

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ENERGIA LÍQUIDA PARA SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

Autora: Camila de Araújo Moreira
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

MARINGÁ
Estado do Paraná
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ENERGIA LÍQUIDA PARA SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

Autora: Camila de Araújo Moreira

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá- Área de concentração: Produção Animal.

MARINGÁ
Estado do Paraná
2018

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

M838e Moreira, Camila de Araújo
 Energia líquida para suínos em terminação /
Camila de Araújo Moreira. -- Maringá, 2018.
 47 f. : il., figs., tabs.

 Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Pozza.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, 2018.

 1. Suínos - Desempenho. 2. Suínos - Nutrição. 3.
Suínos - Energia líquida. 4. Equações de predição.
I. Pozza, Paulo Cezar, orient. II. Universidade
Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias.
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. III. Título.

CDD 21.ed. 636.4

Elaine Cristina Soares Lira - CRB 1202/9




UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ENERGIA LÍQUIDA PARA SUÍNOS EM TERMINAÇÃO

Autora: Camila de Araujo Moreira
Orientador: Prof. Dr. Paulo César Pozza

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de Concentração Produção Animal

APROVADA em 14 de dezembro de 2018.


Prof. Dr. Leandro Dalcin Castilha


Dr^a Márcia Izumi Sakamoto


Prof. Dr. Paulo César Pozza
Orientador

“ Que nada nos defina, que nada nos sujeite. Que a liberdade seja a nossa própria substância “

(Simone de Beauvoir)

A Deus, por me permitir seguir em frente.

Aos meus pais, Cristina e Josué, pelo amor incondicional, pelo apoio e motivação para enfrentar as dificuldades, mas, principalmente por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos.

Ao meu irmão, Kaio de Araújo Moreira, pelo amor e conselhos.

Ao meu marido, Lucas Pimentel Bonagúrio, companheiro e amigo em todos os momentos.

Ao nosso filho amado, Raul de A. M. P. Bonagúrio, por preencher nossas vidas de alegria.

À minha família, significado de amor eterno e base fundamental, muito obrigada por tudo, amo vocês.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade proporcionada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Cesar Pozza, pela paciência, conhecimento repassado e por ser um exemplo de ética e profissionalismo.

Aos colegas do grupo de pesquisa: Natália Yoko Sitanaka, Marcelise Regina Fachinello, Alessandra Nardina Trício Rigo Monteiro, Laura Marcela Diaz Huepa, Lucas Pimentel Bonagúrio, Lucas Antônio Costa Esteves, pela ajuda em todos os momentos.

Aos funcionários do Setor de Suinocultura da Fazenda Experimental de Iguatemi.

A todos os professores e funcionários, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho

Muito obrigada.

BIOGRAFIA

Camila de Araújo Moreira, filha de Maria Cristina de Araújo Moreira e Josué Augusto Moreira, nasceu em Ribeirão Claro, Estado do Paraná, no dia 17 de novembro de 1987.

Em fevereiro de 2008, ingressou no curso de graduação em Zootecnia, na Universidade Estadual de Londrina, concluindo-o em dezembro de 2013.

Em março de 2016, iniciou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em nível de mestrado, área de concentração Produção Animal, na Universidade Estadual de Maringá.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE TABELAS E FIGURAS.....	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
I – INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 Formas de energia.....	2
1.2 Utilização da energia líquida (EL) em formulações de rações.....	4
1.3 Avaliação da EL dos alimentos	5
1.4 Caloria indireta	6
1.5 Abate comparativo	8
1.6 Equação de predição dos valores de EL dos alimentos	9
1.7 Energia líquida para manutenção	10
1.8 Energia líquida para produção	12
1.9 Referências	14
II – OBJETIVOS GERAIS	21
III - DIETARY NET ENERGY MAINLY AFFECTS GROWTH PERFORMANCE AND PORK QUALITY OF FINISHING PIGS.....	22
INTRODUCTION.....	23
MATERIAL AND METHODS	
MÉTODOS.....	25
RESULTS AND DISCUSSION.....	31
CONCLUSION.....	43
REFERENCES.....	44

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

	Página
Tabel 1 – Ingredients, chemical and energetic composition of basal diets	26
Tabel 2 – Dilution of experimental diets used in the digestibility experiment to obtain the treatments (T) used in performance experiment.....	29
Tabel 3 – Chemical and energetic composition of experimental diets.....	32
Tabel 4 – Performance of finishing pigs fed diets with different levels of net energy.....	35
Figure 1 – Graphical representation of net energy efficiency, average daily gain and feed gain ratio of finishing pigs fed diets with different net energy levels.....	37
Tabel 5 – Plasma parameters of finishing pigs fed diets with different net energy levels.....	38
Tabel 6 – Quantitative characteristics of finishing pigs fed diets with different net energy levels.....	40
Tabel 7 – Qualitative characteristics <i>longíssimus dorsi</i> muscle of finishing pigs fed diets with different levels of net energy.....	42
Figure 2 – Graphic representation of drip loss and a* of <i>longíssimus dorsi</i> muscle of finishing pigs fed diets with different levels of net energy.....	43

RESUMO

Foram realizados dois experimentos com o objetivo de estimar o melhor nível de energia líquida na ração de suínos, machos castrados, em fase de terminação sobre o desempenho, parâmetros sanguíneos e características de carcaça. No experimento I, realizou-se um ensaio de metabolismo para estimar o valor de energia líquida (EL) das rações. Foram utilizados 12 suínos mestiços, machos castrados, com peso médio inicial de $85,74 \pm 6,80$ kg; distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, sendo dois níveis de energia metabolizável (3100 e 3500 kcal/kg), com 6 repetições e um animal por unidade experimental. No experimento II, foram utilizados 45 suínos, machos castrados, com peso médio inicial de $70,10 \pm 1,26$ kg; distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, contendo cinco níveis de EL (2345, 2425, 2505, 2585, 2665 kcal/kg), nove repetições e um animal por unidade experimental. Houve efeito linear decrescente ($P=0,00039$) dos níveis de EL sobre o consumo diário de ração (CDR). O aumento dos níveis de EL proporcionou efeito quadrático para a eficiência de EL ($P=0,0027$), o ganho de peso diário (GPD) ($P=0,0352$) e para a conversão alimentar (CA) ($P=0,0024$) dos suínos, com níveis ótimos estimados em 2485, 2493 e 2533 kcal/kg, respectivamente. Foi observado efeito linear decrescente ($P=0,0001$) para a perda de água por gotejamento (PAG) e para o parâmetro de cor Minolta a^* ($P=0,0462$) sobre os níveis crescentes de EL. Os parâmetros sanguíneos não foram influenciados ($P>0,05$) pelos níveis de EL. A melhor eficiência de utilização de energia líquida para suínos em terminação é de 2485 kcal/kg e a qualidade da carne mostra respostas diferenciadas em função dos níveis crescentes de energia líquida.

Termos para indexação: equação de predição, exigência de energia líquida, nutrição de suínos

ABSTRACT

Two experiments were carried out with to estimate the optimal net energy level barrows diets in finishing phase on performance, plasma parameters and carcass characteristics. In experiment I, a metabolism trial was performed to estimate the diets net energy (NE) value. Twelve crossbred barrows, with initial mean weight of 85.74 ± 6.80 kg, were distributed in a randomized block design with two metabolizable energy levels (3100 and 3500 kcal/kg), with six replicates and one animal per experimental unit. In experiment II, 45 castrated male pigs were used, with initial mean weight of 70.10 ± 1.26 kg, also distributed to a randomized block design, with five levels of NE (2345, 2425, 2505, 2585, 2665 kcal/kg), nine replicates and one animal per experimental unit. There was a linear decreasing effect ($P = 0.00039$) of NE levels on average daily feed intake (ADFI). The increase of NE levels provided a quadratic effect for NE efficiency ($P=0.0027$), average daily gain (ADG), ($P=0.0352$) and for feed:gain (F:G), ($P=0,0024$) of swine, with optimal levels estimated at 2485, 2493 and 2533 kcal/kg, respectively. A decreasing linear effect ($P=0.0001$) was observed for drip loss (DL) and for the Minolta a * ($P=0.0462$) color parameter on increasing NE levels. Plasma parameters were not influenced ($P > 0.05$) by NE levels. The best net energy utilization efficiency for finishing pigs is 2485 kcal/kg and the meat quality shows differentiated responses as a function of increasing net energy levels.

I – INTRODUÇÃO GERAL

O custo com a alimentação dos suínos está diretamente relacionado com o retorno financeiro da atividade, e pode variar de 60 a 80% dos custos totais de produção, dependendo das condições de mercado. Atualmente, o mercado opera em processo inflacionário no preço mundial de alimentos (FAO, 2018), influenciando a rentabilidade do setor.

Desse modo, a variação no preço dos insumos utilizados nas rações faz com que seja necessária a utilização de sistemas de alimentação cada vez mais precisos, que proporcione desempenho máximo dos suínos sem prejudicar a rentabilidade da produção (Kil et al., 2013; Quiniou et al., 1996; Van milgen, 2003).

Dentre os custos com a alimentação o componente energético é o que possui maior representatividade, chegando a 45% (Noblet et al., 1994). O potencial energético de um alimento pode ser definido como a capacidade de realização de trabalho, ou seja, a quantidade de energia contida no ingrediente capaz de ser convertida em máximo ganho de peso animal (NRC, 2012).

No Brasil, as rações são comumente formuladas com base na energia metabolizável (EM) (Rostagno et al., 2007), entretanto, em diversos países existe um banco de dados de valores de energia líquida (EL) dos alimentos e de exigência de EL para suínos, permitindo que este sistema de energia seja amplamente utilizado para formular as rações.

A utilização da exigência de EL para suínos tem como objetivo otimizar o ganho de peso diário (GPD) em função do melhor aproveitamento de energia da ração. No entanto, em regiões tropicais, em que predominam altas temperaturas, o consumo diário de ração (CDR) e o balanço energético dos alimentos são influenciados pelo nível de EM da dieta. Desta forma, a utilização de EL é de fundamental importância na formulação de rações e o conhecimento das exigências é parte essencial de uma formulação precisa (Kil et al., 2013; Van Milgen e Noblet, 2003).

A diferença entre a energia líquida e a energia metabolizável é que na determinação de energia líquida os gastos energéticos com os processos metabólicos como a digestão, absorção, metabolização dos nutrientes e a manutenção do animal são considerados, o que não ocorre na determinação da energia metabolizável (Kil et al., 2013).

O incremento calórico (IC) é definido como a produção de calor (PC) observada após o consumo de ração pelo animal. O IC varia conforme a composição química dos nutrientes que constituem a dieta, como no caso dos carboidratos, lipídeos e proteínas. As proteínas apresentam maior IC, seguidos pelos carboidratos e a gordura. A energia proveniente da PC, associada ao IC da ração, é dissipada para o meio ambiente, ou utilizada para a manutenção da temperatura corporal (Moehn et al., 2013).

Assim sendo, a determinação da EL dos alimentos normalmente utiliza metodologias que permitem estimar a produção de calor por meio da calorimetria indireta ou do abate comparativo. Porém, estas metodologias demandam tempo e investimento financeiro (Noblet e Van Milgen, 2004). Por isso, uma alternativa para utilizar o sistema de EL da dieta seria através da utilização da equação de predição da EL (Noblet et al., 1994).

1.1 Formas de energia

Todos os constituintes orgânicos de um alimento, ou seja, os carboidratos, os lipídeos e os aminoácidos, representam uma energia química em potencial a ser utilizada pelo organismo animal. Diferentemente da conceituação que se faz para cada nutriente isolado, a energia resulta da interação de todos esses nutrientes. Por esse motivo, a energia não pode ser considerada um nutriente, mas um produto da oxidação dos compostos orgânicos que integram a dieta. Neste sentido, tudo que possui a capacidade de gerar calor, e conseqüentemente realizar trabalho, é considerada um “combustível metabólico” (Albuquerque et al., 2011; Portela et al., 2012).

A energia contida nos alimentos é totalmente dependente da sua composição em carboidratos, lipídeos e proteínas. Com a completa oxidação destes compostos orgânicos, a energia contida em uma amostra é liberada na forma de calor e expressa em calorias (cal) ou Joule (J). Este valor é medido em bomba calorimétrica, na presença de alta pressão de oxigênio (Pond et al., 1995; Sakomura e Rostagno, 2016). Desse modo, o valor calórico encontrado é denominado de energia bruta (EB) do alimento.

Existem diferenças na utilização dos nutrientes no metabolismo dos animais e isso exclui a utilização da EB para formulação de rações ou comparação de alimentos. No entanto, o valor de EB determinado nas rações, fezes e urina são utilizados para elucidar os cálculos de energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e EL (Fernandes e Toro-Velasquez, 2014; NRC, 2012).

A ED é obtida pelo método direto, por meio de ensaios de metabolismo, subtraindo o valor da EB das fezes pelo valor da EB ingerida (Adeola, 2001). A ED também pode ser estimada de forma indireta, por meio de equações de predição que estimam a ED, conforme a composição química da ração (Noblet e Perez, 1993).

A partir do estabelecimento do método de coleta total de fezes e urina, os ensaios de metabolismo possibilitaram estimar a EM da dieta. A EM corresponde à quantidade de energia que está totalmente disponível para os processos metabólicos do animal. É obtida subtraindo o valor da EB contida nas fezes e urina pela quantidade de EB ingerida da dieta (Adeola, 2001).

A EM é considerada como a energia que será disponível para os suínos durante os processos de manutenção e produção. Porém, uma determinada parcela desta energia é utilizada para produzir calor, associado ao metabolismo basal, regulação térmica, digestão e absorção dos nutrientes, além da formação e excreção de produtos metabólicos (Noblet et al., 1994; Fernandes e Toro-Velasquez, 2014).

Esta energia referente à produção de calor pode ser considerada, proporcionando o valor de EL, que é determinada subtraindo o IC do valor de EM da ração (Kil et al., 2013). O IC é a quantidade de calor gerado pelo custo energético da utilização metabólica da EM, nos processos de digestão, atividade física (Kerr et al., 2003; Rijnen et al., 2003) e, principalmente, para a manutenção da temperatura corporal em ambientes frios.

1.2 Utilização da energia líquida em formulação de rações

Uma formulação de ração baseada no sistema de EL permite que os nutrientes da dieta sejam melhor aproveitados pelo organismo e, conseqüentemente, a ração torna-se capaz de proporcionar a máxima resposta no desempenho dos suínos. No entanto, para atingir este resultado a acurácia do valor da EL da ração e a exigência de EL dos suínos devem ser ajustadas ao potencial genético do animal (Acosta et al., 2016; Quiniou e Noblet, 2012).

Uma ração formulada à base de milho e farelo de soja apresenta uma hierarquia entre os nutrientes que a constituem, como no caso dos carboidratos, lipídeos e proteínas. Estes nutrientes apresentam diferenças nos processos de digestão, metabolização e excreção que influenciam diretamente na eficiência de utilização da EM para manutenção e produção dos suínos (Noblet et al., 1994). Estas diferenças também são dependentes da origem do alimento, variedade, processamento e até mesmo do ataque de pragas e doenças, que influenciam na composição química dos ingredientes e, conseqüentemente, no seu potencial energético (Noblet et al., 1994; Carvalho et al., 2009).

Vários trabalhos evidenciaram a eficiência da utilização da EL na ração de suínos. Quiniou e Noblet (2012), avaliando o efeito do aumento da concentração de EL (1934, 2077, 2221, 2364, 2507 e 2651 kcal/kg) na dieta de suínos dos 35 aos 110 kg, observaram redução linear no CDR em função do aumento dos níveis de EL, e também observaram respostas significativas para o ganho de peso e melhora da eficiência alimentar dos suínos.

Zhang et al. (2011) avaliaram os níveis de EL (2348, 2398 e 2448 kcal/kg) em rações para suínos dos 60 aos 110 kg e constataram que o melhor GPD foi obtido para os animais que receberam rações contendo 2448 kcal/kg, entretanto não observaram diferenças no CDR. Em contrapartida, Smith et al. (2016) avaliando o efeito da redução dos níveis de EL da ração observaram aumento do CDR em função da redução na concentração de EL (2400, 2300, 2200 e 2100 kcal/kg).

Avaliando níveis crescente de EL (2300 a 2675 kcal/kg), Gonçalves et al. (2015) não identificaram efeito significativo sobre o GPD, mas observaram redução linear do CDR e conversão alimentar (CA) de suínos dos 70 aos 100 kg. Na pesquisa realizada por Cámara et al. (2016), avaliando níveis de EL (2340, 2388, 2460, 2507 kcal/kg), também foi observado efeito significativo da EL sobre o CDR e CA. Já Barbosa et al. (2018) observaram melhor GPD ao nível de 2645 kcal EL/kg, para suínos dos 90 a 110 kg.

Assim como os parâmetros de desempenho, as características de carcaça dos suínos também podem ser influenciadas pelos níveis de EL da ração. O trabalho realizado por Acosta et al. (2016) comparou a eficiência de utilização da EM e EL na dieta dos suínos. As rações experimentais foram formuladas com diferentes níveis de EL, entretanto, os valores de EM mantiveram-se equivalentes. Os níveis de EL proporcionaram maior retenção de energia na carcaça.

Paiano et al. (2008) também observaram efeito significativo dos níveis de EL (2410 e 2570 kcal/kg) sobre os parâmetros de carcaça dos suínos, relatando aumento da espessura de toucinho (ET) e da gordura abdominal da carcaça. Cámara et al. (2014) também reportaram aumento na deposição de gordura na carcaça de suínos abatidos com 120 kg.

Estas divergências entre os resultados de EL ocorrem pelas diferenças no estágio de desenvolvimento dos suínos, como também pelas características físico-química das dietas experimentais (NRC, 2012). Por isso, quando se utiliza sistemas de EL nas formulações de rações, os valores de EL dos ingredientes devem apresentar alta acurácia (Noblet et al., 1994).

1.3 Avaliação da EL dos alimentos

Várias pesquisas relacionadas ao conteúdo de EL dos alimentos evidenciam que a utilização de sistemas de energia, baseados no conteúdo de ED e EM, subestimam a disponibilidade de energia dos alimentos, como no caso do amido e gordura. Em contrapartida, o valor energético da fibra bruta (FB) e da proteína bruta (PB) são superestimados (Noblet et al., 1994; Wu, Z et al., 2007). Desse modo, quando o sistema de EL é utilizado o valor energético da dieta, ou alimento, considera as diferenças que existem entre os nutrientes, e o seu valor final é independente das características químicas do alimento (Wu, Z et al., 2007; Noblet et al., 1999; Noblet et al., 1993; Noblet e Van Milgen., 2004).

Os principais métodos para estimar a quantidade de EL dos alimentos são a calorimetria indireta e o abate comparativo. Entretanto, existem algumas diferenças que ocorrem durante os procedimentos experimentais, como a determinação da composição química dos ingredientes, os animais e os erros que ocorrem durante a análise. Com estas diferenças, fica difícil determinar qual metodologia seria a mais acurada para estimar a EL (Kil et al., 2011; Zhang et al., 2014).

No trabalho desenvolvido por Ayoade et al. (2012), demonstrou-se que estas diferenças entre as técnicas não ocorreram ao determinar a quantidade de EL dos subprodutos do milho. Entretanto, vários trabalhos demonstram que os resultados de EL, obtidos pela calorimetria indireta, são maiores do que os valores estimados por meio do abate comparativo (Quiniou e Noblet., 1995; Kil et al., 2011; Kil et al., 2013; Gutierrez et al., 2012). Essas variações podem ser atribuídas à atividade física do animal, pois os animais utilizados no método da calorimetria indireta conseguem se mover durante a coleta de dados, permitindo o aumento da produção de calor (Bray et al., 1997; Brown-Brandl et al., 2004).

1.4 Calorimetria indireta

A calorimetria indireta é um método não invasivo, que permite identificar a quantidade de substrato energético metabolizado pelo organismo do animal. Esta metodologia possibilita mensurar a produção de calor a partir das trocas gasosas que ocorrem entre o organismo e o meio ambiente, como nos processos da respiração e transpiração (Sakomura e Rostango, 2016; Fernandez e Toro-Velasquez., 2014).

No processo de respiração, o oxigênio é consumido e utilizado nos processos de oxidação dos substratos energéticos e o gás carbônico produzido é eliminado através da respiração (Labussière et al., 2013).

A produção de calor pode ser mensurada pela quantidade de oxigênio consumido e gás carbônico produzido, durante a oxidação dos substratos da dieta. No entanto, os animais também produzem calor por causa das reações metabólicas associadas à manutenção, produção e outras funções “não produtivas”, como atividade física, termorregulação ou resposta imune (Labussière et al., 2013).

Portanto, para conhecer a produção de calor metabólico, convencionou-se estimar o valor da produção de calor por meio do coeficiente respiratório (QR) do oxigênio e do gás carbônico ($\text{CO}_2:\text{O}_2$). O QR considera o volume do oxigênio consumido e a quantidade de gás carbônico produzido, por unidade de tempo. O QR dos carboidratos, proteínas e gordura são respectivamente 1,0; 0,8 e 0,7. Estes valores podem ser derivados do balanço conjunto de oxigênio e carbono, ou das perdas e ganhos de tecidos pelos animais (Adeola, 2001; Resende et al., 2006; Sakomura e Rostagno, 2016).

É possível estimar a produção de calor dos suínos com o uso de câmaras de respiração. Estas câmaras podem ser de circuitos aberto e fechado. No circuito aberto, primeiro é necessário conhecer a concentração de gases que compõem o ar externo das câmaras, este ar é analisado e sua composição amostrada na entrada do equipamento. A quantidade de ar que entra e a composição dos gases que saem permitem calcular a quantidade de gás carbônico e metano produzido, assim como a quantidade de oxigênio consumido (Van Milgen et al., 1997; Sakomura e Rostano, 2016).

Já nas câmaras de respiração de circuito fechado, o ar que sai é substituído por oxigênio, permitindo que o ar seja recirculado dentro da câmara. Este oxigênio adentra à instalação com o objetivo de manter os níveis normais da composição do ar circulante. Por isso, enquanto o oxigênio é adicionado na câmara, o gás carbônico é retido em absorventes, como o hidróxido de sódio ou potássio. Este procedimento possibilita que a pressão dentro do sistema seja mantida constante (Sakomura e Rostagno, 2016).

Assim, para obter os valores de O_2 e CO_2 , utiliza-se a equação proposta por Romijn e Lokhost (1961):

$$PC = 3,871 O_2 + 1,194 CO_2$$

Em que PC é a produção de calor (em quilocalorias) e a concentração de O_2 e CO_2 são fornecidas em litros.

Para mensurar a quantidade de metano (CH_4) emitido durante a produção de calor, Brouwer (1965), incluiu a taxa de excreção de nitrogênio (Nur) e sugeriu a fórmula abaixo:

$$PC = 16,18 VO_2 + 5,02 CO_2 - 2,17 VCH_4 - 5,99 Nur$$

Em que PC é a produção de calor (em quilocalorias) e a concentração de O_2 , CO_2 e CH_4 fornecidas em litros.

Entretanto, existem algumas críticas aos métodos da calorimetria. A primeira seria em relação ao tempo que o animal fica em estado pós-absortivo, isto é, quando o $QR = 0,7$. Neste período, que pode ser de 24 a 48 horas, o animal utiliza somente as reservas energéticas corporais que são fornecidas por meio dos processos catabólicos do organismo.

A segunda crítica é a diferença de utilização da energia corporal para manter os processos metabólicos, quando o animal está em jejum ou alimentado, pois o aproveitamento da energia corporal não é a mesma dos carboidratos, lipídeos e proteínas da ração (Sakomura e Rostano 2016). Além disso, para aplicar a metodologia corretamente, primeiro é necessário o conhecimento da eficiência da utilização de energia para manutenção (Km), sendo a produção de calor reduzida em razão da menor atividade física.

De modo geral, a calorimetria indireta permite estimar de forma acurada a EL dos alimentos, pois, como utiliza menor número de animais, as medições de energia podem ser realizadas em sucessivos períodos de tempo (Velayudhan et al., 2015). No entanto, a técnica requer equipamentos sofisticados e onerosos.

1.5 Abate comparativo

O abate comparativo é baseado na premissa de que a composição corporal de um determinado grupo de animais pode representar a composição corporal de toda a população. Nesta metodologia, realiza-se o abate de alguns animais no início e no final do ensaio experimental, com a finalidade de estimar a energia retida (ER) e a composição corporal do animal em estudo (Fernandes e Toro-Velasquez, 2014; Kil et al., 2011).

Desta forma, a partir dos teores médios da composição inicial e final da carcaça, estima-se a energia corporal retida (ERc) pelo organismo. Essa ERc representa a quantidade de energia adquirida durante todo o período experimental, sendo representada pela quantidade de proteína e gordura depositada nos tecidos (Kil et al., 2011; Ayoade et al., 2012).

Sendo assim, para calcular a PC, utiliza-se a seguinte equação:

$$PC = EMI - ERc$$

O valor da PC pode ser encontrado no cálculo que considera a EM ingerida (EMi) subtraindo a ERc. O valor de EMI é obtido por meio de ensaios de metabolismo (Sakomura e Rostagno, 2016).

A proteína retida na carcaça, geralmente, é um fator limitante nos processos de crescimento e reprodução animal, pois é um processo custoso no metabolismo. Em contrapartida, a gordura representa a forma mais eficiente de estocagem de energia pelo corpo, pois a densidade energética da gordura rende quase o dobro de energia, quando

comparado com os carboidratos e as proteínas. Porém, uma fração dos carboidratos é importante na reserva de energia corporal, como no caso do glicogênio armazenado no fígado e no músculo. O glicogênio estocado pode ser convertido rapidamente em glicose, durante a atividade física, ou conforme as necessidades das células (Randall, 2000b).

Suínos em fase de crescimento apresentam ER_c conforme a ingestão de proteína e lipídeos da dieta. Essa energia retida como proteína (ER_p) pode ser calculada por meio da retenção de nitrogênio (g), como a equação abaixo, segundo Chwalibog et al. (1992):

$$(g) = N \times 6,25 \times 23,86 \text{ (kJ/kg)}$$

Já a energia retida como lipídeo (ER_L) é calculada entre a diferença de ER e a ER_p.

A técnica do abate comparativo possibilitou aos nutricionistas diferenciar a deposição dos nutrientes na carcaça conforme as mudanças que ocorrem durante a alimentação.

1.6 Equação de predição dos valores de EL

A equação de predição é considerada um método indireto para estimar o valor de EL dos alimentos. Estas equações são estabelecidas utilizando a composição química dos alimentos, permitindo aumentar a precisão das formulações, de tal forma que possa corrigir os valores energéticos de acordo com a eficiência de utilização de cada nutriente (Noblet et al., 1994).

As diferenças na utilização de energia dos nutrientes são dependentes de fatores que influenciam a sua composição química, como sua origem, processamento ou alguma doença. Todas estas variáveis podem interferir na disponibilidade de energia do alimento (NRC, 2012).

Desse modo, Noblet et al. (1994) propuseram a utilização de equação de predição para estimar os valores de EL de dietas completas, que podem ser obtidos utilizando os valores dos componentes químicos da ração, como o amido, a proteína bruta, a fibra bruta e o extrato etéreo, além da EM.

Para que uma equação de predição possa ser utilizada, primeiro deve-se realizar a validação dos dados. Noblet et al. (1994), com o objetivo de validar a utilização de EL das rações em relação ao desempenho animal, realizaram dois experimentos, sendo que a primeira validação foi feita utilizando valores observados de EL dos alimentos

comparados aos valores estimados com o uso de equações de predição, e os resultados encontrados demonstraram-se satisfatórios.

Rostagno et al. (2011) e Rostagno et al. (2017) revisaram e publicaram as mesmas equações com o objetivo de aumentar a acurácia da predição da EL das rações. O conhecimento da digestibilidade dos nutrientes da dieta, associado à equação de predição para EL, permite estimar de forma acurada a EL da ração, a qual será disponibilizada para os processos de manutenção e produção dos suínos.

1.7 Energia líquida para manutenção

A exigência de EL para manutenção (EL_m) é definida como a quantidade de energia exigida para promover todos os processos vitais do organismo (Van Milgen e Noblet, 2003). Estes processos estão relacionados ao metabolismo basal, atividade involuntária, sistema imune, digestão e absorção dos alimentos, assim como a produção de calor caracterizada pelo controle da temperatura corporal (Noblet et al., 2007; Kil et al., 2013).

A EL_m também é descrita como o estado do animal em que sua composição corporal permanece inalterada, ou seja, quando não há produção ou atividade muscular (Chwalibog, 1991). No entanto, o tecido lipídico gera menor quantidade de calor em comparação ao tecido proteico, sugerindo que a exigência de energia para manutenção seja menor em animais com maior peso corporal (Close, 1990).

O metabolismo dos suínos produz calor proveniente das exigências de manutenção, incremento calórico (IC), atividade física e manutenção da temperatura corporal. Porém, a produção de calor no jejum (PCJ) associado ao IC da dieta representam a maior proporção da exigência de EM_m dos suínos, como segue a equação abaixo:

$$EM_m = PCJ + IC$$

Em que EM_m é a energia metabolizável para manutenção, PCJ a produção de calor no jejum e IC o incremento calórico da dieta (NRC, 2012).

A diferença entre a produção de calor (PC) do animal alimentado e a PC do animal em jejum corresponde ao IC da dieta. Esta estimativa pode ser influenciada pela duração do tempo de jejum, consumo de ração e as diferenças que ocorrem entre o período de jejum e o *status* alimentado. A produção de calor no jejum é influenciada conforme a exigência de ATP, a nível celular, e a PC também se deve à produção de ATP proveniente do organismo, a partir da utilização dos nutrientes da dieta (Kil et al., 2013).

A energia destinada para manutenção é calculada como a exigência de energia metabolizável para manutenção (EM_m) ou exigência de energia líquida para manutenção (EL_m), sendo geralmente estimada como uma função exponencial do peso metabólico dos suínos (aPV^b , NRC, 1998).

O expoente 0,75 tem sido utilizado para descrever a utilização da EM_m e a PCJ, e para as estimativas da PCJ é geralmente aceito que $EL_m = PCJ +$ atividade física (van Milgen e Noblet, 2003), ambas são relacionadas com a taxa metabólica ($PV^{0,75}$). Muitos autores estipularam os valores de energia para manutenção em função do peso metabólico dos suínos, sendo os valores encontrados entre 90 e 160 kcal/EM/kg de $PV^{0,75}$ por dia, com média de 106 kcal/ $PV^{0,75}$ (NRC, 1998). Já para PCJ os valores variam entre 130 a 180 kcal/kg de $PV^{0,60}$ (van Milgen et al., 1997; Noblet et al., 1994).

Por outro lado, pesquisas demonstraram que o expoente 0,75 provavelmente esteja subestimando as exigências para suínos jovens. O expoente 0,60 seria então sugerido para animais de 20 a 50 kg. Já para suínos em fase de terminação, o expoente 0,75 é o mais adequado para estimar as exigências de manutenção (Noblet et al., 1999).

Vários fatores afetam a exigência de EL_m como o aumento da ingestão de energia e proteína, as quais proporcionam o aumento do trato gastrointestinal (TGI) e maior peso relativo de fígado. Segundo Baldwin (1995), o tamanho do TGI e o peso do fígado correspondem a 30% da PCJ.

A EL_m também é influenciada pela PC para a manutenção da temperatura corporal. Como os suínos são animais homeotérmicos, a temperatura externa influencia as exigências de energia para manutenção do metabolismo energético, pois a produção ou liberação de calor promovem gasto de energia. Durante o verão, há aumento de energia proveniente da dissipação de calor pelo corpo do animal. O valor perdido pode chegar a 125 kcal de EM por dia, para cada 1°C acima da temperatura termoneutra. Já no inverno, a produção de calor é maior para manter a temperatura corporal interna. Desse modo, o estresse térmico aumenta a exigência de energia para os processos envolvidos durante a manutenção (Noblet et al., 1991; NRC, 2012).

O crescimento dos suínos também representa uma fonte de variação para a exigência de EM_m . Estas diferenças estão relacionadas com a taxa de deposição proteica, podendo ser maior ou menor conforme a seleção genética para deposição de carne magra. Já a PC

referente à atividade física dos suínos é considerada com gasto de 6,5 kcal de EM/kg de PV^{0,75}, analisado a cada 100 minutos (Sakomura e Rostagno, 2016).

A EL_m também pode ser mensurada pelos métodos de regressão, cuja produção de calor total é calculada por meio de picos de produção de calor oriundos da dieta. Este valor é observado em diferentes níveis de ingestão de EM, até que se iguale a zero. Os modelos de regressão utilizados são o modelo linear e o quadrático. A hipótese da regressão linear é que a produção de calor aumenta linearmente com a ingestão de EM da dieta (Zhang et al., 2014).

Existe relação das informações entre a produção de calor, ingestão de EM e a exigência de energia para manutenção mas, para que isto ocorra, as eficiências de k_p e k_g devem ser assumidas como valores constantes (Blaxter, 1989).

Muitos são os fatores que afetam as exigências de EL_m dos suínos. Estas variáveis devem ser consideradas durante a realização de experimentos que avaliam sistemas de energia, pois fatores como a temperatura ambiente, o estágio fisiológico e a atividade física dos suínos são responsáveis por ocasionar mudanças significativas na exigência de manutenção (NRC, 2012), assim como os aspectos alimentares.

1.8 Energia líquida para produção

Assim que a energia para manutenção é suprida, o aporte energético da dieta é redirecionado para utilização na realização de trabalho. Esta energia utilizada para produção varia conforme o estágio de desenvolvimento animal. Existe relação entre o crescimento corporal e a proporção de tecidos corporais, como os ossos, gorduras e músculos.

Durante a fase de crescimento, o organismo dos suínos se desenvolve em função alométrica, ou seja, primeiro há o suprimento de energia para a formação dos tecidos responsáveis pela sustentação do corpo, como cartilagens, nervos e ossos. Em sequência, há a disponibilidade de energia para o rápido desenvolvimento muscular. Essa massa muscular aumenta em função da disponibilidade de energia da dieta, até atingir um ponto máximo (Fernandes e Toro-Velasquez, 2014). Este valor é considerado pelos nutricionistas como o ponto ideal para abate, pois representa o máximo ganho de peso dos suínos, em resposta da melhor eficiência de utilização dos ingredientes da dieta.

A retenção de energia na carcaça varia conforme o desenvolvimento fisiológico dos suínos, sendo o pico de deposição de proteína encontrado dos 60 aos 80 kg. Em contrapartida, acima dos 80 kg, a deposição de proteína diminui e a retenção de gordura aumenta, até um ponto máximo, normalmente observado dos 110 aos 130 kg (van Milgen e Noblet, 2003). Porém, o mercado consumidor de carne suína deseja uma carcaça com moderada deposição de gordura e esta melhor característica pode ser encontrada com suínos abatidos aos 100 kg.

Sendo assim, o desempenho dos suínos é totalmente dependente da disponibilidade de EL para os processos de produção (Zhang et al., 2014). No entanto, fatores relacionados com a dieta como a concentração de energia, nível de proteína, balanço de aminoácidos, como também, o peso corporal, *status* sanitário, temperatura ambiente, manejo e processamento do alimento podem ocasionar alterações no consumo de ração (Li e Patience, 2017).

Por isso, é importante conhecer a relação entre a ingestão de energia da dieta e o crescimento do tecido, a fim de possibilitar que o tecido magro e a taxa de crescimento respondam de forma linear à ingestão de energia, até o ponto em que a taxa de deposição de proteínas seja maximizada (Van Lunen e Cole, 2001). Este ponto corresponde à capacidade genética dos suínos para o crescimento do tecido magro. Qualquer energia adicional fornecida além deste ponto proporciona o aumento na deposição de gordura na carcaça.

A exigência de EL para produção é determinada como uma relação do peso vivo dos suínos em função da taxa de deposição de proteína (k_p) e lipídeos (k_g). A relação EL:EM também pode ser representada pela constante (k) (Fernandes e Toro-Velasquez, 2014). Comumente, os valores de k são referentes à eficiência de utilização de EM para gerar EL ($p+1$). Os valores de k_p variam entre 0,36 a 0,57, e os de k_g estão entre 0,57 a 0,81. Já o custo de EM utilizada por grama de deposição de proteína e lipídeos são estimados entre 10,6 a 12,5 kcal/kg (Tess et al., 1984b; NRC, 1998).

Várias pesquisas foram realizadas para desenvolver modelos que forneçam a melhor estimativa da utilização da energia envolvida na eficiência de k_p e k_g (Van Milgen e Noblet, 2003). No entanto, estes resultados são afetados pelas características dos ingredientes que compõem a dieta, como também pela taxa de crescimento dos suínos (NRC, 2012). Whittemore et al. (2001) observaram a influência dos ingredientes da ração

na determinação de k_p ao avaliar o fornecimento de um substrato utilizado na síntese proteica. Assim como k_p , a eficiência de deposição de lipídeos (k_g) também é afetada pela composição de gordura depositada, turnover de tecido adiposo ou conforme as características do perfil lipídico dos substratos (Birkett e de Lange, 2001).

No entanto, quando se avalia a utilização de EL para produção (EL_p) a exigência de manutenção deve ser considerada. A eficiência de EM para manutenção é representada por k_m , enquanto o k_g é a eficiência de energia utilizada pelo tecido ($k_g = EL_g/EM_m$).

O valor de k varia de acordo com a finalidade, podendo ser para ganho de proteínas, ganho de gordura ou para a combinação dos dois. O k dos nutrientes como a proteína, carboidratos e lipídeos não possuem a mesma eficiência, devendo ser consideradas em dietas que utilizam valores de EL (Noblet et al., 1994). Desse modo, o k da gordura, proteína, amido e fibra bruta são estimados em 90%, 58%, 82% e 58%, respectivamente (Labussière et al., 2011).

Dessa forma, faz-se necessária a realização de estudos que evidenciem a utilização da EL sobre o desempenho, características de carcaça e parâmetros sanguíneos dos suínos em terminação.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, J.; PATIENCE, J. F.; BOYD, R. D. Comparison of growth and efficiency of dietary energy utilization by growing pigs offered feeding programs based on the metabolizable energy or the net energy system. **Journal of Animal Science**, 94(4):1520-1530, 2016.

ADEOLA, O. Digestion and balance techniques in pigs. In: **Swine nutrition**. Washington, USA, CRC Press, :894-907, 2001.

ALBUQUERQUE, D. M. N. et al. Dehydrated residue of brewery for finishing swine. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 63(2):465-472, 2011.

AYOADE, D. I. et al. Net energy of diets containing wheat-corn distillers dried grains with solubles as determined by indirect calorimetry, comparative slaughter, and chemical composition methods. **Journal of Animal Science**, 90(12):4373-4379, 2012.

BALDWIN, R. L. Modeling ruminant digestion and metabolism. **Springer Science & Business Media**, 1995.

BARBOSA, L. M. dos R. et al. Net energy for 60 to 120 kg pigs fed low crude protein diets. **Semina: Ciências Agrárias**, 39(1):339-348, 2018.

BLAXTER, K. **Energy metabolism in animals and man**. CUP Archive, 1989.

BRAY H.J, et al. **Energy expenditure in growing pigs infected with pleuropneumonia**. In: Energy metabolism of farm animals. Northern Ireland :291-4, 1997.

BIRKETT, S.; DE LANGE, K. Calibration of a nutrient flow model of energy utilization by growing pigs. **British Journal of Nutrition**, 86(6):675-689, 2001.

BROWN-BRANDL, T.M. et al. A literature review of swine heat production. **Transactions of the ASAE**, 47(1):259, 2004.

BROUWER, E. Report of SubCommittee on Constants and Factors. In Proceedings of the 3rd Symposium on Energy Metabolism, Troon. **European Assoc. Anim. Prod. Pub. No. 11**. Academic Press, New York. 1965.

CÁMARA, L. et al. Influence of net energy content of the diets on productive performance and carcass merit of gilts, boars and immunocastrated males slaughtered at 120 kg BW. **Meat Science**, 98(4):773-780, 2014.

CÁMARA, L. et al. Growth performance and carcass quality of crossbreds pigs from two Pietrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration. **Meat Science**, 114:69-74, 2016.

CARVALHO, D.C. O. et al. Coeficiente de digestibilidade verdadeira dos aminoácidos e valores de aminoácidos digestíveis do milho submetido a diferentes temperaturas de secagem e períodos de armazenamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38(5):850-856, 2009.

CHWALIBOG, A. Energetics of Animal Production: Rsearch in Copenhagen, Review and Suggestions. **Acta Agriculturae Scandinavica**, 41(2):147-160, 1991.

CHWALIBOG, A. et al. Estimation of quantitative oxidation and fat retention from carbohydrate, protein and fat in growing pigs. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 68(3):123-135, 1992.

CLOSE, W. H. et al. The evaluation of feeds through calorimetry studies. **Feedstuff Evaluation**. Guildford, :21-39, 1990.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Animal Production and Health. **Sources of Meat**. 2018. Disponível em: http://www.fao.org/ag/againfo/themes/en/meat/backgr_sources.html Acesso em: Março de 2018.

FERNANDES, M. H. M. R; TORO-VELASQUEZ, P. A; **Metabolismo Energético**. In. Sakomura, N. K, et al. Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, v.1, p. 77-93, 2014.

FERNANDES, M. H. M. R; TORO-VELASQUEZ, P. A; **Exigência de energia para suínos**. In. Sakomura, N. K, et al. Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, v.1, p. 330-360, 2014.

GONÇALVES, L. M. P. et al. Níveis de energia líquida para suínos machos castrados em terminação. **Ciência Rural** 45:464-469, 2015.

GUTIERREZ, N.A.; PATIENCE, J.F. The metabolic basis of feed-energy efficiency in swine. **Allen D. Lemay Swine Conference**, 39:19-26, 2012.

KERR, B. J. et al. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. **Journal of Animal Science**, 81(8):1998-2007, 2003.

KIL, D. Y. et al. Net energy of soybean oil and choice white grease in diets fed to growing and finishing pigs. **Journal of Animal Science**, 89:448–459, 2011.

KIL, D.Y.; KIM, B.G.; STEIN, H.H. Feed Energy Evaluation for Growing Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 26:1205–1217, 2013.

LABUSSIÈRE, E. et al. Maintenance Energy Requirements of Growing Pigs and Calves Are Influenced by Feeding Level^{1, 2}. **The Journal of Nutrition**, 141(10):1855-1861, 2011.

LABUSSIÈRE, E. et al. Partitioning of heat production in growing pigs as a tool to improve the determination of efficiency of energy utilization. **Frontiers in Physiology**, 4:146, 2013.

LI, Q; PATIENCE, J. F. Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. **Animal Feed Science and Technology**, 233:22-33, 2017.

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**, 97:197–204, 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. **Nutrient requirements of swine**. National Academies Press, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. **Nutrient requirements of swine**. National Academies Press, 1998.

NOBLET, J. et al. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, 72(2):344-354, 1994.

NOBLET, J.; VAN MILGEN, J. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. **Journal of Animal Science**, 82(suppl_13):E229-E238, 2004.

NOBLET, J. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36:277–284, 2007.

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

NOBLET, J.; J. M. PEREZ. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**, 71:3389-3398, 1993.

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

NOBLET, J., KAREGE, C.; DUBOIS, S. Influence of growth potential on energy requirements for maintenance in growing pigs. **Proceedings of the 12th symposium on Energy metabolism of farm animals**, 58:107- 110, 1991.

NOBLET, J. et al. Metabolic utilisation of energy and maintenance requirements in growing pigs: Effects of sex and genotype. **Journal of Animal Science**: 77:1208-1216. 1999.

PAIANO, D. et al. Relações treonina:lisina digestíveis e níveis de energia líquida para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37:2147-2156, 2008.

POND, W. G.; CHURCH, D. C.; POND. K. R. **Energy metabolism**. In: Basic Animal Nutrition and Feeding. New York, USA. :149-166. 1995.

PORTELA, L. B. et al. Níveis de lisina total para suínos em crescimento: otimização do desempenho e redução de custos. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 49., 2012, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012.

QUINIYOU, N. et al. Effect of energy intake on performance, nutrient and tissue gain and protein and energy utilization in growing boars. **Animal Science**, 61(1):133-143, 1995.

QUINIYOU, N.; DOURMAD, J.-Y.; NOBLET, J. Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight. 1. Protein and lipid deposition. **Animal Science**, 63(2):277-288, 1996.

QUINIYOU, N.; NOBLET, JN. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. **Journal of Animal Science**, 90(12):4362-4372, 2012.

RANDALL, D.; BURGGREN, W.; FRENCH, K. Usando a energia: enfrentando desafios ambientais. **Fisiologia animal: mecanismos e adaptações**. Rio de Janeiro: Guanabara, Cap. 16, p. 619-674, 2000b.

REZENDE, W.O.; et al. Níveis de energia metabolizável mantendo a relação lisina digestível:caloria em rações para suínos machos castrados em terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 35:1101-1106, 2006.

ROMIJN, C.; LOKHORST, W. Dierenarts en kuikenbroederij. **Tijdschr. Diergeneesk.**, v. 86, p. 995-1011, 1961.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa, MG: Departamento de Zootecnia; Universidade Federal de Viçosa, p.252, 2011.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2017.

RIJNEN, M. M. J. A. et al. Effects of two different dietary fermentable carbohydrates on activity and heat production in group-housed growing pigs. **Journal Animal Science**, 81:1210-1219. 2003.

SAKOMURA, N.K.; ROSTAGNO, H.S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, p. 283, 2016.

SMITH, M. N. et al. Feeding diets with reduced net energy levels to growing–finishing barrows and gilts. **Canadian Journal of Animal Science**, 97(1):30-41, 2016.

SMITH, J. W. et al. Effects of low-protein, amino acid-fortified diets formulated on a net energy basis on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. **Journal of Applied Animal Research**, 15(1):1-16, 1999.

TESS, M. W., et al Energy costs of protein and fat deposition in pig fed ad libitum. **Journal of Animal Science**, 58(1):111-122, 1984.

VAN LUNEN, T. A.; COLE, D. J. A. Energy-amino acid interactions in modern pig genotypes. **Recent Developments in Pig Nutrition**, 3:439-466, 2001.

VAN MILGEN, J. et al. Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine. **British Journal of Nutrition**, 78(3):397-410, 1997.

VAN MILGEN, J.; J. NOBLET. Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. **Journal Animal Science** 81(E. Suppl. 2): E86-E93, 2003.

VELAYUDHAN, D. E.; C. M. NYACHOTI. Validation of net energy system of feed formulation in growing pigs fed barley based diets with alternative feed ingredients. **Journal Animal Science** 92 (E-Suppl. 2):645, 2015.

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

WU, Z. LI, D.; MA, Y. et al. Evaluation of energy systems in determining the energy cost of gain of growing-finishing pigs fed diets containing different levels of dietary fat. **Archives of Animal Nutrition**, 61:1–9, 2007.

WHITTEMORE, C. T.; GREEN, D. M.; KNAP, P. W. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. **Animal Science**, 73(3):363-373, 2001.

ZHANG, G. J.; et al. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine:net energy ratio on the performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acids diets. **Agricultural Sciences in China** 10:602-610, 2011.

ZHANG, G. F., et al. Estimation of the net energy requirements for maintenance in growing and finishing pigs. **Journal Animal Science** 92:2987-2995, 2014.

II. OBJETIVOS GERAIS

Determinar a composição química e energética das rações contendo diferentes níveis de energia líquida.

Estimar o melhor nível de energia líquida para suínos machos castrados, dos 70 aos 100 kg.

**Dietary net energy mainly affects growth performance and pork quality of
finishing pigs**

**A energia líquida da dieta influencia principalmente o desempenho e a qualidade
da carne de suínos em terminação**

Camila de Araújo Moreira¹, Lucas Pimentel Bonagúrio¹, Lucas Antonio Costa Esteves¹,
Natália Yoko Sitanaka¹, Paulo Cesar Pozza¹

¹Maringa State University, Maringa, Brazil

*e-mail author: caaraujo2@hotmail.com

ABSTRACT - The present study was carried out to evaluate the effect of net energy levels in diets for barrows, from 70 to 100kg, on performance, plasma parameters and carcass characteristics. Two experiments were carried out: in experiment I, a metabolism assay was performed to estimate the net energy (NE) of experimental diets. Twelve crossbred barrows, averaging 85.74±6.80kg of initial body weight, were distributed in a randomized block design with two metabolizable energy levels (3100 and 3500 kcal/kg), with six replicates and one animal per experimental unit. In experiment II, 45 castrated male pigs were used, averaging 70.10±1.26kg of initial body weight, distributed in a randomized block design, with five NE levels (2345, 2425, 2505, 2585, 2665 kcal/kg), nine replicates and one animal per experimental unit. The increase in diets NE levels provided a linear reduction ($P=0.00039$) of the average daily feed intake (ADFI). There was a quadratic effect for NE efficiency ($P=0.0027$), average daily gain (ADG), ($P=0.0352$) and for feed:gain (F:G), ($P=0.0024$), being the optimal levels estimated at 2485, 2493 and 2533 kcal/kg, respectively. Drip loss (DL) decreased ($P=0.0001$) as NE levels increased. There was also a linear decrease ($P=0.0462$) for the Minolta color parameter ($+a^*$), due to the NE levels. Plasma parameters were not affected ($P>0.05$) by NE levels. The dietary net energy levels affected the performance and meat quality of finishing pigs and the level of 2493 kcal/kg provided the best average daily gain.

Index terms: performance, prediction equation, net energy requirement, pork nutrition

RESUMO – O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito dos níveis de energia líquida na ração de suínos, dos 70 aos 100kg, sobre o desempenho,

parâmetros sanguíneos e características de carcaça. Foram realizados dois experimentos, no experimento I, realizou-se um ensaio de metabolismo para estimar a energia líquida (EL) das rações experimentais. Foram utilizados 12 suínos mestiços, machos castrados, com peso inicial médio de $85,74 \pm 6,80$ kg; distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, sendo dois níveis de EM (3100 e 3500 kcal/kg), com 6 repetições, contendo um animal por unidade experimental. No experimento II, foram utilizados 45 suínos, machos castrados, com peso médio inicial de $70,10 \pm 1,26$ kg, distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, sendo cinco níveis de EL (2345, 2425, 2505, 2585, 2665 kcal/kg), nove repetições e um animal por unidade experimental. O aumento dos níveis de EL das rações proporcionou redução linear ($P=0,00039$) do consumo diário de ração (CDR). Foi observado efeito quadrático para a eficiência de EL ($P=0,0027$), o ganho de peso diário (GPD), ($P=0,0352$) e para a conversão alimentar (CA), ($P=0,0024$), sendo os níveis ótimos estimados em 2485, 2493 e 2533 kcal/kg, respectivamente. A perda de água por gotejamento (PAG) reduziu ($P=0,0001$) à medida que os níveis de EL aumentaram. Também houve efeito linear decrescente ($P=0,0462$) para o parâmetro de cor Minolta (+a*), em função do aumento dos níveis de EL da ração. Os parâmetros plasmáticos não foram influenciados ($P>0,05$) pelos níveis de EL. A energia líquida da dieta influenciou o desempenho e a qualidade da carne de suínos em terminação, e o nível de 2493 kcal/kg proporcionou o melhor ganho de peso diário.

Termos para indexação: desempenho, equação de predição, exigência de energia líquida, nutrição de suínos

INTRODUCTION

The adequate knowledge of the energy value in the ingredients make possible to include several feedstuffs in swine and poultry diets with higher accuracy, improving feed efficiency and reducing diets formulation costs (Kil, Kim and Stein, 2013; Noblet et al., 1994).

In Brazilian swine farms the diets are usually formulated based on metabolizable energy (ME). However, the use of digestible energy (DE) and ME in diets formulation may overestimate protein and fiber digestibility, or underestimate starch and fat

digestibility (Noblet et al., 1994; Noblet, 2007). In this context, the use of net energy (NE) can be observed in several countries, still considered as the most accurate energy system for swine production. Then, a consistent database should be available to provide adequate results, allowing the NE system to be widely used as the basis to formulate diets.

The differences between the ME and NE systems are in the energy expenditure associated to diet heat increment (HI), which can be defined as the heat production from metabolic processes during the nutrients absorption and metabolization. This energy can be dissipated into the environment or used to keep the body temperature on cold days (Kil, Kim and Stein, 2013, Moehn, Levesque and Ball, 2013).

The determination of optimal NE levels is to account the energy that will actually be used by swine during maintenance and production processes. In this sense, Rostagno et al. (2005) used a prediction equation to estimate NE values of feedstuffs. This equation was initially proposed by Noblet et al. (1994) and was fitted using total diets.

Subsequently, Rostagno et al. (2011) and Rostagno et al. (2017) maintained the NE values estimations by means of the aforementioned equation, consolidating it as the model of feeds NE value estimation in Brazilian conditions.

In addition, the swine performance improves significantly with the use of the NE system (Li et al., 2018). However, factors such as weight gain, physiological stage, chemical composition of feedstuffs and energy level may affect pig performance (Schinckel et al., 2012), making it necessary to determine the best NE levels for the different production stages.

Thus, the objective of the present study was to evaluate the optimal dietary NE on performance, blood parameters, carcass traits and pork quality of finishing pigs.

MATERIAL AND METHODS

Experiment I: Net energy determination of experimental diets

The experiment was carried out in the Swine Sector of the Iguatemi Experimental Farm (FEI), that belong to the Agricultural Sciences Center of the State University of Maringá (CCA/UEM), located in the Paraná State, under the approval of the Ethics Committee in the Use of Animals, CEUA/UEM (Protocol 5920100217).

Twelve barrows averaging 85.74 ± 6.80 kg were individually allotted in metabolism cages similar to those described by Pekas (1968), in a completely randomized block design consisting of two treatments and six replicates. The temperature was partially controlled (with air conditioning aid) throughout the experimental period, with maximum and minimum temperature of $27.6 \pm 1.33^\circ\text{C}$ and $22.8 \pm 1.62^\circ\text{C}$, respectively.

Treatments consisted of a diet with 3100 kcal ME/kg and another with 3500 kcal ME/kg, formulated with corn, soybean meal, vitamins, minerals and additives (Table 1), in order to meet the requirements proposed by Rostagno et al (2011). Feces and urine collection were performed according to the methodologies described by Sakomura and Rostagno (2016).

Feed intake was established based on the metabolic weight ($P^{0.75}$) and the feeding was divided into 59.3% in the morning and 40.97% in the afternoon (proportion obtained based on the intakes between morning and afternoon during the adaptation period). The diets were moistened with water, in approximately 20% of the feed provided, to avoid waste, reduce the pulverulence and to improve its acceptability. After each meal, water was supplied in the feeder itself in the proportion of five mL of water/g of feed, to avoid excess water intake and not compromise feed intake.

Table 1 - Ingredients, chemical and energetic composition of basal diets.

Ingredients %	Metabolizable energy (kcal/kg)	
	3100	3500
Corn	70.40	70.40
Soybean meal 45%	21.57	21.57
Soybean Oil	0.66	5.48
Inert ¹	4.82	0.00
Bicalcium Phosphate	0.87	0.87
Limestone	0.60	0.60
Salt	0.36	0.36
Premix ²	0.40	0.40
L-lysine HCl 78.4%	0.20	0.20
DL-methionine 99%	0.04	0.04
L-threonine 98,5%	0.04	0.04
Growth promoter ³	0.02	0.02
Antioxidant ⁴	0.02	0.02
Composition		
BED (mEq/kg)	152.72	152.72
Metabolizable Energy (kcal/kg)	3100	3500
Crude protein (%)	15.53	15.53
Digestible phosphorus (%)	0.250	0.250
Calcium (%)	0.512	0.512
Sodium (%)	0.160	0.160
SID Lysine (%)	0.829	0.829
SID Methionine + cystine (%)	0.497	0.497
SID Threonine (%)	0.555	0.555

¹Clean sand.

²Amount/kg of diet; vit. A: 30000 IU, vit. D3: 5000 IU, vit. E: 120 IU, vit. K: 5 mg, vit. B12: 120 mcg, Niacin: 150 mg, Calcium Panthothenate: 75 mg, Folic Acid: 8 mg, Choline Chloridate: 0.48 g, Iron: 350 mg, Copper: 15 mg, Magnesium: 250 mg, Zinc: 0.75 g, Iodine: 10 mg, Selenium: 3 mg.

³Enramycin.

⁴Banox

The experimental period lasted for 12 days, being seven days of adaptation to the metabolism cages and the diets and five days of feces and urine collection which were performed once a day at 8h. To define the beginning and the end of the collection period the ferric oxide (Fe_2O_3) was used as fecal marker.

The urine, as it was excreted, was filtered and collected in plastic buckets located at the cage bottom, containing 20 mL of 1:1 HCl, to avoid nitrogen volatilization and bacterial proliferation. At the end of the urine collection, a 10% aliquot of each animal was stored and frozen (-18°C) for further analysis. The feces were collected once a day, in plastic bags, identified and stored in a freezer until the end of the collection period. Subsequently, the material was homogenized and dried in a forced ventilation oven (55°C) for 72 hours and milled in a knife-type mill with a 1 mm sieve.

The GE of experimental diets, faeces and urine were determined in the Research Support Center Complex (COMCAP) by adiabatic calorimeter (Parr ® InstrumentCo.AC6200).

The diets were analyzed for dry matter (DM, method 930.15), crude protein (CP, method 990.03), ether extract (EE, method 920.39) and crude fiber (CF, method 978.10) according to the methodologies described by AOAC (2006). The starch (S) analysis was performed by ABC laboratories, using the enzymatic method. The values of digestible energy (DE), metabolizable energy (ME), digestibility (GECD) and metabolizable (GEMC) coefficients of gross energy, as well as the ME: DE ratio of experimental diets were determined.

The bromatological composition (EE, S, CP and CF) and DM values were used in the prediction equation proposed by Noblet et al. (1994), as follows: $\text{NE} = 0.730\text{ME} + 1.31\text{EE} + 0.37\text{S} - 0.67\text{CP} - 0.97\text{CF}$, where: NE = net energy; ME = metabolizable energy; EE = ether extract; S = starch; CP = crude protein; CF = crude fiber.

Experiment II – Performance, blood parameters, carcass traits and pork quality

The minimum and maximum temperatures recorded during the experimental period were $19.8 \pm 1.33^\circ\text{C}$ and $30.6 \pm 1.62^\circ\text{C}$, respectively.

The experiment was carried out in the Swine Sector of the Iguatemi Experimental Farm (FEI), belonging to the Agricultural Sciences Center of the State University of Maringá (CCA/UEM), in the Paraná State.

A total of 45 crossbred swine, castrated males, averaging of $70.10 \pm 1.26\text{kg}$ were used. The animals were housed in masonry shed, covered with asbestos cement tiles, divided into two sections, each one consisting of 20 stalls (3.80m^2) separated by a central hall. The stalls were equipped with a nipple type drinker and semiautomatic feeders, providing free access to feed and water, provided ad libitum throughout the experimental period.

The animals were distributed, based on the initial weight, in a randomized complete block design, consisting of five NE levels (2345, 2425, 2505, 2585 and 2665 kcal/kg), nine replicates and one animal per experimental unit.

The experimental diets were formulated with corn, soybean meal, vitamins, minerals and additives (Table 1) to meet the requirements proposed by Rostagno et al. (2011), for castrated male swines of high genetic potential and superior performance in the finishing phase (70-100 kg).

The highest and the lowest NE levels of the experimental diets were previously obtained in experiment I. Subsequently, the dilution technique was carried out to obtain the intermediate net energy levels, as shown in Table 2.

The animals were weighed in the beginning and end of the experiment to determine average daily gain (ADG). The diets were weighed when provided to animals to determine average daily feed intake (ADFI). The ADG and ADFI data were used to

calculate feed:gain (F:G). The NE Intake (ADFI(g) x kcal NE/kg of diet) and NE efficiency (NE Intake (kcal)/ADG (kg)) were also calculated.

Table 2 - Dilution of experimental diets used in the digestibility experiment to obtain the treatments (T) used in performance experiment

Treatments	Energy Dilution (ME/kcal/kg)	Determined ME ¹ (kcal/kg)	Estimated NE ² (kcal/kg)
T1	100 % T1	3120 ³	2345 ³
T2	75 % T1 + 25 % T5	3214	2425
T3	50 % T1 + 50 % T5	3308	2505
T4	25 % T1 + 75 % T5	3401	2585
T5	100 % T5	3495 ³	2665 ³

¹ME = Metabolizable Energy,

²NE = Net Energy,

³Observed values in experiment 1

At the end of the experiment, the animals were fasted for 6 hours to perform blood collection. Blood samples were drawn from the jugular vein (Cai, Zimmerman and Ewan, 1994) and transferred into tubes with EDTA (urea, triglycerides and total cholesterol) or fluoride (glucose analysis) and centrifuged at 3000 rpm for 15 minutes, for plasma separation (Moreno et al., 1997). Then 3 mL of plasma were transferred to eppendorf tubes, previously identified and stored in a freezer (-18°C), for further analysis.

The glucose, urea, triglycerides and total cholesterol analyzes were performed by the colorimetric method, using commercial kits, following the specific standard operating procedures (SOP).

After 24 hours of fasting, the animals were weighed to obtain the slaughter live weight and sent to the slaughter house of the Iguatemi Experimental Farm-FEI/UEM. The animals were submitted to electrical stunning (200 watts) and then killed by exsanguination, shaved, and gutted. The eviscerated carcasses were divided in the middle, in the longitudinal direction, and later weighed and cooled ($2\pm 1^{\circ}\text{C}$ per 24 hours).

The carcasses were individually evaluated according to the guidelines of Bridi and Silva (2009), where the hot carcass weight (HCW), cold carcass weight (CCW), ham weight (HW), hot carcass yield (HCY), cold carcass weight loss (CCWL), ham yield (HY), backfat thickness (BT) and *Longissimus dorsi* (DL) depth.

BT and DL were measured in the left half carcass, 24hours *post-mortem*, using a pachymeter, in the insertion region of the last thoracic vertebra with the first lumbar, at six centimeters of the carcass cut midline (point P2).

The pH of the *Longissimus dorsi* muscle was measured in the warm carcass, 45 minutes after slaughter (pH45) and in the cold carcass kept in the cold chamber ($1-2^{\circ}\text{C}$) for 24hours (pH24) using a HI digital portable pH meter 99163 (Hanna Instruments), following the recommendations of Bridi and Silva (2009).

Two samples (2.5 cm thickness) of the muscle were used for the qualitative evaluations, as described by Bridi and Silva (2009). The first sample was used to evaluate the drip loss (DL), according to the technique described by Boccard et al (1981). The second sample was used to evaluate the meat color parameters. The components L^* (brightness), a^* (red-green component) and b^* (yellow-blue component) were expressed in the CIELAB color system.

The data were submitted to statistical analysis using the Statistical Analysis System – SAS (2001), using variance analysis (ANOVA) at 5% level. For the significant

results a polynomial regression analysis was carried out, in order to find the linear or quadratic effects in function of studied NE levels.

RESULTS AND DISCUSSION

Experiment I - Net energy determination of experimental diets

The values found for starch (S) were 41.77% and 40.05% for diets with the lowest and highest ME levels, respectively (Table 3). These results corroborate the values found in the experimental diets used by Smith et al (2016), Noblet et al. (1994), Quiniou and Noblet (2012) who evaluated the NE diet effect on swine performance in growth and finishing phases.

The dietary crude protein (CP) values were 15.49% and 15.58%, for experimental diets with the lowest and the highest ME content, respectively. CF also presented low variation (2.55% and 2.79%). However, the EE from 3.42 to 7.60%, for diets with the lowest and highest energy value, respectively.

The chemical composition (Table 3) and ME values (Table 1) reflects the ingredients variation, since the experimental diets were formulated to be isonutritives and only vary in the ME levels, so it was evident the variation in EE content, since the different ME levels were obtained due to soybean oil inclusion in diets.

These variation of oil inclusion in the experimental diets resulted in GE values of 3600 and 4056 kcal/kg, for the lowest and highest energy levels used, respectively (Table 3).

The gross energy digestibility coefficient (GEDC) represents the absorbed GE percentage, so the closer to 100 the more efficient will be the diet GE absorption. Although the lipid sources inclusion influences the digestibility of some swine diet

compounds (Su et al., 2015), the GEDC of experimental diets did not present great variations (90.98% and 90.29%).

Table 3 - Chemical and energetic composition of experimental diets.

Item	Metabolizable Energy ¹ (kcal/kg)	
	3100	3500
Starch, %	41.77	40.05
Crude Protein, %	15.49	15.58
Crude Fiber, %	2.55	2.79
Ether Extract, %	3.42	7.60
Energetic Values		
Gross Energy, kcal/kg	3600	4056
GEDC, %	90.98	90.29
GEMC, %	86.66	86.17
Digestible Energy, kcal/kg	3276	3662
Metabolizable Energy ² , kcal/kg	3120	3495
ME:DE	0.952	0.954
Net Energy, kcal/kg	2345	2665

GEDC – Gross energy digestibility coefficient, GEMC – Gross energy metabolizability coefficient.

¹Calculated values, ²Observed values

The observed highest GEDC levels (Table 3) may be related to the fact that finishing pigs have higher enzymes activity in the brush border membrane. The enterocytes microvilli contain a wide variety of digestive enzymes to catalize nutrients hydrolysis, such as protein-degrading peptidases, carbohydrate-degrading carboxylases,

and small amounts of intestinal lipase responsible for fat depletion (Kerr, Kellner and Shurson, 2015).

The highest diets digestibility is also provided by the ease way that lipids can form micelles in the presence of bile salts during digestion. Short chain fatty acids have higher affinity for micelles formation or can be absorbed directly into the bloodstream. These characteristics make possible the best use of dietary energy (Gu and Li, 2003; Kerr, Kellner and Shurson, 2015).

The gross energy metabolizable coefficient (GEMC) is represented by the GE percentage used in the form of metabolizable energy (ME) by pigs, because it accounts only the energy retained by metabolism. The GEMC of the experimental diets were 86.66 and 86.17%, for the diets with the highest and lowest ME levels, respectively, presenting a behavior similar to GEMC, since the experimental diets were isonitrogenated, not influencing the amino acids deamination in the metabolism, which can influence the urine nitrogen concentration and, consequently, the GEMC.

The imbalance of dietary components, particularly amino acids, changes energy: protein ratios, since all nutrients of a diet are directly balanced according to their energy characteristics (Kerr, Kellner and Shurson, 2015). Thus, experiments that evaluate the NE requirement and use isoprotein diets have the energy value of the diets influenced only by lipids inclusion.

The DE values of the experimental diets were 3276 and 3662 kcal/kg. The ME diets values were 3120 and 3495 kcal/kg, respectively for diets with the lowest and highest energy level. The calculated ME values were close to the observed ME values, as shown in Table 1.

The ME:DE ratio is related to the efficient use of DE in ME (De Lange, 2008) and, according to Noblet and Perez (1993), this ratio for complete diets is usually 96%.

The observed results in this experiment are in agreement with these values, since ME:DE ratio found for diets with the highest and lowest EM levels were 95.2% and 95.4%, respectively. This similarity between the ME:DE ratios is due to the diets being isonitrogenated, as already previously mentioned.

The chemical composition and the energetic values of experimental diets (Table 3) are consistent with calculated values and those presented in the mentioned literature, providing a good accuracy in the experimental diets NE values estimation (Table 3), once the equation used to predict NE values depends from the accuracy and precision of ME results and from the experimental diets chemical composition (EE, S, CP and CF). NE values were estimated at 2345 and 2665 kcal/kg, respectively, for the diets with the lowest and highest energy level.

Experiment II – Performance, blood parameters, carcass traits and pork quality

There was no difference ($P > 0.05$) for final weight (FW) and NE Intake (Table 4) of pigs in the finishing phase. However, there was a reduction ($P = 0.00039$) in the ADFI in function of the increase in dietary NE levels.

For several years, the concept that swines consumed feed to meet their energy requirements prevailed. However, feed intake control based on energy requirement may be a mechanism overlapped by others that are affected by both dietary and non-dietary factors (Patience, 2015).

The ADFI reduction observed in the present study, may be due to the increase of diet lipid inclusion (Table 1), in addition to NE levels, since the increased absorption of lipids by small intestine promotes the CCK (cholecystokinin) hormone secretion and stimulates the synthesis and release of apolipoprotein A-IV (apo A-IV) by enterocytes,

normally associated with chylomicrons. Evidence suggests that this peptide is able to regulate feed intake through satiety control and that high levels of dietary energy inhibit intestinal motility and reduce the passage rate (Tso and Liu, 2004).

Table 4 - Performance of finishing pigs fed diets with different levels of net energy.

Item	Net Energy (kcal/kg)					P value		
	2345	2425	2505	2585	2665	SEM ⁷	Lin ¹	Quad ²
Initial Weight, kg	69.69	70.49	70.16	69.78	70.38	0.187	0.6248	0.7764
Final Weight, kg	99.74	101.45	101.22	100.71	99.05	0.642	0.6271	0.1805
ADFI ³ , kg	3.25	3.17	3.02	2.96	2.93	0.033	0.0004	0.4779
NE.Intak, kcal/day	7618	7694	7569	7655	7804	72,863	0.5330	0.5718
NE.Ef ⁴ ,kcal/kg.ADG	6488	6074	5995	6198	6847	110,44	0.1893	0.0027
ADG ⁵ , kg	1.19	1.27	1.27	1.25	1.16	0.022	0.6028	0.0352
F:G ⁶ , kg/kg	2.77	2.50	2.39	2.40	2.57	0.044	0.0491	0.0024

ADFI-Average daily feed intake, NE.Intak - Net energy intake, NE.Ef - Net energy efficiency, ADG-Average daily gain , F:G-Feed gain ratio.

¹Net energy linear effect.

²Net energy quadratic effect.

$$^3\hat{Y} = 5.734490 - 0.00106522X \text{ (R}^2 = 0.93\text{)}$$

$$^4\hat{Y} = 172008 - 133,612X + 0,0268792X^2 \text{ (R}^2 = 1.00\text{)}$$

$$^5\hat{Y} = - 24.0636 + 0.0203289X - 0.00000407650X^2 \text{ (R}^2 = 0.96\text{)}$$

$$^6\hat{Y} = 72.8179 - 0.0556056X + 0.0000109736X^2 \text{ (R}^2 = 1.00\text{)}$$

⁷SEM = Standart Error of the Mean.

The energetic level of the diet modulates the swines feed efficiency particularly through two ways, first, with the NE increase the swine energy requirements are reached

with less feed intake and secondly, the growth rate is potentiated with high energy levels improving the dietary amino acids use (Patience, 2015).

The NE requirement determination of swines aims to adjust the energy intake so that it is not deficient to the maximum ADG or in excess, providing higher carcass fat deposition. In this sense, the efficiency with which pigs use the available energy to deposit proteins and fats can be evaluated through the average daily gain (ADG). In the present study, it was observed a quadratic effect ($\hat{Y} = -24.0636 + 0.0203289X - 0.00000407650X^2$; $R^2 = 0.96$) for ADG in function of the NE levels increase in diet (Figure 1-b) in which the optimum NE level was estimated at 2493 kcal/kg.

The ADG response to dietary energy concentration was observed by Quiniou and Noblet (2012), estimating the best NE level at 2364 kcal/kg. Saraiva et al. (2014) also observed an effect of NE levels on swine ADG when assessing the energy ratio with the diet CP reduction, estimating the optimum NE level at 2588 kcal/kg.

These divergences between the values observed in the present study and those in the literature may be related to the swines genetic characteristics for different growth rates, energy intake, body temperature maintenance and proteins and lipids deposition, which alter energy requirements for maintenance (Li et al., 2018).

The benefit of the use of NE systems is also observed in the improvement of swine feed gain (F:G) (Cámara et al., 2016), which was observed in the present study (Table 4), since NE levels provided an effect ($P = 0.04$) in F:G (Figure 1-c), estimating the best level at 2533 kcal NE/kg. On the other hand, Zhang et al (2011) evaluating NE levels and CP reduction estimated the level at 2398 kcal/kg, for swines feed gain ratio, from 60 to 100 kg.

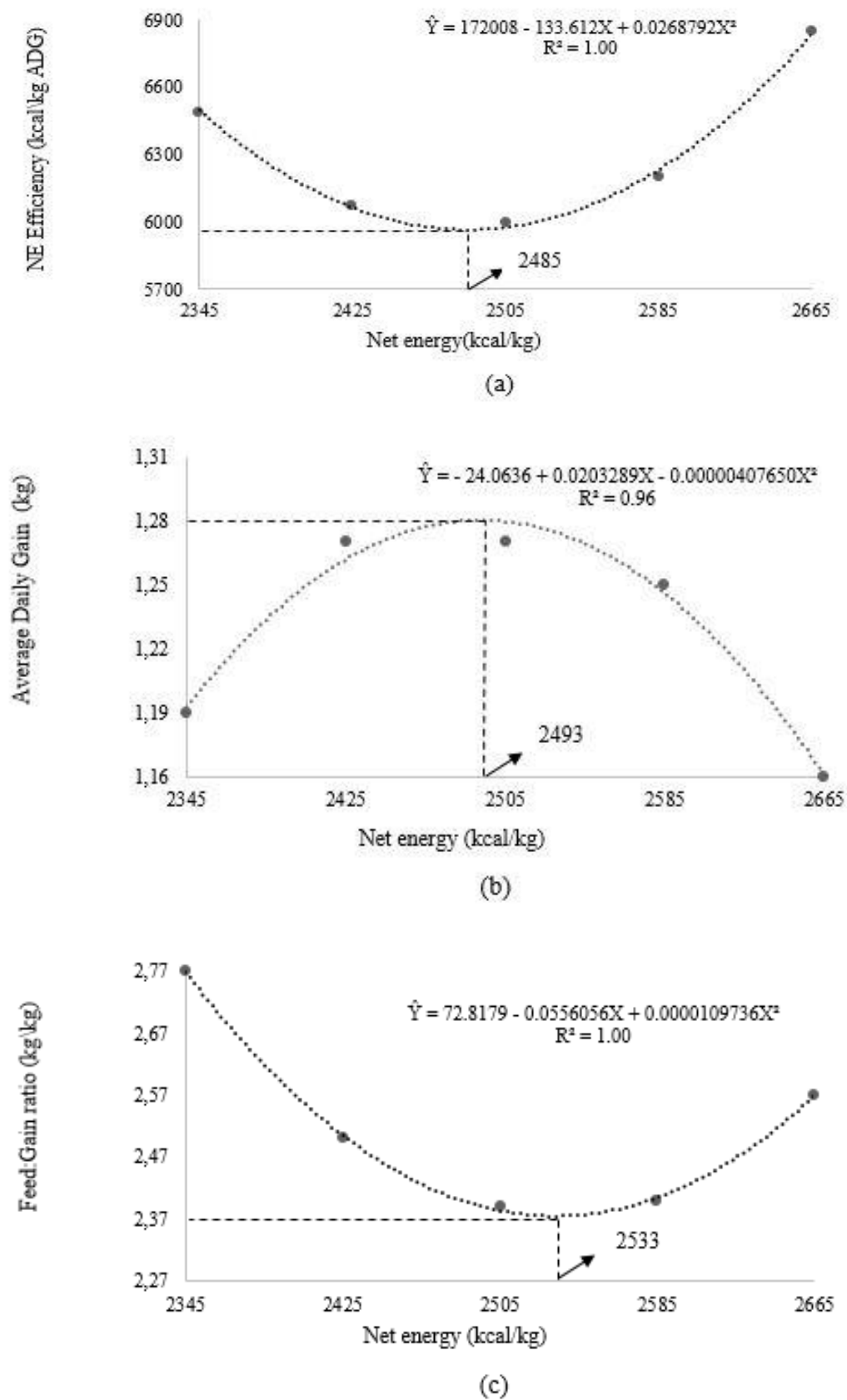


Figure 1. Graphical representation of net energy efficiency (a), average daily gain (b) and feed gain ratio (c) of finishing pigs fed diets with different net energy levels.

All diet components are directly or indirectly associated with a complex intermediate metabolism pathway (Chwalibog et al., 2005) and the blood plasma metabolic profile is a reflection of this dynamics in response to the nutrients concentration in diet (Zhao et al., 2015). However, when increasing the diets lipid content, no significant effects ($P > 0.05$) of NE levels were observed on total cholesterol, triglycerides, urea and glucose concentration in the blood plasma (Table 5).

Table 5 - Plasma parameters of finishing pigs fed diets with different net energy levels.

Item	Net energy (kcal/kg)					SEM ³	P value	
	2365	2425	2505	2585	2665		Lin ¹	Quad ²
Analysis(mg/dL)								
Cholesterol	77.50	78.56	80.54	80.63	79.63	2.187	0.6543	0.7189
Triglycerides	34.25	35.13	35.00	34.50	35.50	1.285	0.8422	0.9910
Urea	24.51	24.76	25.38	23.06	21.35	0.780	0.1479	0.2936
Glucose	79.29	79.83	79.31	79.50	80.11	0.709	0.8004	0.8917

¹Net energy linear effect.

²Net energy quadratic effect.

³SEM= Standard error of the mean.

Vegetable fats are compounds rich in polyunsaturated fatty acids. This characteristic is able of maintaining cholesterol hepatic synthesis at constant levels in the blood as the swines dietary energy increases (Ho, Kim and Lee, 1989), which may be related to the results obtained for the total cholesterol in the present study (Table 5).

The highest lipids concentration in cells depends on the balance between lipogenesis and triglyceride lipolysis. Fat deposition in adipose tissue is controlled by lipoprotein activity, which regulates the uptake of fatty acids in the blood (blood triglycerides) and from the lipase enzyme, which controls the fatty acid synthesis in

adipose tissue (Gu and Li, 2003; Kerr, Kellner and Shurson, 2015). In this study, the ADFI reduction (Table 4) may have provided a standardized lipid intake, not affecting the triglyceride results in the swine plasma (Table 5).

Dietary amino acids are incorporated into the bloodstream to act on metabolic processes related to protein synthesis. In this sense, swine plasma urea levels were not significant ($P > 0.05$) because the experimental diets were isonitrogenated, which minimized the nitrogen imbalance effects during protein metabolism (Wu, 2009).

Already the blood glucose concentration can be related to the metabolization of dietary carbohydrates, representing the major source of energy for pigs. The plasma glucose levels were not affected ($P > 0.05$) by NE levels, due to the experimental diets presented similar contents of carbohydrates, mainly starch (Tables 1 and 3).

Thus, it can be inferred that finishing pigs maintain, at normal level, the blood metabolites concentration when dietary energy levels are obtained from the soybean oil inclusion in diet, associated to the ADFI reduction.

Currently, the consumer pork market is looking for a lower fat percentage carcass, but is able to keep the same yield rates. Carcass yield (CY) is the main economic driver for swine production. However, when finishing pigs in amounts of energy above their metabolic needs, greater fat deposition in carcass has been observed (Quiniou and Noblet, 2012).

The highest carcass fat deposition may occur due to high diet energy:protein, amino acid imbalance, or attributed to a specific action of dietary lipids on carcass composition. Even so, increasing diet NE levels did not affect ($P > 0.05$) the depth of the *longissimus dorsi* (DL) muscle, the backfat thickness (BT), the carcass length (CL), hot carcass weight (HCW), hot carcass yield (HCY), cold carcass weight (CCW), cold carcass yield (CCY), ham weight (HW) and yield (HY) as shown in Table 6.

Table 6 - Quantitative characteristics of finishing pigs fed diets with different net energy levels.

Item	Net energy (kcal/kg)					SEM ³	P value	
	2345	2425	2505	2585	2665		Lin ¹	Quad ²
DL, mm	62.87	62.10	62.98	60.22	61.61	0.928	0.4959	0.9280
BT, mm	11.48	12.27	11.59	11.88	11.71	0.315	0.9740	0.7195
CL, cm	89.57	92.56	93.42	95.21	94.25	0.735	0.0515	0.1542
HCW, kg	76.17	77.40	78.45	77.28	77.34	0.561	0.5676	0.2581
HCY, %	79.96	80.38	81.04	81.49	81.50	0.334	0.1071	0.7136
CCW, kg	73.46	75.31	76.62	76.02	74.86	0.575	0.2984	0.0512
CCY, %	78.67	79.24	79.20	79.20	78.41	0.199	0.6929	0.1350
HW, kg	10.95	10.79	11.30	10.41	10.92	0.131	0.5930	0.9414
HY, %	29.42	28.43	29.50	27.95	29.21	0.246	0.5834	0.2462

DL- depth of *Longissimus dorsi* muscle, BT-backfat thickness, CL-carcass length, HCW-hot carcass weight, HCY-hot carcass yield, CCW-cold carcass weight, CCY-cold carcass yield, HW- ham weight, HY- ham yield.

¹Net energy linear effect.

²Net energy quadratic effect.

³SEM = Standard error of the mean.

Another important aspect, besides a carcass with a lower fat content, is the pork meat quality. Most of the factors affecting meat quality can be controlled during production steps. Some, however, are affected by the raising period as well as during or after the slaughter process.

The diet composition can influence meat quality since the dietary energy: protein ratio determines the proteins and lipids deposition rate in carcass (Wood et al., 2008).

The meat products appearance such as color, softness and succulence are characteristics responsible for inducing the purchase desire, as well as ensuring the

purchase continuity by consumers. Thus, swine production use quality indices to adjust the meat physical and organoleptic characteristics according to the consumer market (Zhang et al., 2008).

In this study, no effects ($P > 0.05$) of NE levels on qualitative carcass characteristics were observed for pH 45, pH 24, P1P2P3, Minolta L* and Minolta b* variables (Table 8). However, there was a decreasing linear effect ($P=0.0001$), for drip loss (DL), represented by the equation $\hat{Y} = 27.4007 - 0.00904320X$ ($R^2 = 0.93$) and for Minolta a* value ($P=0.0462$), as observed in the equation $\hat{Y} = 11.4273 - 0.00161462X$ ($R^2 = 0.68$). The NE levels effects on DL and a* value may be related to the increased intramuscular fat (IM) deposition in the carcass (Zhang et al., 2008).

The highest IM fat synthesis occurs during the swine finishing phase. Normally, this fat deposition is influenced by the genetic characteristics (Schwab et al., 2006) or according to the nutritional aspects. In this sense, the energy level, the energy:lysine ratio and diet low energy density can increase the IM fat deposition in swine carcass (Zhang et al., 2008).

This fat is intermixed with muscle fibers and may have increased the membrane stability during the conversion of the muscle into meat. The muscle structure is composed of approximately 75% water, among other components such as proteins ($\pm 20\%$), lipids ($\pm 5\%$), carbohydrates ($\pm 1\%$), vitamins and minerals (Pearce et al., 2011).

After slaughter, in the *rigor mortis* process, the sarcomere shortening promotes the osmotic imbalance of the muscle cells and as a consequence, the actin-myosin complexes reduce the muscle intra-myofibrillary spaces, providing the water molecules mobilization from the intra-myofibrillar spaces to the extra-myofibrillar spaces. In the *post mortem* period, the meat turns softness again due to the muscle fibers rupture and the

electrolyte balance returns of cells; however, the extra-myofibrillar spaces end up forming water drip channels that provide meat DL (Table 8) (Pearce et al., 2011).

Table 7 - Qualitative characteristics *longissimus dorsi* muscle of finishing pigs fed diets with different levels of net energy.

	Net energy (kcal/kg)					SEM ⁵	P value	
	2345	2425	2505	2585	2665		Lin ¹	Quad ²
pH – 45 min	5.88	5.92	6.02	5.95	6.02	0.064	0.2831	0.8404
pH – 24 hs	5.82	5.84	5.89	5.91	5.89	0.054	0.5920	0.8234
P1P2P3, cm	2.52	2.38	2.20	2.24	2.23	0.058	0.0742	0.2962
DL ³ (%)	5.98	5.49	5.27	3.79	3.21	0.197	0.0001	0.1581
Minolta (L*)	54.55	54.51	54.57	54.51	55.20	0.216	0.3945	0.4563
Minolta (a*) ⁴	7.70	7.34	7.42	7.43	7.01	0.106	0.0462	0.8122
Minolta (b*)	3.83	3.58	3.57	3.89	3.72	0.093	0.8829	0.5308

pH 45 – pH 45 minutes after slaughter, pH 24 – pH 24 hours after slaughter, P1P2P3 – carcass measurement points to evaluate fat thickness, DL- drip loss.

¹Net energy linear effect.

²Net energy quadratic effect.

³ $\hat{Y} = 27.4007 - 0.00904320X$ ($R^2 = 0.93$)

⁴ $\hat{Y} = 11.4273 - 0.00161462X$ ($R^2 = 0.68$)

⁵SEM= Standart Error of the Mean.

In cases of high temperatures and rapid pH drop, myosin heads are rapidly denatured and actin-myosin complexes are formed, providing a higher muscle cell structures disintegration, as well as increasing the water content in extra-myofibrillar spaces, reducing the meat water retention capacity (Pearce et al., 2011).

In the present study, the pH values (Table 8) and temperature did not alter muscle tissue metabolism during the *post mortem* process, evidencing that the DL reduction of

swine loins (Figure 2-a) may be due to higher IM fat deposition, provided by increased NE levels in diet (Zhang et al., 2008).

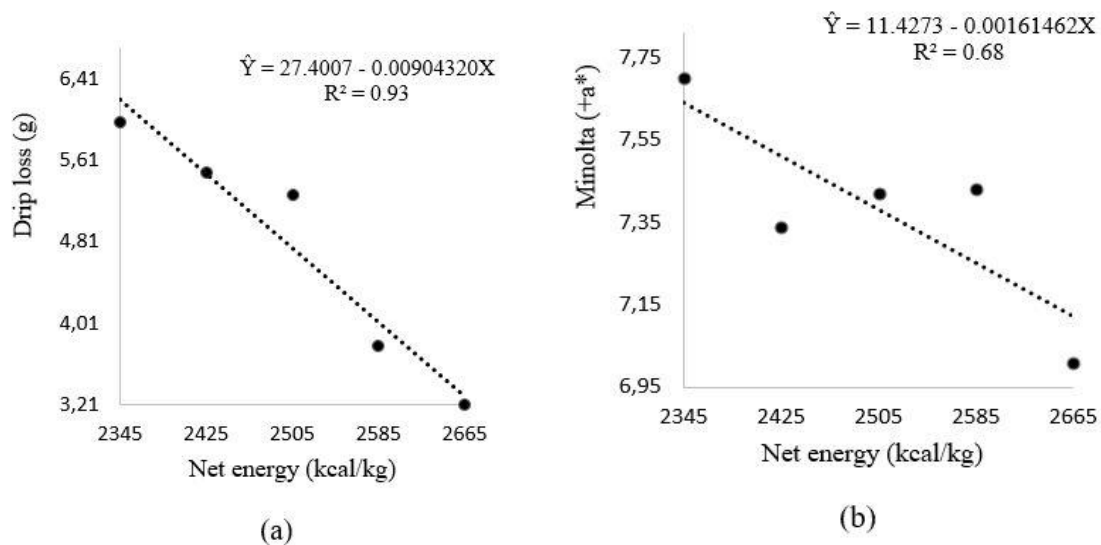


Figure 2 - Graphic representation of drip loss (a) and a* (b) of *longissimus dorsi* muscle of finishing pigs fed diets with different levels of net energy.

According to Zhang et al (2008), swine fed diets with low energy density have a higher IM fat deposition, lower water retention capacity and higher a* values of the loins. The a* value represents the green color (-a*) until the red color (+a*) and the greater the meat + a* the higher is its intensity for the red color. However, in the present study (Table 8), the reduction in the Minolta a* value may be related to the increased IM fat deposition, which in turn is intermixed with the muscle fibers and reduces the meat reddish tone intensity (Figure 2-b).

CONCLUSION

The diet net energy influenced the performance and meat quality of finishing pigs and the level of 2493 kcal/kg provided the best average daily gain.

REFERENCES

- AOAC. **Official Methods of Analysis**. 18th edn. Association of Official Analytical Chemist; Arlington, VA, 2006. 201p.
- BEAULIEU, A. D.; WILLIAMS, N. H.; PATIENCE, J. F. Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets. **Journal of Animal Science**, 87(3):965-976, 2009.
- BOCCARD, R. et al. Procedures for measuring meat quality characteristics in beef production experiments. Report of a working group in the Commission of the European Communities'(CEC) beef production research programme. **Livestock Production Science**, 8(5):385-397, 1981.
- BRIDI, A.M., SILVA, C.A. **Avaliação da Carne Suína**. Londrina: Midiograft, 2009. 120p.
- CAI, Y; ZIMMERMAN, D. R.; EWAN, R. C. Diurnal variation in concentrations of plasma urea nitrogen and amino acids in pigs given free access to feed or fed twice daily. **The Journal of Nutrition**, 124(7):1088-1093, 1994.
- CÁMARA, L. et al. Growth performance and carcass quality of crossbreds pigs from two Pietrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration. **Meat Science**, 114(7):69-74, 2016.
- CÁMARA, L. et al. Influence of net energy content of the diets on productive performance and carcass merit of gilts, boars and immunocastrated males slaughtered at 120 kg BW. **Meat science**, 98(4):773-780, 2014.
- CHWALIBOG, A. et al. Energy metabolism and nutrient oxidation in young pigs and rats during feeding, starvation and re-feeding. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, 140(3):299-307, 2005.
- DE LA LLATA, M., et al. Effects of increasing lysine to calorie ratio and added fat for growing-finishing pigs reared in a commercial environment: I. Growth performance and carcass characteristics. **Professional Animal Scientist**, 23(4):417-428, 2007.
- DE LANGE, C. F. M. **Efficiency of utilization of energy from protein and fiber in the pig** - A case for NE systems. In: Proc. Midwest Swine Nutrition Conference, Indianapolis, IN. p. 58-72. 2008.
- GU, X.; LI, D. Fat nutrition and metabolism in piglets: a review. **Animal Feed Science and Technology**, 109(1-4):151-170, 2003.
- HO, H.-T.; KIM, D. N.; LEE, K. T. Intestinal apolipoprotein B-48 synthesis and lymphatic cholesterol transport are lower in swine fed high fat, high cholesterol diet with soy protein than with casein. **Atherosclerosis**, 77(1):15-23, 1989.

KERR, B. J.; KELLNER, T. A.; SHURSON, G. C. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 6(1):30, 2015.

KIL, D.Y.; KIM, B.G.; STEIN, H.H. Feed Energy Evaluation for Growing Pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 26(11):1205–1217, 2013.

LI, Z. et al. Methodologies on estimating the energy requirements for maintenance and determining the net energy contents of feed ingredients in swine: a review of recent work. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 9(1):39, 2018.

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**, 97(6):197–204, 2013.

MORENO, A. M. et al. **Colheita e processamento de amostras de sangue em suínos para fins de diagnóstico**. Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E), 1997.

NOBLET, J.; J. M. PEREZ. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. **Journal of Animal Science**. 71(7):3389-3398, 1993.

NOBLET, J. et al. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. **Journal of Animal Science**, 72(2):344-354, 1994.

NOBLET, J. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36(6):277–284, 2007.

PATIENCE, J. F. et al. A review of feed efficiency in swine: biology and application. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 6(1):33, 2015.

PEARCE, K. L. et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review. **Meat Science**, 89(2):111-124, 2011.

PEKAS, J.C. Versatile swine laboratory apparatus for physiologic and metabolic studies. **Journal of Animal Science**, 27(6):1303 -1306, 1968.

QUINIQU, N.; NOBLET, J. Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. **Journal of Animal Science**, 90(12):4362-4372, 2012.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2005. 233p.

ROSTAGNO, H.S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2011. 252p.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa: UFV, 2017. 300p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Manual de utilização do programa SAEG** (Sistema para análises estatísticas e genéticas). Viçosa: UFV, 2007. 59p.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. Jaboticabal: Funep, 2016. 300p.

SARAIVA, A. et al. Net energy for 60 to 120kg pigs fed low-crude protein diets. **Ciência Rural**, 44(9):1632–1638, 2014.

SCHINCKEL, A. P. et al. Daily feed intake, energy intake, growth rate and measures of dietary energy efficiency of pigs from four sire lines fed diets with high or low metabolizable and net energy concentrations. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 25(3):410, 2012.

SCHWAB, C. R. et al. Effect of long-term selection for increased leanness on meat and eating quality traits in Duroc swine. **Journal of Animal Science**, 84(6):1577-1583, 2006.

SMITH, J. W. et al. Effects of low-protein, amino acid-fortified diets formulated on a net energy basis on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. **Journal of Applied Animal Research**, 15(1):1-16, 1999.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. SAS User's Guide: Estatistics. Eletronic version 8.1. Cary: 2001 (CD-ROM).

SU, Y. et al. 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**, 28(12):1751, 2015.

TSO, P.; LIU, M. Apolipoprotein A-IV, food intake, and obesity. **Physiology & Behavior**, 83(4):631-643, 2004.

WOOD, J. D. et al. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science**, 78(4):343-358, 2008.

WU, G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. **Amino Acids**, 37(1):1-17, 2009.

ZHANG, J. et al. Effects of lower dietary lysine and energy content on carcass characteristics and meat quality in growing-finishing pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 21(12):1785-1793, 2008.

ZHANG, G. et al. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-

finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acids diets. **Agricultural sciences in China**, 10(4):602-610, 2011.

ZHAO, P. Y. et al. Effect of emulsifier (lysophospholipids) on growth performance, nutrient digestibility and blood profile in weanling pigs. **Animal Feed Science and Technology**, 207(8):190-195, 2015.