$ sugerida por van Milgen et al. (2008) calculou-
180 se o $NEND_{ESPEC}$ que, por sua vez, foi utilizado como variável dependente na relação com
181 FDT e FDN. O resultado foi descrito pelas equações lineares $y = 124$ (EPM= 199,00; $P > 0,05$)
182 $+ 154,9$ (EPM= 16,10; $P < 0,05$) * FDT e $y = 210$ (EPM= 231,00; $P > 0,05$) $+ 146,9$ (EPM=
183 18,80; $P < 0,05$) * FDN. A associação linear entre $NEND_{ESPEC}$ e fibra demonstra, ao menos
184 dentro dos níveis estudados, que as perdas endógenas de N são diretamente proporcionais a
185 concentração de fibra. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por SCHULZE et al.
186 (1995), mas divergem dos dados obtidos por MARISCAL-LANDIN et al. (1995) que
187 obtiveram uma relação linear-platô para a relação entre NEND e fibra.

188 Verifica-se pelo coeficiente angular da regressão linear entre $NEND_{ESPEC}$ e FDT ou
189 FDN que ocorre incremento de 150 mg/kg MSI nas perdas endógenas de N por ponto
190 percentual de aumento no FDN da dieta. Esse dado é representa duas vezes a estimativa de
191 SCHULZE (1994) e pode ser atribuído a inúmeros fatores, entre eles o tipo de fibra utilizado
192 na dieta para avaliar as perdas endógenas (LETERME et al., 2000).

193 Os parâmetros da análise de regressão entre a lisina, treonina, isoleucina, valina e
194 metionina com a fibra dietética total ou fibra em detergente neutra estão na tabela 2.
195 Conforme citado anteriormente, o intercepto representa as perdas endógenas basais, enquanto
196 o coeficiente angular da reta indica o efeito da fibra nas perdas endógenas.

197 No geral, se pode afirmar que os dados absolutos (mg/kg MSI) de perdas endógenas
198 basais dos AA estão em conformidade com aqueles sugeridos por van MILGEN et al. (2008),
199 especialmente quando a FDN foi a variável utilizada para caracterizar a fibra. Contudo, exceto

200 para lisina, os valores sugeridos pelo NRC (2012) são superiores aos obtidos no presente
201 estudo. Quando expressos em relação ao perfil ideal, utilizando a lisina como aminoácido
202 referência, constatou-se padrão aproximado aquele de van MILGEN et al. (2008), mas
203 inferiores aos valores de perdas endógenas basais do NRC (2012).

204 Utilizando-se o valor de 0,60 para perda endógena basal de lisina e admitindo que
205 essas perdas representem 50% da lisina para manutenção (van MILGEN et al., 2008), tem-se
206 um valor aproximado de 1,20g de lisina necessária para atender as exigências de manutenção.
207 Se expressarmos esses valores em função do peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) obtemos um valor
208 de exigência de manutenção de 64 mg/kg $PV^{0,75}$, estimativa que se aproxima dos 71 mg/kg
209 $PV^{0,75}$ demonstrados empiricamente por RIEGEL & SUSENBETH (2009), mas superior aos
210 36 mg/kg $PV^{0,75}$ encontrado por WANG et al (1989).

211 Observando os valores dos interceptos na tabela 2 percebe-se que a fibra influencia as
212 perdas endógenas específicas de treonina e valina mais intensamente que os demais AA. O
213 efeito da fibra como estimulador de perdas endógenas de treonina já foi demonstrado em
214 outros estudos (MYRIE et al., 2008; BLANK et al., 2012) e tem como justificativa sua
215 participação nas proteínas secretadas no intestino, em especial a mucina. O mesmo acontece
216 para valina que cuja perda sofre aumento devido a ação da fibra da dieta (JANSMAN et al.,
217 2002).

218

219 **CONCLUSÃO**

220 As perdas endógenas de N e AA são diretamente proporcionais ao consumo de fibra e
221 a FDT e FDN foram as variáveis que melhor descreveram essa relação. O perfil de AA da
222 proteína perdida é alterado e alguns AA são mais influenciados o que outros, como a treonina,
223 por exemplo. Contudo, as perdas específicas de N e AA são diretamente proporcionais à
224 quantidade de fibra, o que equivale a dizer que o padrão da proteína permanece constante

225 independente do teor de fibra. Evidentemente que isso é válido para os AA e níveis de fibra
226 estudados.

227

228 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

229 BARTELT, J. et al. Apparent precaecal digestibility of nutrients and level of endogenous
230 nitrogen in digesta of the small intestine of growing pigs as affected by various digesta
231 viscosities. **Archives of Animal Nutrition**, v. 56, n. 2, p. 93–107, 2002. Disponível em:
232 <<http://dx.doi.org/10.1080/00039420214182>>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI:
233 10.1080/00039420214182.

234 BOISEN, S.; MOUGHAN, P.J. Dietary influences on endogenous ileal protein and amino
235 acid loss in the pig — A Review. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 46, n. 3, p. 154–164,
236 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/09064709609415866>>. Acesso em: 14 jan
237 2016. DOI: 10.1080/09064709609415866.

238 BLANK, B. et al. Effect of dietary fibre on nitrogen retention and fibre associated threonine
239 losses in growing pigs. **Archives of Animal Nutrition**, v. 66, n. 2, p. 86–101, 2012.
240 Disponível em: <
241 <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1745039X.2012.663669#.VsGjHfrKUk>>.
242 Acesso em: 9 mar. 2015. DOI: 10.1080/1745039X.2012.663669.

243 BUTTS, C. A. et al. The effect of food dry matter intake on the endogenous ileal amino acid
244 extraction determined under peptide alimentation in the 50 kg live weight pig. **Journal**
245 **Science Food Agriculture**, v. 62, p. 234–243, 1993. Disponível em: <
246 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2740620306/abstract>>. Acesso em: 15 mar.
247 2015. DOI: 10.1002/jsfa.2740620306.

248 de LANGE, C.F. et al. The effect of protein status of the pig on the recovery and amino acid
249 composition of endogenous protein in digesta collected from the distal ileum. **Journal of**

- 250 **animal science**, v. 67, n. 3, p. 755–762, 1989. Disponível em: <
251 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2722704>>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI:
252 10.2134/jas1989.673609x.
- 253 GRALA, W. et al. Effects of ileal endogenous nitrogen losses and dietary amino acid
254 supplementation on nitrogen retention in growing pigs. **Animal Feed Science and**
255 **Technology**, v. 80, n. 3-4, p. 207–222, 1999. Disponível em: <
256 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840199000668>>. Acesso em: 14 mar.
257 2015. DOI: 10.1016/S0377-8401(99)00066-8.
- 258 JANSMAN, A.J.M. et al. Evaluation through literature data of the amount and amino acid
259 composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. **Animal Feed**
260 **Science and Technology**, v. 98, n. 1-2, p. 49–60, 2002. Disponível em: <
261 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840102000159>>. Acesso em: 15 mar.
262 2015. DOI: 10.1016/S0377-8401(02)00015-9.
- 263 JONDREVILLE, C. et al. Ileal digestibility of amino acids and estimates of endogenous
264 amino acid losses in pigs fed wheat, triticale, rye, barley, maize and sorghum. **Animal**
265 **Research**, v. 50, n. 2, p. 119–134, 2000. Disponível em: <
266 [https://www.researchgate.net/publication/250381198_Ileal_amino_acid_digestibility_and_esti](https://www.researchgate.net/publication/250381198_Ileal_amino_acid_digestibility_and_estimates_of_endogenous_amino_acid_losses_in_pigs_fed_rapeseed_meal_sunflower_meal_and_soybean_meal)
267 [mates_of_endogenous_amino_acid_losses_in_pigs_fed_rapeseed_meal_sunflower_meal_and](https://www.researchgate.net/publication/250381198_Ileal_amino_acid_digestibility_and_estimates_of_endogenous_amino_acid_losses_in_pigs_fed_rapeseed_meal_sunflower_meal_and_soybean_meal)
268 [_soybean_meal](https://www.researchgate.net/publication/250381198_Ileal_amino_acid_digestibility_and_estimates_of_endogenous_amino_acid_losses_in_pigs_fed_rapeseed_meal_sunflower_meal_and_soybean_meal)>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI: 10.4141/A99-104.
- 269 LENIS, N.P. et al. Effect of dietary neutral detergent fiber on ileal digestibility and portal flux
270 of nitrogen and amino acids and on nitrogen utilization in growing pigs. **Journal of Animal**
271 **Science**, v. 74, n. 11, p. 2687–2699, 1996. Disponível em: <
272 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8923183>>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI:
273 1996.74112687x.
- 274 LETERME, P. et al. The high water-holding capacity of pea inner fibers affects the ileal flow
275 of endogenous amino acids in pigs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 8561,

276 n. 97, p. 1927–1934, 1998. Disponível em: <
277 <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf970955%2B>>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI:
278 10.1021/jf970955.

279 LETERME, P. et al. Chemical composition of pea fibre isolates and their effect on the
280 endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. **Journal of the Science of Food and**
281 **Agriculture**, v. 72, p. 127–134, 1996. Disponível em: <
282 [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199609\)72:1%3C127::AID-](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0010(199609)72:1%3C127::AID-)
283 [JSFA637%3E3.0.CO;2-C/epdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0010(199609)72:1%3C127::AID-JSFA637%3E3.0.CO;2-C/epdf)>. Acesso em: 25 mar. 2015. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010.

284 LETERME, P. et al. Effect of barley fibres and barley intake on the ileal endogenous nitrogen
285 losses in piglets. **Journal of Cereal Science**, v. 31, n. 3, p. 229–239, 2000. Disponível em: <
286 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521000903060?np=y>>. Acesso em: 14
287 fev. 2015. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0306.

288 MARISCAL-LANDÍN, G. et al. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-
289 end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber.
290 **The Journal of nutrition**, v. 125, n. 1, p. 136–146, 1995. Disponível em: <
291 <http://jn.nutrition.org/content/125/1/136.long>>. Acesso em: 16 fev. 2015. DOI:
292 10.1017/S0007114512002474.

293 MYRIE, S.B. et al. Effect of common antinutritive factors and fibrous feedstuffs in pig diets
294 on amino acid digestibilities with special emphasis on threonine. **Journal of animal science**,
295 v. 86, n. 3, p. 609–19, 2008. Disponível em:
296 <[https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/articles/86/3/0860609?highlight](https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/articles/86/3/0860609?highlight=&search-result=1)
297 [=&search-result=1](https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/articles/86/3/0860609?highlight=&search-result=1)>. Acesso em: 17 mar. 2015. DOI: 10.2527/jas.2006-793.

298 NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Washington, Estados Unidos). **Nutrient**
299 **requirements of swine**, 9 ed. Washington: National Academy, 2012, 155 p.

- 300 POZZA, P.C. et al. Avaliação da perda endógena de AA, em função de diferentes níveis de
301 fibra. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n. 6, p. 1354–1361, 2003. Disponível em: <
302 http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982003000600010>.
303 Acesso em: 15 mar. 2015. DOI: 10.1590/S1516-35982003000600010.
- 304 RINGEL, J.; SUSENBETH, A. Lysine requirement for maintenance in growing pigs.
305 **Livestock Science**, v. 120, n. 1-2, p. 144–150, 2009. Disponível em:
306 <<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2008.05.005>>. Acesso em: 13 mar. 2015. DOI:
307 10.1016/j.livsci.2008.05.005.
- 308 SAUVANT, D. et al. Meta-analysis of experimental data : application in animal nutrition.
309 **Productions Animales**, v. 18, p. 63–73, 2008. Disponível em: <
310 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22443733>>. Acesso em: 13 mar. 2015. DOI:
311 10.1017/S1751731108002280.
- 312 SCHULZE, H. et al. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent
313 digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. **Journal of animal science**, v. 72, n. 9, p. 2362–
314 2368, 1994. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8002455> >. Acesso em 19
315 mar. 2015. DOI: 1994.7292362x.
- 316 SCHULZE, H. et al. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous
317 nitrogen flow in pigs. **Journal of animal science**, v. 73, n. 2, p. 441–448, 1995. Disponível
318 em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7601777>>. Acesso em: 20 mar. 2015. DOI:
319 1995.732441x.
- 320 SOUFFRANT, W.B. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen
321 losses in the pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, n. 1-2, p. 93–102, 2001.
322 Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840101001997>>.
323 Acesso em: 11 mar. 2015. DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00199-7.

324 STEIN, H.H. et al. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed
325 ingredients. **Journal of Animal Science**. v. 85, n.1, p. 172–180, 2007. Disponível em: <
326 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17179553>>. Acesso em: 11 mar. 2015. DOI:
327 10.2527/jas.2005-742.

328 van MILGEN, J. et al. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of
329 growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 143, n. 1-4, p. 387–405, 2008.
330 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840107001782>>.
331 Acesso em: 13 mar. 2015. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2007.05.020.

332 WANG, T.C.; FULLER, M.F. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 1.
333 Experiments by amino acid deletion. **The British journal of nutrition**, v. 62, n. 1, p. 77–89,
334 1989. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2789991>>. Acesso em: 10 mar.
335 2015. DOI: 10.1079/BJN19890009.

336 YIN, Y.L. et al. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous
337 nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with
338 xylanase supplementation. **Livestock Production Science**, v. 62, n. 2, p. 119–132, 2000.
339 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622699001293>>.
340 Acesso em: 11 mar. 2015. DOI: 10.1016/S0301-6226(99)00129-3.

341

342

343

344

345

346

347

348

349 Tabela 1 – Estatísticas descritivas das variáveis contidas na base de dados

350

Variável	NE	NT	Média	DP	Mínimo	Máximo
Peso vivo, kg	15	44	27,49	15,98	8,80	60,00
Matéria seca Ingerida, g/d	15	44	895,38	445,13	418,00	1613,54
Proteína Bruta Ingerida, g/d	15	44	79,00	93,01	0,00	338,46
Fibra Bruta Ingerida, g/d	15	44	36,39	26,96	0,22	112,95
Fibra Detergente Neutro Ingerida, g/d	15	44	79,60	64,01	2,41	311,70
Fibra Detergente Ácido Ingerida, g/d	15	44	35,55	26,52	1,38	98,23
Fibra Dietética Total Ingerida, g/d	15	44	85,88	58,28	17,01	338,46
Fibra Solúvel Ingerida, g/d	15	44	10,59	12,26	0,14	54,58
Fibra Insolúvel Ingerida, g/d	15	44	75,70	53,35	11,70	302,36
Nitrogênio Endógeno, mg/d	15	44	2741,54	1732,53	966,60	9366,14
Lisina Endógena, mg/d	6	22	556,12	412,92	145,80	2106,00
Metionina Endógena, mg/d	6	22	190,53	227,33	48,60	790,64
Treonina Endógena, mg/d	6	22	573,00	225,28	291,60	1314,00
Arginina Endógena, mg/d	6	22	388,51	214,89	129,60	990,00
Histidina Endógena, mg/d	6	22	243,05	178,90	90,70	709,96
Isoleucina Endógena, mg/d	6	22	470,99	288,15	162,00	1125,00
Fenilalanina Endógena, mg/d	6	22	431,26	219,44	156,60	887,45
Valina Endógena, mg/d	6	22	650,28	323,53	243,00	1782,00

351 NE, número de estudos; NT, número de tratamentos; DP, desvio padrão

352

353

354

355 Tabela 2 – Parâmetros das equações de predição das perdas endógenas de aminoácidos em
 356 suínos.
 357

Variáveis		Parâmetros		
Dependente	Independente	b ₀	b ₁	R ²
Treonina	FDT	277,50* (EPM= 51,60)	43,82* (EPM= 5,47)	76,87
	FDN	333,10* (EPM= 52,20)	43,45* (EPM= 6,38)	70,48
Lisina	FDT	315,60* (EPM= 56,80)	28,90* (EPM= 6,02)	52,21
	FDN	311,80* (EPM= 40,30)	33,91* (EPM= 4,93)	70,94
Isoleucina	FDT	224,40* (EPM= 25,30)	26,48* (EPM= 2,68)	83,58
	FDN	274,40* (EPM= 31,90)	23,83* (EPM= 3,90)	65,66
Valina	FDT	279,30* (EPM= 42,90)	43,55* (EPM= 4,55)	82,67
	FDN	340,40* (EPM= 45,30)	42,30* (EPM= 5,53)	75,16
Metionina	FDT	56,50* (EPM= 19,10)	9,46* (EPM= 1,90)	61,29
	FDN	59,20* (EPM= 17,60)	10,29* (EPM= 1,97)	63,76

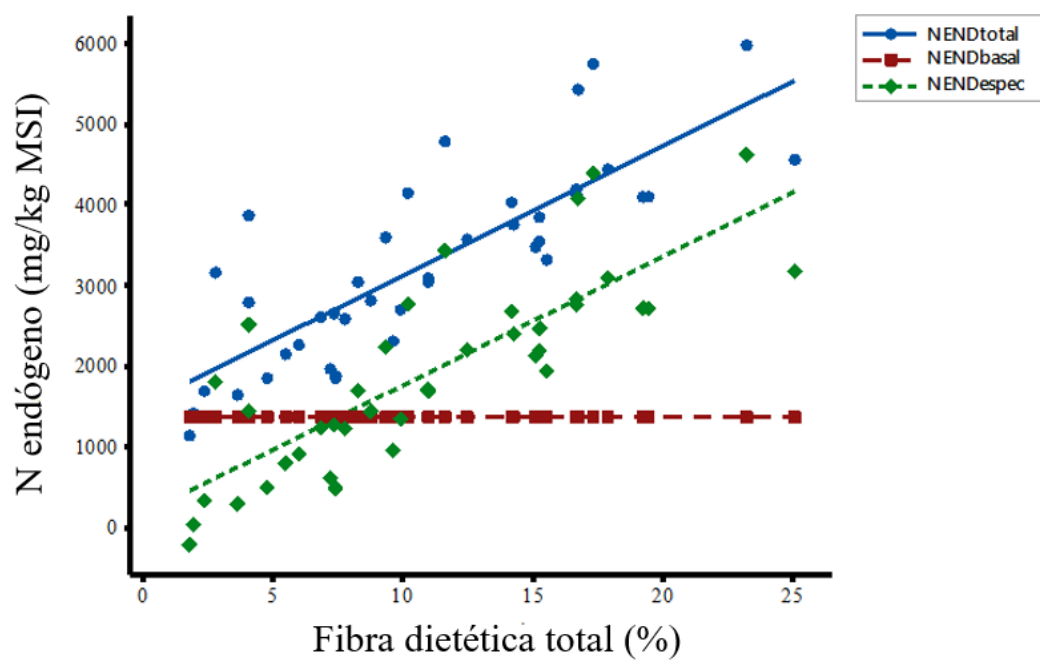
358 FDT, Fibra dietética total; FDN, Fibra em detergente neutro; b₀, Intercepto da regressão
 359 linear; b₁, Coeficiente angular da reta; EPM=Erro padrão da média; *, P<0,05.

360

361

362

363



364

365 Figura 1 – Influência da concentração de fibra dietética total sobre as perdas endógenas basais

366 e específicas de nitrogênio.

4 ARTIGO II: CONTRIBUTION OF FIBER FEEDSTUFFS FOR THE NITROGEN BALANCE OF GROWING PIGS

Este capítulo é apresentado de acordo com as normas para publicação na Revista **Livestock Production Science**.

1 **Contribution of fiber feedstuffs for the nitrogen balance of growing pigs**

2
3 Leonardo Tombesi da Rocha ^a, Josué Sebastiany Kunzler ^a, Amanda D'avila Carvalho ^b,
4 Carlos Augusto Rigon Rossi ^c, Clóvis Eliseu Gewehr ^d, Arlei Rodrigues Bonet de Quadros ^a,
5 Vladimir de Oliveira ^{a,*}

6
7 ^a Federal University of Santa Maria (UFSM), Department of Animal Science, Swine Sector,
8 Roraima Avenue 1000, Santa Maria, Brazil

9 ^b Federal Institute of Santa Catarina (IFSC), Laboratory of Animal Nutrition, Concordia,
10 Brazil

11 ^c UFSM, Department of Clinic of Large Animals, Santa Maria, Brazil

12 ^d Santa Catarina State University (UDESC), Department of Animal Science. Lajes, Brazil

13
14 * Corresponding author: Vladimir de Oliveira, e-mail: vladimir.oliveira@ufsm.br, Tel: +55 55
15 96187157

16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

35 Abstract

36 Fiber feedstuffs increase the endogenous losses of nitrogen (N) and have relatively low
37 contents of digestible N and amino acids (AA). In addition, a portion of absorbed AA from
38 fibrous diets is used for endogenous protein synthesis, and it is possible to assume that the
39 contribution from these feedstuffs to N retention (NRET) will be low or even null, especially
40 when they are included at practical levels. The goal of this study was to evaluate whether the
41 inclusion of fibrous feedstuffs in diets of growing pigs affects the efficiency of dietary N
42 utilization for protein retention. Twelve castrated pigs from a commercial line with average
43 weights of 57.36 ± 2.01 and 72.68 ± 3.24 kg were used in trials 1 and 2, respectively. The
44 animals were housed individually in metabolic cages for 15 days, with 10 days for adaptation
45 and 5 days for total collection of feces and urine. The animals were allocated into two
46 experimental groups in a completely randomized design: a) CT1 – control diet and b) WB –
47 diet with inclusion of 15% wheat bran (WB) in trial 1 as well as c) CT2 – control diet and d)
48 SH – diet with inclusion of 6% soybean hulls (SH) in trial 2. The fecal N was higher ($P <$
49 0.05) in both diets with inclusion of fiber sources compared to the controls. The NRET was
50 higher (15%) in pigs ingesting the WB diet, although the proportion of NRET expressed
51 relative to ingested N (NING) (50%) or absorbed N (NABS) (55.5%) was similar ($P > 0.05$)
52 between treatments. The inclusion of SH had no effect ($P > 0.05$) on NRET when the result
53 was expressed in absolute (g/day) or proportional terms. On average, the NRET represented
54 48 and 55.5% of NING and NABS for CT2 and SH diets, respectively. When summarizing all
55 the data, we can see that the WB increased NRET and that the increase was proportional to
56 NABS. On the other hand, the equivalent amount of N incorporated with the SH was totally
57 recovered in the feces, indicating a low digestibility of this ingredient. It was not possible to
58 demonstrate differences in the proportion of NRET related to NABS in the SH diet. We
59 concluded that the efficiency of utilization of absorbed N was not affected by the inclusion of
60 fiber feedstuffs.

61 **Key words:** Amino acids, digestibility, nitrogen retention, protein, soybean hulls, wheat bran.

62

63 1. Introduction

64 Aspects related to intestinal health, animal welfare, sustainable production, greenhouse
65 gas emissions, carcass quality and production costs could become advantageous with the
66 inclusion of feedstuffs with high fiber levels in pig diets (Bindelle et al., 2008; Kerr and
67 Shurson, 2013). In addition, smallholder production aimed at specific niche markets can
68 benefit from the inclusion of fibrous feedstuffs in diets of pigs (Lindberg, 2014).

69 Fibrous feedstuffs can contribute as sources of energy, minerals, vitamins and AA.
70 These contributions are variable and depend directly on the amount and physio-chemical
71 characteristics of the fiber. Besides the negative impact on the metabolism of energy (Le Goff
72 and Noblet, 2001) and minerals (Metzler and Mosenthin, 2008), fiber impairs N and AA
73 metabolism (Hansen et al., 2006; Dégen et al., 2011; Blank et al., 2012). In general, we can
74 state that fiber decreases protein digestibility and increases the maintenance requirements of
75 AA.

76 Studies have shown that the inclusion of fiber increases specific endogenous losses
77 due to greater synthesis and/or lower absorption rates of endogenous compounds secreted in
78 the gut. The results obtained by Schulze et al. (1994) indicate that 100 g of neutral detergent
79 fiber (NDF) per kilogram of diet induces a specific N loss close to 0.5 g/day. In addition, an
80 intake of 26 g/day of NDF resulted in 0.5 g of specific N losses in pigs (Myrie et al., 2008),
81 which represents more than 1 g of specific N loss per kilogram of dry matter intake (DMI).

82 Another important aspect of the relationship between N loss and fiber concerns the
83 pattern of endogenous N in response to dietary NDF. While Schulze et al. (1994) verified a
84 linear response in endogenous losses of N caused by NDF, Mariscal-Landin et al. (1995)
85 observed a plateau after a certain NDF level. An exception occurred for threonine, whose
86 losses were linearly related to NDF concentration in the diet.

87 Fibrous feedstuffs, such as WB and SH, have average protein levels of 150 to 120 g/kg
88 and apparent protein digestibilities of 65 and 40%, respectively. The standardized ileal lysine
89 concentrations in these feeds are 4.0 and 4.3 g/kg, while for threonine they are 3.0 and 2.6
90 g/kg, respectively (Sauvant et al., 2004).

91 Considering the fibrous feedstuff inclusion rates in practical pig diets are relatively
92 low, it is important to ensure the final contributions of these ingredients supply the N and AA
93 required for protein deposition. The appreciation of the fibrous feedstuff potential depends on
94 the information that demonstrates its effective ability to contribute nutrients for different
95 metabolic processes of pigs.

96 The goal of this study was to evaluate whether the inclusion of fibrous feedstuffs in
97 diets of growing pigs affects the efficiency of dietary N utilization for protein retention.

98

99 **2. Materials and methods**

100 **2.1 Animals and housing**

101 Twelve castrated pigs from a commercial line with average weights of 57.36 ± 2.01
102 and 72.68 ± 3.24 kg in trials 1 and 2 were used, respectively. The animals were housed

103 individually in metabolic cages for 15 days, with 10 days for adaptation (3 days in collective
104 pens and 7 in cages) and 5 days for total collection of feces and urine. The cages were kept in
105 a room with a temperature range of 22 ± 3 °C.

106

107 *2.2 Experimental protocol and diets*

108 The animals were divided into two experimental groups in a completely randomized
109 design: a) CT1 – control diet and b) WB – diet with inclusion of 15% WB in trial 1 (Table 1)
110 as well as c) CT2 – control diet and d) SH – diet with inclusion of 6% SH in trial 2. In each
111 group, control diets were formulated to supply 85% of the calculated standardized lysine
112 requirements, while the energy and other nutrients were included to meet the
113 recommendations of Rostagno et al. (2011).

114 The experimental diets were prepared by replacing starch with 15% WB or 6% SH in
115 trials 1 and 2, respectively. These inclusion rates were adopted because they are considered
116 acceptable levels in practical diets (Rostagno et al., 2011). Soybean oil was added to maintain
117 the diets with the same net energy.

118 The idea of this protocol was to determine whether the N and AA “extras” included
119 with fiber sources would provide additional protein retention, or, alternatively, whether the
120 metabolic cost associated with the inclusion of fiber would void, at least in part, the N and
121 AA contributions coming from fibrous feedstuffs.

122 The animals received four meals (8:00, 11:30, 14:00 and 17:30 h) in the amounts of 90
123 and 95 g/kg of metabolic body weight ($BW^{0.75}$) per day in trials 1 and 2, respectively. Daily
124 feed refusals were collected, dried, weighed and discounted from the total amounts provided.
125 In the intervals between meals, the animals had free access to water.

126

127 *2.3 Data and samples: collection and analysis*

128 The collected urine was stored in dark amber glass containers containing 30 mL of
129 sulfuric acid (H_2SO_4) to prevent bacterial contamination and N volatilization. Twice daily, the
130 containers were emptied and the total volume of urine recorded. At this time, the pH was
131 checked and if necessary adjusted with H_2SO_4 for the sample to be stored at a pH below 2.

132 The feces was collected according to the marker-to-marker approach using ferric oxide
133 (1%) as a marker. Feces was collected twice daily, placed in plastic bags and kept in a freezer
134 at -18 °C. At the end of each period, the feces was thawed and homogenized, and an aliquot
135 was removed for drying at 65 °C in a forced-air oven before being milled for chemical
136 analysis.

137 The analyses of dry matter (DM, method 930.15) mineral matter (MM, method
 138 942.05) N (988.05 method) of feed ingredients, feces and urine were performed following the
 139 methodologies of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005) (Table 2).
 140 To determine the NDF and acid detergent fiber (ADF) of diets and ingredients, the Van Soest
 141 (1975) methodology was used. The AA composition of the fiber sources was analyzed via
 142 High-performance liquid chromatography (HPLC) procedures (Table 3).

143

144 2.4 Calculations

145 The following equations were used:

146 (1) $\text{NABS g/day} = \text{NING g/day} - \text{fecal N (NFEC) g/day}$

147 (2) $\text{NRET g/day} = \text{NABS} - \text{urinary N (NURI) g/day}$

148 (3) $\text{NABS efficiency (NABS:NING) \%} = ((\text{NABS g/day}) / \text{NING g/day}) * 100$

149 (4) $\text{NRET efficiency (NRET:NING) \%} = ((\text{NRET g/day}) / \text{NING g/day}) * 100$

150

151 An estimate of NRET (NRET_{EST}) was calculated using the daily intake of essential
 152 AA for each animal. The ideal protein ratio described by Sauvante et al. (2004) to define the
 153 AA that would limit protein deposition and determine an estimated lysine retention was used.
 154 To meet the NRET_{EST} value, the following equation was used:

155

156 (5) $\text{NRET}_{\text{EST}} = ((\text{lysine} * 0.72) / 0.0696) * 0.16$

157

158 where 0.72 is the lysine deposition efficiency, 0.0696 is the proportion of lysine in body
 159 protein and 0.16 is the amount of N contained in the protein. From this NRET_{EST} , the
 160 estimated requirement of N for maintenance by Moughan (1998) was discounted. The
 161 requirements considered were for integument losses ($16.7 \text{ mg/kg BW}^{0.75}$), minimum turnover
 162 ($57.8 \text{ mg/kg BW}^{0.75}$) and endogenous basal losses (1.36 mg/kg DMI).

163

164 2.5 Statistical analysis

165 All variables were subjected to analysis of variance according a completely
 166 randomized design using the effects of treatments in the model. The experimental unit was a
 167 pig, and the Tukey test with an alpha level of 0.05 was used to test the statistical differences
 168 between means. All statistical analyses were performed using the statistical program
 169 MINITAB (2013).

170

171 3. Results

172 3.1 Trial 1 – wheat bran

173 The DMI was not different ($P > 0.05$) between treatments. The amounts of feces and
174 DM excreted were 79 and 52% higher ($P < 0.01$ in the WB diet than in the CT1 diet. The
175 inclusion of WB resulted in almost twice the fecal moisture ($P < 0.01$) than that of CT1. The
176 fiber intake, regardless of the technique used in quantification (NDF, ADF, soluble and
177 insoluble dietary fiber), as well as the hemicellulose content were higher ($P < 0.01$) in the
178 diets with the addition of the fiber source. The ether extract intake was 84% higher ($P < 0.01$)
179 in diet with inclusion of WB.

180 The NING was approximately 15% higher ($P < 0.01$) in the diet with WB (Table 4).
181 Pigs fed the WB diet excreted about 43% more NFEC ($P < 0.01$). The NFEC represented 8.7
182 and 10.9% of the NING in the CT1 and WB treatments, respectively (Figure 1). Pigs fed the
183 WB diet absorbed 4.5 g/day of N more than those fed CT1, although in proportional terms
184 (percent of NING) there was a decrease of 2% of NABS in the animals of the WB treatment.

185 The amount of NURI was approximately 10% higher ($P < 0.04$) in the animals fed diet
186 with WB compared to those fed CT1 diet. When the NURI was expressed as a proportion of
187 NING (Figure 1), no differences were found ($P > 0.05$) between treatments (41 and 39% in
188 the WB and CT1 groups, respectively). The NRET was higher by 15% in the pigs ingesting
189 WB diet, although NRET:NING (50%) and NRET:NABS (55.5%) were similar ($P > 0.05$)
190 between treatments.

191 According to our estimates based on the AA intake, the $NRET_{EST}$ would be 17.95 and
192 22.72 g/day in CT1 and WB, respectively. This value represents approximately 90% of the
193 NRET observed in CT1, while there was no difference between the $NRET_{EST}$ and that
194 observed for the WB treatment.

195

196 3.2 Trial 2 – soybean hulls

197 The DMI was not different ($P > 0.05$) between treatments (Table 4). The DM excreted
198 was 30% higher ($P < 0.02$) in pigs fed the SH diet compared with those fed CT2. The fiber
199 intake, regardless of the technique used for the quantification (NDF, ADF, soluble and
200 insoluble dietary fiber), as well as hemicellulose content were higher ($P < 0.01$ in diets with
201 inclusion of the fiber source. The ether extract intake was higher by 230% ($P < 0.01$ in diet
202 with inclusion of SH compared to CT2.

203 The SH diet provided a NING 2.7 g/day higher ($P < 0.01$, which represents an
204 approximate 10% increase compared to CT2. The NFEC of pigs fed SH diet was 65% higher

205 (P < 0.01 than that of pigs fed CT2 diet (4.39 vs. 7.25 g/day, respectively). Thus, there was no
206 difference (P > 0.05) between the amount of NABS among the treatments, but the
207 NABS:NING was lower (P < 0.01 in the animals fed SH diet. The NURI expressed in
208 absolute terms (g/day) or expressed as the proportion of NING or NABS did not change (P >
209 0.05) with the inclusion of SH in the diet. The inclusion of SH also had no effect (P > 0.05)
210 on NRET when the result was expressed in either absolute (g/day) or proportional terms. On
211 average, NRET:NING and NRET:NABS represented 48 and 55.5% for CT2 and SH diets,
212 respectively. When comparing these data with the NRET_{EST}, the differences were 7 and 4.5%
213 for CT2 and SH diets, respectively.

214

215 **4. Discussion**

216 *4.1 Trial 1 – wheat bran*

217 The higher intake of N observed in pigs receiving the WB diet was expected, since in
218 these diets WB replaced starch, which is virtually free of N. This protocol has allowed for all
219 the extra N in the WB diet to come from WB, although this does not exclude the additional
220 effect of WB protein on the CT1 diet protein, which may increase its quality. Nevertheless,
221 this fact does not prevent evaluation of the hypothesis developed for this study.

222 Several authors have reported that the addition of WB in pig diets increases the NFEC
223 (Wang et al., 2006; Myrie et al., 2008). This is because WB contains a significant
224 concentration of fiber. The increase in amount of N that reaches the large intestine in response
225 to fiber intake increases intestinal endogenous losses of N (Schulze et al., 1995).
226 Microorganisms use this N for their development and growth, which causes increased
227 bacterial N in feces (Jha and Berrosco, 2016). The high starch content in the CT1 diet may
228 have contributed to the increase in the proportion of NABS observed in this treatment, since
229 starch reduces diet abrasiveness and induces lower endogenous N loss (Wang et al., 2006).

230 The difference in NURI (g/day) observed between the diets can be explained, at least
231 in part, by the higher digestible N content in the WB diet; therefore, this result was expected.
232 A large part of the NURI comes from the AA absorbed above requirements or that are
233 unbalanced in relation to the ideal profile (NRC, 2012). High fiber feedstuffs, especially those
234 containing soluble fiber, as is the case of WB, increase the endogenous losses of N and AA,
235 especially threonine (Myrie et al., 2008; Blank et al., 2012.). The statistical equality observed
236 in NURI:NABS indicates that the addition of WB in the diet did not affect the post-absorptive
237 utilization of N and AA, which also was observed in the study of Hansen et al. (2006) when
238 including beet pulp, SH or pectin in diets for pigs.

239 Based on estimates, the NRET_{EST} should be 17.95 and 22.12 g/day for CT1 and WB
240 diets, respectively. These values represent 91 and 100% of observed NRET. It is known that
241 N balance techniques overestimate NRET by between 3 and 15% (Just et al., 1982; Quiniou et
242 al., 1995), and the values obtained in this study are within this range of variation. Moreover, it
243 is also possible to assume that the most marked difference in NURI loss in the CT1 treatment
244 occurred because the fiber caused a shift in the N excretion route (Jha and Berrosco, 2016).
245 The inclusion of fiber increases the proportion of total N excreted in feces, which is more
246 stable and less sensitive to losses by volatilization, in contrast to N in urine (Jha and Berrosco,
247 2016).

248

249 *4.2 Trial 2 – soybean hulls*

250 The greater NFEC (g/day) in pigs receiving SH can be attributed in part to the higher
251 NDF of this diet, since the SH contains, on average, 60.3% of NDF. This result also was
252 obtained in studies of Senne et al. (2000) and Zervas and Zijlstra (2002). The SH inclusion
253 increases the endogenous ileal nutrient flow, which results in an increase in the amount of
254 nitrogenous compounds in the intestine, increasing microbial activity in this compartment
255 and, consequently, the NFEC (Dégen et al., 2011).

256 The increase in endogenous loss of N also occurs due to the presence of anti-
257 nutritional factors, which may be present in SH (Dilger et al., 2004) and could have
258 influenced our results. Complementary to endogenous N loss, it is likely that increased NFEC
259 occurred due to indigestible N content in SH. The concentration of N linked to NDF is
260 relatively high (16%) in this ingredient (Bindelle et al., 2008). The difference in the amount of
261 NFEC:NING was 6%, which was 5% closer to (84.7 and 78.7%) obtained by Zervas and
262 Zijlstra (2002), who compared diets with inclusion of 15% SH replacing wheat and soybean
263 meal. It is noteworthy that the SH contribution to digestible N was zero. This means that the
264 relative amount of N added by the SH was recovered fully in feces. Similar results can be
265 deduced from Dilger et al. (2004), although Zervas and Zijlstra (2002) observed a
266 contribution to the digestible N from this feedstuff.

267 The statistical equality between treatments in the amount of NURI and the proportion
268 of NURI:NABS can be interpreted to indicate there is no, or at least not a significant amount
269 of, metabolic demand from N and/or AA to promote disequilibrium of the protein profile
270 available for protein synthesis.

271 The results indicate that the extra N added via SH did not contribute to the NRET. The
272 expected values of NRET_{EST} were, on average, 6.7 and 4.4% lower than those observed with

273 SH and CT2 diets, respectively. Our results are similar to those of Zervas and Zijlstra (2002),
274 who observed a reduction in the apparent protein digestibility with inclusion of SH but have
275 noted effect on NRET.

276

277 *4.3 Wheat bran vs. soybean hulls*

278 Although the feedstuffs used in this study have different NDF and ADF values, the
279 fiber contents of diets were similar due to the amounts of WB and SH included. Therefore, it
280 was possible to investigate the specific effect of fiber content of WB and SH on the N
281 balance. In the present study, it was observed that the NFEC in animals ingesting SH
282 increased by 63% compared to controls, while in those receiving diet with WB the increase
283 was 54%, indicating that the amount of NDF in SH has a greater impact on digestive events
284 than WB (Figures 2 and 3). These results are in agreement with those of Dégen et al. (2011),
285 who observed more pronounced reduction in apparent ileal digestibility of AA in animals
286 ingesting SH than in those ingesting WB.

287 The increase in NFEC may be associated with the soluble dietary fiber content of SH,
288 since this type of fiber increases the viscosity, the endogenous losses in the small intestine and
289 the amount of N that reaches the large intestine (Dégen et al., 2011). However, it is important
290 to note that the estimated proportion of hemicellulose (NDF–ADF), a soluble fiber fraction, is
291 one-third in SH and two-thirds in WB. Therefore, although admittedly some of the increase in
292 NFEC is due to soluble dietary fiber, other factors could have influenced the results. It is
293 known that anti-nutritional factors present in SH are responsible for the induction of
294 additional endogenous losses of N (Schulze et al., 1994; Myrie et al., 2008). In the present
295 study, urea activity was used as a measure of the anti-nutritional factors, and the value
296 obtained (0.13) was below the limit considered appropriate (Parsons, 2000).

297 The goal of this study was to verify whether the inclusion in quantities admitted as
298 acceptable of high-fiber feedstuffs contributes to the NRET of growing pigs. Studies show
299 that the NDF increases specific endogenous losses of AA and N in amounts that can vary
300 from 0.5 to 1.5 g/kg DMI (Schulze et al., 1995; Myrie et al., 2008). Therefore, it is possible to
301 admit that some of the AA absorbed to be used for body protein deposition will be diverted to
302 endogenous protein synthesis. As the ideal profiles of AA for maintenance and deposition are
303 different (van Milgen and Dourmad, 2015), an imbalance in the standard AA profile is
304 expected to occur, which induces an increase of NURI. Most fibrous by-products contain
305 relatively low amounts of digestible N and AA; thus, it is possible to speculate that the
306 contributions from these feedstuffs to the NRET are low or even null. When summarizing all

307 the data, it is clear that WB has promoted increased NRET, and this increase is proportional to
 308 NABS. Therefore, although WB admittedly increases specific endogenous losses due to its
 309 high fiber levels, apparently significant modification to the AA profile available for growth
 310 does not occur.

311 On the other hand, the equivalent amount of N incorporated with the SH was
 312 recovered totally in the feces, indicating a low digestibility of this ingredient, either by
 313 increasing endogenous or exogenous losses. However, it was not possible to demonstrate
 314 differences in the proportion of NRET related to NABS in the SH diet, which can be
 315 interpreted that the fiber did not affect the post-absorptive efficiency of the use of this protein.

316 Perhaps our results can be explained by the fiber level used in the control diets, which
 317 is at a level where the endogenous losses reached a plateau. Mariscal-Landín et al. (1995),
 318 using the ileal–rectal anastomosis technique, observed no differences in endogenous N losses
 319 in pigs fed diets containing 63 or 195.5 g/kg DMI of NDF. The NDF content of CT1 and CT2
 320 diets were 87.40 and 99.82 g/kg, respectively.

321

322 **5. Conclusion**

323 The inclusion of WB and SH in growing pig diets increased fecal N, although the
 324 effect caused by SH was more pronounced. The efficiency of utilization of absorbed N was
 325 not affected by the inclusion of high-fiber feedstuffs, which indicates that in the studied levels
 326 of WB or SH, inclusion does not influence significantly the metabolic costs involved in N
 327 metabolism.

328

329 **References**

- 330 AOAC, 2005. In: Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical
 331 Chemists 18th ed. AOAC, Gaithersburg, MD.
- 332 Blank, B., Schlecht, E., Susenbeth, A., 2012. Effect of dietary fibre on nitrogen retention and
 333 fibre associated threonine losses in growing pigs. *Arch. Anim. Nutr.* 66, 86–101.
- 334 Bindelle, J., Leterme, P., Buldgen, A., 2008. Nutritional and environmental consequences of
 335 dietary fibre in pig nutrition : a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12, 69–80.
- 336 Dégen, L., Halas, V., Tossenberger, J., Babinszky, L., 2011. Dietary impact of NDF from
 337 different sources on the apparent ileal digestibility of amino acids. *Acta Agr. Kaposvár.*
 338 15, 1–11.
- 339 Dilger, R.N., Sands, J.S., Ragland, D., Adeola, O., 2004. Digestibility of nitrogen and amino
 340 acids in soybean meal with added soyhulls. *J. Anim. Sci.* 82, 715–24.
- 341 Grala, W., Verstegen, M.W.A., Jansman, A.J.M., Huisman, J., van Leeuwen, P., Tamminga,

- 342 S., 1999. Effects of ileal endogenous nitrogen losses and dietary amino acid
343 supplementation on nitrogen retention in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80,
344 207–222.
- 345 Hansen, M.J., Chwalibog, A., Tauson, A. H., 2007. Influence of different fibre sources in
346 diets for growing pigs on chemical composition of faeces and slurry and ammonia
347 emission from slurry. *Anim. Feed Sci. Technol.* 134, 326–336.
- 348 Jha, R., Berrocoso, J.F.D., 2016. Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of
349 swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review.
350 *Anim. Feed Sci. Technol.* 212, 18–26.
- 351 Just, A., Fernandez, J.A., Jorgensen, H., 1982. Nitrogen balance studies and nitrogen
352 retention. In: INRA (Ed.), *Physiologie Digestive Chez le Porc. Les colloques de*
353 *l'INRA*, vol. 12, pp. 111–122.
- 354 Kerr, B.J., Shurson, G.C., 2013. Strategies to improve fiber utilization in swine. *J. Anim. Sci.*
355 *Biotechnol.* 4, 1–11.
- 356 Le Goff, G., Noblet, J., 2001. Comparative total tract digestibility of dietary energy and
357 nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.* 79, 2418–2427.
- 358 Lindberg, J.E., 2014. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *J Anim Sci Biotechnol*
359 5, 15.
- 360 Mariscal-Landin, G., Seve, B., Colleaux, Y., Lebreton, Y., 1995. Endogenous amino nitrogen
361 collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of
362 estimation and altered by dietary fiber. *J. Nutr.* 125, 136–146.
- 363 Metzler, B.U., Mosenthin, R., 2008. A review of interactions between dietary fiber and the
364 gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism
365 in growing pigs. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 21, 603–615.
- 366 Minitab Statistical Software. 2013. Release 16.1 for windows. Minitab inc. State College PA:
367 USA.
- 368 Moughan, P.J., 1998. Protein metabolism in the growing pig. In: Kyriazakis, I. (Ed.), *A*
369 *Quantitative Biology of the Pig*. CABI Publishing, Oxon, UK, pp. 299–331.
- 370 Myrie, S.B., Bertolo, R.F., Sauer, W.C., Ball, R.O., 2008. Effect of common antinutritive
371 factors and fibrous feedstuffs in pig diets on amino acid digestibilities with special
372 emphasis on threonine. *J. Anim. Sci.* 86, 609–19.
- 373 NRC, 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th rev. ed. National Academies Press,
374 Washington, DC.
- 375 Parsons, C.M., 2000. Assessment of nutritional quality of soy products for animals. In:
376 Drackley, J.K. (Ed.). *Soy in animal nutrition*. Illinois: Federation of Animal Science
377 Societies, pp. 90–105.
- 378 Quiniou, N., Dubois, S., Noblet, J., 1995. Effect of dietary crude protein level on protein and
379 energy balances in growing pigs: comparison of two measurement methods. *Livest.*
380 *Prod. Sci.* 41, 51–61

- 381 Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Donzele, J.L., 2011. Brazilian table for poultry and swine:
382 Food composition and nutrient requirements, 3th ed. Universidade Federal de Viçosa,
383 MG, Brazil.
- 384 Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed
385 materials. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- 386 Schulze, H., van Leeuwen, P., Verstegen, M.W., Huisman, J., Souffrant, W.B., Ahrens, F.,
387 1994. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and
388 ileal nitrogen losses in pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 2362–2368.
- 389 Senne, B. W., Carter, S. D., Pettey, L. A., Shriver, P. A., 2000. Nitrogen and phosphorus
390 excretion from pigs fed different soybean fractions. *Anim. Sci. Research.* 1, 129– 135.
- 391 Van Milgen, J., Dourmad, J.-Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *J.*
392 *Anim. Sci. Biotechnol.* 6, 15.
- 393 Van Soest, P. J., 1975: Physic-chemical aspects of fiber digestion. In: W. McDonald, A. C.
394 Warner (Ed.), *Proc. IV International Symposium on Ruminant Nutrition*, New England
395 Publishing Unit, NSW, Australia, pp. 351–365
- 396 Wang, J. F., Wang, M., Lin, D. G., Jensen, B. B., Zhu, Y. H., 2006. The effect of source of
397 dietary fiber and starch on ileal and fecal amino acid digestibility in growing pigs.
398 *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 19, 1040–1046.
- 399 Zervas, S., Zijlstra, R.T., 2002. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen
400 excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 3247–3256.
- 401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424

Table 1. Ingredient composition and nutrient content, as feed basis, of experimental diets.

Ingredients (g/kg)	Control 1	Wheat Bran	Control 2	Soybean hulls
Maize	623.96	623.96	743.40	743.40
Soybean meal	147.81	147.81	127.80	127.80
Starch	200.00	8.85	90.00	5.00
Wheat bran	-	150.00	-	-
Soybean hulls	-	-	-	60.00
Soya oil	3.85	45.00	10.00	35.00
Limestone	5.44	5.44	5.70	5.70
Bicalcium phosphate	9.76	9.76	13.50	13.50
Salt	4.25	4.25	4.50	4.50
L-lysine	1.67	1.67	2.00	2.00
DL-methionine	0.24	0.24	0.10	0.10
L-threonine	0.02	0.02	-	-
Minerals e vitamins	3.00	3.00	3.00	3.00
Total	1000	1000	1000	1000
Composition (g/kg)				
Dry matter*	860.60	874.70	873.60	883.90
Protein*	124.36	142.75	117.50	124.90
Ether extract ¹	40.9	73.9	37.9	85.9
Metabolizable energy, kcal/kg ¹	3300	3322	3298	3336
Net energy, kcal/kg ¹	2568	2576	2569	2577
Neutral detergent fiber*	87.40	143.10	99.82	137.75
Acid detergent fiber*	27.21	46.60	29.83	55.23
Total dietary fiber ²	109.00	172.70	120.60	166.50
Soluble fiber ²	14.10	20.30	15.70	19.10
Insoluble fiber ²	94.90	152.40	104.90	147.30
Lysine ³	6.14	6.76	6.12	6.35
Methionine ³	1.97	2.23	1.89	1.94
Methionine + cystine ³	3.69	4.31	3.72	3.83
Threonine ³	4.19	4.65	4.01	4.14
Tryptophan ³	1.20	1.46	1.15	1.20
Calcium ¹	5.00	5.20	6.00	6.30
Digestible phosphorus ¹	2.50	3.20	3.10	3.10
Sodium ¹	1.70	1.70	1.80	1.80

*Analyzed values.

¹Amount/kg of vitamin and mineral premix: retinyl acetate, 13,500,000 IU; cholecalciferol, 1,950,000 IU; DL- α -tocopheryl acetate, 85,000 IU; menadione, 2,450 mg; thiamine, 950 mg; riboflavin, 4,000 mg; pyridoxine, 2,400 mg; cyanocobalamin, 29,000 mcg; niacin, 24 g; pantothenic acid, 9,500 mg; D-biotin, 95 mg; folic acid 1,450 mg; Fe (ferrous sulfate), 100 g; Cu (copper sulfate), 15 g; Zn (zinc sulfate), 150 g; Mn (manganese oxide), 70 g; Se (sodium selenite), 450 mg; I (potassium iodate), 1,400 mg.

²Calculated values by Rostagno et al, (2011).

³Calculated values by Huang et al, (2015) and Pascoal et al, (2015).

⁴Obtained by multiplying the analyzed amino acid content by the standardized digestibility coefficient by Sauvart et al (2004).

Table 2. Nutritional composition of fiber sources used in the experiments.

Nutritional Composition	Wheat bran	Soybean hulls
Crude energy ¹ , kcal/kg	3775	3721
Digestible energy ² , kcal/kg	2504	2261
Metabolizable energy ² , kcal/kg	2390	2207
Dry matter ¹ , g/kg	866.50	869.50
Mineral matter ¹ , g/kg	45.50	42.60
Crude protein ¹ , g/kg	143.60	119.80
Crude fiber ² , g/kg	95.00	327.00
Total dietary fiber ³ , g/kg	424.40	763.70
Insoluble fiber ³ , g/kg	383.30	706.90
Soluble fiber ³ , g/kg	41.10	56.60
Neutral detergent fiber ¹ , g/kg	602.70	358.40
Acid detergent fiber ¹ , g/kg	125.10	410.70
Ether extract ² , g/kg	35.00	30.00

¹Analysed values; ²Values by Rostagno et al (2011); ³Values by Huang et al, (2015) and Pascoal et al, (2015).

Table 3. Amino acid compositions of wheat bran and soybean hulls

Amino acids	g/kg as fed basis		g/kg in crude protein	
	Wheat bran	Soybean hulls	Wheat bran	Soybean hulls
Lysine	6.30	7.19	43.90	60.00
Methionine	2.50	1.44	17.40	12.00
Methionine + cystine	5.60	3.35	39.00	28.00
Threonine	5.10	4.31	35.50	36.00
Tryptophan	2.30	1.44	16.00	12.00
Leucine	9.60	7.43	66.90	62.00
Isoleucine	4.90	4.31	34.10	36.00
Histidine	4.60	2.76	32.00	23.00
Phenylalanine	5.90	4.43	41.10	37.00
Arginine	11.00	5.87	76.60	49.00
Valine	6.70	5.03	46.70	42.00
Cystine	3.10	1.92	21.60	16.00

Table 4. Effects of fiber intake on dry matter and nitrogen balance of growing pigs

Variables	Treatments					Treatments				
	Control 1	WB	SEM	CV, %	PROB	Control 2	SH	SEM	CV, %	PROB
Replicates	6	6	-	-	-	6	6	-	-	-
Initial body weight, kg	57.20	57.52	0.86	3.67	0.80	72.62	72.75	1.78	5.98	0.96
Final body weight, kg	62.78	63.70	1.15	4.45	0.59	76.67	76.53	1.92	6.14	0.96
Dry matter intake, g/d	1700.30	1735.40	19.30	2.76	0.23	1955.30	1981.00	36.20	4.50	0.62
Excreted feces, g/d	386.58	693.16	25.50	10.81	0.00	556.00	669.40	54.40	21.75	0.17
Dry matter excreted, g/d	139.60	212.91	7.67	10.67	0.00	170.70	222.00	12.80	15.94	0.02
Water in feces, g/d	247.20	480.20	20.90	14.04	0.00	385.30	447.30	43.90	25.60	0.34
NDF intake, g/d	172.68	283.91	2.51	2.69	0.00	223.41	308.74	4.94	4.58	0.00
ADF intake, g/d	53.75	92.45	0.80	2.68	0.00	66.77	123.78	1.87	4.73	0.00
Hemicellulose intake, g/d	115.62	160.70	1.52	2.69	0.00	156.65	184.95	3.16	4.52	0.00
Soluble fiber intake, g/d	27.95	40.30	0.37	2.69	0.00	35.23	42.89	0.72	4.53	0.00
Insoluble fiber intake, g/d	187.53	302.39	2.69	2.69	0.00	234.81	330.19	5.29	4.58	0.00
Ether extract intake, g/d	69.71	128.23	1.09	2.70	0.00	74.15	170.14	2.43	4.88	0.00
Nitrogen balance										
Ingested, g/d	39.31	45.30	0.47	2.71	0.00	42.08	44.80	0.80	4.51	0.04
Fecal, g/d	3.45	5.43	0.18	9.86	0.00	4.39	7.25	0.36	15.30	0.00
Absorbed, g/d	35.86	39.88	0.46	2.97	0.00	37.69	37.54	0.63	4.12	0.87
Absorbed/ingested, g/g	0.91	0.88	0.00	0.01	0.00	0.90	0.84	0.01	1.95	0.00
Urinary, g/d	16.14	17.69	0.46	6.67	0.04	17.14	16.50	0.76	11.05	0.56
Urinary/ingested, g/g	0.41	0.39	0.01	0.05	0.13	0.41	0.37	1.42	8.95	0.08
Urinary/absorbed, g/g	0.45	0.44	0.01	5.58	0.67	0.45	0.44	0.02	8.50	0.50
Retained, g/d	19.72	22.18	0.44	5.14	0.00	20.55	21.04	0.50	5.87	0.50
Retained/ingested, g/g	0.50	0.49	0.01	5.05	0.94	0.49	0.47	0.01	6.46	0.32
Retained/absorbed, g/g	0.55	0.56	0.01	4.52	0.67	0.55	0.56	0.02	6.90	0.50

WB, diet with 15% of wheat bran inclusion; SH, diet with 6% of soybean hulls inclusion; SEM, Standard error of means; CV, Coefficient of variation; PROB, Probability; NDF, Neutral detergent fiber; ADF, Acid detergent fiber.

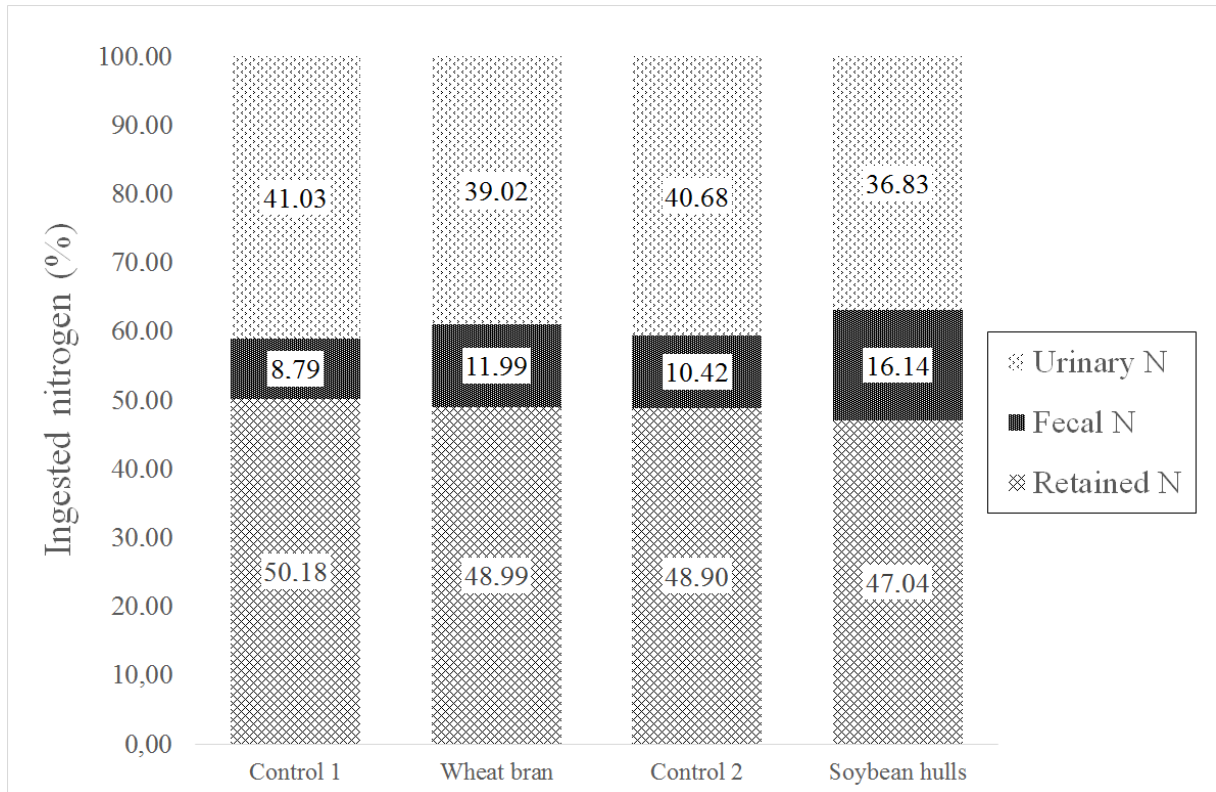


Figure 1. Distribution of ingested nitrogen (N) into the feces, urine and retained N (expressed as percentage of ingested N)

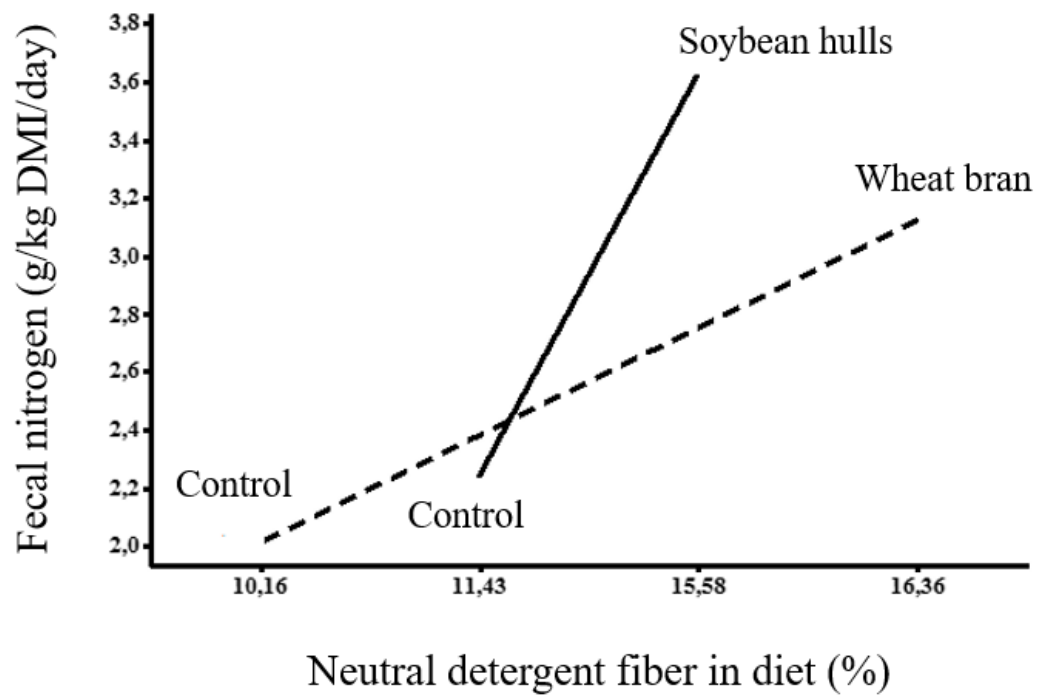


Figure 2. Impact of neutral detergent fiber concentration (%) of different fiber sources in the fecal nitrogen (g/kg dry matter intake (DMI))

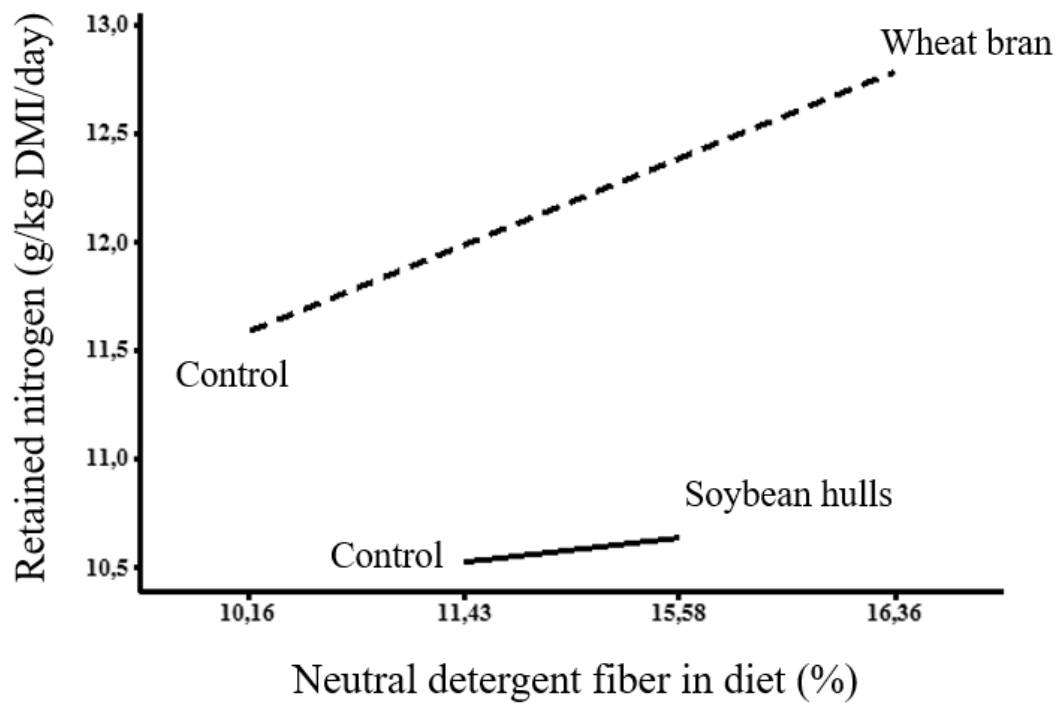


Figure 3. Effect of different sources of neutral detergent fiber on the retained nitrogen (g/kg dry matter intake (DMI))

5 DISCUSSÃO GERAL

Embora exista apelo para utilização de alimentos fibrosos na alimentação de suínos, estudos comprovam que a fibra induz alterações na quantidade e composição da proteína recuperada na digesta ileal. A fibra atua aumentando as secreções digestivas e a descamação e renovação de células epiteliais. Altera a taxa de reabsorção das proteínas secretadas para proteção do trato gastrointestinal, culminando em maior perda endógena de nitrogênio (N) e aminoácidos (AA). Entretanto, a fibra inclui uma grande variedade de componentes, que diferem em suas propriedades físico-químicas e em seus efeitos fisiológicos, tornando difícil afirmar quais frações são responsáveis pelos efeitos observados nas perdas endógenas de N (LETERME et al., 2000).

Sabendo que a fibra estimula o aumento das perdas endógenas, é possível admitir que parte dos AA absorvidos e que originalmente iriam ser utilizados para deposição de proteína corporal serão desviados para síntese de proteínas endógenas. Como o perfil de AA ideal para manutenção e deposição é diferenciado (van MILGEN e DOURMAD, 2015), espera-se que ocorra desequilíbrio no padrão de AA, o que induzirá aumento de N urinário. A maioria dos subprodutos fibrosos contém quantidades relativamente baixas de N e AA digestíveis e assim, é possível especular que a contribuição desses alimentos para a retenção de N é baixa ou até mesmo nula.

Frente a essa problemática, os objetivos dessa dissertação foram: determinar, através de meta-análise, a influência da fibra nas perdas endógenas de N e AA e identificar formas de expressão da fibra que podem servir como preditores destas perdas e, por meio de um ensaio de digestibilidade, avaliar se a inclusão de alimentos fibrosos, farelo de trigo (FT) e casca de soja (CS), em dietas para suínos em crescimento influencia a eficiência com que o N dietético é utilizado para retenção de proteína.

Observando os resultados obtidos em nosso artigo 1, percebe-se que a fibra influencia as perdas endógenas específicas de treonina e valina mais intensamente que os demais AA. O efeito da fibra como estimulador de perdas endógenas de treonina já foi demonstrado em outros estudos (MYRIE et al., 2008; BLANK et al., 2012) e tem como justificativa sua participação nas proteínas secretadas no intestino, em especial a mucina. O mesmo acontece para valina que cuja perda sofre aumento devido a ação da fibra da dieta (JANSMAN et al., 2002).

A FDN juntamente com a FDT, foram as variáveis que melhor descreveram as perdas endógenas de N. É interessante salientar importância prática dessa identificação. Tendo em

vista que o nutricionista decide incluir subprodutos fibrosos em dietas para suínos, e tendo em mãos as equações que foram descritas em nosso artigo 1, seria possível antecipar os efeitos causados pela inclusão de fibra, e corrigi-los através da adição de AA sintéticos, por exemplo.

A proximidade observada entre os resultados obtidos para perdas endógenas de N quando se utilizou FDT ou FDN como variável independente é, de certa forma, interessante. A determinação da FDT, considerada o conceito mais próximo de verdadeira fibra dietética, é mais onerosa e demorada quando comparada com a metodologia de FDN e FDA (MERTENS, 2003). Se pensarmos do ponto de vista da utilização prática de nossas equações, o emprego do conteúdo de FDN como variável preditora das perdas endógenas de N, se torna muito mais cômodo, por ser uma técnica bastante difundida e de maior repetibilidade.

Ao analisarmos os dados obtidos em nosso ensaio de digestibilidade (artigo 2), fica evidente que o FT promoveu aumento no N retido (NRET) e que esse aumento foi proporcional ao N absorvido (NABS). Diante disso, embora se admita que o FT provoque perdas endógenas específicas em razão de possuir teores elevados de fibra, aparentemente não ocorre alteração substancial no perfil de AA disponíveis para crescimento.

Por outro lado, a quantia de N incorporada com a CS foi totalmente recuperada nas fezes, indicando uma baixa digestibilidade desse ingrediente, quer seja pelo aumento das perdas endógenas ou exógenas. Contudo, não foi possível demonstrar diferenças na proporção de NRET em relação ao NABS na dieta com CS, o que pode ser interpretado como um indicativo de que a eficiência de utilização pós-absortiva dessa proteína não sofreu influência da fibra.

Talvez os resultados de nosso possam ser explicados em razão de os teores de fibra utilizados na dieta controle, uma vez que parece haver um limite de fibra acima do qual as perdas endógenas atingem o platô. Mariscal-Landín et al. (1995) utilizando a técnica de anastomose íleo-retal verificaram que não houve diferença nas perdas endógenas de nitrogênio de suínos alimentados com dieta contendo 63 ou 195,5 g de FDN por quilo de dieta. O conteúdo de FDN das dietas CT1 e CT2 foram de 87,40 e 99,82 g/kg, respectivamente.

De uma maneira geral, existem muitos estudos que buscam avaliar alimentos fibrosos como fontes contribuidoras de energia, mas poucos que tenham objetivado mensurar a real contribuição, ou os custos metabólicos, desses alimentos para o balanço de N e AA dos suínos. O que pode ser interpretado a partir de nossos dados, é que essa contribuição é dependente da fonte de fibra utilizada. Entretanto, ao menos dentro dos níveis estudados, a fibra não prejudicou a utilização pós-absortiva do N. Sendo a absorção e conseqüentemente retenção do N, dependente do quão digestível é a fonte de fibra utilizada.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na meta-análise, é possível assumir as perdas endógenas de nitrogênio e aminoácidos são diretamente proporcionais ao consumo de fibra. A mensuração da fibra pela metodologia da fibra dietética total e fibra em detergente neutro foram as variáveis que melhor descreveram essa relação.

O perfil de aminoácidos da proteína perdida é alterado, entretanto alguns são mais influenciados o que outros, como a treonina, por exemplo. Contudo, as perdas específicas de nitrogênio e aminoácidos são diretamente proporcionais à quantidade de fibra, o que equivale a dizer que o padrão da proteína permanece constante independente do teor de fibra. Evidentemente que isso é válido para os aminoácidos e níveis de fibra estudados.

Os resultados obtidos no experimento de digestibilidade indicam que a inclusão de farelo de trigo e casca de soja, em dietas para suínos em crescimento, aumentou o nitrogênio fecal, entretanto o efeito causado pela casca de soja foi mais pronunciado.

A eficiência de utilização do nitrogênio absorvido não foi afetada pela inclusão de alimentos fibrosos, o que indica, ao menos nos níveis estudados, que a adição de farelo de trigo ou casca de soja não influenciou significativamente os custos metabólicos envolvidos no metabolismo de nitrogênio.

REFERÊNCIAS

AARNINK, A. J. A.; VERSTEGEN, M. W. A. Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. **Livestock Science**, v. 109, n. 1-3, p. 194-203, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141307001126>>. Acesso em: 10 fev. 2016. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.01.112.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS) **Official methods of analysis**, Arlington. AOAC, 2005.

BACH KNUDSEN, K. E.; HANSEN, I. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. **The British journal of nutrition**, v. 65, n. 2, p. 217-232, 1991. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1645992>>. Acesso em: 16 mar. 2015. DOI: 10.1079/BJN19910082.

BACH KNUDSEN, K. E. The nutritional significance of dietary fibre analysis. **Animal Feed Science and Technology**. v. 90, p. 3-20, 2001. Disponível em: <[http://www.animalfeedscience.com/article/S0377-8401\(01\)00193-6/pdf](http://www.animalfeedscience.com/article/S0377-8401(01)00193-6/pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00193-6.

BACH KNUDSEN, K. E.; LÆRKE, H. N. Carbohydrate digestion and absorption. In: BACH KNUDSEN, K. E. et al. **Nutritional physiology of pigs** - Online publication. Foulum: Videncenter for Svineproduktion. 2012. Cap. 8, p. 160-187. Disponível em: <http://vsp.lf.dk/~media/Files/Laerebog_fysiologi/Chapter%208.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2015.

BINDELLE et al. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. **Biotechnology Agronomy Social Environment**, v. 12, n. 1, p. 69-80, 2008. Disponível em: <<http://www.pressesagro.be/base/text/v12n1/69.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BINDELLE, J. et al. Influence of source and concentrations of dietary fiber on in vivo nitrogen excretion pathways in pigs as reflected by in vitro fermentation and nitrogen incorporation by fecal bacteria. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 2, p. 583-593, 2009. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18791157>>. Acesso em: 25 out. 2015.

BLANK, B. et al. Effect of dietary fibre on nitrogen retention and fibre associated threonine losses in growing pigs. **Archives of Animal Nutrition**, v. 66, n. 2, p. 86-101, 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1745039X.2012.663669#.VsGjHfIrKUK>>. Acesso em: 9 mar. 2015. DOI: 10.1080/1745039X.2012.663669.

CAPRITA, R. et al. Chemical Methods for the Determination of Soluble and Insoluble Non-Starch Polysaccharides - Review. **Usab**, v. 44, n. 2, p. 73-80, 2011. Disponível em: <<http://www.spasb.ro/index.php/spasb/article/view/553>>. Acesso em: 12 mar. 2015. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1986.tb13116.x.

DÉGEN, L et al. **Dietary impact of NDF from different sources on the apparent ileal digestibility of amino acids**. v. 15, n. 1, p. 1-11, 2011. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4554874/pdf/ajas-28-9-1327.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 10.5713/ajas.14.0914.

DIKEMAN, C. L.; FAHEY, G. C. Viscosity as related to dietary fiber: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 46, n. 8, p. 649-663, 2006. Disponível em: < <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408390500511862?journalCode=bfsn20>>. Acesso em: 17 mar. 2015. DOI: 10.1080/10408390500511862.

ELIA, M.; CUMMINGS, J. H. Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. **European journal of clinical nutrition**, v. 61 Suppl 1, p. S40-S74, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17992186>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1602938.

GRIESHOP, C. M. et al. Nonstarch polysaccharides and oligosaccharides in swine nutrition. In: LEWIS, A. I.; SOUTHERN, L. L. (Ed.). **Swine nutrition**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 108-130.

GALASSI, G. et al. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 161, n. 3-4, p. 140-148, 2010. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840110002646>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.08.009.

HANSEN, M. et al. Influence of different fibre sources in diets for growing pigs on chemical composition of faeces and slurry and ammonia emission from slurry. **Animal Feed Science and Technology**, v. 134, n. 3-4, p. 326-336, 2006. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3643821/pdf/2049-1891-4-17.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 10.1186/2049-1891-4-17.

JANSMAN, A. J. M. et al. Evaluation through literature data of the amount and amino acid composition of basal endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 98, n. 1-2, p. 49-60, 2002. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840102000159>>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI: 10.1016/S0377-8401(02)00015-9.

JOHNSTON, L. J.; RENTERIA, A.; SHURSON, J. Feeding by-products high in concentration of fiber to non-ruminants. In: **National symposium on alternative feeds for livestock and poultry**, 3. ed., 2003, Kansas City. Disponível em: < <https://wcroc.cfans.umn.edu/sites/wcroc.cfans.umn.edu/files/Feeding%20by-products%20fiber.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

JØRGENSEN, H. et al. The energy value of short-chain fatty acids infused into the caecum of pigs. **The British journal of nutrition**, v. 77, n. 5, p. 745-756, 1997. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9175994>>. Acesso em: 16 mar. 2015. DOI: 10.1079/BJN19970072.

KYRIAZAKIS, I.; EMMANS, G. C. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk. **The British journal of nutrition**, v. 73, n. 2, p. 191-207, 1995. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7718540>>. Acesso em: 24 mar. 2015. DOI: 10.1079/BJN19950023.

LE GOFF, G.; NOBLET, J. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 9, p. 2418-2427, 2001. Disponível em: <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/pdfs/79/9/2418?search-result=1>>. Acesso em: 13 fev. 2016. DOI: doi:/2001.7992418x.

LETERME, P. et al. Effect of barley fibres and barley intake on the ileal endogenous nitrogen losses in piglets. **Journal of Cereal Science**, v. 31, n. 3, p. 229-239, 2000. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521000903060?np=y>>. Acesso em: 13 jan. 2016. DOI: 10.1006/jcrs.2000.0306.

LETERME, P. et al. The high water-holding capacity of pea inner fibers affects the ileal flow of endogenous amino acids in pigs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 8561, n. 97, p. 1927-1934, 1998. Disponível em: < <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf970955%2B>>. Acesso em: 15 mar. 2015. DOI: 10.1021/jf970955.

LETERME, P. et al. Chemical composition of pea fibre isolates and their effect on the endogenous amino acid flow at the ileum of the pig. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 72, p. 127-134, 1996. Disponível em: < [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199609\)72:1%3C127::AID-JSFA637%3E3.0.CO;2-C/epdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0010(199609)72:1%3C127::AID-JSFA637%3E3.0.CO;2-C/epdf)>. Acesso em: 25 mar. 2015. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010.

LINDBERG, J. E. Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 5, n. 1, p. 15, 2014. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3975931/>>. DOI: 10.1186/2049-1891-5-15.

LOW, A. G. Secretory response of the pig gut to non-starch polysaccharides. **Animal Feed Science and Technology**, v. 23, n. 1-3, p. 55-65, 1989. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377840189900898>>. Acesso em: 14 fev. 2016. DOI: 10.1016/0377-8401(89)90089-8

LUNN, J.; BUTTRISS, J. L. Carbohydrates and dietary fibre. **Nutrition Bulletin**, v. 32, n. 1, p. 21-64, 2007. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-3010.2007.00616.x/pdf>>. Acesso em 16 mar. 2015. DOI: 10.1111/j.1467-3010.2007.

MANTHEY, F.; HARELAND, G.; HUSEBY, D. Soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 3, p. 417-420, 1999. Disponível em: <<http://cerealchemistry.aaccnet.org/doi/abs/10.1094/CCHEM.1999.76.3.417>>. Acesso em: 13 fev. 2016. DOI: 10.1094/CCHEM.1999.76.3.417

MARISCAL-LANDIN, G. et al. Endogenous amino nitrogen collected from pigs with end-to-end ileorectal anastomosis is affected by the method of estimation and altered by dietary fiber. **Journal of Nutrition**, v. 125, n. 1, p. 136-146, 1995. Disponível em: <<http://jn.nutrition.org/cgi/content/abstract/125/1/136>>. Acesso em: 13 jan. 2016. DOI: 10.1017/S0007114512002474.

- METZLER, B. U.; MOSENTHIN, R. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 21, n. 4, p. 603-615, 2008. Disponível em: < <http://www.ajas.info/journal/view.php?number=21822>>. Acesso em: 13 fev. 2016. DOI: 10.5713/ajas.2008.r.03.
- MERTENS, D. R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 12, p. 3233-3249, 2003. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14677881>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 2003.81123233x.
- MCCLEARY, B. V. Dietary fibre analysis. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 1, p. 3-9, 2003. Disponível em: < <http://journals.cambridge.org/action/displayFulltext?type=1&fid=806816&jid=PNS&volumeId=62&issueId=01&aid=806804&bodyId=&membershipNumber=&societyETOCSession=>>>. Acesso em: 25 mar. 2015. DOI: 10.1079/PNS2002204.
- MOREL, P. C. H. et al. Effect of non-starch polysaccharides and resistant starch on mucin secretion and endogenous amino acid losses in pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 18, n. 11, p. 1634-1641, 2005. Disponível em: < <http://www.ajas.info/journal/view.php?number=21169>>. Acesso em: 19 mar. 2015. DOI: 10.5713/ajas.2005.1634.
- MROZ, Z. et al. Effects of dietary carbohydrates and buffering capacity on nutrient digestibility and manure characteristics in finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 12, p. 3096-3106, 2000. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11132824>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 2000.78123096x.
- MYRIE, S. B. et al. Effect of common antinutritive factors and fibrous feedstuffs in pig diets on amino acid digestibilities with special emphasis on threonine. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 3, p. 609-619, 2008. Disponível em: <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/articles/86/3/0860609?highlight=&search-result=1>>. Acesso em: 13 fev. 2016. DOI: 10.2527/jas.2006-793.
- NYACHOTI, C. M. et al. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 77, n. 1, p. 149-163, 1997. Disponível em: < http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/A96-044#.VsGzS_IrKUK>. Acesso em: 16 mar. 2015. DOI: 10.4141/A96-044.
- OAKENFULL, D. Physical Chemistry of Dietary Fiber. In: SPILLER, G. A. **CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition**. 3rd ed., Health Research and Studies Center, Inc. SPHERA Foundation, Los Altos, California, p. 33-44. 2001.
- PATRÁS, P. et al. Effect of dietary fiber and crude protein content in feed on nitrogen retention in pigs. **Journal of Animal Science**. v. 90, n. 1, p. 158-160, 2012. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23365315>>. Acesso em: 19 mar. 2015. DOI: 10.2527/jas.53837.

RAINBIRD, A. L. et al. Effect of guar gum on nitrogen secretion into isolated loops of jejunum in conscious growing pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 52, n. 03, p. 499-505. 1984. Disponível em: < http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FBJN%2FBJN52_03%2FS0007114584001197a.pdf&code=a9c2a680b17ccf2ce5fb4dfe7e2a40f0>. Acesso em: 15 fev. 2015. DOI: 10.1079/BJN19840117.

ROBERTSON, J. et al. Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: a European Collaborative Study. **LWT - Food Science and Technology**, v. 33, n. 2, p. 72-79, 2000. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643899905959>>. Acesso em: 16 mar. 2015. DOI: 10.106/fstl.1999.0595.

SAUVANT, D. et al. Meta-analysis of experimental data : application in animal nutrition. **Productions Animales**, v. 18, p. 63-73, 2008. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22443733>>. Acesso em: 13 mar. 2015. DOI: 10.1017/S1751731108002280.

SCHULZE, H. et al. Effect of level of dietary neutral detergent fiber on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. **Journal of animal science**, v. 72, n. 9, p. 2362-2368, 1994. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8002455> >. Acesso em 19 mar. 2015. DOI: 1994.7292362x.

SCHULZE, H. et al. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. **Journal of animal science**, v. 73, n. 2, p. 441-448, 1995. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7601777>>. Acesso em: 20 mar. 2015. DOI: 1995.732441x.

SÈVE et al. Courbe de réponse des performances de croissance du porc à l'apport de thréonine digestible vraie mesurée au niveau iléal. **Journées recherche porcine**. v. 1, n. 25, p. 255-262. 1994. Disponível em: < <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1993/93txtAlim/A9316.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

SÈVE, B.; HENRY, Y. Protein utilization in non ruminants. In: NUNES, A. F.; PORTUGAL, A. V.; COSTA, J. P.; RIBEIRO, J. R. (Eds.), **Protein Metabolism and Nutrition**, v. 81. EAAP Publication, p. 59-83, 1996.

SOUFFRANT, W. B. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. **Animal Feed Science and Technology**, v. 90, n. 1-2, p. 93-102, 2001. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840101001997>>. Acesso em: 14 mar. 2015. DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00199-7.

TAKAHASHI, T. et al. Water-holding capacity of insoluble fibre decreases free water and elevates digesta viscosity in the rat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 2, p. 245-250, 2009. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.3433/abstract>>. Acesso em: 18 mar. 2015. DOI: 10.1002/jsfa.3433.

TAKAHASHI, T.; SAKATA, T. Large particles increase viscosity and yield stress of pig cecal contents without changing basic viscoelastic properties. **The Journal of Nutrition**, v. 132, n. 5, p. 1026-1030, 2002. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11983832>>. Acesso em: 11 mar. 2015. DOI: 10.1007/s00360-008-0264-x.

URRIOLA, P. E. et al. Fiber in Swine Nutrition. In: CHIBA, L. **Sustainable Swine Nutrition**, 1. Ed. USA: Jhon Wiley & Sons, 2012. cap. 11, p. 255-276. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118491454.ch11/pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2015. DOI: 10.1002/9781118491454.ch11.

VAN MILGEN, J.; DOURMAD, J. Y. Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 6, n. 1, p. 15, 2015. Disponível em: <<http://www.jasbsci.com/content/6/1/15>>. Acesso em : 11 fev. 2016. DOI: 10.1186/s40104-015-0016-1.

WILLIAMS, W. M. **The protein composition of endogenous losses in the human gut**. 2012. 384 f. Tese (Doutorado em Nutrição Humana)–Massey University, Palmerston North, NZ. 2012.

ZHANG, W. et al. The effects of dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 17, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23587355>>. Acesso em: 12 mar. 2015. DOI: 10.1186/2049-1891-4-17.

ZIJLSTRA, R. T.; BELTRANENA, E. Swine convert co-products from food and biofuel industries into animal protein for food. **Animal Frontiers**, v. 3, n. 2, p. 48-53, 2013. Disponível em: <<https://www.animalsciencepublications.org/publications/af/pdfs/3/2/48>>. Acesso em: 21 mar. 2015. DOI: 10.2527/af.2013-0014.