

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE VETERINÁRIA  
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia**

**NÍVEIS E FONTES LIPÍDICAS NO VALOR  
ENERGÉTICO DE DIETAS PARA SUÍNOS**

**Martolino Barbosa da Costa Júnior**

**Belo Horizonte  
Escola de Veterinária - UFMG  
2018**

Martolino Barbosa da Costa Júnior

## **Níveis e fontes lipídicas no valor energético de dietas para suínos**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

Área: Nutrição e Alimentação Animal  
Orientador: Walter Motta Ferreira

Belo Horizonte  
Escola de Veterinária - UFMG  
2018

C837n Costa Júnior, Martolino Barbosa da, 1984-  
Níveis e fontes lipídicas no valor energético de dietas para suínos / Martolino Barbosa da  
Costa Júnior. – 2018.  
88 p. : il.

Orientador: Walter Motta Ferreira

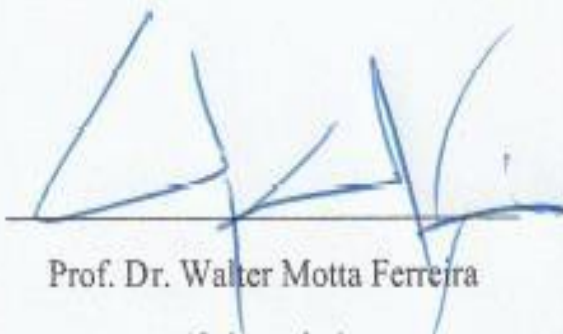
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária

Inclui bibliografia

1. Suíno – Alimentação e rações – Teses. 2. Dieta em veterinária – Teses. 3. Nutrição animal –  
Teses. 4. Valor nutricional – Teses. 5. Lipídeos – Teses. 6. Digestibilidade – Teses. I. Ferreira,  
Walter Motta. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 636.408 5

Tese defendida e aprovada em 28/02/2018 pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Walter Motta Ferreira

(Orientador)



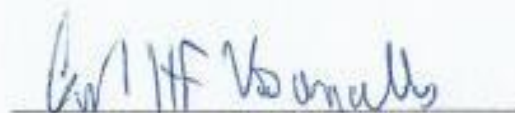
Prof. Dr. Leonardo Bôscoli Lara



Prof. Dr. Ricardo Reis e Silva



Dr. Francisco Carlos de Oliveira Silva



Prof. Dr. Carlos Henrique de Figueiredo Vasconcellos

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Martolino e Luzia, que me incentivaram em todos os momentos difíceis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força nos momentos difíceis e sempre estar comigo;

Aos meus pais, Martolino e Luzia, pelo amor e carinho, pelo apoio e oportunidade que me proporcionaram durante essa jornada;

Aos meus irmãos, Luciano, Henrique, Cida, Isabela, João e Artur, pelo incentivo e carinho que me deram nesses anos de luta;

À Universidade Federal de Minas Gerais, pelo curso de Pós-graduação de qualidade;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Walter Motta Ferreira, por ter acreditado em mim e pelo suporte que me proporcionou para a concretização deste trabalho;

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Dalton de Oliveira Fontes, pela ajuda, suporte e amizade para a concretização deste trabalho;

Aos professores da Escola de Veterinária que me ajudaram na concretização deste sonho em especial o Prof. Dr. Leonardo Bôscoli Lara, Prof. Dr. Ricardo Reis e Silva, Prof. Dr. Iran Borges;

Aos meus amigos Felipe, Clarice, Ana Paula, Leonardo, Matheus, Diogo, Katiuscia, Suzana José André, Felipe Santos, Gabriela Bastos, Lucas, Soraia, Leonardo Vaz, Mariana que sempre estiveram do meu lado e proporcionando bons momentos;

Aos meus amigos da república, André, Vitor, Leonardo, Diogo e Matheus por toda a ajuda, compreensão e pelos bons momentos;

Ao Bruno Oliver pela ajuda no fornecimento dos animais para a tese;

Ao Moacir Furtado pela doação das fontes lipídicas para a tese;

A todos os meus amigos de Ponte Nova que, mesmo de longe, torceram pelo meu sucesso;

Aos meus familiares que sempre acreditaram em mim;

A CAPES pela concessão da bolsa;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro indispensável à execução deste projeto;

Muito obrigado...

**“Quem sou eu!? Eu sou aquilo em que me dedico...”**

Autor desconhecido

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	12
CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA .....	15
1. Energia.....	15
2. Sistemas de Energia para suínos.....	16
2.1 Energia Bruta (EB).....	17
2.2 Energia Digestível (ED) .....	17
2.3 Energia Metabolizável (EM).....	18
2.4 Energia Líquida (EL).....	18
2.4.1 Equações de predição para Energia Líquida.....	19
2.5 Energia de Manutenção .....	20
3. Lipídios.....	21
3.1 Digestão e absorção de lipídeos.....	23
4. Metabolismo Energético .....	24
5. Técnicas para medir a produção de calor.....	24
5.1 Método calorimétrico .....	25
5.2 Método de calorimetria indireta .....	25
6. Digestibilidade <i>in vivo</i> .....	26
7. Digestibilidade <i>in vitro</i> .....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34
CAPÍTULO II - EFEITO DO NÍVEL DE ÓLEO SOBRE A DIGESTIBILIDADE <i>IN VIVO</i> , <i>IN VITRO</i> E CALORIMETRIA DE RAÇÕES PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO .....	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT.....	42
1. INTRODUÇÃO.....	43
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
2.1 Local e instalações.....	44
2.2 Digestibilidade .....	44
2.3 Determinação dos valores de energia digestível e metabolizável aparente.....	45
2.4 Análises Químicas .....	49
2.5 Análise estatística .....	49
3. RESULTADOS .....	49
3.1 Digestibilidade Aparente da MS, Energia, PB e balanço de N.....	49
4. DISCUSSÃO .....	61

5. CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
CAPÍTULO III - EFEITO DA ORIGEM DE LIPÍDIOS SOBRE A DIGESTIBILIDADE <i>IN VIVO</i> , <i>IN VITRO</i> E ENERGIA LÍQUIDA DE RAÇÃO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO .....	67
RESUMO .....	67
ABSTRACT .....	68
1. INTRODUÇÃO .....	69
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	70
2.1 Local e instalações .....	70
2.2 Ensaio de Digestibilidade .....	70
2.3 Análises Químicas .....	75
2.4 Análise estatística .....	75
3. RESULTADOS .....	75
3.1 Digestibilidade Aparente da MS, Energia Bruta, proteína e balanço de N.....	76
4. DISCUSSÃO .....	84
5. CONCLUSÕES .....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Métodos <i>in vitro</i> utilizados para suínos .....	28
<b>Tabela 2.</b> Valores de ED (kcal/kg MS) <i>in vitro</i> (IVED), <i>in vivo</i> e equação.....	32
<b>Tabela 3.</b> Relação (R2) entre as características <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> usando duas técnicas de digestibilidade <i>in vitro</i> .....	32
<b>Tabela 4.</b> Composição centesimal e nutricional da dieta experimental para suínos machos castrados em fase de crescimento .....	45
<b>Tabela 5.</b> Composição do Óleo de Soja analisada e estimada da Matéria Seca (MS), Energia Bruta (EB) e Extrato Etéreo.....	49
<b>Tabela 6.</b> Coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da energia bruta (CDEB), da proteína bruta (CDPB) e do extrato etéreo (CDEE) e proteína bruta digestível (PBD) para os diferentes níveis de inclusão de óleo.....	50
<b>Tabela 7.</b> Valores de energia digestível (ED), energia metabolizável aparente (EMA), energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) e energia líquida (EL) e eficiência energética para os diferentes níveis de inclusão de óleo.....	53
<b>Tabela 8.</b> Balanço de nitrogênio para os diferentes níveis de inclusão de óleo.....	56
<b>Tabela 9.</b> Valores médios do coeficiente de digestibilidade da matéria seca <i>in vivo</i> (CDMS), digestibilidade <i>in vitro</i> com Viscozyme® (DivV) e digestibilidade <i>in vitro</i> com inoculo fecal (DivF) para as diferentes inclusões de óleo de soja.....	59
<b>Tabela 10.</b> Composição centesimal e nutricional da dieta experimental para suínos machos castrados em fase de crescimento .....	71
<b>Tabela 11.</b> Composição dos Ingredientes analisadas e estimada (alimentos teste) .....	75
<b>Tabela 12.</b> Coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da energia bruta (CDEB), da proteína bruta (CDPB) e do extrato etéreo (CDEE) e proteína bruta digestível (PBD) para diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada .....	77
<b>Tabela 13.</b> Valores de energia digestível (ED), energia metabolizável aparente (EMA), energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) e energia líquida (EL) e eficiência energética para diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.....	79
<b>Tabela 14.</b> Balanço de nitrogênio para as diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada .....	81
<b>Tabela 15.</b> Valores médios do coeficiente de digestibilidade da matéria seca <i>in vivo</i> (CDMS), digestibilidade <i>in vitro</i> com Viscozyme® (DivV) e digestibilidade <i>in vitro</i> com inoculo fecal (DivF) para as diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.....	83

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de partição de energia. ....	17
<b>Figura 2.</b> Relação entre os valores medidos de energia líquida (el) mensurada dos alimentos (n = 41; calorimetria) e el calculada de acordo com as equações de predição el (adaptado de noblet et al., 1994b) .....	20
<b>Figura 3.</b> Esquema câmara de respiração circuito aberto (Adaptado Sakomura e Rostagno, 2016).....	25
<b>Figura 4.</b> Comparação da digestibilidade da matéria orgânica, nitrogênio e de amido de uma dieta completa medida <i>in vivo</i> e <i>in vitro</i> : S1-Digestibilidade duodenal <i>in vivo</i> ou digestibilidade <i>in vitro</i> após hidrólise de pepsina, S2- Digestibilidade ileal <i>in vivo</i> ou digestibilidade <i>in vitro</i> após a hidrólise de pepsina + Pancreatina® e S3 Digestibilidade fecal <i>in vivo</i> ou digestibilidade <i>in vitro</i> após hidrólise pepsina + Pancreatin® + Viscozyme®. (Adaptado de Wilfart et al., 2008). ....	31
<b>Figura 5.</b> Gráficos da regressão linear para as variáveis de CDMS (A), CDEB (B), CDPB (C) e CDEE (D) com suas respectivas equações e valores de R <sup>2</sup> .....	51
<b>Figura 6.</b> Gráficos da regressão linear para as variáveis de ED (A), EM (B), EMAn (C), EL (D), EM/ED (E), EL/EM (F) e EL/ED (G) com suas respectivas equações e valores de R <sup>2</sup> . 55	55
<b>Figura 7.</b> Gráficos da regressão linear para as variáveis de N ingerido (A), N excretados nas fezes (B), N retido em porcentagem (C) e N retido em g/dia (D) com suas respectivas equações e valores de R <sup>2</sup> .....	57
<b>Figura 8.</b> Gráficos da regressão linear para as variáveis de digestibilidade <i>in vivo</i> (A), digestibilidade <i>in vitro</i> com Viscozyme® (B) e digestibilidade <i>in vitro</i> com fezes como inoculo (C) e com suas respectivas equações e valores de R <sup>2</sup> . ....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS

AG.....	Ácidos Graxos
ATP.....	Adenosina Trifosfato
CA.....	Conversão alimentar
CDA.....	Coefficiente de digestibilidade aparente
CDEB.....	Coefficiente de digestibilidade da energia bruta
CDEE.....	Coefficiente de digestibilidade do extrato etéreo
CDMS.....	Coefficiente de digestibilidade da matéria seca
CDPB.....	Coefficiente de digestibilidade da proteína bruta
CH <sub>4</sub> .....	Gás metano
CO <sub>2</sub> .....	Dióxido de carbono
CRD.....	Consumo de ração diário
CV.....	Coefficiente de variação
DDGS.....	Grãos de destilaria solúveis
DTAA.....	Digestibilidade total trato aparente
DIV-CEL.....	Digestibilidade <i>in vitro</i> com celulase
DivF.....	Digestibilidade <i>in vitro</i> com fezes
DIV-VIS.....	Digestibilidade <i>in vitro</i> com Viscozyme <sup>®</sup>
EB.....	Energia bruta
ED.....	Energia digestível
EE.....	Extrato etéreo
EL.....	Energia líquida
ELm.....	Energia líquida de manutenção
EM.....	Energia Metabolizável
EMA.....	Energia metabolizável aparente
EMAn.....	Energia metabolizável aparente corrigida pela retenção de nitrogênio
EMpf.....	Energia metabolizável disponível para retenção de energia corporal
ET.....	Espessura de toucinho
GA.....	Gordura de aves
g.....	Gramas
GPD.....	Ganho de peso diário
GS.....	Gordura suína

IC ..... Incremento calórico  
IVED..... Energia digestível in vitro  
K .....Eficiência de utilização da energia metabolizável  
kcal.....Quilocaloria  
kf ..... Eficiência de utilização da energia metabolizável para deposição de gordura  
kg .....Eficiência de utilização da energia metabolizável para ganho  
Kg .....Quilograma  
km. .... Eficiência de utilização da energia metabolizável para manutenção  
kp.....Eficiência de utilização da energia metabolizável para deposição de proteína  
L..... Litro  
mL..... Mililitro  
MO..... Matéria Orgânica  
MS.....Matéria seca  
MSinv. ....Matéria seca in vitro  
NC..... Nitrogênio consumido  
NDT. .... Nutrientes digestíveis totais  
NF ..... Nitrogênio excretado nas fezes  
NU.....Nitrogênio excretado na urina  
NR..... Nitrogênio retido  
OS. .... Óleo de soja  
p ..... Peso  
PB .....Proteína bruta  
PBD.....Proteína bruta digestível  
PC .....Produção de calor  
PV. .... Peso vivo  
SIE. .... Soja integral extrusada  
SSDCC.....Sistema simulado de digestão controlado por computador  
TGI.....Trato gastrointestinal  
v ..... Volume

## INTRODUÇÃO GERAL

O rápido desenvolvimento no sistema tecnológico e a globalização do mercado faz com que o setor agropecuário, necessite de maior eficiência para manter os sistemas produtivos competitivos nos vários seguimentos da cadeia produtiva. Para o avanço da criação de suínos, é de suma importância conciliar os conhecimentos científicos com os métodos aplicados no campo para a nutrição. Neste sentido, uma adequada avaliação nutricional dos alimentos utilizados é importante econômica e socialmente, visando reduzir os custos de produção animal, assim como os impactos gerados na contaminação do ambiente.

A alimentação na suinocultura é responsável por 60% a 70% dos custos de produção. Uma melhoria na eficiência alimentar é, portanto, a principal preocupação para manter ou melhorar a competitividade da indústria de suínos. Surpreendentemente, pelo menos 50% destes custos de alimentação podem ser atribuídos ao fornecimento de energia para o animal, tornando a energia financeiramente o princípio nutritivo mais importante. Entretanto, é fundamental pesquisar os sistemas de energia utilizados para melhor atender as necessidades de energia do animal (Payne et al., 2007).

Uma fonte de energia e nutrientes são essenciais para otimizar a produção de suínos, portanto, são necessárias informações mais precisas sobre as necessidades energéticas e nutricionais além dos valores nutritivos dos ingredientes das rações e dietas. Um dos principais objetivos das pesquisas na área de nutrição dos suínos é tentar combinar os requisitos de energia e nutrientes com as quantidades de energia e nutrientes dos alimentos com melhor custo benefício. No entanto, o recente aumento nos custos de alimentação e crescentes preocupações sobre a poluição ambiental têm desafiado os nutricionistas a escolherem de forma precisa os ingredientes e os sistemas de avaliação de energia que maximizam a utilização da energia nas dietas dos suínos (Kil et al., 2013a).

A avaliação do conteúdo energético dos alimentos para suínos tem sido baseada em sua energia bruta (EB), energia digestível (ED) ou energia metabolizável (EM). Entretanto, a estimativa mais próxima do valor real do conteúdo de energia de um alimento deve ser seu conteúdo de energia líquida (EL), por considerar as diferenças de utilização de energia entre os nutrientes. Além disso, a EL é o único sistema em que as necessidades energéticas e os valores de energia da dieta são expressos em uma mesma base que, teoricamente, deveria ser independente das características dos alimentos (Noblet, 2007). Para otimizar a eficiência de utilização dos alimentos faz-se necessário o conhecimento do valor energético dos mesmos, assim como sua importância nutricional e econômica quando relacionados à formulação de

rações. Desta forma, o sistema de energia tem a finalidade de descrever a energia disponível na ração que será destinada para suprir a desde a sua necessidade de manutenção até o seu maior nível de desempenho do animal (Sakomura e Rostagno, 2016).

Em se tratando de fonte energética para alimentação animal temos os óleos e as gorduras, que são pouco solúveis em água, mas sendo solúveis em compostos orgânicos e provenientes de processos industriais de grãos de oleaginosas, alguns cereais e carnes. Além disso, a utilização destes na alimentação de suínos têm o intuito de fornecer energia e ácidos graxos essenciais, além de proporcionar um aumento na energia das rações e a melhoria na palatabilidade. A inclusão de óleos e gorduras contribui ainda para a melhora da conversão alimentar e absorção de vitaminas lipossolúveis (Pupa, 2004).

A avaliação dos alimentos utilizados em rações para suínos, é feita através de análises químicas dos diferentes nutrientes, e quando aliados aos valores de digestibilidade *in vivo* presentes nas tabelas de composição dos alimentos e exigências nutricionais (Henry et al., 1988), proporciona uma estimativa mais precisa do que está realmente sendo aproveitado. Os resultados da composição química e da digestibilidade dos alimentos determinam o valor nutritivo dos mesmos, assim, para que um alimento tenha um elevado valor nutricional, deve possuir em sua composição um alto teor de nutrientes e uma boa digestibilidade.

Entretanto, as determinações da digestibilidade *in vivo* tem sido demorada e muito dispendiosa. Assim a técnica de digestibilidade *in vitro* vem sendo amplamente utilizada e bastante desenvolvida para determinar o valor nutritivo dos alimentos (Pessoa, 2016). Com este intuito, o método *in vitro* tem sido empregado como uma técnica rápida e viável, para determinar a digestibilidade de nutrientes em alimentos para cada espécie animal, para então, se conseguir uma utilização mais precisa em formulações de rações e dietas completas. Contudo, a digestibilidade *in vitro* nunca poderá simular exatamente todos os processos químicos e físicos como ocorre na digestibilidade *in vivo*, pois a ocorrência de quaisquer alterações nas condições do método de incubação *in vitro* pode modificar a relação entre a digestibilidade *in vivo* e a *in vitro* de maneira diferente entre os alimentos, podendo ainda ser mais significativa quando os alimentos apresentam uma composição de nutrientes diferentes (Boisen e Fernandez, 1997).

Para Boisen e Fernandez (1993), um método *in vitro* que tenha uma validade real para todos os tipos de alimentos para os animais deve ser acurado de modo que o seu potencial permita à verdadeira digestibilidade das frações dos nutrientes, mensurado de forma independente da sua concentração na ração.

Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho a partir da técnica respirométrica, determinar os valores de energia digestível, metabolizável e líquida de dietas com diferentes teores de óleo de soja e diferentes fontes de óleos/gordura além de avaliar a digestibilidade *in vitro* da MS das dietas para suínos em crescimento.

# CAPÍTULO I

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1. Energia

O conceito físico de energia está relacionado a trabalho. As células do corpo realizam trabalhos a partir do transporte ativo de moléculas ou íons e da formação de moléculas complexas a partir de moléculas simples. Para essa atividade, as células necessitam de energia química armazenada nos alimentos. A fonte potencial de energia para o trabalho é liberada quando ocorre a quebra das ligações entre os átomos ou moléculas. Parte da energia utilizada para realização de trabalho útil é advinda da transformação dos compostos químicos de um alto nível de energia para um nível de energia mais baixo (Kleiber, 1972).

Seguindo este contexto, Chwalibog (2004) relataram que a energia fornecida aos animais pelos alimentos pode ser transformada em calor, armazenada e transferida durante a gestação ou dissipados para o ambiente. Apesar de não ser um nutriente, a energia é um componente fundamental da ração que está envolvida em todos os processos produtivos dos animais, sendo obtida por meio da interação de todos os nutrientes dos alimentos (Faria e Santos, 2005). No entanto, a taxa de utilização dessa energia para manutenção ou retenção depende também da fase de crescimento dos suínos, genética, ambiente térmico e composição nutricional da dieta desses animais (Kil et al., 2013a).

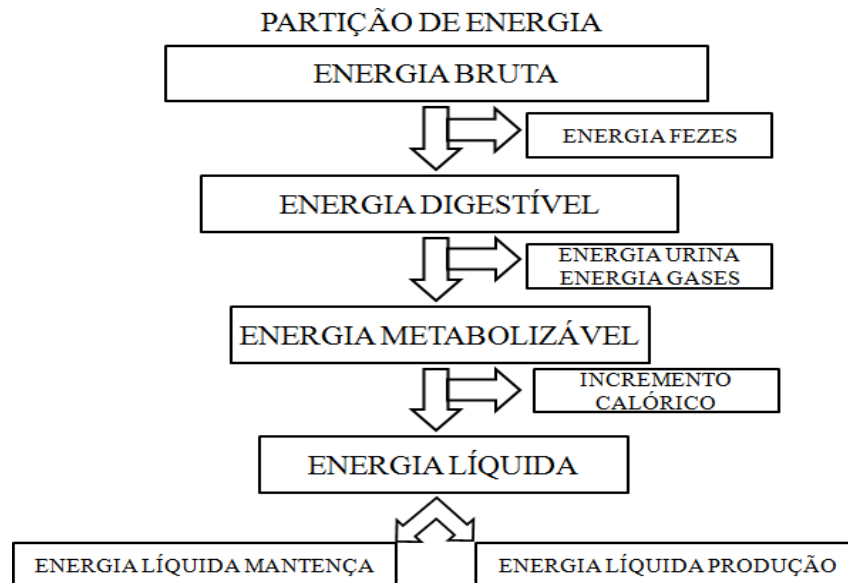
Para os principais grupos de nutrientes como carboidratos, proteínas e lipídios, a energia é a maneira de expressar o "valor de combustão" dos alimentos (Ferreira, 2014) e apresentam diferentes valores de energia bruta para glicose, amido, proteína, óleo vegetal e gordura animal (3726; 4180; 5637; 9410 e 9291 kcal/kg, respectivamente) (Sakomura et al., 2014). Essa energia provinda dos nutrientes da dieta é destinada ao desenvolvimento dos tecidos, produção, atividades físicas e equilíbrio da temperatura corporal (Andrigueto et al., 1981). Contudo, a energia consumida pode ser destinada para as suas atividades, produção de calor ou armazenada nos tecidos corporais. Quando ocorre excesso de energia, além das exigências de manutenção e deposição proteica, esse excesso não é eliminado pelo organismo animal e sim depositado na forma de gordura (Sakomura e Rostagno, 2016). Além disso, a energia produzida a partir da oxidação de nutrientes, é captada parcialmente sob a forma de ATP (Adenosina trifosfato) e parte da energia é inevitavelmente perdida como calor durante o processo de metabolismo. Em resumo, a energia fisiológica que é transportada pelo ATP não

é completamente utilizada no corpo e também pode ser dissipada na forma de calor quando o ATP é usado para as várias funções biológicas no organismo (Kil et al., 2013a).

Em teoria, a eficiência energética de metabolização da glicose em ATP é de aproximadamente 68%, enquanto a eficiência do uso de glicose para a síntese de ácidos graxos varia de 74 a 84% (van Milgen et al., 2001).

## **2. Sistemas de Energia para suínos**

O surgimento de um sistema de energia foi um grande avanço na nutrição de suínos. Pouco se sabia da necessidade energética de cada categoria, a princípio o valor energético era determinado a partir da composição química dos alimentos (fibra bruta, proteína bruta, extrato etéreo e extrato isento de N), valores expressos em nutrientes digestíveis totais (NDT) através da técnica de digestibilidade realizada em ruminantes. Com o desenvolvimento da bomba calorimétrica, obteve-se uma melhor precisão do conteúdo energético dos alimentos e das fezes para determinação da energia digestível (ED) que anteriormente era calculado pelo NDT para ruminantes (Cromwell, 2009). Sendo assim, a energia disponível das dietas dos suínos é indiretamente determinada por subtração de perdas em um sistema sequencial: energia perdida nas fezes, urina, gases e a produção de calor resultante do metabolismo dos nutrientes a partir da energia dietética total (Kil et al., 2013a). Existem para isso, quatro sistemas de energia a serem considerados: energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabólica (EM) e energia líquida (EL). A EB é a energia total contida em um alimento, sua determinação é feita em laboratório a partir da combustão da amostra em bomba calorimétrica onde é mensurada a quantidade de energia liberada. A ED representa a energia do alimento após ser descontado da EB e a energia perdida nas fezes. A EM representa a energia perdida nas fezes, na urina e pelo gás metano (CH<sub>4</sub>). Já a EL é a energia destinada para manutenção e produção, nela são contabilizadas as perdas de energia nas fezes, urina, CH<sub>4</sub> e o incremento calórico. Os sistemas de energia descritos estão expostos na figura 1.



**Figura 1.** Esquema de partição de energia.

## 2.1 Energia Bruta (EB)

A energia bruta ou calor de combustão, é a primeira avaliação da energia na alimentação. É definida como quantidade de energia liberada pela queima de uma amostra de alimento na presença de oxigênio. Assim, a energia bruta não é muito utilizada para produção de suínos, pois a formulação de dietas utilizando esse sistema não é muito usual, por não levar em conta qualquer uma das perdas de energia durante a ingestão, digestão e metabolismo dos alimentos (Moehn et al., 2005). Desta forma, Kil et al. (2013a) preconizaram que a EB é totalmente independente dos animais e não fornece nenhuma indicação de energia disponível para os suínos.

A energia bruta é medida quando um alimento é queimado em bomba calorimétrica e, a concentração de EB de um ingrediente vai depender das suas proporções, como por exemplo, os carboidratos que atuam com (3,7 (glicose) kcal/g e 4,2 (amido) kcal/g), proteínas (5,6 kcal/g), gordura (9,4 kcal/g) (NRC, 1998) e, os produtos de fermentação possuem valores de EB de 3,5; 5,0; 5,9 e 13,1 kcal/g para acetato, propionato, butirato e metano, respectivamente (McDonald et al., 2002). Segundo Kil et al. (2013a), para se quantificar a EB de um ingrediente pode ser feita quando a sua composição química é conhecida.

## 2.2 Energia Digestível (ED)

A energia digestível (ED) é o resultado da subtração da energia bruta dos alimentos menos pela energia bruta das fezes. Esse sistema de energia leva em consideração a

digestibilidade dos alimentos. No caso da ED, a não mensuração da energia perdida na urina e gases, superestima a energia disponível para suínos, variando principalmente na contribuição dos alimentos ricos em proteínas e fibras (Moehn et al., 2005).

As dietas contendo milho e farelo de soja, que são fornecidas na alimentação dos suínos, possuem em média 82% de ED em relação a EB da dieta que é absorvido para suínos em crescimento e terminação (Kil, 2008). Esse valor, pode variar para a maioria das dietas de suínos, estando entre 70 e 90% da EB da dieta (Sauvant et al., 2004).

### **2.3 Energia Metabolizável (EM)**

O conteúdo de EM de um alimento, corresponde à diferença entre ED e as perdas de energia na urina e gases, como o metano e o hidrogênio oriundos da fermentação. Em produção de suínos, o valor médio dessa perda de energia despreendida via metano, é equivalente a 0,4% da ingestão ED (Noblet et al., 1994b). Considerando apenas animais adultos, como porcas, alimentadas em nível de manutenção, o valor de energia perdido para produção de metano pode representar uma porção de 1,5% da ingestão de ED (Noblet e SHI, 1993) e 1 a 2% da EB (Chwalibog, 2004).

Em relação à perda de energia pela urina, essa pode representar uma percentagem variável da ED, pois a perda de energia urinária é diretamente proporcional a quantidade de nitrogênio que é excretado na urina. A excreção urinária de nitrogênio depende principalmente do teor de proteínas da dieta (Noblet, 2006), em que geralmente a perda de energia pela urina pode chegar a 4,5% da ED (Sakomura e Rostagno, 2016).

Normalmente, a relação de EM:ED de rações completas possuem valores relativamente constantes e equivale a 0,96, entretanto, esse valor não deve ser considerado para aos ingredientes individuais da ração (Noblet e van Milgen, 2004).

### **2.4 Energia Líquida (EL)**

A energia líquida é um sistema caracterizado como mais completo para apresentar com exatidão o conteúdo de energia verdadeiro da dieta, quando comparado aos outros sistemas de ED e EM (Noblet e van Milgen, 2004).

A EL é determinado como a energia metabolizável menos incremento calórico (IC), este valor está associado à utilização da EM e ao custo de energia de ingestão, digestão e alguma atividade física, geralmente calculado como a soma da produção de calor (PC) em jejum (Noblet e Henry, 1993), que pode ser estimado ou medido da energia retida no

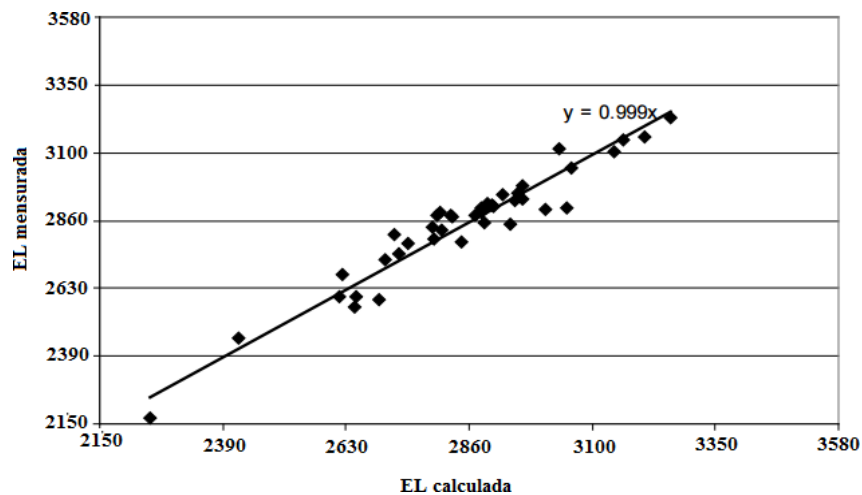
organismo. Para medir a PC utiliza-se técnicas como a calorimetria indireta ou abate comparativo (Kil et al., 2011).

A PC em jejum mensurada corresponde ao valor de EL para manutenção, assim, pode ser medida pela diferença da PC de um animal alimentado e a PC de um animal em jejum, esse valor obtido representa o IC (Moehn et al., 2013). O conteúdo de EL como uma porcentagem do conteúdo de EM, corresponde à eficiência de utilização de EM para EL. Essa porcentagem pode variar de acordo com as características químicas dos alimentos, visto que os nutrientes não são usados com a mesma eficiência. Noblet et al. (1994b) trabalhando com predição de energia líquida para suínos em crescimento encontraram uma média de 74% para eficiência de utilização da EM para EL de alimentos para suínos em crescimento. Noblet et al. (1994a) encontraram uma eficiência de utilização da EM para EL menor quando a EM se origina da proteína (72%) em relação à sacarose (80%), amido de milho (82%) e do óleo (90%).

#### **2.4.1 Equações de predição para Energia Líquida**

O uso de equações de predição pelos nutricionistas e a indústria de rações tem sido de grande importância, para ajustar o valor energético dos alimentos e ainda, adequar as variações na composição dos alimentos. A utilização das equações de predição da energia consegue aumentar o uso dos dados de composição, oriundos das análises realizadas de forma rotineira nos laboratórios de controle de qualidade (Rostagno et al., 2007).

Com isso, a aplicação prática das equações de predição de EL necessita de uma caracterização precisa dos teores dos nutrientes e da digestibilidade dos alimentos e ingredientes utilizados na formulação. Dessa forma, modelos matemáticos podem ser aperfeiçoados para obter maior precisão sobre a alimentação e a utilização de energia pelos animais e para prever com maior exatidão o fornecimento de energia a partir dos alimentos e ingredientes da ração (de Lange e Birkett, 2005). O sistema de energia, assim como qualquer outro sistema de avaliação de alimentos, deve ser validado antes de ser implementado. Em relação ao sistema de EL, a primeira etapa para validá-lo é medir os valores de EL dos alimentos não incluídos na construção do sistema e comparar esses valores medidos com aqueles calculados a partir das equações de predição propostas pelo sistema. Com esse intuito, Noblet et al. (1994b) validaram o sistema de EL proposto para a alimentação de suínos sendo representados os valores na figura 2.



**Figura 2.** Relação entre os valores medidos de energia líquida (EL) mensurada dos alimentos ( $n = 41$ ; calorimetria) e EL calculada de acordo com as equações de predição EL (adaptado de Noblet et al., 1994b).

Para determinar o teor de EL do farelo de canola (colza) e mostarda marrom, com inclusão de 30% dos dois farelos na ração para suínos crescimento, utilizando calorimetria indireta e equações de predição, Heo, et al., (2014) encontraram diferença de 5,9 % na EL entre as técnicas estudadas, podendo essas variações terem ocorrido devido a variação do conteúdo de EL e fatores como sexo e níveis de alimentação. Apoiando tais técnicas, Ayoade et al. (2012) avaliaram valores de EL de dietas contendo níveis de inclusão (0, 15 e 30%) de DDGS de trigo e milho (1:1) pelas técnicas de calorimetria indireta, abate comparativo e equações de predição. Os autores não encontraram diferenças significativas para os níveis de inclusão e o tipo de metodologia.

## 2.5 Energia de Manutenção

A maior parte da energia gasta por animal é para a sua manutenção. Esses processos de manutenção do organismo incluem os associados com o fluxo sanguíneo, respiratório, tônus muscular, balanço iônico e renovação dos tecidos, além dos processos relacionados à ingestão de alimentos e manutenção da temperatura corporal. Segundo Black e De Lange (1995), as necessidades energéticas para manutenção são medidas como a produção de calor em jejum e animal em repouso. Nesse sentido, Sakomura e Rostagno (2016) relataram que o gasto de energia para atividade física e controle da temperatura corporal, representa parte da manutenção, desse modo, precisa de um balanço entre a produção e a perda de calor.

A relação da EL e EM, segundo Van Milgen e Noblet (2003) são expressas por um fator  $k$ , que são: fator de eficiência para utilização de EM para manutenção ( $k_m$ ); fator de

eficiência para utilização de EM para crescimento ( $k_g$ ); fator de eficiência para utilização de EM para deposição de proteína ( $k_p$ ) e fator de eficiência para utilização de EM para deposição de gordura ( $k_f$ ) e, correspondem à eficiência de utilização da EM para EL.

Para Whittemore et al. (2001), o valor de manutenção pode ser estimado como a produção de calor jejum dividida pelo  $k_m$ , esse valor não deve ser considerado uma constante, pois pode variar de acordo com a fonte de energia (carboidratos, lipídios e proteínas), e com os outros coeficientes envolvidos na mudança de EM para EL. O valor de  $k_m$  sugerido por Noblet et al. (1994a) deve ser calculado pela equação  $k_m = 0,672 + 0,00066 \text{ Lipídio} + 0,00016 \text{ Amido}$ . A perda de eficiência é devido ao incremento calórico decorrente do consumo de alimentos, no processo de ingestão, digestão e metabolismo entre o jejum e a manutenção. Para suínos em crescimento o valor de  $k_m$  para lipídios, carboidratos e proteínas digeridos foram 0,94; 0,83 e 0,54, respectivamente (Noblet et al, 1993).

Van Milgen e Noblet (2000) ressaltaram que, animais alojados em gaiolas de metabolismo tem suas atividades físicas e as quantidades de ração restritas, isso contribui para diminuição da produção de calor em jejum, entretanto, quando os suínos são alojados em grupo, a sua produção de calor aumenta, quando comparados aos animais alojados individualmente.

### 3. Lipídios

Os lipídios são um grupo de compostos orgânicos estruturalmente diversos, insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, representados principalmente pelos ácidos graxos (AG) e esteróis. Os AG são ácidos monocarboxílicos alifáticos, lineares  $[\text{R}-(\text{CH}_2)_n \text{COO-}]$  e quase sempre têm um número par de carbonos. Os AG insaturados podem conter uma ou mais duplas ligações, com exceção do ácido linoleico conjugado. No corpo, os lipídios são armazenados como triglicerídeos, podendo ter um, dois ou três diferentes ácidos graxos esterificados ao glicerol (Kerr et al., 2015).

Um lipídio insaturado (com presença de duplas ligações) possui um baixo ponto de fusão, cadeia de carbono curta e a temperatura ambiente tendem a ser líquidos (óleos), mas alguns AG com moderado grau de insaturação, no refrigerador, podem se tornar sólidos. Entretanto, um AG com alta insaturação, mesmo no congelador, permanece líquido. Dessa forma, quando se tem um lipídio com alto grau de AG saturados (todas as ligações preenchidas), cadeia de carbono longa e a temperatura ambiente, eles tendem a ser sólidos (gorduras) (Pupa, 2004). No caso dos lipídios de membrana, os mesmos se diferem dos

lipídios de armazenamento por terem apenas duas cadeias de hidrocarbonetos e um grupo polar, que tem elevada afinidade com a água (Kerr et al., 2015).

A composição dos lipídios dietéticos pode afetar a composição de ácidos graxos na carcaça dos suínos, possibilitando assim, a manipulação da composição carcaça pelas fontes de gordura nas dietas e ingredientes da ração com base nos critérios de qualidade da fonte lipídica, já que a quando adicionado pode alterar a composição de gordura de carcaça (Benz et al., 2011). Em se tratando da categoria de suínos em fase de crescimento ou terminação, também pode afetar a utilização metabólica dos lipídios dietéticos, pois suínos na fase de terminação tem um maior potencial para retenção de lipídios do que animais em crescimento (De Greef et al., 1994).

Ao avaliar a retenção de lipídios de suínos na fase de crescimento e terminação com e sem adição de óleo de soja, Kil et al. (2013b) encontraram uma maior retenção de lipídica para suínos em terminação, os valores de 143,2; 182,4 e 506,3; 511,0 g/d de retenção lipídica sem e com adição de óleo para suínos em crescimento e terminação, respectivamente.

Para suínos em crescimento o metabolismo energético é determinado pela partição da energia ingerida para deposição proteica, lipídica e produção de calor (De Lange et al., 2002). Nessa fase os suínos conseguem reter menos de 50% da energia ingerida, o restante é perdido na forma de calor. A retenção proteica e lipídica ou a perda de energia está relacionada à eficiência na conversão dos nutrientes, carboidratos, lipídios e proteínas em ATP (Van Milgen e Noblet, 2003).

Noblet et al. (2001), observaram que em dietas com suplementação de óleo ou gordura para suínos em crescimento, ocorre uma melhora na taxa de eficiência de utilização da energia, tendo reflexo num aumento no ganho de peso dos animais quando estavam tanto em ambientes de conforto térmico ou em ambientes de altas temperaturas. Benz et al. (2011) analisaram os efeitos da fonte de óleo de soja (5%) e gordura branca (5%), com a duração de alimentação sobre o desempenho, características de carcaça e qualidade da gordura na carcaça de suínos machos e fêmeas. Esses autores encontraram que o GPD não foi alterado pela fonte da gordura e, em contrapartida, a duração de alimentação melhorou o GPD e a eficiência alimentar quando forneceram óleo de soja, e melhorou a eficiência alimentar com a adição da gordura branca em comparação com a dieta controle. No caso da suplementação com gordura branca, o rendimento de carcaça, independentemente da fonte testada, melhorou e a quantidade de gordura insaturada aumentou, o que proporcionou uma maior maciez da gordura na carcaça. Mascarenhas et al. (2002), trabalharam com óleo de soja e gordura de coco e diferentes níveis de energia digestível (ED) (3350, 3450, 3550 e 3650 kcal/kg de

ração), respectivamente, sobre o desempenho de suínos machos inteiros em terminação. Os autores não encontraram efeito na interação entre fontes e os níveis para ED, consumo de ração diário (CRD) e ganho de peso diário (GPD). Entretanto, a fonte de energia influenciou em um aumento de 5,3% no GPD e a conversão alimentar (CA) foi influenciada de forma quadrática pelos níveis de ED para animais consumindo as rações contendo gordura de coco. Na foi observado efeito do óleo de soja para a CA. Quando os animais consumiram 3583 kcal de ED de rações contendo gordura de coco, ocorreu uma melhor resposta para CA.

Ao avaliarem os efeitos das fontes lipídicas (gordura de coco e óleo de soja) e dos níveis de ED (3350; 3450; 3550 e 3650 kcal de ED/Kg de ração) sobre o desempenho produtivo e reprodutivo de marrãs da raça Landrace, Brustolini et al. (2004), não encontraram interação entre as fontes e os níveis ED. Mas para o GPD, consumo diário de energia (CDE) e CA aumentaram de maneira linear com os níveis de ED das rações. A gordura de coco utilizada como fonte de energia proporcionou melhores resultados de GPD, enquanto que o óleo de soja foi mais eficiente para aumentar a espessura de toucinho ET. As leitoas recebendo 3650 kcal de ED/kg de ração tiveram melhores resultados de desempenho e características reprodutivas, independentemente da fonte de energia utilizada.

### **3.1 Digestão e absorção de lipídeos**

A digestão dos lipídeos no trato gastrointestinal (TGI) demanda de processos físicos e hidrólise enzimática. A emulsificação é um processo físico que é necessário para a digestão enzimática dos lipídios na condição hidrofílica do TGI. Os sais biliares, sintetizados no fígado após conjugação de derivados de colesterol com glicina ou taurina, reagem com os grupos hidrofóbicos e grupos hidrofílicos na digesta no TGI, assim, os produtos de digestão lipídica combinam-se com ácidos biliares e formam micelas misturadas antes da absorção nos enterócitos (Bauer et al., 2005).

O consumo de lipídios pelos animais ocorre principalmente na forma de triglicerídeos de origem vegetal ou animal. Após o processo de digestão e absorção, ocorre essencialmente o processo de conversão dos triglicerídeos em quilomícrons. Embora a lipase salivar ou lipase pré-gástrica possa digerir parcialmente os lipídios dietéticos, eles são principalmente quebrados pela lipase pancreática e sais biliares que hidrolisa os triglicerídeos em ácidos graxos para entrar na mucosa intestinal. A absorção de ácidos graxos e monoglicerídeos na célula da mucosa intestinal ocorrem por difusão e são transportados para o retículo endoplasmático, onde serão reestruturados em triglicerídeos e ocorre a formação dos quilomícrons que são levados até o sistema linfático (Kerr et al., 2015).

No íleo terminal ocorre a absorção da maior parte dos sais biliares por meio por um processo ativo e voltam a luz do intestino. Como uma parte desses sais não é absorvida, são levados para o intestino grosso onde ocorrem ação de bactérias anaeróbicas que transformam os sais biliares em produtos secundários, sendo esta, uma rota de perda do colesterol pelo corpo do animal (Sakomura et al., 2014).

#### **4. Metabolismo Energético**

O metabolismo refere-se aos processos químicos em um organismo vivo, pelo qual, o material nutritivo é acumulado nos tecidos, ou pelas moléculas complexas que são decompostas em substâncias mais simples, durante o desempenho de suas funções especiais no organismo (Blakemore e Jennett, 2002). O processo de metabolismo normalmente é dividido em duas categorias: o catabolismo e o anabolismo. O catabolismo decompõe a matéria orgânica, liberando energia que é usada em outras reações bioquímicas ou é dissipada na forma de calor. Já o anabolismo, utiliza a energia para construir os componentes das células, e quando o anabolismo excede o catabolismo ocorre o processo de crescimento ou ganho de peso (Velayudhan et al., 2015).

#### **5. Técnicas para medir a produção de calor**

Alguns métodos, invasivos ou não, podem ser utilizados para medir a produção de calor perdido pelo animal. Os métodos de mensuração do calor dissipado menos invasivos são por calorimetria direta e indireta, os mais invasivos são mensurados de maneira indireta, como o do método de abate comparativo (Sakomura e Rostagno, 2016).

A produção mínima de calor gerado por um animal em jejum em pouca atividade e encontrados em um ambiente termoneutro é descrito como metabolismo basal (Lawrence e Fowler, 1997). Mesmo em estado de repouso e em jejum, o organismo estará sempre metabolizando carboidratos, proteínas e gorduras. Esse estado mínimo metabólico é que consegue manter o organismo vivo e pode ser medido pela taxa metabólica basal. Assim, o metabolismo basal é maior em animais homeotérmicos, que necessitam produzir calor para manter a temperatura corporal (Barros et al., 2010).

## 5.1 Método calorimétrico

O conjunto de métodos experimentais com finalidade de mensurar a quantidade de calor absorvido ou dissipado que sofre uma transformação física ou química é denominado calorimetria e, existem dois tipos, a calorimetria direta e a indireta (Diener, 1997).

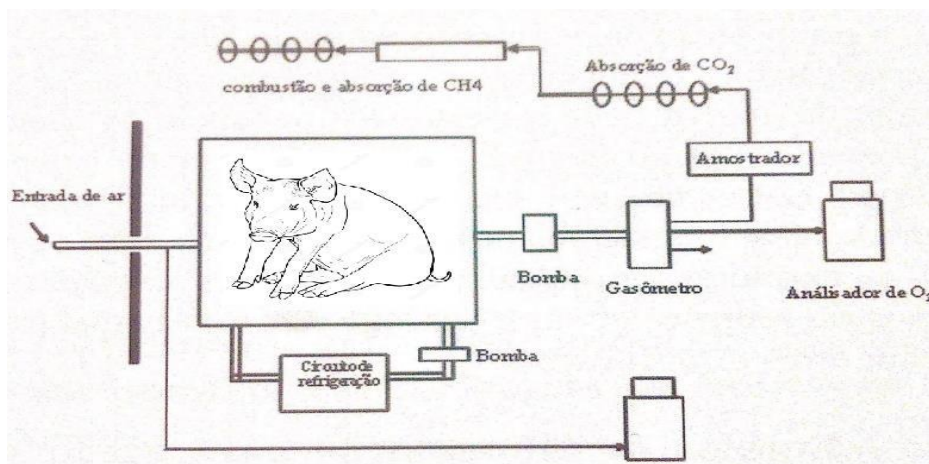
Agnew e Yan (2005), verificaram que a calorimetria direta consegue mensurar o calor produzido pelo organismo, esse processo é realizado pela alteração da temperatura do ambiente. Já a calorimetria indireta, consiste em mensurar o calor produzido pelo animal por intermédio da quantificação dos produtos do metabolismo, como as trocas gasosas feitas com o ambiente.

## 5.2 Método de calorimetria indireta

O princípio da calorimetria indireta está baseado na produção de calor metabólico que é resultante da oxidação dos compostos orgânicos. Assim, a oxidação completa de todos esses compostos pode ser avaliada pela concentração de oxigênio ( $O_2$ ) que é consumida pelo animal e a quantidade de gás carbônico ( $CO_2$ ) que é produzida no processo (Sakomura e Rostagno, 2016) e Nitrogênio (N) excretado (Velayudhan et al., 2015). Para tanto, são utilizadas câmaras respirométricas que podem ser em sistema de circuito aberto ou fechado.

### 5.2.1 Calorimetria em sistema de respirometria de circuito aberto

No sistema de respirometria de circuito aberto (figura 4), o ar exterior que entra na câmara é amostrado e analisado. Assim, sabendo a quantidade de ar que passa pela câmara e a composição dos gases que vão para fora do sistema, consegue-se calcular a quantidade de  $O_2$  consumido e os valores de  $CO_2$  e  $CH_4$  produzidos (Sakomura e Rostagno, 2016).



**Figura 3.** Esquema câmara de respiração circuito aberto (Adaptado Sakomura e Rostagno, 2016).

No sistema de respirometria em circuito aberto, a câmara onde o animal é alojado possui um sistema de vedação que impede que ocorram trocas gasosas entre o ar no interior da câmara com o ar externo, podendo ocorrer somente trocas gasosas pelo sistema próprio de circulação de ar. Nesse sistema, a tubulação de ar é acoplada a uma bomba, que faz a renovação do ar dentro da câmara, com um fluxo contínuo, durante o tempo de mensuração, podendo assim regular o fluxo pelo fluxômetro de massa. Esse aparelho possibilita a correção do fluxo de ar em relação à temperatura, pressão e umidade dentro do sistema (Silva, 2011). No entanto, o controle de fluxo do sistema em circuito aberto apresenta grandes limitações, devido à precisão desta mensuração, que é indispensável para o sistema funcionar corretamente (Lachica, 1995).

Durante todo o período de coleta de dados, o equipamento automatizado direciona uma alíquota de ar para os analisadores, que aferem o O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub> presentes. Nas alíquotas, são feitas leituras a cada 5 minutos durante todo o período de alojamento, analisando o ar que sai do interior da câmara e o ar que vai entrar na câmara (Silva, 2011). Segundo o mesmo autor, todos os dados do período são analisados por um software, que faz a interpretação e armazena os dados no sistema, sendo possível definir as concentrações médias dos gases que entraram e que saíram do sistema. Dessa forma, as concentrações de gases obtidas são multiplicadas pelo volume de ar que passou no sistema durante o período, podendo então, calcular a quantidade de O<sub>2</sub> usado e o quanto de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> foram produzidos. Em pesquisa realizada por Rodriguez et al. (2007), os mesmos observaram que quando analisados os escapes e a pressão no interior da câmara com dispositivo eletrônico de Eletro-válvulas, foram encontrados na composição do ar analisado valores atmosféricos de 20.95% de O<sub>2</sub>, 0,034% de CO<sub>2</sub> e 0% de CH<sub>4</sub>.

## **6. Digestibilidade *in vivo***

Para se obter resultados de digestibilidade é fundamental conhecer o valor energético dos alimentos, permitindo assim balancear adequadamente as dietas que serão fornecidas para melhor atender, além das necessidades básicas de manutenção, a demanda para produção dos animais (Detmann et al., 2007).

A digestibilidade é determinada como sendo a fração dos nutrientes que são consumidos e absorvidos no trato gastrointestinal (TGI), excluindo a parte do alimento excretado nas fezes. Essa fração que não foi recuperada nas fezes é expressa como porcentagem da ingesta, sendo classificada como coeficiente de digestibilidade, que não é a mesma medida para todos os tipos de alimentos (Andriquetto et al., 1983).

Uma medida para se explorar o melhor potencial produtivo dos animais é a utilização do valor nutritivo do alimento. Analisando a composição química, consegue-se obter dados quantitativos e qualitativos, mas essa não fornece informações precisas sobre os antagonismos entre os nutrientes e nem a verdadeira utilização pelos animais. Dessa forma, a utilização dos nutrientes pode ser mais bem indicada pela digestibilidade, que muda em função da idade, genética e espécie animal, assim como as concentrações dos nutrientes e as suas interações (Pereira, et al 2004). Segundo esses autores, para se conseguir determinar o valor nutritivo dos alimentos para suínos, devem ser utilizados valores de coeficiente de digestibilidade de proteína e energia digestível, sendo sempre utilizada como padrão da metodologia dos ensaios de digestibilidade a substituição de uma parte da dieta-referência pelo alimento que será testado.

Os valores nutricionais dos alimentos que são utilizados na formulação de rações para suínos, são atualizados periodicamente, para se ter as tabelas de composição de alimentos mais completas e com valores mais próximos dos reais. Com isso, várias pesquisas são realizadas para avaliar os diferentes tipos de alimentos convencionais e subprodutos, conhecendo assim o seu valor nutritivo (Lelis et al., 2009).

O método de coleta total é o principal método utilizado para avaliação da digestibilidade de dietas. O alimento é fornecido por um período de tempo e mensurado o consumo e a excreção das fezes e urina durante um período de tempo determinado. Entretanto, esse processo demanda tempo, instalações e mão-de-obra. Na prática, esse é o método mais utilizado para se realizar os ensaios de digestibilidade, no entanto, o alimento que será testado deve ser analisado e armazenado em quantidades suficientes antes do início da pesquisa, com o intuito de evitar variações na composição do alimento (Sakomura e Rostagno, 2016).

Assim, para determinar a ED, EM e energia metabolizável aparente (EMA) e energia metabolizável aparente corrigida pela retenção de nitrogênio (EMAn), Matterson et al. (1965), propôs equações utilizando como base os dados de um ensaio de digestibilidade como o consumo de ração, produção de fezes e urina e nas análises de MS, N e EB das rações, fezes e urina.

Uma alternativa ao método de coleta total é a utilização de indicadores, que são substâncias não digeríveis no organismo animal, sendo utilizadas para determinação de um fator de indigestibilidade, assim consegue-se estimar a quantidade de fezes ou excretas correspondentes a uma quantidade de ração consumida, sendo posteriormente calculada a

quantidade de nutrientes presentes na dieta que foi digerida e absorvida pelo animal (Sakomura e Rostagno, 2016).

O uso dos indicadores na maioria dos casos é devido principalmente às dificuldades ou impossibilidade de realização do método de coleta total de fezes para determinação da digestibilidade. Uma das vantagens de utilização dos indicadores em relação à coleta total é a facilidade de utilização, além de proporcionar informações como a quantidade de alimento ingerido ou outros nutrientes, a taxa de passagem da digesta pelo trato digestivo e a digestibilidade do alimento ou de algum nutriente específico (Silva, 1990).

### 7. Digestibilidade *in vitro*

Os métodos tradicionais *in vivo* para determinação da digestibilidade são demorados e de alto custo. Com isso, começou-se a utilizar métodos *in vitro* para a determinação da digestibilidade. Muitos trabalhos foram desenvolvidos para os animais ruminantes fornecendo estimativas que são altamente correlacionadas aos valores de digestibilidade *in vivo* (STERN et al., 1997). A técnica de digestibilidade *in vitro* foi desenvolvida inicialmente para os animais ruminantes por Tilley e Terry (1963), simulando as condições do processo digestivo dos microrganismos no rúmen, em um ambiente sem a presença de oxigênio (O<sub>2</sub>), mantendo a temperatura ideal e o pH adequado. Com os bons resultados encontrados com essa técnica, foi então extrapolada para animais não ruminantes. Boisen e Eggum (1991), com intuito de utilizar essa metodologia, adaptaram para as condições da digestão dos suínos. Essa técnica foi modificada para se assemelhar-se com a verdadeira digestibilidade *in vivo* (Pessoa, 2016). Alguns métodos *in vitro* utilizados para suínos citados por Boisen e Eggum (1991) estão expostos na tabela 1.

**Tabela 1.** Métodos *in vitro* utilizados para suínos

<b>Metodologia</b>	<b>Objetivo</b>
Diálise da célula	Pesquisar os fatores da digestão da proteína quando ocorre inibição do produto final, utilizando a diálise para remover produtos de baixo peso molecular.
pH- DROP e pH-STAT	Predizer a digestibilidade das proteínas nos alimentos
Métodos Colorimétricos	Predizer a disponibilidade ou digestibilidade do amido, geralmente realizada em alimentos processados, utilizando a coloração da glicose e maltose liberadas pelo amido.
Filtração	Predizer a digestibilidade dos alimentos ileal e/ou fecal, pode ser dividido nos sistemas de um, dois ou multienzimáticos realizados em um, dois ou três passos de incubação.

Sistemas de Uma etapa	Consiste numa única incubação com três diferentes inóculos, com fluidos do duodeno ou fluidos ileais ou extratos fecais
Sistemas de Duas etapas Pepsina e fluido do jejuno	Consiste em duas incubações, primeira digestão pela pepsina e depois digestão com fluidos do jejuno
Sistemas de Duas etapas Pepsina e pancreatina	Consiste em duas incubações, com pepsina e depois com pancreatina
Sistemas de Três etapas Pepsina, pancreatina e fluidos ruminais	Pesquisar a fermentação da matéria orgânica, a incubação é realizada depois à pré-incubação das dietas com pepsina e pancreatina.
Sistemas de Três etapas Pepsina, pancreatina e enzimas de degradação de fibra	Predizer a digestibilidade fecal da matéria orgânica depois de consecutivas incubações de pepsina, pancreatina e celulase.

Fonte: Adaptado de Boisen e Eggum, (1991)

A utilização da técnica de digestão *in vitro* tem sido cada vez mais realizada nas análises de vários tipos de alimentos, devido à determinação dos resultados serem em maior parte desenvolvida em laboratório. Esse processo de digestão tenta simular o que ocorre em condições naturais no processo digestivo. Assim essa técnica deve ser feita de forma precisa e representativa, em relação ao processo de digestão para se obter resultados confiáveis (Oliveira et al., 1993). Neste sentido, desenvolveu-se ao longo dos anos, técnicas *in vitro*, que tem por objetivo simular a digestão realizada pelos animais, possibilitando assim, avaliar a digestibilidade dos nutrientes contidos nos alimentos de forma mais rápida, econômica e que ainda possua altas correlações com as determinações feitas *in vivo* (Machado et al., 2014).

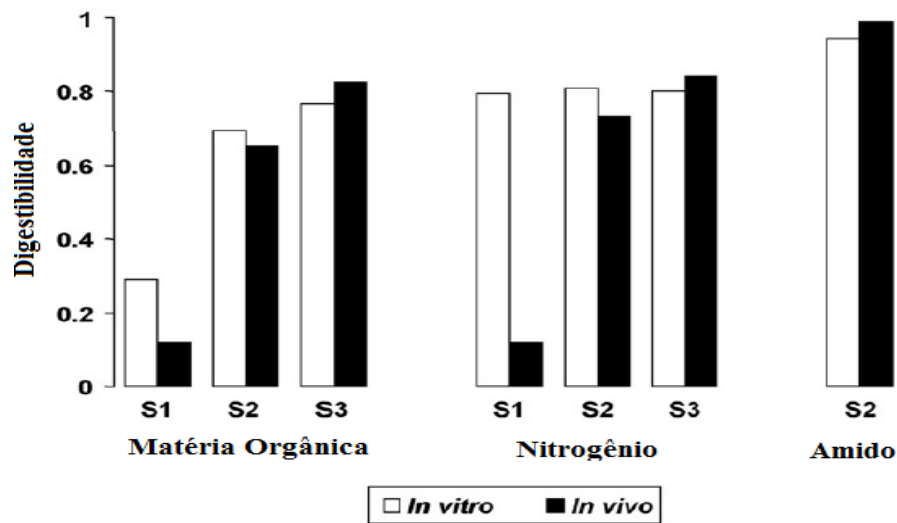
Para Villamide et al., (2009), a digestibilidade *in vitro* possui alta correlação com a digestibilidade *in vivo*, podendo assim ser empregada de forma rotineira na avaliação dos alimentos. O método de digestibilidade *in vitro* vem sendo utilizados na experimentação com suínos, onde foram desenvolvidas técnicas diferentes a predizer a digestibilidade de dietas destinadas à sua alimentação.

Boisen e Eggum (1991) enfatizaram que na simulação das situações que ocorrem *in vivo* para adaptarem *in vitro*, não se deve considerar somente o processo de digestão enzimática, mas também, a atividade microbiana do trato digestivo, que muitas vezes pode ter um grande impacto sobre a digestibilidade total, devido principalmente a fermentação no intestino grosso em animais de estômago simples. Dessa forma, Boisen e Fernández (1997) afirmaram que essa técnica utiliza enzimas e um período de incubação que tem como objetivo simular a digestão *in vivo*, assim podendo ser usada para prever a digestibilidade total aparente dos alimentos e das rações para suínos com elevada precisão.

Existem vários métodos para a avaliação da digestibilidade *in vitro*. Entretanto, o desenvolvimento e a aplicação de modelos matemáticos de digestão em animais não

ruminantes são prejudicados pela falta de informação quantitativa sobre a cinética de diferentes partes do sistema digestivo. Assim, uma alternativa é o método *in vitro* gradual que permite quantificar a cinética da digestão enzimática de nutrientes que podem ocorrer em diferentes segmentos do trato gastrointestinal (Wilfart et al., 2008). Entretanto, a digestibilidade *in vitro* é comumente utilizada para determinar a digestibilidade da matéria seca (MS), devido a sua melhor correlação, sendo possível determinar a acurácia do método, o que possibilita determinar os outros valores nutritivos dos alimentos (Machado et al., 2014), como a MO (Boisen e Fernandez, 1997), N e amido (Wilfart et al., 2008), ED (Chen et al., 2014) e o P (Liu et al. 1998).

Wilfart et al (2008), trabalharam com a cinética dos principais constituintes (MO, N e amido) do trigo, cevada, farelos de soja e trigo, pelo método *in vitro* gradual usando três etapas que imita digestão no estômago, intestinos delgado e grosso de suínos, utilizando Pepsina, Pancreatina® e Viscozyme®. Os autores encontraram o maior valor para a digestibilidade *in vitro* da MO farelo de soja para pepsina. A maior digestão *in vitro* da MO ocorreu principalmente devido à atividade de pancreatina® (0,56 e 0,52 para trigo e cevada contra 0,27 e 0,09 farelos de trigo e soja. O potencial da digestibilidade *in vitro* de pepsina para N foi bastante elevado (0,87; 0,86; 0,84 e 0,71 para farelo de soja, trigo, farelo de trigo e cevada, respectivamente, não sendo possível verificar a ação das outras enzimas. O amido foi digerido principalmente pela ação da pancreatina®, sendo maior no trigo e cevada em comparação ao farelo de trigo. Para a comparação da técnica *in vitro* e *in vivo*, foi realizado um estudo com os mesmos ingredientes do trabalho realizado por Wilfart et al. (2007), em que os resultados se encontram na figura 5.



**Figura 4.** Comparação da digestibilidade da matéria orgânica, nitrogênio e de amido de uma dieta completa medida *in vivo* e *in vitro*: S1-Digestibilidade duodenal *in vivo* ou digestibilidade *in vitro* após hidrólise de pepsina, S2- Digestibilidade ileal *in vivo* ou digestibilidade *in vitro* após a hidrólise de pepsina + Pancreatina® e S3 Digestibilidade fecal *in vivo* ou digestibilidade *in vitro* após hidrólise pepsina + Pancreatin® + Viscozyme®. (Adaptado de Wilfart et al., 2008).

Pessoa (2016), realizou uma pesquisa para comparar a digestibilidade *in vivo* e *in vitro* da MS, MO e PB para suínos alimentados com fontes de óleo (óleo de soja e gordura) e fibra (farelo de trigo e polpa de tomate). Nesse estudo, os valores *in vivo* se apresentaram maiores para MS e MO e menores para PB em comparação com o método *in vitro*. Como uma forma de comparar a técnica *in vitro* e *in vivo*, Regmi et al. (2008) verificaram que existe uma maior relação entre a digestibilidade da energia *in vivo* e *in vitro* quando se utiliza a técnica *in vitro* em 3 etapas ( $R^2 = 0,92$ ) do que em 2 etapas ( $R^2 = 0,76$ ). A técnica de digestibilidade em 3 etapas, resultou em maiores valores *in vitro* do que a de 2 etapas num intervalo mais amplo (10 vs 5%) nos valores de digestibilidade energética, respectivamente. Também avaliando ingredientes de rações para suínos, Chen et al. (2014) utilizaram um sistema simulado de digestão controlado por computador (SSDCC) para prever *in vitro* a energia digestível (IVED) e, realizou uma digestibilidade *in vivo* para avaliar a ED, e propôs uma equação utilizando a composição dos ingredientes junto com IVED. Os valores da digestibilidade IVED encontrados pelo SSDCC foram menores que a digestibilidade *in vivo*. Ao utilizarem equações baseadas na composição e utilizando os valores encontrados IVED, os resultados foram semelhantes ao encontrados *in vivo*. Os valores encontram-se na tabela 2.

**Tabela 2.** Valores de ED (kcal/kg MS) *in vitro* (IVED), *in vivo* e equação

Ingrediente	ED				CV	
	IVED	<i>In vivo</i>	Equação <sup>1</sup>	Diferença	IVED	ED
Milho	3685	4333	4285	-48	0,77	2,04
Trigo	3493	4009	4102	93	0,42	5,44
Farelo de trigo	2443	3350	3102	-248	0,34	2,49
Farelo de soja	3509	4256	4117	-139	1,16	2,49
Farelo de colza	3250	3708	3871	164	0,6	1,29
Farelo de algodão	2325	2812	2991	178	1,2	1,7

<sup>1</sup>ED=0,95 × IVED + 778,03 ( $R^2 = 0,91$ ,  $P < 0,01$ ) (Adaptado de Chen et al., 2014)

Regmi et al. (2008), tentando estabelecer uma técnica de digestibilidade *in vitro* para prever digestibilidade total trato aparente (DTTA) da energia da cevada para suínos em crescimento comparando com a técnica *in vivo*, utilizaram inicialmente 21 amostras de cevada com uma variação da digestibilidade *in vivo* da energia entre 51,9 a 78,5%, com valores de ED entre 2320 para 3430 kcal/kg de MS. Para as mesmas amostras a técnica digestibilidade da energia *in vitro* em 3 etapas os valores variaram entre 63,7 a 82,2%. Quando se tem amostras de baixa qualidade e ricas em fibras possui uma menor relação com a digestibilidade *in vivo*. Ao selecionar 7 amostras e quadruplicar as repetições encontrarm  $R^2=1$  para digestibilidade *in vitro* da MS e digestibilidade *in vitro* da energia e, um  $R^2=0,97$  para digestibilidade *in vitro* da MS e valores DTTA *in vivo* de energia.

Desta forma, ao tentar estabelecer uma técnica de digestibilidade *in vitro* para prever DTTA da energia do trigo (20 amostras) para suínos em crescimento ao comparar com a técnica *in vivo*, Regmi et al., (2009), utilizou duas metodologias *in vitro*, DIV-CEL com celulase e DIV-VIS com Viscozyme®. Os valores de DTTA da energia *in vivo*, variou de 73,3 a 84,5%, enquanto a digestibilidade *in vitro* usando IVD-CEL e IVD-VIS variou de 79,8 a 91,0%; 82,0 a 91,5% e 76,2 a 87,0%; e 79,1 a 89,4% para energia e MS, respectivamente. Os valores de  $R^2$  estão apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Relação ( $R^2$ ) entre as características *in vivo* e *in vitro* usando duas técnicas de digestibilidade *in vitro*

Característica	DIV-CEL	DIV-VIS
<i>In vivo</i> ED vs. <i>in vitro</i> ED	0,40	0,65
<i>In vivo</i> ED vs. Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS	0,47	0,77
<i>in vitro</i> ED vs. Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS	0,91	0,94

DIV-CEL-digestibilidade *in vitro* com celulase; DIV-VIS - digestibilidade *in vitro* com Viscozyme®. ED-Energia digestível. MS-Matéria seca (Adaptado Regmi et al., (2009).

Para validar com valores encontrados *in vivo*, com o método enzimático *in vitro* para estimar DTTA do P de ingredientes vegetais (milho, cevada, trigo, concentrado proteico de batata, colza processada e soja processada) utilizados na alimentação de suínos, Schlegel et al. (2014), encontraram valores de DTTA do P *in vivo* foram 0,21; 0,37; 0,48; 0,41; 0,33 e 0,39 e *in vitro* 0,16; 0,33; 0,48; 0,37; 0,23 e 0,29 para milho, cevada, trigo, concentrado proteico de batata, colza processada e soja processada, respectivamente.

Ao realizar ensaios *in vitro* e *in vivo* para avaliar viabilidade de se utilizar um método *in vitro* para determinar o valor nutricional da dieta de milho extrusado e não extrusado com adição de enzimas, Li et al. (2010), encontraram que o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) do amido, proteína e da EB apresentaram altas correlações com o CAD *in vivo*, ( $R^2=0,79$ ); ( $R^2=0,72$ ) e ( $R^2=0,86$ ), respectivamente. Não sendo verificado correlação para o CAD *in vitro* da MS ( $R^2=0,54$ ) e FDN ( $R^2=0,08$ ) com relação ao CAD *in vivo*.

Ao avaliar os métodos *in vitro* e *in vivo* para estimar a digestibilidade (Ileal e fecal) dos nutrientes (PB, aminoácido, MS e MO) da cevada (11 dietas) para suínos em crescimento, Pujol e Torrallardona, (2007), encontraram valores da digestibilidade aparente fecal semelhante para a MO (84,7% *in vitro* e 84,0% *in vivo*) e para MS a técnica *in vitro* apresentou valores inferiores ao encontrados *in vivo*, subestimando a técnica *in vitro* (80,8% *in vitro* e 85,3% *in vivo*).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGNEW, R.E.; YAN, T. *Calorimetry. Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. 2.ed. France, 734 p, 2005.
- ANDRIGUETTO, J.M.; PERLY, L.; MINARD, I.; GERMAEL, A.; FLEMMING, J.S.; SOUZA, G.A.; BONA FILHO, A. *Nutrição animal*. 4.ed. São Paulo, Nobel, 1981, v. 1, p. 71-87.
- AYOADE, D. I.; KIARIE E.; TRINIDADE NETO M. A.; NYACHOTI C.M. Net energy of diets containing wheat-corn distillers dried grains with solubles as determined by indirect calorimetry, comparative slaughter, and chemical composition methods. *Journal Animal Science*, v.90, p.4373-4379. 2012.
- BARROS, P.C.; OLIVEIRA, V.; CHAMBÓ, E.D.; SOUZA, L.C. Aspectos práticos da termorregulação em suínos. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.7, p.1250, 2010.
- BAUER, E.; JAKOB, S.; MOSENTHIN, R. Principle of physiology of lipid digestion. *Asian-Australas Journal Animal Science*, v. 18, p.282-294, 2005.
- BENZ, J.M.; TOKACH, M.D.; DRITZ, S.S.; NELSEN, J.L.; DeROUCHEY, J.M.; SULABO, R.C.; GOODBAND, R.D. Effects of choice white grease and soybean oil on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of growing-finishing pigs. *Journal Animal Science*, v.89, p.404-413, 2011.
- BLACK, J.L.; De LANGE, C.F.M. Introduction to the principles of nutrient partitioning for growth. In: MODELLING GROWTH IN THE PIG. p.33-45, 1995.
- BLAKEMORE, C.; JENNETT, S. *The Oxford Companion to the Body*. Oxford University Press, Oxford, UK, 2002.
- BOISEN, S.; EGGUM, B.O. Critical evaluation of *in vitro* methods for estimating digestibility in simple-stomach animals. *Nutrition Research Review*, v.4, p.141-162, 1991.
- BOISEN, S.; FEMANDEZ, J.A. *In vitro* technique. Advantages and limitations of its application in feed evaluation for pig production. EAAP SYMPOSIUM, 1993, Aarhus, Denmark, p.11, 1993.
- BOISEN, S.; FERNANDEZ, J. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by *in vitro* analyses. *Animal Feed Science and Technology*, v.68, p.277-286, 1997.
- BRUSTOLINI, P.C.; SILVA, F.C.O.; DONZELE, J.L.; VELOSO, J.A.F.; FONTES, D.O.; KILL, J.L. Effect of Lipid Sources and Digestible Energy Levels on the Productive and Reproductive Performance of Gilts. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.56, p.511-521, 2004.
- CHEN, L.; GAO, L.X.; HUANG, Q.H.; LU, Q.P.; SA, R.N.; ZHANG, H.F. Prediction of digestible energy of feed ingredients for growing pigs using a computer-controlled simulated digestion system. *Journal Animal Science*, v.92, p.3887-3894, 2014.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production: the fire of life. Research School of *Animal Nutrition and Physiology* p.1-23, 2004.

COUTINHO, R.A.; BORGES, A.L.C.C.; SILVA, J.S.; SILVA, A.A.; SOUZA, F.C.; ABREU, T.S.; PEREIRA, N.B.; SILVA, A.L.M.; CARVALHO, P.H.A.; DUQUE, A.C.A. Exigências nutricionais de bovinos: uma ferramenta a favor da produtividade. *PubVet*. v.9, n. 11, p. 490-494. 2015.

CROMWELL, G.L. Landmark discoveries in swine nutrition during the past century. In: XIV Congresso brasileiro de veterinários especialistas em suínos (ABRAVES). *Anais...* Uberlândia, MG, p.53-68, 2009.

DE GREEF, K.H.; VERSTEGEN, M.W.A.; KEMP, B.; VAN DER TOGT, P.L. The effect of body weight and energy intake on the composition of deposited tissue in pigs. *Animal Production*, v.58, p.263-270, 1994.

DE LANGE, C. F. M.; BIRKETT, S. H. Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients. *Canadian Journal of Animal Science*, v.85, n.3, p. 269-280. 2005.

DE LANGE, C.F.M.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. DUBOIS, S.; BIRKETT, S. Previous feeding level influences fasting heat production in growing pigs. *Journal Animal Science*, v.80, p.634, 2002.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T.; PINA, D.S.; PAULINO, M.F.; MAGALHÃES, A.L.R.; FIGUEIREDO, D.M.; PORTO, M.O.; CHIZZOTTI, M.L. Reparametrização do modelo baseado na lei de superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, p.155-164, 2007.

DIENER, J.R.C. Calorimetria Indireta. Serviço de Terapia Intensiva do Hospital de Caridade de Florianópolis. Comissão de Suporte Nutricional do Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. *Revista Associação de Medicina Brasileira*, v.43, n.3, São Paulo jul./set. 1997.

FARIA, D.E.; SANTOS, A.L. Exigências nutricionais de galinhas poedeiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGENCIAS NUTRICIONAIS DE AVES E SUÍNOS, 2ed., Viçosa, *Anais...* p-315-139, 2005.

FERREIRA, A.L. *Exigências nutricionais de energia de bovinos machos F1 Holandês x Gir determinadas pelas metodologias de abates comparativos e respirometria calorimétrica*. 2014. 117 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

GUTIERREZ, A.N.; KIL, D.Y.; LIU, Y.; PETTIGREW, J.; STEIN, H.H. Effects co-products from the corn-ethanol industry on body composition, retention of protein, lipids and energy, and on the net energy of diets fed to growing or finishing pigs. *Journal Science Food Agriculture*. V.94, p.3008-3016, 2014.

- HENRY, Y.; VOGT, H.; ZOIOPOLUS, P.E. Feed evaluation and nutritional requirements. III. 4. Pigs and Poultry. *Livestock Production Science*, v.19, p. 299-354, 1988.
- HEO, J.M.; ADEWOLE, D.; NYACHOTI, M. Determination of the net energy content of canola meal from *Brassica napus* yellow and *Brassica juncea* yellow fed to growing pigs using indirect calorimetry. *Animal Science Journal*, v.85, p.751–756, 2014.
- KERR, B.J.; KELLNER, T.A.; SHURSON, G.C. Characteristics of lipids and their feeding  
KERR, B.J.; SHURSON, G.C. Lipids, fatty acids, and more. ARKANSAS NUTRITION CONFERENCE, p. 25-36, 2012.
- KIL, D.Y. *Digestibility and energetic utilization of lipids by pigs*. 2008. 205f. (Ph.D Thesis), University of Illinois, Urbana, USA.
- KIL, D.Y.; JI, F.; STEWART, L.L.; HINSON, R.B.; BEAULIEU, A.D.; ALLEE, G.L.; PATIENCE, J.F.; PETTIGREW, J.E. STEIN, H.H. Effects of dietary soybean oil on pig growth performance, retention of protein, lipids, and energy, and on the net energy of corn in diets fed to growing or finishing pigs. *Journal of Animal Science*, v.91, p.3283-3290, 2013b.
- KIL, D.Y.; JI, F.; STEWART, L.L.; HINSON, R.B.; BEAULIEU, A.D.; ALLEE, G.L.; PATIENCE, J.F.; PETTIGREW, J.E. STEIN, H.H. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs. *Journal of Animal Science*, v.89, p.448–459, 2011.
- KIL, D.Y.; KIM, B.G.; STEIN, H.H. Feed energy evaluation for growing pigs. (Invited Review). Asian-Australia. *Journal of Animal Science*, v. 26. p.1205-1217, 2013a.
- KLEIBER, M. *Bioenergetica Animal: El fuego de la vida*. 1 ed. Zaragoza: Editorial Acribia, 1975. 428p.
- LACHICA, M.; AGUILERA, J.F; PRIETO, C. A confinement respiration chamber for short gaseous exchange measurements. *Archives of Animal Nutrition*, Berlin, v.48, p.329-336, 1995.
- LARA, L.J.C. *Efeitos do processamento da ração e da linhagem sobre os valores energéticos e desempenho de frangos de corte*. 2007. 52 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. *Growth of farm animals*. CAB International 1997, 321p.
- LELIS, G.R.; ALBINO, L.F.T.; SALGUERO, S.C. GOMES, P.C. et al. Novos conceitos em nutrição avícola. In: AVEWORLD. O Mega Portal da Avicultura Brasileira, Foz de Iguaçu. *Anais...* Foz de Iguaçu: [s.n.] 2009.
- LI, Y.; FANG, Z.; DAI, J.; PARTRIDGE, G.; RU, Y.; PENG, J. Corn extrusion and enzyme addition improves digestibility of corn/soy based diets by pigs: *in vitro* and *in vivo* studies. *Animal Feed Science and Technology*, v.158, p.146–154, 2010.

LIU, J.; LEDOUX, D.R.; VEUM, T.L. *In vitro* prediction of phosphorus availability in feed ingredients for swine. *Journal Agriculture Food Chemical*, v.46, p.2678–2681, 1998.

MACHADO, L.C.; FERREIRA, W.M.; EULER, A.C.C. CARVALHO, W.T.V.; MAURÍCIO, R.M.; MOREIRA, G.R.; GERALDO, A. Métodos de *digestibilidade in vitro* na avaliação dos alimentos para coelhos. *Revista Brasileira de Cunicultura*, v. 6, n.1, 2014.

MACIEL, R. Uso de óleos e gorduras nas rações. 2012. Disponível em: <[http://www.dzo.ufla.br/Roberto/uso\\_oleos\\_gorduras.pdf](http://www.dzo.ufla.br/Roberto/uso_oleos_gorduras.pdf)>. Acessado em: 02 dez. 2016.

MASCARENHAS, A.G.; DONZELE, J.L.; OLIVEIRA, R.F.M. et al. Fontes e níveis de energia digestível em rações para suínos machos inteiros dos 60 aos 100 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.3, p.1403-1408, 2002.

MATTERSON, L.B.; POTTER, L.M.; STUTZ, M.W.; SINGSEN, E.P. The metabolizable energy of feed ingredients for chickens. Storrs: University of Connecticut - Agricultural Experiment Station, n.7, p.11, 1965.

MCDONALD, P.; EDWARDS, R.A.; GREENHALGH, J.F.D.; MORGAN, C. A. *Evaluation of foods: energy content of foods and the partition of food energy within the animal*. In: Animal Nutrition. 5th Ed. (Ed. P. McDonals, R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, and C. A. Morgan). Pearson, UK, p.263-291, 2002.

MOEHN, S.; ATAKORA, J.; BALL, R.O. Using net energy for diet formulation: potential for the canadian pig industry. *Advances in Pork Production*, v.16, p.119-129, 2005.

MOEHN, S.; LEVESQUE, C.L.; BALL, R.O. Protein intake but not feed intake affects dietary energy for finishing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v.97, p.197–204, 2013.

NOBLET J. Recent developments in net energy research for swine. *Advances in Pork Production*, v.18, p.149–156, 2007.

NOBLET, J. Energy Evaluation of Feeds for Pigs: Consequences on Diet Formulation and Environment Protection. *Lohmann Animal Health*, v.41, p.38-50, 2006.

NOBLET, J., SHI, X.S. AND DUBOIS, S. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for a net energy system. *British Journal of Nutrition*, v.70, p.407-419. 1993.

NOBLET, J., SHI, X.S.; AND DUBOIS, S. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.72, p.648-657, 1994a.

NOBLET, J.; DIVIDICH, J.L.; MILGEN, J.V.; *Thermal environment and swine nutrition*. In: LEWIS, j.; SOUTHERN, L.L. (Org.) Swine nutrition. 2. Ed. Boca Raton: CRC Press, p.519-554, 2001.

NOBLET, J.; FORTUNE, H.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Prediction of Net Energy Value of Feeds for Growing Pigs. *Journal Animal Science*, v.72 p.344-354, 1994b.

NOBLET, J.; HENRY, Y. Energy evaluation systems for pig diets: A review. *Livestock Production Science*, v.36, p.121–141, 1993.

NOBLET, J.; SHI, X.S.; AND DUBOIS, S. Metabolic utilization of dietary energy and nutrients for maintenance energy requirements in sows: basis for a net energy system. *British Journal of Nutrition* v.70, p.407-419, 1993.

NOBLET, J.; SHI, X.S. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. *Livestock Production Science*, v.34, p.137-152, 1993.

NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *Journal of Animal Science*, v.82, p.229-238, 2004.

NRC (National Research Council) 1998. Nutrient Requirements of Swine. Tenth Revised Edition. National Academic Press, Washington, D.C. 20418 USA.

NUNES, A.N.; SALIBA, E.S.; FONTES, D.O. et al. Determining the digestibility of diets with different levels of fiber for pigs. *Animal Production Science*. No prelo. 2015.

OLIVEIRA, M.D.S.; VIEIRA, P.F.; SOUZA, A.; BANZATO, D.A. Efeito de métodos de coleta de fluido ruminal sobre a digestibilidade *in vitro* de alguns nutrientes de ração para bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 22, p.794-800, 1993.

PAYNE, L.R.; ZIJLSTRA, R.T. A guide to application of net energy in swine feed formulation. *Advances in pork production*. v.18, p.159–165, 2007.

PEREIRA, L.E.J.; FERREIRA, A.S.; SILVA, F.C.O.; DONZELLE, J.L.; VIEIRA, M.L.; ALBINO, L.F.T. Digestibilidade de alimentos proteicos para suínos com diferentes dietas referência. *Boletim da Indústria Animal*, v.61, n.1, p.75-81, 2004.

PESSOA, M.F.M. *Digestibilidade in vitro vs digestibilidade in vivo – Aplicação a regimes alimentares de monogástricos*. 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia zootécnica - Produção Animal). Faculdade de Medicina Veterinária/Instituto Superior de Agronomia Universidade de Lisboa.

POSADA, S.L.; NOGUERA, R.R.; RODRÍGUEZ, N.M.; BORGES, A.L.; REIS, R. Energy requirements for beef cattle: concepts and experimental results in tropical conditions. *Revista Colombiana de Ciências Pecuarias*, 24, 617-622. 2011.

PUJOL, S.; TORRALLARDONA, D. Evaluation of *in vitro* methods to estimate the *in vivo* nutrient digestibility of barley in pigs. *Livestock Science*, v.109, p.186–188, 2007.

PUPA, J.M.R. Óleo e gorduras na alimentação de aves e suínos. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.1, n.1, p.69-73, 2004.

REGMI, P.R., FERGUSON, N.S. AND ZIJLSTRA, R.T. *In vitro* digestibility techniques to predict apparent total tract energy digestibility of wheat in grower pigs. *Journal Animal Science*, v.87, p.3620–3629, 2009.

REGMI, P.R.; SAUER, W.C.; ZIJLSTRA, R.T. Prediction of *in vivo* apparent total tract energy digestibility of barley in grower pigs using an *in vitro* digestibility technique. *Journal Animal Science*, v.86, p.2619-2626, 2008.

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; FERNANDES, M.H.M.R. *Metabolismo de energia*. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. J. *Nutrição de Ruminantes*. 1 ed. São Paulo: ProEditora, 2006, p. 311-332.

RODRIGUEZ, N.M.; CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L.; BORGES, I.; GONÇALVES, L.C.; BORGES, A.L.C.C.; SALIBA, E.O.S. A calorimetry system for metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.2, p.495-500, 2007.

ROSTAGNO, H.S.; BÜNZEN S.; SAKOMURA, N.K.; ALBINO, L.F.T. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v. 36, p. 295-304, 2007.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. *Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos*. Jaboticabal: Funep, 2016, 262 p.

SAKOMURA, N.K.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P.; FERNANDES, J.B.K.; HAUSCHILD, L. *Nutrição de Não Ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2014. 678p.

SAUVANT, D.; PEREZ, J.M.; TRAN, G. Tables of composition and nutritional value of feed materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Wageningen Academic Publishers, Wageningen and INRA Editions, Versailles, 2004.

SCHLEGEL, P.; AMPUERO KRAGTEN, S.; GUTZWILLER, A. Validation of an *in vitro* method for the estimation of apparent total tract digestibility of phosphorus in plant feed ingredients for pigs. *Animal Feed Science and Technology*, v.198, p.341–346, 2014.

SILVA, D.J. *Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)*. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1990. 166p.

SILVA, R.R. *Respirometria e determinação das exigências de energia e produção de metano de fêmeas bovinas leiteiras de diferentes genótipos*. 2011. 60 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.

STERN, M.D.; BACH, A.; CALSAMIGLIA, S. Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *Journal Animal Science*, v.75, p.2256–2276, 1997.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal British Grassland Society*, v.18, p.104-111, 1963.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. *Modelling energy expenditure in pigs. Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals* (Ed. J. P. McNamara, J. France, and D. E. Beaver). CAB International, Oxon, U. K, p.103-114, 2000.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. *Journal of Animal Science*, v. 81, p.86–93, 2003.

VAN MILGEN, J.; NOBLET, J.; DUBOIS, S. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *Journal Nutrition*, v.131, p.1309–1318, 2001.

VELAYUDHAN, D.E.; KIM, I.H.; NYACHOTI, C.M. Characterization of dietary energy in Swine feed and feed ingredients: a review of recent research results. *Asian-Australas Journal Animal Science*, v.28, p.1–13, 2015.

VILLAMIDE, M.J.; CARABAÑO, R.; MAERTENS, L.; PASCUAL, J.; GIDENNE, T.; FALCAO-E-CUNHA, L.; XICCATO, G. Prediction of the nutritional value of European compound feeds for rabbits by chemical components and *in vitro* analysis. *Animal Feed Science and Technology*, v.150, p.283-294, 2009.

WHITTEMORE, C.T.; GREEN D.M.; KNAP, P.W. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: feed intake. *Animal Science*, v.73, p.3-17, 2001.

WILFART, A.; JAGUELIN-PEYRAUD, Y.; SIMMINS, H.; NOBLET, J.; VAN MILGEN, J.; MONTAGNE, L. Kinetics of enzymatic digestion of feeds as estimated by a stepwise *in vitro* method. *Animal Feed Science and Technology*, v.141, p.171–183, 2008.

WILFART, A.; MONTAGNE, L.; SIMMINS, H.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Sites of nutrient digestion in growing pigs: effect of dietary fiber. *Journal Animal Science*, v.85, p.976-983, 2007.

WISEMAN, J.; POWLES, J.; SALVADOR, F. Comparison between pigs and poultry in the prediction of dietary energy value of fats. *Animal Feed Science and Technology*, v.71, p.1–9, 1998.

## CAPÍTULO II

### EFEITO DO NÍVEL DE ÓLEO SOBRE A DIGESTIBILIDADE *IN VIVO*, *IN VITRO* E CALORIMETRIA DE RAÇÕES PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO

#### RESUMO

Para otimizar a eficiência de utilização dos alimentos é fundamental o conhecimento do valor energético dos mesmos, assim como sua importância nutricional e econômica quando relacionados à formulação de rações. Uma fonte de energia e nutrientes são essenciais para otimizar a produção de suínos, portanto, são necessárias informações mais precisas sobre as necessidades energéticas e nutricionais além dos valores nutritivos dos ingredientes das rações e dietas. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a digestibilidade *in vivo*, *in vitro* e energia líquida de dietas com níveis de óleo de soja para suínos em crescimento. Foram utilizados 20 suínos machos castrados, distribuídos em quatro tratamentos e cinco repetições em delineamento inteiramente casualizado, incluído níveis crescentes (0, 3, 6 e 9%) de óleo de soja na dieta. As dietas experimentais foram isoproteicas, formuladas a base de milho e farelo de soja e suplementadas com vitaminas, minerais e aminoácidos industriais para atender as exigências de suínos em crescimento, exceto em energia. As medias foram submetidas a análise de regressão pelo Software R. Em conclusão a utilização de níveis crescentes melhorou linearmente ( $P<0,05$ ) para CDMS e CDPB e ( $P<0,01$ ) para CDEB. O CDEE teve efeito quadrático ( $P<0,01$ ) com a melhor inclusão de 8,91%. Melhorou linearmente a ED, EMA, EMAn e EL. O N retido teve efeito linear ( $P<0,05$ ) aumentando com a inclusão de óleo. A DivV e DivF aumentaram linearmente ( $P<0,01$ ) com a inclusão de óleo.

**Palavras-chave:** Alimentação, digestibilidade, energia, lipídeos, respirometria

## CHAPTER II

### EFFECT OF OIL ON DIGESTIBILITY IN VIVO, IN VITRO, AND CALORIMETRY OF DIETS FOR GROWING PIGS

#### ABSTRACT

To optimize the efficiency of feed utilization, it is essential to know the energy value of the ingredients used, as well as their nutritional and economic importance when related to the formulation of animal feed. A source of energy and nutrients are essential to optimize pork production, so more accurate information on energy and nutritional needs is needed in addition to the nutritional values of feed ingredients and diets. The objective of this work was to evaluate the digestibility *in vivo*, *in vitro* and liquid energy of the inclusion of soybean oil in diets for growing pigs. Therefore, 20 castrated male pigs were used, distributed in four treatments and five repetitions in fully randomized design, including increasing levels (0, 3, 6 and 9%) of soybean oil in the control diet. Experimental diets were isoproteic, formulated with corn and soybean meal and supplemented with vitamins, minerals and industrial amino acids to meet the requirements of growing pigs except for energy. Regression test was used to evaluate the average results using the R Software. The utilization of increasing levels has improved linearly ( $P<0.05$ ) for ATTD-DM, for ATTD-CP and ( $P<0.01$ ) for ATTD-CE. The ATTD-EE had quadratic effect ( $P<0.01$ ) with a great inclusion of 8,91%. Linearly improved DE, AME, AMEn and NE. The retained nitrogen had linear effect ( $P<0.05$ ) with the increasing inclusion of oil. The DivV and DivF increased linearly ( $P<0.01$ ) with the inclusion of oil.

**Key-words:** Food, digestibility, energy, lipids, respirometry

## 1. INTRODUÇÃO

A alimentação dos suínos corresponde a aproximadamente 75% do custo de produção, a energia como princípio nutritivo representa a maior proporção da dieta. Desta forma, é de grande importância estimar de forma precisa o valor energético dos alimentos, para que seja possível obter uma fórmula de custo mínimo sem afetar as exigências de energia dos animais.

O conteúdo energético dos alimentos para suínos tem sido baseado em sua energia digestível (ED) ou energia metabolizável (EM). Entretanto, a estimativa mais próxima do valor real do conteúdo de energia de um alimento deve ser seu conteúdo de energia líquida (EL), esta estimativa leva em conta as diferenças de utilização de EM entre os nutrientes. Além disso, a EL é o único sistema em que as necessidades energéticas e os valores de energia da dieta são expressos em uma mesma base que, teoricamente, deveria ser independente das características dos alimentos (Noblet, 2007).

Para otimizar a eficiência de utilização dos alimentos é fundamental o conhecimento do valor energético dos mesmos, assim como sua importância nutricional e econômica quando relacionados à formulação de rações. Desta forma, o sistema de energia tem a finalidade de descrever a energia disponível na ração que será destinada para suprir a manutenção de acordo com o nível de desempenho do animal (Sakomura e Rostagno, 2016).

Além disso, as dietas devem ser ajustadas de acordo com as necessidades dos animais, que mudam principalmente devido ao avanço no melhoramento genético dos mesmos. Dietas mais precisas reduzem a poluição do ambiente devido a menor excreção de dejetos além de reduzir os custos.

Os óleos e gorduras são compostos químicos, pouco solúveis em água, mas sendo solúveis em compostos orgânicos. Esses compostos são provenientes de grãos de oleaginosas, alguns cereais e carnes. Sendo muito utilizados na alimentação de suínos com intuito de fornecer energia e ácidos graxos essenciais, além de proporcionar um aumento na energia das rações e a melhoria na palatabilidade. A inclusão de óleos e gorduras contribui para a melhora da conversão alimentar e absorção de vitaminas lipossolúveis (Pupa, 2004), assim, é de suma importância que o conteúdo de energia da dieta seja bem caracterizado para evitar excesso de deposição de gordura.

O uso de lipídeos na dieta pode ser empregado como uma estratégia nutricional, devido ao seu alto valor energético de 2,25 vezes maior que dos carboidratos e proteínas. (Lauridsen et al, 2007). Além ainda, pode ser utilizado para melhorar a palatabilidade das

rações, melhora no desempenho, redução da pulverulência e menor desgaste dos equipamentos.

Diante disso, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de diferentes níveis de óleo de soja da ração sobre a coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), do estrato etéreo (CDEE), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM) e líquida (EL) e as relações EM:ED, EL:ED e EL:EM e determinando a digestibilidade *in vivo* e *in vitro* da matéria seca (MS<sub>inv</sub>) em dietas para suínos em crescimento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Local e instalações

Os experimentos de digestibilidade *in vivo*, calorimetria e digestibilidade *in vitro* foram conduzidos nos Laboratórios de Metabolismo Animal, Calorimetria e Nutrição Animal, respectivamente, do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, Minas Gerais. As temperaturas médias de máxima foi de  $27,36 \pm 2,25$  °C e a mínima foi de  $19,50 \pm 3,5$  °C.

### 2.2 Digestibilidade

Foram utilizados 20 suínos machos castrados oriundos do cruzamento entre fêmea Camborough 25 e macho AGPIC 337 de linhagens comerciais da Agrocere PIC<sup>®</sup> com peso inicial de  $21,9 \pm 0,7$  kg em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições sendo um animal por unidade experimental. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas metálicas providas de bebedouros, comedouros e coletores de fezes e urina individuais, semelhante às descritas por Pekas (1968). Os tratamentos foram estabelecidos com base em quatro dietas experimentais, contendo 0, 3, 6 e 9% de inclusão de óleo de soja em porcentagem da dieta.

As dietas experimentais foram isoproteicas, formuladas a base de milho e farelo de soja e suplementadas com vitaminas, minerais e aminoácidos industriais para atender as exigências de suínos em crescimento (Rostagno et al. 2017) (tabela 4), exceto em energia. Todas as dietas foram produzidas na fábrica de ração da Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa, na cidade de Igarapé Minas Gerais. As rações foram fornecidas de forma controlada de acordo com o peso metabólico dos animais, distribuídas em duas refeições diárias, as 7:00

e 16:00 horas, e o acesso à água foi livre durante todo período experimental. A limpeza da sala foi realizada uma vez por dia, no período da manhã.

**Tabela 4.** Composição centesimal e nutricional da dieta experimental para suínos machos castrados em fase de crescimento

Ingredientes	Níveis de inclusão de óleo %			
	0,0	3,0	6,0	9,0
Milho Grão	69,619	65,963	62,312	58,663
Farelo de Soja	25,422	26,070	26,732	27,393
F. Bicálcico	1,984	2,000	2,016	2,032
Calcário	0,776	0,772	0,758	0,743
Óleo de Soja	-	3,000	6,000	9,000
Sal Comum	0,500	0,500	0,500	0,500
<sup>2</sup> Premix	0,500	0,500	0,500	0,500
L-Lisina	0,624	0,612	0,599	0,586
L-Treonina	0,281	0,287	0,286	0,284
DL- Metionina	0,224	0,228	0,231	0,234
L-Triptofano	0,060	0,058	0,056	0,054
BHT	0,010	0,010	0,010	0,010
<b>TOTAL</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>
<b><sup>3</sup>Composição Calculada</b>				
Matéria Seca %	89,618	89,944	90,270	90,59
Energia Metabolizável (Mcal/kg)	3,186	3,332	3,480	3,627
Proteína Bruta %	18,000	18,000	18,000	18,000
Estrato Etéreo %	3,148	6,010	8,871	11,733
Lisina Total%	1,369	1,364	1,364	1,364
Metionina + Cistina Total %	0,781	0,780	0,780	0,779
Fósforo Total %	0,674	0,672	0,670	0,668
Cálcio %	0,879	0,883	0,883	0,883

<sup>1</sup> Dieta Basal 0-NO= milho e farelo de soja sem inclusão de óleo de soja; Dieta 3-NO= inclusão de 3% óleo de soja; Dieta 6-NO= inclusão de 6% óleo de soja e Dieta 9-NO= inclusão de 9% óleo de soja;

<sup>2</sup> Produto comercial Qualitec Suínos Crescimento - Fatec®. Níveis de garantia (por kg do produto): Vitamina A: 2.150.000 U.I. Vitamina B1: 250mg.; Vitamina B12: 5.000mg.; Vitamina B2: 1.000mg.; Vitamina B6: 350mg.; Vitamina D3: 300.000 U.I.; Vitamina E: 3.350 U.I.; Vitamina K3: 500mg.; biotina: 5mg.; Colina: 28,03g.; Niacina: 7.500mg.; Ácido Pantotênico: 3.283mg.; Cobalto: 83 mg; Cobre: 6.649mg; Ferro: 30g.; Iodo: 85mg; Manganês: 14,5g; Selênio: 52mg; Zinco 28,5 g.; Lisina 76,83g.; Metionina 10g.; Bacillus subtilis 50x19e<sup>9</sup> UFC, Lincomicina 7.333 mg.

<sup>3</sup> Composição calculada.

### 2.3 Determinação dos valores de energia digestível e metabolizável aparente

O período experimental correspondeu a cinco dias para a adaptação dos animais às gaiolas, às dietas experimentais e mais três dias para estabilização do consumo voluntário e adaptação dos animais ao consumo determinado para o período experimental. Após esse período, os cinco dias subsequentes corresponderam ao período experimental, no qual foram realizadas as coletas de fezes e urina.

As fezes de cada animal, coletadas totalmente a cada dia as quais foram pesadas diariamente e homogeneizadas, foi retirada uma amostra de, aproximadamente, 20%, por coleta e por repetição, sendo colocadas em saco plástico, e armazenadas em “freezer” a -20°C. Terminado o período de coleta, as fezes foram homogeneizadas e retirada uma amostra de cada saco plástico, a qual foi pesada e colocada em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas para pré-secagem. Posteriormente, as amostras permaneceram expostas ao ar, para que ocorra equilíbrio com a temperatura e umidade ambiente, sendo então pesadas, moídas e homogeneizadas. Finalmente, as amostras do material seco, foi utilizada para posteriores análises de laboratório. A coleta de urina foi realizada diariamente, em baldes plásticos contendo 20 ml de uma solução de HCl (1:1). A urina de cada animal foi filtrada e completada até determinado volume com água destilada, sendo então retirada uma amostra de 5% do volume, que será colocada em garrafas plásticas, por coleta e por repetição, e armazenada em “freezer” a -20°C, para posteriores análises de laboratório.

Foram realizadas análises bromatológicas das amostras coletadas e das rações experimentais no laboratório de nutrição animal da Escola de Veterinária da UFMG de acordo com Silva e Queiroz (2006). A partir desses resultados, os dados dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia e dos nutrientes foram obtidos.

### **2.3.1 Determinação do balanço de nitrogênio**

O balanço de nitrogênio entre as diferentes dietas foi calculado através da diferença entre nitrogênio ingerido e a perda de nitrogênio nas fezes e urina. Os valores de nitrogênio consumido (NC), nitrogênio excretado nas fezes (NF) e excretado na urina (NU), foram obtidos pela multiplicação dos teores de N pelas quantidades de ração consumida, fezes e urina excretadas, respectivamente. A partir destes foram calculados o N retido ( $NR = NC - NF - NU$ ).

### **2.3.2 Calorimetria**

Após o período da digestibilidade *in vivo*, todos os animais de cada repetição de cada tratamento foram colocados individualmente em uma câmara respirométrica para determinação da produção diária de calor. A determinação da energia líquida das rações foi realizada por meio de calorimetria indireta, ou seja, cálculo da quantidade de energia produzida pelo animal na forma de calor calculada por meio de mensurações de troca gasosa (consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono) e produção de calor em uma câmara

respirométrica de sistema aberto, no Laboratório de Metabolismo Animal da Escola de Veterinária da UFMG. Dessa forma, cada animal de cada uma das cinco repetições permaneceu por 48 horas em câmara respirométrica, sendo 24 horas na câmara alimentado e 24 horas em jejum. Nesse sistema, o ar atmosférico entra na câmara em um fluxo constante de 50 litros por minuto e é misturado ao ar expirado pelos animais, sendo coletadas amostras a cada 5 minutos para a determinação das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. A concentração máxima permitida de CO<sub>2</sub> foi de 0,5%. O consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> podem ser calculados baseados no volume e na composição do ar que entra comparado com o ar que sai (Chwalibog, 2004). O cálculo da produção de calor feito de acordo com a equação de Brouwer (1965):

$$PC = 3,87 \times O_2 (l) + 1,20 \times CO_2 - 1,43 \times N$$

Onde: PC em quilocalorias; O<sub>2</sub> é o consumo de oxigênio em litros; CO<sub>2</sub> é a produção de dióxido de carbono em litros e N é a excreção urinária de nitrogênio em gramas.

### 2.3.3 Determinação dos valores de energia líquida para manutenção

Os animais foram submetidos ao jejum por 12 horas, posteriormente foram colocados na câmara respirométrica e mensurada a troca gasosa por 24 horas, calculando-se a produção de calor durante este período a partir da equação de Brouwer (1965). Para esta determinação da Energia metabolizável disponível para retenção de energia corporal (EM<sub>pf</sub>) será utilizada a equação: EM<sub>pf</sub> = EM - EM<sub>m</sub> (Chwalibog, 1991).

### 2.3.4 Digestibilidade *In vitro*

O ensaio *in vitro* de Boisen e Fernández (1997) é um procedimento de 3 passos, cada passo representando os processos de digestão no estômago, intestino delgado e intestino grosso, utilizando pepsina, pancreatina e Viscozyme<sup>®</sup> respectivamente.

Foi realizado um ensaio de digestibilidade *in vitro* utilizando Viscozyme<sup>®</sup> em um jarro e fezes suínas frescas em outro jarro. Modificando o método de incubação proposto por este protocolo, substituindo o ácido acético 30% por HCL 1:1 na segunda etapa (reduzir o volume para evitar a diluição do meio) e substituindo o Viscozyme<sup>®</sup> por fezes suínas frescas, foram utilizadas quatro repetições por tratamento e utilizando dois brancos totalizando 18 sacos/jarro.

As rações foram finamente moídas (<1 mm) e foram pesadas 0,5 g em sacos filtrantes (Ankom Technology Corp, Macedon, NY, EUA) com uma precisão de + 0,1 mg e colocados

em um frasco de incubadora Daisy II (3,5 L e 18 sacos de filtro / jar) com haste magnética. Foram adicionados 25 mL de tampão de fosfato (0,1 M, pH 6,0) e 10 mL de solução de HCl 0,2 M para cada saco (450 mL de tampão fosfato e 180 mL de solução HCl para cada jar com 18 sacos). As soluções foram misturadas com cuidado por suave agitação magnética.

O pH foi medido e depois ajustado para pH 2 com soluções 1 M HCl ou 1 M NaOH. Em seguida, foi adicionado 1 mL / saco (18 mL / jar) de solução de pepsina fresca [25 mg de pepsina (pepsina de porcino, 2000 FIP-Unidades / proteína g, Merck n 7190) / mL 0,2 M HCl) foi adicionada e misturada. O frasco foi fechado e as amostras incubadas a 39° C durante 2 h. Depois retira-se o frasco do Daisy II e foram adicionados 10 mL / saco (180 mL / jar) de tampão de fosfato (0,2 M, pH 6,8) e 5 mL / saco (90 ml / jar) de NaOH 0,6 M. Após a mistura, o pH foi ajustado para 6,8 e adicionando soluções de 1 M HCl ou 1 M NaOH. Depois, adicionados 1 mL / saco (18 ml / jar) de solução fresca de pancreatina [100 mg de pancreatina (pancreatina de porcino, grau VI, Sigma n 1750) / mL de tampão fosfato a pH 6,8], o frasco foi fechado e as amostras incubadas a 39 ° C durante 4 h.

Depois da segunda incubação, o pH foi ajustado para 4,8 por adição de HCL 1:1 e depois 0,5 mL / saco (9 mL / jar) de Viscozyme® (Viscozym® e 120 L, 120 FBG / G, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO), misturou-se e incubou-se a 39 ° C durante 18 h.

O mesmo processo foi feito substituindo o Viscozyme® por 16 ml/ saco (288 mL /jar) da solução 1:1 (p/v) com uma solução mineral tamponada (Theodorou et al., 1994) como inóculo. O total dos resíduos solúveis foram então eliminados e os sacos foram lavados no frasco com água a 39 ° C três vezes e misturados cuidadosamente (o primeiro por 30 min a 39 ° C com agitação na incubadora), seguido de enxaguamento com etanol e acetona para evitar a aderência de qualquer resíduo nos sacos. Finalmente, os sacos foram secos a 105 ° C durante 24 h.

Dois sacos sem qualquer amostra foi utilizada como espaços em branco em cada jar. A MS *in vitro*, foram obtidos calculando a diferença da amostra antes e depois das incubações, corrigido para as amostras em branco.

A digestibilidade de MS *in vitro* (DM<sub>dinv</sub>) foi calculada como:

$$DM_{Sinv} = 1 - \frac{W3 - (W1 - C1)}{W2}$$

Onde: W1 é o peso da tara do saco, W2 é o peso da amostra seca, W3 é o peso final do saco seco do saco após a digestão processo e C1 é a correção do saco em branco (peso final do forno no saco em branco após a digestão / saco vazio original peso).

## 2.4 Análises Químicas

A composição química das dietas experimentais foi obtido utilizando métodos AOAC (2000) para matéria seca (MS; 934,01), cinzas (967,05), nitrogênio (N; 986,06), proteína bruta (PB; 986,06), extrato de éter (EE; 920,39) e cálcio (Ca; 927,02). O fósforo (P) foi medido por espectrofotometria (modelo E-225D, CELM, Barueri, SP, Brasil). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica adiabática (modelo 6200, Parr Instrument Company, Moline, Illinois, USA).

## 2.5 Análise estatística

As variáveis analisadas foram submetidas a análise de regressão. As respostas foram consideradas significativamente diferentes quando  $P < 0,05$ . Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando Software R (R Core Team, 2017).

## 3. RESULTADOS

Todos os animais se adaptaram bem às suas dietas experimentais e as condições da sala de metabolismo, permanecendo saudáveis, e consumindo a quantidade de ração fornecida diariamente durante todo o período experimental. Os nutrientes analisados e estimados dos ingredientes estão apresentados na tabela 5.

**Tabela 5.** Composição do Óleo de Soja analisada e estimada da Matéria Seca (MS), Energia Bruta (EB) e Extrato Etéreo

Item <sup>1</sup>	Óleo de Soja
<sup>3</sup> MS %	99,6
<sup>2</sup> EB Kcal/kg	9521
<sup>3</sup> Extrato Etéreo %	99,6

<sup>1</sup>MS= Matéria Seca; EB= Energia Bruta

<sup>2</sup>Composição Analisada

<sup>3</sup>Composição Estimada segundo Rostagno et al. (2017)

### 3.1 Digestibilidade Aparente da MS, Energia, PB e balanço de N

Na tabela 6 são apresentados os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, energia bruta, proteína bruta, extrato etéreo e proteína digestível para dos níveis crescentes de óleo de soja na ração.

**Tabela 6.** Coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da energia bruta (CDEB), da proteína bruta (CDPB) e do extrato etéreo (CDEE) e proteína bruta digestível (PBD) para os diferentes níveis de inclusão de óleo

Variáveis <sup>1</sup>	Níveis de Óleo de Soja <sup>2</sup>				EP <sup>3</sup>	LINEAR <sup>4</sup>	QUADR <sup>5</sup>	R <sup>2</sup> LINEAR	R <sup>2</sup> QUADR	PM <sup>6</sup>	CV <sup>7</sup> (%)
	0,0	3,0	6,0	9,0							
CDMS, %	88,71	89,32	90,15	90,75	0,30	0,006	0,990	99,58	-	-	1,27
CDEB, %	88,00	88,87	90,65	91,03	0,35	<0,001	0,609	94,76	-	-	1,23
CDPB, %	86,25	87,35	89,97	91,39	0,63	<0,001	0,871	97,63	-	-	2,25
CDEE, %	72,68	82,80	87,69	90,06	1,64	<0,001	0,013	91,37	99,79	8,91	3,67
PBD, g/dia	16,73	16,97	17,37	17,66	0,11	<0,001	0,904	99,36	-	-	2,25

<sup>1</sup> CDMS= Coeficiente de digestibilidade da Matéria Seca; CDEB= Coeficiente de digestibilidade da Energia Bruta; CDPB= Coeficiente de digestibilidade da Proteína Bruta; CDEE= Coeficiente de digestibilidade do Extrato Etéreo; PBD= Proteína Bruta Digestível

<sup>2</sup> Níveis de inclusão de Óleo de Soja, 0= Ração Basal; 3= 3% Inclusão de Óleo de Soja; 6= 6% Inclusão de Óleo de Soja; 9= 9% Inclusão de Óleo de Soja

<sup>3</sup> Erro padrão da média

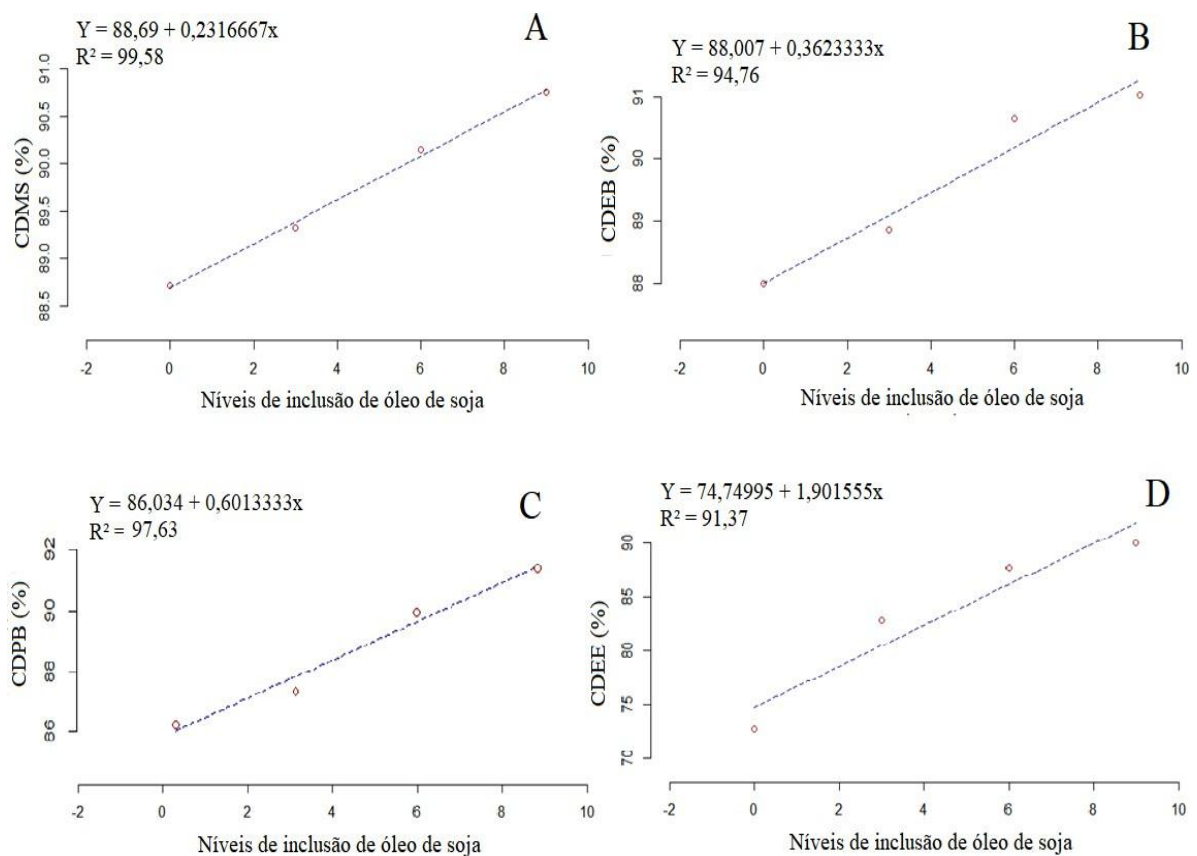
<sup>4</sup> P-valor para regressão linear

<sup>5</sup> P-valor para regressão quadrática

<sup>6</sup> Ponto máximo na curva

<sup>7</sup> Coeficiente de variação

Foi observado aumento linear em todos os coeficientes de digestibilidade com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja. Para o CDMS, houve um aumento linear ( $P=0,006$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 2,3% em relação ao tratamento controle ( $R^2=99,58$ ). Já para o CDEB, houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 3,4% em relação ao tratamento sem inclusão de óleo de soja ( $R^2=94,76$ ). Foi observado aumento linear para o CDPB ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 5,95% ( $R^2=97,63$ ) em relação ao tratamento controle. Para o CDEE, houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 23,91 ( $R^2=91,37$ ) em relação ao tratamento controle e um efeito quadrático com ponto de máximo de 8,91% de inclusão de óleo de soja. Para PBD houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 5,55% em relação ao tratamento sem inclusão de óleo de soja ( $R^2=99,36$ ). A figura 6 demonstra os gráficos para as variáveis de CDMS (A), CDEB (B), CDPB (C) e CDEE (D) e suas respectivas equações.



**Figura 5.** Gráficos da regressão linear para as variáveis de CDMS (A), CDEB (B), CDPB (C) e CDEE (D) com suas respectivas equações e valores de  $R^2$ .

Na tabela 7 são apresentados os valores de energia digestível, metabolizável aparente e corrigida pelo balanço de N, energia líquida EL, EM/ED, EL/EM e EL/ED para os níveis crescentes de óleo de soja.

**Tabela 7.** Valores de energia digestível (ED), energia metabolizável aparente (EMA), energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) e energia líquida (EL) e eficiência energética para os diferentes níveis de inclusão de óleo

Variáveis <sup>1</sup>	Níveis de Óleo de Soja <sup>2</sup>				EP <sup>3</sup>	LINEAR <sup>1</sup>	QUADR <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> LINEAR	R <sup>2</sup> QUADR	PM	CV (%)
	0,0	3,0	6,0	9,0							
ED, kcal/kg	3431	3615	3916	4079	58,86	<0,001	0,612	98,70	-	-	1,06
EMA, kcal/kg	3322	3554	3806	4040	62,50	<0,001	0,960	99,98	-	-	1,09
EMAn, kcal/kg	3244	3420	3722	3880	57,95	<0,001	0,638	98,48	-	-	1,01
EL, kcal/kg	2351	2553	2866	3053	65,43	<0,001	0,837	99,05	-	-	3,28
EM/ED, %	0,946	0,946	0,951	0,951	0,001	<0,001	0,993	87,28	-	-	0,25
EL/EM, %	0,725	0,747	0,770	0,787	0,007	<0,001	0,818	99,58	-	-	3,19
EL/ED, %	0,685	0,706	0,732	0,749	0,007	<0,001	0,826	99,38	-	-	3,28

<sup>1</sup> ED=Energia Digestível; EMA= Energia Metabolizável Aparente; EMAn= Energia Metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio

<sup>2</sup> Níveis de inclusão de Óleo de Soja, 0= Ração Basal; 3= 3% Inclusão de Óleo de Soja; 6= 6% Inclusão de Óleo de Soja; 9= 9% Inclusão de Óleo de Soja

<sup>3</sup> Erro padrão da média

<sup>4</sup> P-valor para regressão linear

<sup>5</sup> P-valor para regressão quadrática

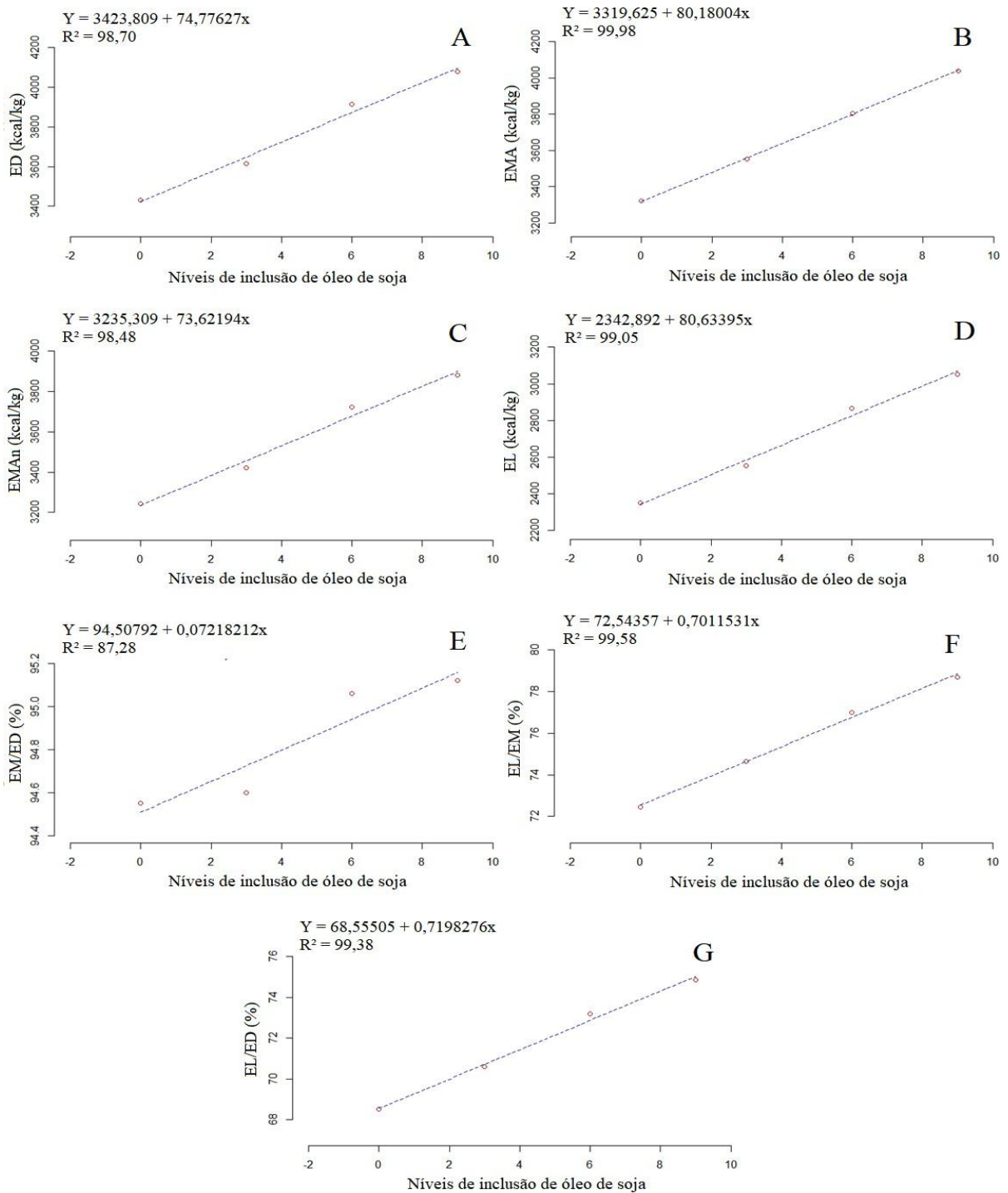
<sup>6</sup> Ponto máximo na curva

<sup>7</sup> Coeficiente de variação

Foi observado aumento linear em todas as variáveis de energia e suas relações. Para a ED houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento de 648 kcal/kg ( $R^2=98,70$ ) em relação ao tratamento controle. Já para a EMA houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento de 718 kcal/kg ( $R^2=99,98$ ) em relação ao tratamento controle. Para a EMAn houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento de 636 kcal/kg ( $R^2=98,48$ ) em relação ao tratamento controle. Para a EL houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento de 702 kcal/kg ( $R^2=99,05$ ) em relação ao tratamento controle.

Para a relação entre EM e ED, houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 0,52 % ( $R^2=87,28$ ), sendo que a perda de energia na urina passou de 5,4 % no tratamento controle para 4,9% com uma inclusão de 9% de óleo de soja. Já para a relação entre EL e ME, houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 8,5% ( $R^2=99,58$ ), sendo que a perda de energia no incremento calórico passou de 27,5 % no tratamento controle para 21,3% com uma inclusão de 9% de óleo de soja. Para a relação entre EL e ED, houve um aumento linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 9,3% ( $R^2=99,38$ ), sendo que a perda de energia na urina e no incremento calórico passou de 31,5% no tratamento controle para 25,1% com uma inclusão de 9% de óleo de soja.

A figura 7 demonstra os gráficos da regressão linear para a variável ED (A), EMA (B), EMAn (C), EL (D), EM/ED (E), EL/EM (F) e EL/ED (G) e suas respectivas equações.



**Figura 6.** Gráficos da regressão linear para as variáveis de ED (A), EM (B), EMAn (C), EL (D), EM/ED (E), EL/EM (F) e EL/ED (G) com suas respectivas equações e valores de  $R^2$ .

Na tabela 8 são apresentados os balanços de N para os níveis crescentes de óleo de soja.

**Tabela 8.** Balanço de nitrogênio para os diferentes níveis de inclusão de óleo

Variáveis <sup>1</sup>	Níveis de Óleo de Soja				EP <sup>3</sup>	LINEAR <sup>4</sup>	QUADR <sup>5</sup>	R <sup>2</sup> LINEAR	R <sup>2</sup> QUADR	PM	CV (%)
	0,0	3,0	6,0	9,0							
<b>Balanço de Nitrogênio</b>											
NC, g/d	30,54	30,52	30,55	30,58	-	-	-	-	-	-	-
NF, g/d	4,20	3,86	3,06	2,63	0,146	<0,001	0,598	97,65	-	-	3,38
NU, g/d	5,49	5,07	4,71	4,60	0,107	<0,001	0,337	95,26	-	-	7,09
N retido, %	68,25	70,72	74,55	76,32	0,777	<0,001	0,558	98,25	-	-	1,78
N retido, g/d	20,84	21,58	22,77	23,34	0,240	<0,001	0,625	98,32	-	-	1,78

<sup>1</sup> NC= Nitrogênio ingerido pelos animais, NF=Nitrogênio excretado nas fezes, NU=Nitrogênio excretado na urina.

<sup>2</sup> Níveis de inclusão de Óleo de Soja, 0,0 Ração Basal; 3,0= 3% Inclusão de Óleo de Soja; 6,0= 6% Inclusão de Óleo de Soja; 9,0= 9% Inclusão de Óleo de Soja

<sup>3</sup> Erro padrão da média

<sup>4</sup> P-valor para regressão linear

<sup>5</sup> P-valor para regressão quadrática

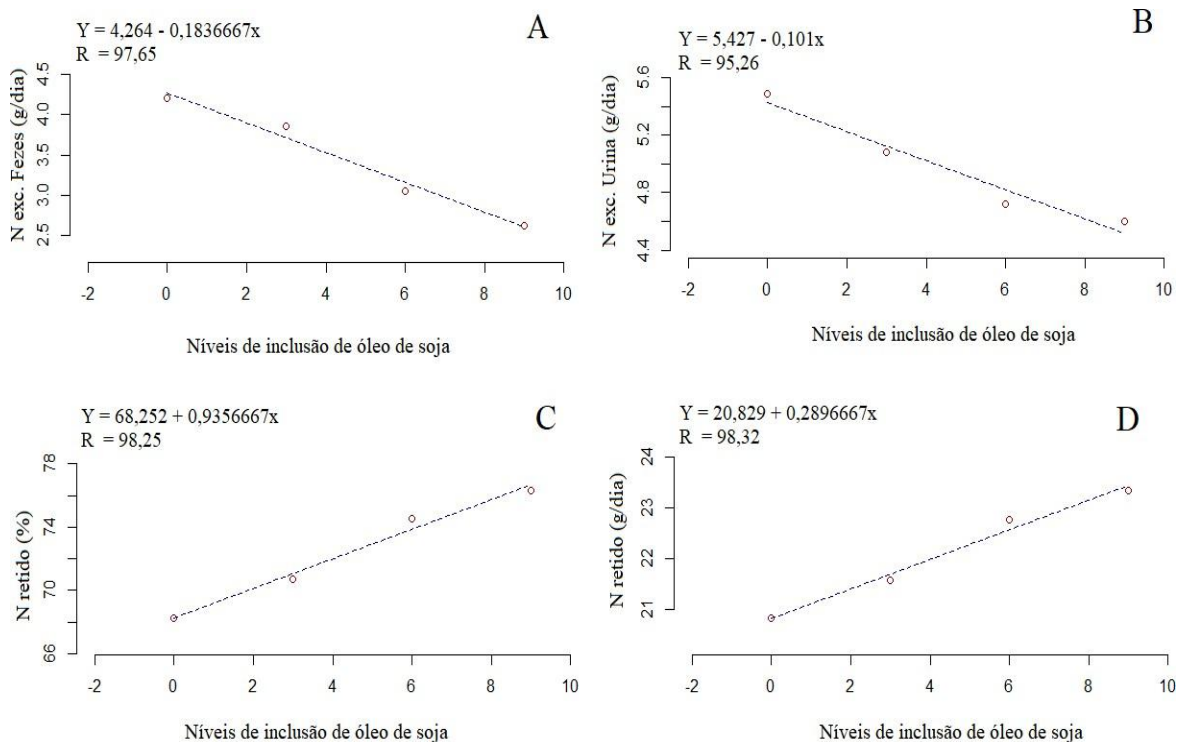
<sup>6</sup> Ponto máximo na curva

<sup>7</sup> Coeficiente de variação

Foi observado efeito linear do N excretado nas fezes e urina, houve uma redução ( $P < 0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado uma redução de 1.57 g/dia ( $R^2 = 97,65$ ) e 0.89 g/dia ( $R^2 = 95,26$ ) respectivamente com o aumento no nível de inclusão de óleo de soja.

Para o N retido (%), houve um aumento linear no N retido pelos animais ( $P < 0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 11.82% ( $R^2 = 98,25$ ) em relação ao tratamento controle. Para o N retido (g/dia) houve um aumento linear ( $P < 0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 2,5 g/dia ( $R^2 = 98,32$ ) com o aumento no nível de inclusão de óleo de soja.

A figura 8 demonstra os gráficos da regressão linear e quadrática para a variável N ingerido (A), N excretado nas fezes (B), N retido em porcentagem (C) e N retido em g/dia (D) e suas respectivas equações.



**Figura 7.** Gráficos da regressão linear para as variáveis de N ingerido (A), N excretados nas fezes (B), N retido em porcentagem (C) e N retido em g/dia (D) com suas respectivas equações e valores de  $R^2$ .

Na tabela 9 são apresentados os valores de energia digestível, metabolizável aparente e corrigida pelo balanço de N, energia líquida EL, EM/ED, EL/EM e EL/ED para os níveis crescentes de óleo de soja.

**Tabela 9.** Valores médios do coeficiente de digestibilidade da matéria seca *in vivo* (CDMS), digestibilidade *in vitro* com Viscozyme® (DivV) e digestibilidade *in vitro* com inoculo fecal (DivF) para as diferentes inclusões de óleo de soja

Variáveis <sup>1</sup>	Níveis <sup>2</sup>				EP <sup>3</sup>	LINEAR <sup>4</sup>	QUADR <sup>5</sup>	R <sup>2</sup>		PM <sup>6</sup>	CV (%) <sup>7</sup>
	0	3	6	9				LINEAR	QUADR		
CDMS <i>in vivo</i> , %	88,70	89,31	90,15	90,75	0,29	0,006	0,990	99,58	-	-	1,27
DivV, %	78,87	79,56	81,26	82,49	0,45	<0,001	0,642	97,77	-	-	1,46
DivF, %	71,97	71,67	74,23	75,17	0,44	<0,001	0,287	90,40	-	-	1,36

<sup>1</sup> CDMS *in vivo*= Coeficiente de digestibilidade da matéria seca; DivV= Digestibilidade *in vitro* com Viscozyme®; DivF= Digestibilidade *in vitro* com inoculo fecal

<sup>2</sup> Níveis de inclusão de Óleo de Soja, 0= Ração Basal; 3= 3% Inclusão de Óleo de Soja; 6= 6% Inclusão de Óleo de Soja; 9= 9% Inclusão de Óleo de Soja

<sup>3</sup> Erro padrão da média

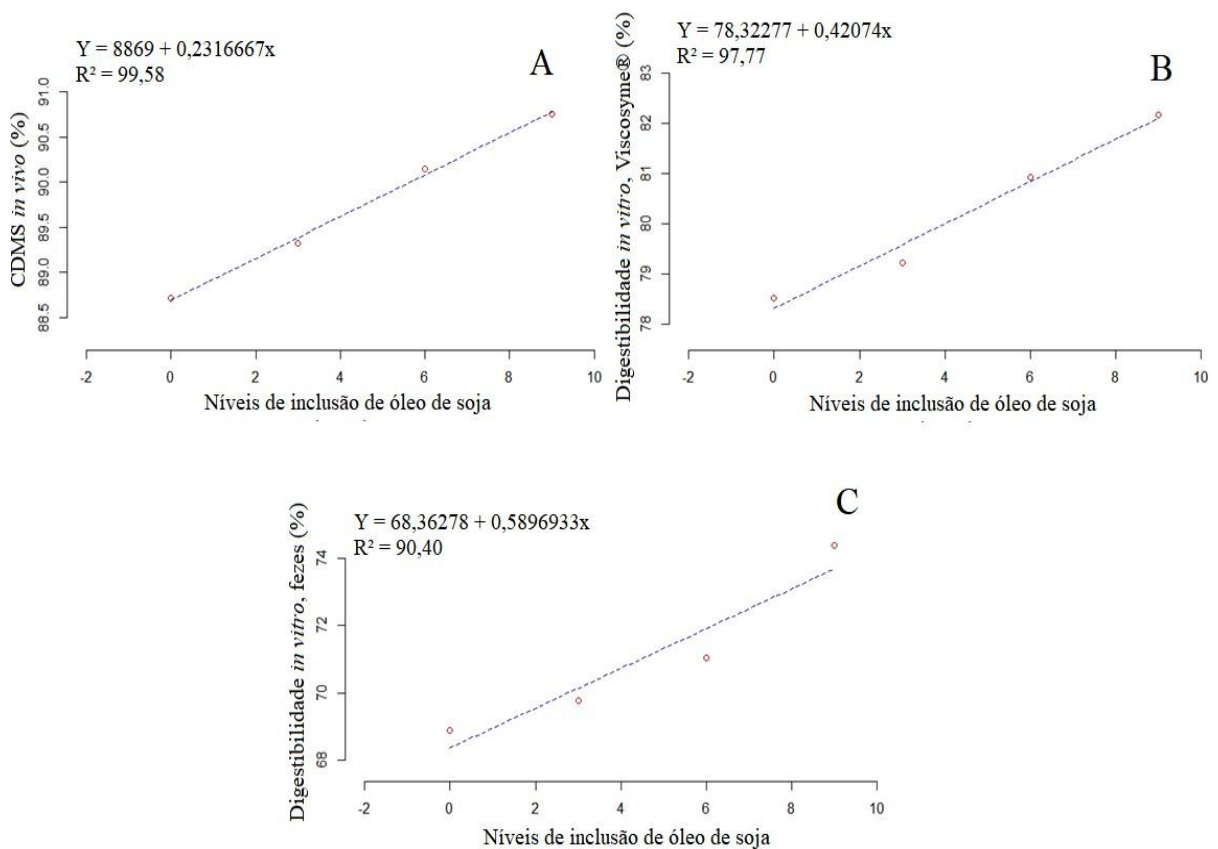
<sup>4</sup> P-valor para regressão linear

<sup>5</sup> P-valor para regressão quadrática

<sup>6</sup> Ponto máximo na curva

<sup>7</sup> Coeficiente de variação

Podemos observar que as três variáveis de digestibilidade apresentaram comportamento semelhantes. Houve efeito linear para o CDMS ( $P=0,006$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 2,3% ( $R^2=99,58$ ) com o aumento no nível de inclusão de óleo de soja. Para o DivV, foi observado efeito linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 4,5% ( $R^2=97,77$ ) com o aumento no nível de inclusão de óleo de soja. Já para o DivF, foi observado efeito linear ( $P<0,001$ ) com o aumento do nível de inclusão de óleo de soja, foi observado um aumento em 4,4% ( $R^2=90,40$ ) com o aumento no nível de inclusão de óleo de soja.



**Figura 8.** Gráficos da regressão linear para as variáveis de digestibilidade *in vivo* (A), digestibilidade *in vitro* com Viscosyme® (B) e digestibilidade *in vitro* com fezes como inoculo (C) e com suas respectivas equações e valores de  $R^2$ .

#### 4. DISCUSSÃO

A melhora linear nos coeficientes de digestibilidade da EB (3,44%), PB (5,96%) e EE (23,91%) e para MS (2,3%) obtidas através da inclusão de óleo de soja na dieta até 9%. Entretanto, Kil et al. (2011), verificaram aumento linear, quando incluíram até 10% de óleo de soja, para os coeficientes de digestibilidade da EB (3,7%), EE (248,1%) e não observaram melhora para os coeficientes de digestibilidade da PB. De forma semelhante, Su et al. (2015) ao avaliar níveis de óleo de soja na alimentação dos suínos em até 10%, observou melhora nos coeficientes de digestibilidade da MS (1,8%), da EB (2,4%), EE (48,6%), não sendo encontrada para o coeficiente de digestibilidade da PB.

O aumento linear na digestibilidade da energia encontrados neste experimento a partir da inclusão lipídeos é resultado da melhor digestibilidade destes, quando comparado a dietas baseadas em milho e soja sem o aporte de energia suplementar por meio da inclusão de óleo, somado ao elevado valor extra calórico obtido, que disponibiliza maior conteúdo energético da dieta para ser aproveitado pelos animais (Kil et al., 2010; Kil et al., 2011). Diversos estudos (Jørgensen et al., 2000; Albin et al., 2001; Bruce et al, 2006; Cervantes-Pahm e Stein, 2008; Kil e Stein, 2011; Rojas-Cano et al., 2014) demonstraram que ao aumentar os níveis de lipídeos na dieta, os coeficientes de digestibilidade foram melhorados.

Esta característica se reflete sobre todos os demais princípios nutritivos avaliados, sobretudo a digestibilidade do extrato etéreo, que se eleva e apresenta seu maior valor com a inclusão de 8,91% de óleo de soja. Isto porque a inclusão de óleos promove efeitos sobre perdas endógenas de lipídeos, que são diminuídas conforme se elevam as concentrações de lipídios dietéticos (Jorgensen et al., 1993; Kil et al., 2010).

Conforme mencionado, os óleos/gorduras quando adicionados a dieta elevam o conteúdo energético da dieta, melhorando a digestibilidade da energia e de outros nutrientes. Desta forma, foi observado que níveis de inclusão de óleo de soja em até 9%, melhorou linearmente o aporte energético da dieta de forma linear, os valores determinados foram: ED (4079 kcal/kg), os EMA (4040 kcal/kg), EMAn (3880 kcal/kg), EL (3053 kcal/kg). Conseqüentemente as relações entre EM/ED (95,1%), EL/EM (78,7%) e EL/ED (74,9%), também tiveram comportamento linear, onde uma inclusão de 9% de óleo de soja apresentou o maior aporte energético dentre as dietas avaliadas. Diante destes resultados, observou-se que, para as variáveis avaliadas, a dieta basal sem nenhum acréscimo energético com uso de óleo, apresentou menor aporte energético dentre as dietas, permitindo-se inferir que o a adição

de óleo de soja beneficia as dietas elevando o conteúdo energético da mesma, além de influenciar uma melhora nos outros nutrientes utilizados.

O aumento da EL de dietas com níveis crescentes de lipídios dietéticos foi relatado por Just (1982) e Kil et al. (2011) e este resultado foi atribuído principalmente a um maior valor EL de fontes lipídicas do que no milho e na soja. Adição de lipídios na dieta também pode aumentar a digestibilidade da energia e dos aminoácidos, devido o maior tempo de retenção e seu valor extra calórico (Cervantes-Pahm e Stein, 2008; Kil e Stein, 2011) e podem aumentar a quantidade de energia absorvida no intestino delgado e diminuir a quantidade de energia absorvida no intestino posterior dos suínos (Just, 1982; Noblet et al., 1994a, Cervantes-Pahm e Stein, 2008; Kil e Stein, 2011).

A relação de EM/ED encontrados neste estudo (0,96; média de valor para as 4 dietas experimentais) foi semelhante aos valores relatados anteriormente em dietas para suínos como no trabalho de Noblet e van Milgen (2004) relataram que a proporção de EM:ED de dietas completas seria em torno de 0,96 na maioria das circunstâncias.

A relação EL/EM, de acordo com Noblet et al. (1994), está em torno de 75%, entretanto, no presente estudo, com a inclusão de 9%, foi encontrado valor superior a estes autores (78,7%), possivelmente devido à alta inclusão de óleo, houve uma maior eficiência energética principalmente devido a sua melhor digestibilidade.

Ácidos graxos saturados podem ser menos digestíveis que ácidos graxos insaturados (Scheeder et al., 2003). Consequentemente a EL das dietas foram superiores à medida que se incluiu o óleo de soja, apesar da digestibilidade do extrato etéreo apresentar ponto de máxima em uma inclusão de 8,91% e a partir deste ponto, começar a reduzir. Contudo, para Kil et al. (2011), não verificaram diferenças significativas sobre o aumento da EL em dietas suplementadas com óleo de soja entre 5% e 10% de inclusão, supondo-se, portanto, que a proporção de lipídeos dietéticos que são usados para a síntese de ATP e para a incorporação aos tecidos corporais são similares em dietas com mais que 5% de óleo de soja.

Observou-se que, com a inclusão de até 9% de óleo de soja houve uma redução linear ( $R^2$  97,65;  $P < 0,001$ ) do nitrogênio excretado nas fezes, o que possibilitou um aumento linear no nitrogênio retido ( $R^2$  98,32;  $P < 0,001$ ). Conforme observado através dos resultados de ED, EMA, EMAn e EL, o incremento de óleos às dietas elevou o conteúdo energético das mesmas e melhorou a digestibilidade da energia e proteína, resultando em uma maior absorção e retenção do nitrogênio ingerido.

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca de alimentos/rações tem sido utilizada como uma importante ferramenta na avaliação de dietas destinadas aos animais, uma vez que pode

ser uma alternativa interessante economicamente, além de evitar a utilização de animais em pesquisas. No presente estudo, observou-se que ao elevar a inclusão de óleo de soja, houve uma melhora da digestibilidade. Através do aumento linear observado nos coeficientes de digestibilidade *in vivo* (2,31%) e *in vitro* (4,58 e 5,92% para digestibilidade com Viscozyme® e fezes, respectivamente) e com a melhora no coeficiente de digestibilidade de matéria seca ao incluir até 9% de óleo de soja nas dietas para suínos em crescimento, foi possível observar que a técnica *in vitro* não obteve tanta acurácia quanto a digestibilidade *in vivo*, apesar das técnicas avaliadas terem mantido o mesmo comportamento linear, a técnica *in vitro* apresentou coeficientes menores. Estes resultados ocorreram em função, possivelmente, dos tempos de incubação, onde qualquer interferência modifica os resultados quando se utiliza a técnica *in vitro* e devido ao tempo de latência necessário após a inoculação das dietas. Diversos fatores podem estar relacionados ao processo de digestão e fermentação *in vitro*, dentre eles a necessidade de adaptação da microbiota ao substrato (quando utilizado inóculos biológicos, como fezes, conteúdo cecal, ruminal, dentre outros) e o tempo de hidratação do substrato. Desta forma, acredita-se que para maior acurácia da técnica *in vitro* para suínos, utilizando viscozyme e fezes suínas, seja necessária mais estudos e uma adaptação na técnica de digestibilidade *in vitro* na qual possivelmente, haja necessidade verificar em cada etapa do processo para se ter uma reprodução mais fiel a digestibilidade *in vivo* com maior acurácia das técnicas.

## 5. CONCLUSÕES

A utilização de níveis crescentes melhora linearmente os coeficientes de digestibilidade da MS e PB e EB.

O coeficiente de digestibilidade do EE com a melhora com os níveis crescentes com melhor inclusão de 8,91%.

A inclusão melhora linearmente a ED, EMA, EMAN e EL. O N retido teve efeito linear aumentando com a inclusão de óleo.

A DivV e DivF aumentou linearmente com a inclusão de óleo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBIN, D. M.; SMIRICKY, M. R.; WUBBEN, J. E.; GABERT, V. M. The effect of dietary level of soybean oil and palm oil on apparent ileal amino acid digestibility and postprandial flow patterns of chromic oxide and amino acids in pigs. *Journal of Animal Science*. v.81, p.495–503, 2001.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. v.2. 2000.
- BOISEN, S.; FERNANDEZ, J. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by *in vitro* analyses. *Animal Feed Science and Technology*, v.68, p.277–286, 1997.
- BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. *Proc 3rd Symp. In: Proc. 3rd Symp. On Energy Metabolism, EAAP Publ. n.11*, p.441-443, 1965.
- BRUCE, K. J.; KARR-LILIENTHAL, L. K.; ZINN, K. E.; POPE, L. L.; MAHAN, D. C.; FASTINGER, N. D.; WATTS, M.; UTTERBACK, P. L.; PARSONS, C. M.; CASTANEDA, E. O., ELLIS, M.; FAHEY, G. C. Evaluation of the inclusion of soybean oil and soybean processing by-products to soybean meal on nutrient composition and digestibility in swine and poultry. *Journal of Animal Science*. v. 84, p. 1403–1414, 2006.
- CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production: the fire of life. *Research School of Animal Nutrition and Physiology*. p.1-23, 2004.
- CHWALIBOG, A. Energetics of Animal Production. *Acta Agric. Scand.* n.41, p.147–160, 1991.
- GALLOWAY, S.T e EWAN, R.C. Energy evaluation of tallow and oat groats for young swine. *Journal of Animal Science*. v.67, p.1744-1750, 1989.
- JØRGENSEN H, FERNANDEZ JA. Chemical composition and energy value of different fat sources for growing pigs. *Acta Agric Scand Section Anim Sci.* v.50, p.129–136, 2000.
- JUST, A. The net energy value of balanced diets for growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 8: 541–550, 1982.
- KIL, D. Y., AND H. H. STEIN. Dietary soybean oil and choice white grease improve apparent ileal digestibility of amino acids in swine diets containing corn, soybean meal, and distillers dried grains with solubles. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* v.24, p.248–253, 2011a.
- KIL, D. Y.; SAUBER, T. E.; JONES, D. B.; STEIN, H. H. Effect of the form of dietary fat and the concentration of dietary NDF on ileal and total tract endogenous losses and apparent and true digestibility of fat by growing pigs. *Journal of Animal Science*. v.88, p.2959–2967, 2010.
- KIL, D.Y.; JI, F.; STEWART, L.L.; HINSON, R.B.; BEAULIEU, A.D.; ALLEE, G.L.; PATIENCE, J.F.; PETTIGREW, J.E. STEIN, H.H.. Net energy of soybean oil and choice

white grease in diets fed to growing and finishing pigs. *Journal of Animal Science*, v.89, p.448–459, 2011b.

KIL, D.Y.; JI, F.; STEWART, L.L.; HINSON, R.B.; BEAULIEU, A.D.; ALLE, G.L.; PATIENCE, J.F.; PETTIGREW, J.E.; STEIN, H.H. Effects of dietary soybean oil on pig growth performance, retention of protein, lipids, and energy, and the net energy of corn in diets fed to growing or finishing pigs. *Journal of Animal Science*. v.91, p.3283-3290, 2013b.

LAURIDSEN, C.; CHRISTENSEN, T.B.; HALEKOH, U. et al. Alternative fat sources to animal fat for pigs. *Revista Lipid Technology*, v. 19, p.156-159. 2007.

NOBLET J. Recent developments in net energy research for swine. *Advances in Pork Production*, v.18, p.149–156, 2007.

NOBLET, J., SHI, X.S.; AND DUBOIS, S. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.72, p.648-657, 1994a.

NOBLET, J.; FORTUNE, H.; SHI, X.S.; DUBOIS, S. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.72, p.344-354, 1994b.

NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *Journal of Animal Science*, v.82, p.229-238, 2004.

PEKAS, J.C. 1968. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. *J. Anim. Sci.*, 27(5):1303-1309.

PUPA, J.M.R. Óleo e gorduras na alimentação de aves e suínos. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.1, n.1, p.69-73, 2004.

R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROJAS-CANO, M. L.; RUIZ-GUERRERO, V.; LARA, L.; NIETO, R.; AGUILERA, J. F. Digestibility and energy value of diets containing increasing proportions of olive soapstocks for Iberian crossbred pigs. *Anim Feed Sci Technol*. v.191, p. 83–90, 2014.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.V.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4a edição. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2017. 488p.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H.S. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. Jaboticabal: Funep, 2016, 262p.

SCHEEDER, M.R.L.; GUMY, D.; MESSIKOMMER, R.; WENK, C.; LAMBELET, P. Effect of PUFA at sn-2 position in dietary triacylglycerols on the fatty acid composition of adipose tissues in non-ruminant farm animals. *Europe Journal Lipid Science and Technologic*. V.105, p.74-82, 2003.

SU, Y.; SHE, Y.; HUANG, Q.; SHI, C.; LI, Z.; HUANG, C.; PIAO, X.; LI, D. The effect of inclusion level of soybean oil and palm oil on their digestible and metabolizable energy content determined with the difference and regression method when fed to growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. v. 28, n.12, p. 1751-1759, 2015.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M. S. MCALLAN, A.B.; FRANCE, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feed. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 48(1):185-19

### CAPÍTULO III

#### EFEITO DA ORIGEM DE LIPÍDIOS SOBRE A DIGESTIBILIDADE *IN VIVO*, *IN VITRO* E ENERGIA LÍQUIDA DE RAÇÃO PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO

##### RESUMO

A utilização de óleos/gorduras na alimentação de suínos melhoram a digestibilidade de alguns nutrientes. Entretanto, é necessário a determinação precisa das fontes lipídicas para utilizá-las adequadamente na alimentação animal, maximizando seu uso além de reduzir a eliminação de nutrientes no ambiente. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a digestibilidade *in vivo*, *in vitro* e energia líquida de óleos/gorduras e soja integral extrusada para suínos em crescimento. Foram utilizados 20 suínos machos castrados, distribuídos em 5 tratamentos e quatro repetições em delineamento inteiramente casualizado, a dieta controle foi formulada a base de milho e soja e premix vitamínico e mineral para atender as exigências nutricionais para suínos em crescimento sem inclusão de óleo/gordura, os outros tratamentos foram adicionando lipídeos nas dietas, sendo a dieta controle com 8% com óleo de soja (8-OS), com gordura de aves (8-GA) e com gordura suína (8-GS) e com 40% com soja integral extrusada (40-SIE). As medias foram submetidas ao teste de Dunnett pelo Software R. O CDMS foi diferente ( $P < 0.001$ ) para 40-SIE (87,90%), para CDEB diferiu ( $P < 0.05$ ) para 8-OS, o CDEE diferiu para todos os tratamentos ( $P < 0.05$ ). A ED, EMA, EMAn e EL foi diferente entre os tratamentos em relação ao controle ( $P < 0,001$ ). Em conclusão, a inclusão das fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada melhoram a ED, EM, EL das rações de suínos. Os coeficientes de digestibilidade da MS e EB são melhores para as fontes exceto para SIE. Os valores de EL dos ingredientes foram 8139, 8222, 8161 e 3082 kcal/kg para OS, GA, GS e SIE respectivamente. As digestibilidades *in vitro* não foram diferentes em relação a dieta controle, tendo em média uma digestibilidade de 81,68 e 72,78 % para os óleos/gordura e 77,92 e 72,87 % para soja extrusadada utilizando viscozyme® e fezes frescas, respectivamente.

**Palavras-chave:** Alimentação, digestibilidade, energia, lipídeos, respirometria

## CHAPTER III

### EFFECT OF THE ORIGIN OF LIPIDS ON *IN VIVO*, *IN VITRO* DIGESTIBILITY AND NET ENERGY OF DIETS FOR GROWING PIGS

#### ABSTRACT

The use of oils/fats in the feeding of pigs improve the digestibility of some nutrients. However, is necessary a precise determination of the lipid sources to use them properly in animal feed, maximizing it's use and in addition reducing the loss of nutrients for the environment. The objective of this work was to evaluate the digestibility *in vivo*, *in vitro* and liquid energy of oils/fats and extruded integral soybeans for growing pigs. Therefore, 20 castrated male pigs were used, distributed in 5 treatments and four repetitions in fully randomized design replacing the diet control with 8% with soybean oil (8-OS), poultry fat (8-GA), swine fat (8-GS) and 40% with extruded integral soybeans (40-SIE). The variables averages were subjected to the Dunnett test using the R Software. The ATTD-DM was different ( $P<0.001$ ) for 40-SIE (87.90%), ATTD-CE differed ( $P<0.05$ ) for 8-OS and ATTD-EE differed for all treatments ( $P<0.05$ ). DE, AME, AMEn and NE was different between treatments in relation to control ( $P<0.001$ ). In conclusion, the inclusion of oil/fat sources and extruded integral soybeans improved the DE, ME and NE of pig diets. DM and CE digestibility coefficients are better for sources except for SIE. The NE values of the ingredients were 8139, 8222, 8161 and 3082 kcal/kg for OS, GA, GS and SIE respectively. *In vitro* digestibility were not different in relation to diet control, having an average digestibility of 81.68 and 72.78% for oils/fats and 77.92 and 72.87% for extruded integral soybeans using Viscozyme® and fresh pig faeces, respectively.

**Key-words:** Food, digestibility, energy, lipids, respirometry

## 1. INTRODUÇÃO

A alimentação dos suínos corresponde a aproximadamente 75% do custo de produção, sendo que a energia como princípio nutritivo que representa a maior proporção. Entretanto, é de grande importância estimar de forma precisa o valor energético dos alimentos, para formulação com custo mínimo sem afetar as exigências de energia dos animais.

A utilização de óleos/gorduras nas dietas dos suínos possui algumas finalidades estratégicas como melhorar a digestibilidade de alguns nutrientes, formulação de rações, reduzir a pulverulência. Nas formulações é praticamente impossível fixar um nível energético para as diversas rações e categorias dos suínos no sistema produtivo. Desse modo, deve-se verificar a disponibilidade, as fontes, os preços e as quantidades que devem ser fornecidas nas rações para visar os resultados econômicos satisfatórios na produção (Rostagno, 2017).

Para uma utilização adequada dos lipídeos, necessita de uma determinação precisa do conteúdo de energia do lipídeo, sendo essa determinação necessária para utilizá-lo adequadamente na indústria de alimentos para animais. A energia pode ser considerada um dos princípios nutritivos mais caro nas dietas de suínos e os altos custos de alimentação nos últimos anos fizeram com que os nutricionistas se concentrassem na otimização da eficiência calórica dos ingredientes alimentares utilizados em alimentos comerciais (Su et al., 2015).

Os resultados da composição química e da digestibilidade dos alimentos determinam o valor nutritivo dos mesmos, assim, para que um alimento tenha um elevado valor nutricional, deve possuir em sua composição um alto teor de nutrientes e uma boa digestibilidade. Já que as determinações da digestibilidade *in vivo* são demoradas e muito dispendiosas, a técnica de digestibilidade *in vitro* pode ser amplamente utilizada e bastante desenvolvida (Pessoa, 2016).

Diante disso, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes fontes de óleos/gorduras e soja integral extrusada da ração sobre o coeficiente de digestibilidade *in vivo* da matéria seca (CDMS), do estrato etéreo (CDEE), da proteína bruta (CDPB), da energia bruta (CDEB), dos valores de energia digestível (ED), metabolizável (EM) e Líquida (EL) das rações e alimentos e as relações EM:ED, EL:ED e EL:EM e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (MS<sub>inv</sub>) em dietas para suínos em crescimento.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Local e instalações

Os experimentos de digestibilidade *in vivo*, calorimetria e digestibilidade *in vitro* foram conduzidos nos Laboratórios de Metabolismo Animal, Calorimetria e Nutrição Animal, respectivamente, do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, Minas Gerais. O Experimento foi realizado no período de dezembro de 2017 a janeiro de 2018. As temperaturas de médias de máxima foi  $28,79 \pm 2,07$  e mínima foi de  $22,9 \pm 1,02$ .

### 2.2 Ensaio de Digestibilidade

Foram utilizados 20 suínos machos castrados oriundos do cruzamento entre fêmea Camborough 25 e macho AGPIC 337 de linhagens comerciais da Agrocere PIC<sup>®</sup> com peso inicial de  $23,8 \pm 0,68$  kg em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições sendo cada animal considerado a unidade experimental. Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas metálicas providas de bebedouros, comedouros e coletores de fezes e urina individuais, semelhante às descritas por Pekas (1968). Os tratamentos foram estabelecidos com base em cinco dietas experimentais, a dieta controle sem inclusão de óleo/gordura (0-FO); 8% de substituição da dieta controle com óleo de soja (8-OS), 8% de substituição da dieta controle com gordura de aves (8-GA), 8 % de substituição da dieta controle com gordura suína (8-GS) e 40 % de substituição da dieta controle por soja integral extrusada (8-SIE).

A dieta controle foi formulada a base de milho e farelo de soja e suplementadas com vitaminas, minerais e aminoácidos industriais para atender as exigências de suínos em crescimento estabelecida por (Rostagno et al. 2017) (tabela 10), ficando desbalanceada com a inclusão das fontes lipídicas. Todas as dietas foram produzidas na fábrica de ração da Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa, na cidade de Igarapé Minas Gerais. As rações foram fornecidas de acordo com peso metabólico ( $PV^{0,6}$ ) de acordo com o peso metabólico dos animais, distribuídas em duas refeições diárias, as 7:00 e 16:00 horas, e o acesso à água foi livre durante todo período experimental. A limpeza da sala foi realizada uma vez por dia, no período da manhã.

**Tabela 10.** Composição centesimal e nutricional da dieta experimental para suínos machos castrados em fase de crescimento

Itens	Dieta (%)
	Dieta controle
<b>Ingredientes</b>	
Milho Grão	69,63
Farelo de Soja	25,42
Óleo de Soja	-
Óleo de Frango	-
Gordura Suína	-
Soja Extrusada	-
F. Bicálcico	1,98
Calcário	0,78
Sal Comum	0,500
Premix <sup>2</sup>	0,500
L-Lisina	0,62
L-Treonina	0,28
DL- Metionina	0,22
L-Triptofano	0,06
BHT	0,01
<b><sup>3</sup>Composição Calculada</b>	
Matéria Seca %	89,618
Energia Metabolizável (Mcal/kg)	3,186
Proteína Bruta %	18,000
Estrato Etéreo %	3,148
Lisina Total%	1,369
Metionina + Cistina Total %	0,781
Fósforo Total %	0,674
Cálcio %	0,879

<sup>1</sup>Dieta Basal = milho e farelo de soja sem inclusão de óleo de soja;

<sup>2</sup>Produto comercial Qualitec Suínos Crescimento - Fatec®. Níveis de garantia (por kg do produto): Vitamina A: 2.150.000 U.I. Vitamina B1: 250mg.; Vitamina B12: 5.000mg.; Vitamina B2: 1.000mg.; Vitamina B6: 350mg; Vitamina D3: 300.000 U.I.; Vitamina E: 3.350 U.I.; Vitamina K3: 500mg.; biotina: 5mg.; Colina: 28,03g.; Niacina: 7.500mg; Ácido Pantotênico: 3.283mg.; Cobalto: 83 mg; Cobre: 6.649mg; Ferro: 30g.; Iodo: 85mg; Manganês: 14,5g; Selênio: 52mg; Zinco 28,5 g.; Lisina 76,83g.; Metionina 10g.; Bacillus subtilis 50x19e<sup>9</sup> UFC, Lincomicina 7.333 mg.

<sup>3</sup>Dados na matéria natural

### 2.2.1 Determinação dos valores de energia digestível e metabolizável aparente

O período experimental correspondeu a cinco dias para a adaptação dos animais às gaiolas, às dietas experimentais e mais três dias para estabilização do consumo voluntário e adaptação dos animais ao consumo determinado para o período experimental. Após esse período, os cinco dias subsequentes corresponderam ao período experimental, no qual foram realizadas as coletas de fezes e urina.

As fezes de cada animal, coletadas totalmente a cada dia as quais foram pesadas diariamente e homogeneizadas, foi retirada uma amostra de, aproximadamente, 20%, por

coleta e por repetição, sendo colocadas em saco plástico, e armazenadas em “freezer” a -20°C. Terminado o período de coleta, as fezes foram homogeneizadas e retirada uma amostra de cada saco plástico, a qual foi pesada e colocada em estufa de ventilação forçada a 55°C durante 72 horas para pré-secagem. Posteriormente, as amostras permaneceram expostas ao ar, para que ocorra equilíbrio com a temperatura e umidade ambiente, sendo então pesadas, moídas e homogeneizadas. Finalmente, as amostras do material seco, foi utilizada para posteriores análises de laboratório. A coleta de urina foi realizada diariamente, em baldes plásticos contendo 20 ml de uma solução de HCl (1:1). A urina de cada animal foi filtrada e completada até determinado volume com água destilada, sendo então retirada uma amostra de 5% do volume, que será colocada em garrafas plásticas, por coleta e por repetição, e armazenada em “freezer” a -20°C, para posteriores análises de laboratório.

Foram realizadas análises bromatológicas das amostras coletadas e das rações experimentais no laboratório de nutrição animal da Escola de Veterinária da UFMG de acordo com Silva e Queiroz (2006). A partir desses resultados, os dados dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia e dos nutrientes foram obtidos.

### **2.2.2 Determinação do balanço de nitrogênio**

O balanço de nitrogênio entre as diferentes dietas foi calculado através da diferença entre nitrogênio ingerido e a perda de nitrogênio nas fezes e urina. Os valores de nitrogênio consumido (NC), nitrogênio excretado nas fezes (NF) e excretado na urina (NU), foram obtidos pela multiplicação dos teores de N pelas quantidades de ração consumida, fezes e urina excretadas, respectivamente. A partir destes foram calculados o N retido ( $NR = NC - NF - NU$ ).

### **2.2.3 Calorimetria**

Após o período da digestibilidade in vivo, todos os animais de cada repetição e de cada tratamento foram colocados individualmente em câmara respirométrica para determinação da produção diária de calor. A determinação da energia líquida das rações foi realizada por meio de calorimetria indireta, ou seja, cálculo da quantidade de energia produzida pelo animal na forma de calor calculada por meio de mensurações de troca gasosa (consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono) e produção de calor em uma câmara respirométrica de sistema aberto, no Laboratório de Metabolismo Animal da Escola de Veterinária da UFMG. Assim, cada animal de cada uma das cinco repetições permaneceu por

48 horas em câmara respirométrica, sendo 24 horas na câmara alimentado e 24 horas em jejum. Nesse sistema, o ar atmosférico entra na câmara em um fluxo constante de 50 litros por minuto e é misturado ao ar expirado pelos animais, sendo coletadas amostras a cada 5 minutos para a determinação das concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. A concentração máxima permitida de CO<sub>2</sub> foi de 0,5%. O consumo de O<sub>2</sub> e a produção de CO<sub>2</sub> podem ser calculados baseados no volume e na composição do ar que entra comparado com o ar que sai (Chwalibog, 2004). O cálculo da produção de calor feito de acordo com a equação de Brouwer (1965):

$$HP = 3,87 \times O_2 (l) + 1,20 \times CO_2 - 1,43 \times N$$

Onde: HP em quilocalorias; O<sub>2</sub> é o consumo de oxigênio em litros; CO<sub>2</sub> é a produção de dióxido de carbono em litros e N é a excreção urinária de nitrogênio em gramas.

#### **2.2.4 Determinação dos valores de energia líquida para manutenção**

Os animais foram submetidos ao jejum por 12 horas, posteriormente foram colocados na câmara respirométrica e mensurada a troca gasosa por 24 horas, calculando-se a produção de calor durante este período a partir da equação de Brouwer (1965). Para esta determinação da Energia metabolizável disponível para retenção de energia corporal (EM<sub>pf</sub>) será utilizada a equação: EM<sub>pf</sub> = EM - EM<sub>m</sub> (Chwalibog, 1991).

#### **2.2.5 *In vitro***

O ensaio *in vitro* de Boisen e Fernández (1997) é um procedimento de 3 passos, cada passo representando os processos de digestão no estômago, intestino delgado e intestino grosso, utilizando pepsina, pancreatina e Viscozyme<sup>®</sup> respectivamente.

Foi realizado um ensaio de digestibilidade *in vitro* utilizando Viscozyme<sup>®</sup> em um jarro e fezes suínas frescas em outro jarro. Modificando o método de incubação proposto por este protocolo, substituindo o ácido acético 30% por HCL 1:1 na segunda etapa (reduzir o volume para evitar a diluição do meio) e substituindo o Viscozyme<sup>®</sup> por fezes suínas frescas, foram utilizadas quatro repetições por tratamento e utilizando dois brancos totalizando 22 sacos/jar.

As rações foram finamente moídas (<1 mm) e foram pesadas 0,5 g em sacos filtrantes (Ankom Technology Corp, Macedon, NY, EUA) com uma precisão de + 0,1 mg e colocados

em um frasco de incubadora Daisy II (3,5 L e 22 sacos de filtro / jar) com haste magnética. Foram adicionados 25 mL de tampão de fosfato (0,1 M, pH 6,0) e 10 mL de solução de HCl 0,2 M para cada saco (550 mL de tampão fosfato e 220 mL de solução HCl para cada jar com 22 sacos). As soluções foram misturadas com cuidado por suave agitação magnética.

O pH foi medido e depois ajustado para pH 2 com soluções 1 M HCl ou 1 M NaOH. Em seguida, foi adicionado 1 mL / saco (22 mL / jar) de solução de pepsina fresca [25 mg de pepsina (pepsina de porcino, 2000 FIP-Unidades / proteína g, Merck n 7190) / mL 0,2 M HCl) foi adicionada e misturada. O frasco foi fechado e as amostras incubadas a 39° C durante 2 h. Depois retira-se o frasco do Daisy II foram adicionados 10 mL / saco (220 mL / jar) de tampão de fosfato (0,2 M, pH 6,8) e 5 mL / saco (110 ml / jar) de NaOH 0,6 M. Após a mistura, o pH foi ajustado para 6,8 e adicionando soluções de 1 M HCl ou 1 M NaOH. Depois, adicionados 1 mL / saco (22 ml / jar) de solução fresca de pancreatina [100 mg de pancreatina (pancreatina de porcino, grau VI, Sigma n 1750) / mL de tampão fosfato a pH 6,8], o frasco foi fechado e as amostras incubadas a 39 ° C durante 4 h.

Depois da segunda incubação, o pH foi ajustado para 4,8 por adição de HCL 1:1 e depois 0,5 mL / saco (11 mL / jar) de Viscozyme® (Viscozym® e 120 L, 120 FBG / G, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO), misturou-se e incubou-se a 39 ° C durante 18 h.

O mesmo processo foi feito substituindo o Viscozyme® por 16 ml/ saco (352 mL /jar) da solução 1:1 (p/v) com uma solução mineral tamponada (Theodorou et al., 1994) como inóculo. O total dos resíduos solúveis foram então eliminados e os sacos foram lavados no frasco com água a 39 ° C três vezes e misturados cuidadosamente (o primeiro por 30 min a 39 ° C com agitação na incubadora), seguido de enxaguamento com etanol e acetona para evitar a aderência de qualquer resíduo nos sacos. Finalmente, os sacos foram secos a 105°C durante 24 h.

Dois sacos sem qualquer amostra foi utilizada como espaços em branco em cada jar. A MS *in vitro*, foram obtidos calculando a diferença da amostra antes e depois das incubações, corrigido para as amostras em branco.

A digestibilidade de MS *in vitro* (DM<sub>dinv</sub>) foi calculada como:

$$DM_{Sinv} = 1 - \frac{W3 - (W1 - C1)}{W2}$$

Onde: W1 é o peso da tara do saco, W2 é o peso da amostra seca, W3 é o peso final do saco seco do saco após a digestão processo e C1 é a correção do saco em branco (peso final do forno no saco em branco após a digestão / saco vazio original peso).

### 2.3 Análises Químicas

A composição química das dietas experimentais foi obtido utilizando métodos AOAC (2000) para matéria seca (MS; 934,01), cinzas (967,05), nitrogênio (N; 986,06), proteína bruta (PB; 986,06), extrato de éter (EE; 920,39) e cálcio (Ca; 927,02). O fósforo (P) foi medido por espectrofotometria (modelo E-225D, CELM, Barueri, SP, Brasil). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica adiabática (modelo 6200, Parr Instrument Company, Moline, Illinois, USA).

### 2.4 Análise estatística

As variáveis analisadas foram submetidas a análise de Dunnett. As respostas foram consideradas significativamente diferentes quando  $P < 0,05$ . Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando Software R (R Core Team, 2017).

## 3. RESULTADOS

Todos os animais se adaptaram bem às suas dietas experimentais e as condições da sala de metabolismo, permanecendo saudáveis, e consumindo a quantidade de ração fornecida diariamente durante todo o período experimental. Os nutrientes analisados e estimados dos ingredientes estão apresentados na tabela 11.

**Tabela 11.** Composição dos Ingredientes analisadas e estimada (alimentos teste)

Item	Ingredientes <sup>1</sup>			
	OS	GA	GS	SIE <sup>4</sup>
<sup>2</sup> MS %	99,6	99,6	99,6	92,5
<sup>3</sup> EB Kcal/kg	9521	9448	9570	5263
<sup>5</sup> Extrato Etéreo %	99,6	99,4	99,6	20,2
Ca %	-	-	-	0,23
P %	-	-	-	0,54

<sup>1</sup>OS= Óleo de Soja; GA= Gordura de Aves; GS= Gordura Suína; SIE= Soja Integral Extrusada;

<sup>2</sup>MS= Matéria Seca; <sup>3</sup>EB= Energia Bruta; <sup>4</sup>Composição Analisada; <sup>5</sup>Composição estimada Rostagno et al. (2017)

### **3.1 Digestibilidade Aparente da MS, Energia Bruta, proteína e balanço de N**

Na tabela 12 são apresentados os coeficientes de digestibilidade da matéria seca, energia bruta, proteína bruta, extrato etéreo e proteína digestível para diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.

**Tabela 12.** Coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), da energia bruta (CDEB), da proteína bruta (CDPB) e do extrato etéreo (CDEE) e proteína bruta digestível (PBD) para diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamento dietético <sup>2</sup>					SEM	CV (%)
	0-FO	8-OS	8-GA	8-GS	40-SIE		
CDMS, %	91,02	91,91	91,91	90,83	87,90**	0,37	0,82
CDEB, %	90,21	91,81 *	91,29	90,42	90,16	0,21	0,81
CDPB, %	90,46	91,80	90,69	88,84	80,00**	1,02	1,44
CDEE, %	70,48	88,05**	88,07**	85,80**	81,08**	1,57	2,43
PBD, %MS	17,04	15,93**	15,74**	15,33**	13,72**	0,25	1,49

<sup>1</sup> CDMS= Coeficiente de digestibilidade da Matéria Seca; CDEB= Coeficiente de digestibilidade da Energia Bruta; CDPB= Coeficiente de digestibilidade da Proteína Bruta; CDEE= Coeficiente de digestibilidade do Extrato Etéreo; PBD= Proteína Bruta Digestível

<sup>2</sup> Fontes de Óleo/Gordura, 0-FO= Ração Basal; 8-OS=Substituição de 8% da Ração Basal por Óleo de Soja; 8-GA=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura de Aves; 8-OS=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura Suína; 40-SIE=Substituição de 40% da Ração Basal por Soja Integral Extrusada

Teste Dunnet =\*P<0,05; \*\*P<0,01

Foi observado diferença significativa ( $P < 0,001$ ) do coeficiente digestibilidade de matéria seca (CDMS) entre o grupo alimentado com 40-SIE (87,90%) em comparação com o grupo controle 0-FO (91,02%), onde foi observado uma redução de 3,5%. Já para o coeficiente de digestibilidade da energia bruta (CDEB) foi observada diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre os grupos 0-FO e 8-OS, onde foi observado uma melhora de 1,8% (90,21 e 91,81%, respectivamente). Para coeficiente de digestibilidade do extrato etéreo (CDEE), foi observado diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para todas as fontes avaliadas quando comparada com o grupo controle (0-FO), sendo observado uma melhora no coeficiente de 24,92%, 24,95%, 21,74% e 15,04% para os grupos 8-OS, 8-GA, 8-GS, 40-SIE, respectivamente. Comportamento semelhante foi observado ao avaliar a proteína bruta digestível, onde houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para todas as fontes de óleo quando comparado ao grupo 0-FO, sendo observado uma redução da variável em 6,97%, 8,26%, 11,15% e 24,20% para os grupos 8-OS, 8-GA, 8-GS, 40-SIE, respectivamente.

Na tabela 13, são apresentados os valores de energia digestível, energia metabolizável aparente, energia metabolizável aparente corrigida, energia líquida e eficiência energética para as diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.

**Tabela 13.** Valores de energia digestível (ED), energia metabolizável aparente (EMA), energia metabolizável aparente corrigida (EMAn) e energia líquida (EL) e eficiência energética para diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada

Variáveis <sup>1</sup>	Tratamento dietético <sup>2</sup>					SEM	CV (%)
	0-FO	8-OS	8-GA	8-GS	40-SIE		
ED, kcal/kg	3482	3942**	3960**	3927**	3927**	42,30	0,61
EMA, kcal/kg	3384	3879**	3906**	3858**	3826**	45,44	1,04
EMAn, kcal/kg	3334	3822**	3850**	3794**	3768**	44,71	1,06
EL, kcal/kg/ração	2447	2983**	2992**	2984**	2845**	49,10	1,86
EM/ED	0,958	0,970*	0,972**	0,966*	0,960	0,002	0,58
EL/EM	0,734	0,780*	0,777*	0,787**	0,755	0,005	1,96
EL/ED	0,703	0,757**	0,756**	0,760**	0,724**	0,006	1,93

<sup>1</sup> ED=Energia Digestível; EMA= Energia Metabolizável Aparente; EMAn= Energia Metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio

<sup>2</sup> Fontes de Óleo/Gordura, 0-FO= Ração Basal; 8-OS=Substituição de 8% da Ração Basal por Óleo de Soja; 8-GA=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura de Aves; 8-GS=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura Suína; 40SIE=Substituição de 40% da Ração Basal por Soja Integral Extrusada

Teste Dunnett =\*P<0,05; \*\*P<0,01

Para energia digestível (ED) foi observado diferença significativa ( $P < 0,001$ ) entre os grupos quando comparados ao grupo controle, onde foi observado valores superiores para os grupos 8-OS (3942 # 3482 kcal/kg), 8-GA (3960 # 3482 kcal/kg), 8-GS (3927 # 3482 kcal/kg) e 40-SIE (3927 # 3482 kcal/kg), comparando os tratamentos com o grupo controle respectivamente. Os tratamentos também aumentaram significativamente ( $P < 0,001$ ) os níveis de energia metabolizável aparente, foi observado para os grupos em relação ao 0-FO: 8-OS (3879 # 3384 kcal/kg), 8-GA (3906 # 3384 kcal/kg), 8-GS (3858 # 3384 kcal/kg) e 40-SIE (3826 # 3384 kcal/kg). Este comportamento se manteve ao avaliar a energia metabolizável aparente corrigida, sendo os valores para 8-OS (3822 kcal/kg), 8-GA (3850 kcal/kg), 8-GS (3794 kcal/kg) e 40-SIE (3768 kcal/kg) todos eles superiores significativamente ( $P < 0,001$ ) quando comparados ao grupo controle 0-FO (3334 kcal/kg). Consequentemente, a energia líquida também apresentou valores superiores significativamente ( $P < 0,001$ ) quando os grupos 8-OS (2983 kcal/kg), 8-GA (2992 kcal/kg), 8-GS (2984 kcal/kg) e 40-SIE (2845 kcal/kg) foram comparados ao grupo controle 0-FO (2447 kcal/kg). A EL encontrada para os ingredientes óleo de soja, gordura de aves, gordura suína e da soja integral extrusada foram 8139, 8222, 8161 e 3082 kcal/kg respectivamente.

Ao avaliar a relação EM/ED foi observado um aumento ( $P < 0,05$ ) quando comparado o grupo 0-FO (0,958) com o grupo 8-OS (0,970) e o grupo 8-GS (0,966), ainda foi observado um aumento ( $P < 0,001$ ) entre o grupo 0-FO (0,958) e 8-GA (0,972). Já para EL/EM foi observado diferença significativa em comparação com o grupo controle 0-FO (0,734) e 8-OS (0,780;  $P < 0,05$ ), para 8-GA (0,777;  $P < 0,05$ ) e 8-GS (0,787;  $P < 0,001$ ). Para EL/ED, todos os grupos apresentaram valores superiores ( $P < 0,01$ ) quando comparados um a um com o grupo controle 0-FO (0,703), sendo os valores para 8-OS (0,757), 8-GA (0,756), 8-GS (0,760) e 40-SIE (0,724).

Na tabela 14, estão apresentados o balanço de nitrogênio para as diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.

**Tabela 14.** Balanço de nitrogênio para as diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada

Variáveis	Tratamento dietético <sup>1</sup>					SEM	CV (%)
	0-FO	8-OS	8-GA	8-GS	40-SIE		
Balanço de Nitrogênio							
N ing, g/d	31,79	29,64	29,23	29,43	45,83	-	-
N exc fezes, g/d	3,03	2,43**	2,72	3,28	9,16**	0,58	4,48
N exc urina, g/d	6,96	4,18**	4,53**	4,29**	9,72**	0,51	12,46
N retido, %	68,58	77,70**	75,17**	74,28**	58,79**	1,59	2,85
N retido, g/d	21,80	23,03	21,97	21,86	26,94**	0,47	3,15

<sup>1</sup>0-FO= Ração Basal; 8-OS=Substituição de 8% da Ração Basal por Óleo de Soja; 8-GA=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura de Aves; 8-GS=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura Suína; 40-SIE=Substituição de 40% da Ração Basal por Soja Integral Extrusada

Teste Dunnett =\*P<0,05; \*\*P<0,01

Para o N excretado nas fezes e gramas ocorreu uma redução ( $P<0,01$ ) quando comparado o grupo 0-FO (3,03) com o grupo 8-OS (2,43) e um aumento ( $P<0,01$ ) na excreção de N quando comparado o grupo 0-FO (3,03) com o grupo 40-SIE (9,16).

Foi observado diferença ( $P<0,01$ ) entre os tratamentos utilizados e o grupo controle (0-FO) para o N excretado na urina em gramas por dia.

O N retido em percentagem aumentou ( $P<0,01$ ) para os tratamentos 8-OS (77,70), 8-GA (75,17) e 8-GS (74,28) e reduziu ( $P<0,01$ ) para o tratamento 40-SIE (58,79) quando comparados com o grupo controle 0-FO (68,58).

Na tabela 15 são apresentados os valores de CDMS (%) *in vivo*, digestibilidade *in vitro* com Viscozyme<sup>®</sup> e inoculo de fezes para as fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.

**Tabela 15.** Valores médios do coeficiente de digestibilidade da matéria seca *in vivo* (CDMS), digestibilidade *in vitro* com Viscozyme® (DivV) e digestibilidade *in vitro* com inoculo fecal (DivF) para as diferentes fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada

Variável <sup>2</sup>	Tratamento dietético <sup>1</sup>					SEM	CV
	0-FO	8-OS	8-GA	8-GS	40-SIE		
CDMS, <i>in vivo</i> %	91,02	91,91	91,91	90,83	87,90**	0,37	0,82
DIV_VIS, %	79,99	81,49	81,69	81,85	77,92	0,43	1,59
DIV_FEZ, %	70,87	72,85	72,82	72,67	72,87	0,34	1,97

<sup>1</sup>0-FO= Ração Basal; 8-OS=Substituição de 8% da Ração Basal por Óleo de Soja; 8-GA=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura de Aves; 8-GS=Substituição de 8% da Ração Basal por Gordura Suína; 40-SIE=Substituição de 40% da Ração Basal por Soja Integral Extrusada;

<sup>2</sup>CDMS *in vivo*= Coeficiente de digestibilidade da matéria seca; DivV= Digestibilidade *in vitro* com Viscozyme®; DivF= Digestibilidade *in vitro* com inoculo fecal  
 Teste Dunnett =\*P<0,05; \*\*P<0,01

#### 4. DISCUSSÃO

A avaliação nutricional de ingredientes que são empregados como fonte de energia suplementar depende da determinação da digestibilidade de princípios nutritivos tais como MS, EB, PB e EE. Tal determinação depende do criterioso controle dos níveis de inclusão em função da origem do ingrediente teste e da comparação deste com uma dieta basal.

A qualidade intrínseca das gorduras é dada tanto pela sua composição de ácidos graxos bem como pelo grau de saturação, diretamente relacionados com a digestibilidade da energia contida na fonte de gordura (Brandão et al., 2005). Assim, a digestibilidade de uma fonte lipídica depende da relação de ácidos graxos I:S na dieta a qual, segundo Gu e Li (2003), melhora com o aumento no grau de insaturação dos ácidos graxos.

Os resultados de CDMS obtidos demonstram que a origem do óleo não interfere na digestibilidade da MS. Contudo a SIE por apresentar composição químico-bromatológica mais complexa e, no presente estudo, ter sido incluída em maior quantidade, para equilibrar o conteúdo em EE entre as dietas, reduziu o CDMS. Efeitos adversos sobre a digestibilidade dos nutrientes foi observada sobre a inclusão de soja em dietas para suínos (Gu e Li, 2004; Sun et al., 2008).

Para o CDPB, foi observado uma redução ao incluir 40% de soja integral extrusada quando comparada a dieta basal (0-FO). A SIE não é apenas uma excelente fonte de óleo de alta qualidade, mas também é rica em proteínas e carboidratos. A digestibilidade de um alimento é afetada por fatores físico químicos e estruturais do ingrediente, além de sua quantidade na dieta (Choct et al., 2010). Tais fatores podem levar a uma redução na digestão e absorção dos nutrientes em suínos (Van Barneveld e Hughes, 1994). Outro importante aspecto está relacionado ao aumento do teor de PB da dieta contendo SIE pois, os aminoácidos dietéticos quando fornecidos em excesso, são utilizados de forma metabólica ineficiente. Ao serem desaminados, há gasto de energia ocasionando redução significativa da energia líquida disponível, prejudicando a eficiência na síntese de tecido magro Moura et al., (2006). As diferenças encontradas para PBD refletem os teores de PB das dietas, que foram alterados com a inclusão das fontes de óleo/gordura e SIE.

Espera-se a partir da inclusão de óleos uma melhora no CDEB, devido a sua composição altamente digestível (NRC, 2012), associada ao aumento no tempo de retenção da digesta no trato gastrointestinal (Valaja and Siljander-Rasi, 2001). A melhora no CDEB ao substituir 8% da dieta basal por óleo de soja, foi provavelmente porque os lipídios do óleo

adicionado sejam mais digestíveis do que lipídeos intactos dos ingredientes da ração (Kil et al., 2010; Kil et al., 2013b). Suínos geralmente utilizam melhor a energia dos óleos vegetais do que as gorduras de origem animal, possivelmente pelo fato dos óleos apresentarem mais ácidos graxos insaturados ou ácidos graxos de cadeia curta e média do que a gordura animal (Stahly, 1984; Cera et al., 1988; Reis de Souza et al., 1995).

Variação nos valores de energia dietética tem sido verificada entre diferentes gorduras e óleos utilizados em dietas para suínos em crescimento e terminação devido, principalmente, a diferenças nas estruturas químicas (Powles et al., 1994). Portanto, grau de saturação, comprimento da cadeia, ponto de fusão e o arranjo do ácido graxo na molécula de gordura podem proporcionar diferentes valores nutricionais às fontes lipídicas (Lauridsen et al., 2007).

A menor relação entre as eficiências energéticas de EL:EM (73,4%) da ração basal em relação as outras dietas pode ter sido devido a não inclusão de lipídeos na dieta em relação tratamento controle. Podendo ser um indicativo de que a melhora nessa relação pode ter sido pela inclusão de fontes lipídicas na ração, sendo verificado que ao adicionar gordura na dieta ocorre uma melhora na digestibilidade (Kil e Stein, 2011). Uma maior eficiência de EL:EM para os tratamentos 8-OS, 8-GA e 8-GS (78,0; 77,7 e 78,8 %, respectivamente) e maior que a média encontrada na literatura de 75% (Noblet et al., 1994b), pode ter sido devido a uma alta inclusão de lipídeo alimentar nas dietas de 8% o que proporcionou uma maior eficiência energética. Mesmo tendo uma alta concentração energética não foi observado diferença na eficiência de EL:EM do tratamento controle em relação ao tratamento 40-SIE (75,5%), mesmo sendo fornecido uma alta inclusão lipídica prejudicou esta eficiência, possivelmente devido a maior concentração proteica da dieta (40-SIE (23,87% de PB), o que era esperado, pois animais que tem uma ingestão restrita de alimento e dieta com alta concentração de PB, pois em excesso de aminoácidos ocasiona uma menor eficiência, já que ao serem desaminados os aminoácidos liberam uma alta quantidade de energia calórica que não é aproveitada pelo animal sendo esta energia perdida na forma de energia calórica, reduzindo assim a EL (Moura et al., 2006).

A EL dos ingredientes foram superiores ao encontrado por Rostagno, (2017) em 10,5; 12,4; 14,9 e 7,8% para óleo de soja, gordura de aves, gordura suína e soja integral extrusada, respectivamente. Este fato pode ter ocorrido devido principalmente ao tipo de avaliação dos alimentos, já que os valores das tabelas brasileiras foram calculado a partir de equações de predição para encontrar os valores de energia líquida, sendo diferente do realizado nesta pesquisa.

A substituição da ração basal por alimentos em ensaio de metabolismo para avaliar a digestibilidade dos alimentos, altera completamente a quantidade de nutrientes da dieta. Assim é possível inferir que ao substituir a ração basal por altos níveis de óleos/gorduras (8%) e soja integral extrusada (40%) no presente trabalho, interferiu no balanço de N, melhorando a quantidade de N retido em percentagem para os grupos 8-OS, 8GA e 8-GS mesmo o animal ingerindo uma menor quantidade de N em relação ao tratamento controle, podendo ser observado através dos resultados de ED, EMA, EMAn e EL, o incremento de óleos às dietas elevou o conteúdo energético das mesmas e melhorou a digestibilidade da energia e proteína, resultando em uma maior absorção e retenção do nitrogênio ingerido, mesmo não sendo verificando diferenças entre o CDPB ocorreu uma redução no N excretado na urina dos animais possibilitando uma maior retenção e para o tratamento 40-SIE o N retido reduziu principalmente devido ao excesso de proteína da dieta que aumentou o N excretado nas fezes e urina em relação ao tratamento controle com o tratamento em comparação ao grupo controle.

Não ocorreu efeitos na digestibilidade *in vitro* em relação aos tratamentos e o tratamento controle (tabela 15).

## 5. CONCLUSÕES

A inclusão das fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada melhoram a ED, EM, EL das rações de suínos.

A energia líquida dos alimentos foram 8139, 8222, 8161 e 3082 kcal/kg para 8-OS, 8-GA, 8-GS e 8-SIE, respectivamente.

Os coeficientes de digestibilidade não foram alterados em relação a dieta teste para MS e PB (exceto da soja integral extrusada), CDEB (exceto para óleo de soja) e o CDEE foi melhor para as fontes de óleo/gordura e soja integral extrusada.

As digestibilidades *in vitro* foram semelhantes em relação as dietas testes com a dieta controle, tendo em média uma digestibilidade de 81,68 e 72,78 % para os óleos/gordura e 77,92 e 72,87 % para soja extrusada utilizando viscozyme<sup>®</sup> e fezes frescas, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOISEN, S.; FERNANDEZ, J. Prediction of the total tract digestibility of energy in feedstuffs and pig diets by *in vitro* analyses. *Animal Feed Science and Technology*, v.68, p.277–286, 1997.
- BRANDAO, P.A.; COSTA, F.P.G.P.; BARROS, L.R.; NASCIMENTO, G.A.J. Ácidos graxos e colesterol na alimentação humana. *Agropecuária técnica*, v.26, n.1, p.5-14, 2005.
- BRANDAO, P.A.; COSTA, F.P.G.P.; BARROS, L.R.; NASCIMENTO, G.A.J. Ácidos graxos e colesterol na alimentação humana. *Agropecuária técnica*, v.26, n.1, p.5-14, 2005.
- BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Proc 3rd Symp. *On Energy Metabolism*, EAAP Publ. N. 11, p. 441 – 443, 1965.
- CHOCT ET A.L. (2010) *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23(10):1386-1398
- CHOCT ET A.L. Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* v. 23, n.10, p. 1386-1398, 2010.
- CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production: the fire of life. Research School of *Animal Nutrition and Physiology*. p.1-23, 2004.
- CHWALIBOG, A. Energetics of Animal Production. *Acta Agric. Scand.* n.41, p.147–160, 1991.
- GU, X.; LI, D. Fat nutrition and metabolism in piglets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v.109, n.1, p.151-170, 2003.
- GU, X.; LI, D. Fat nutrition and metabolism in piglets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v.109, n.1, p.151-170, 2003.
- KIL, D. Y., AND H. H. STEIN. Dietary soybean oil and choice white grease improve apparent ileal digestibility of amino acids in swine diets containing corn, soybean meal, and distillers dried grains with solubles. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* v.24, p.248–253, 2011.
- KIL, D. Y.; SAUBER, T. E.; JONES, D. B.; STEIN, H. H. Effect of the form of dietary fat and the concentration of dietary NDF on ileal and total tract endogenous losses and apparent and true digestibility of fat by growing pigs. *Journal of Animal Science*. v.88, p.2959–2967, 2010.
- KIL, D.Y.; KIM, B.G.; STEIN, H.H. Feed energy evaluation for growing pigs. (Invited Review). *Asian-Australia. Journal of Animal Science*, v. 26. p.1205-1217, 2013a.
- LAURIDSEN, C.; CHRISTENSEN, T.B.; HALEKOH, U. JENSEN, S.K. Alternative fat sources to animal fat for pigs. *Lipid Technology*, v.19, n.7, p.156-159, 2007.

MOURA, J.O.; BRUSTOLINI, P.C.; SILVA, F.C.O.; DONZELE, J.L.; FERREIRA, A.S.; PAULA, E. Exigências de aminoácidos sulfurados digestíveis para suínos machos castrados e fêmeas de 15 a 30 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.3, p.1085-1090, 2006.

NOBLET, J., SHI, X.S.; AND DUBOIS, S. Effect of body weight on net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, v.72, p.648-657, 1994a.

NRC (National Research Council) 2012. Nutrient Requirements of Swine. Tenth Revised Edition. National Academic Press, Washington, D.C. 20418 USA.

PESSOA, M.F.M. *Digestibilidade in vitro vs digestibilidade in vivo – Aplicação a regimes alimentares de monogástricos*. 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia zootécnica - Produção Animal). Faculdade de Medicina Veterinária/Instituto Superior de Agronomia Universidade de Lisboa.

POWLES, J.; WISEMAN, J.; COLE, D.J.A.; HARDY, B. Effect of chemical structure of fats upon their apparent digestible energy value when given to young pigs. *Animal Production*, v.58, p.411-417, 1994.

POWLES, J.; WISEMAN, J.; COLE, D.J.A.; HARDY, B. Effect of chemical structure of fats upon their apparent digestible energy value when given to young pigs. *Animal Production*, v.58, p.411-417, 1994.

R CORE TEAM (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; HANNAS, M.I.; DONZELE, J.L.; SAKOMURA, N.K.; PERAZZO, F.G.; SARAIVA, A.; TEIXEIRA, M.V.; RODRIGUES, P.B.; OLIVEIRA, R.F.; BARRETO, S.L.T.; BRITO, C.O. **Tabelas brasileiras para aves e suínos**: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4a edição. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, 2017. 488p.

SU, Y.; SHE, Y.; HUANG, Q.; SHI, C.; LI, Z.; HUANG, C.; PIAO, X.; LI, D. The effect of inclusion level of soybean oil and palm oil on their digestible and metabolizable energy content determined with the difference and regression method when fed to growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. v. 28, n.12, p. 1751-1759, 2015.

THEODOROU, M.K., WILLIAMS, B.A., DHANOA, M.S., MCALLAN, A.B., FRANCE, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48, 185-197.