

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO E
SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO COM NÍVEIS DE
PROTEÍNA BRUTA PARA SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE CLIMA
TROPICAL**

**Dani Perondi
Zootecnista**

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO E
SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO COM NÍVEIS DE
PROTEÍNA BRUTA PARA SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE CLIMA
TROPICAL**

Dani Perondi

Orientador: Prof. Dr. Luciano Hauschild

Resultados apresentados à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias –Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

2018

P453m Perondi, Dani

Modelos empíricos para estimativa do consumo e sistema de alimentação de precisão com níveis de proteína bruta para suínos em condições de clima tropical / Dani Perondi. -- Jaboticabal, 2018
76 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Luciano Hauschild

1. Eficiência alimentar. 2. Nitrogênio. 3. Temperatura. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

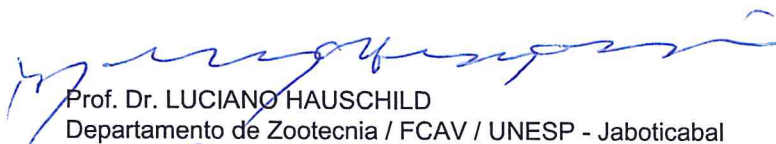
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO E SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO COM NÍVEIS DE PROTEÍNA BRUTA PARA SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL

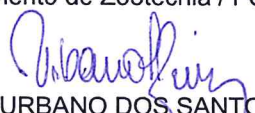
AUTOR: DANI PERONDI

ORIENTADOR: LUCIANO HAUSCHILD

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. URBANO DOS SANTOS RUIZ
Departamento de Zootecnia / USP - ESALQ - Piracicaba



Prof. Dr. DIRLEI ANTONIO BERTO
Departamento de Produção Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu



Prof. Dr. MARCOS MACARI
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. NILVA KAZUE SAKOMURA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 07 de fevereiro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Dani Perondi nascido em Xavantina – SC, no dia 10 de dezembro de 1986, graduou-se em Zootecnia na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, no Centro de Educação Superior do Oeste – CEO em 2010. Em 2011 iniciou o mestrado em Zootecnia na Universidade Estadual de Maringá – UEM Câmpus de Maringá, e desenvolveu o projeto intitulado “**Farelo da Semente de Maracujá na Alimentação de Suínos**”, obtendo o título de mestre no ano de 2013. No ano de 2014 iniciou o curso de doutorado no Programa de Pós-graduação em Zootecnia e realizou o projeto intitulado “**Modelos Empíricos para Estimativa do Consumo e Sistema de Alimentação de Precisão com Níveis de Proteína Bruta para Suínos em Condições de Clima Tropical**”.

DEDICO...

A minha esposa Raquel,

Companheira de vida e de trabalho, a quem devo totalmente a sustentação emocional desta caminhada. Agradeço imensamente pelo amor, paciência, pelas discussões, pelos conselhos e também pela participação, intelectual e laboral, no desenvolvimento desta tese.

Ao meu filho Luiz Felipe,

Por renovar minha fé a cada dia, a cada abraço, a cada sorriso. Por ser minha fonte inesgotável de incentivo e esperanças. Por tornar feliz até o mais nebuloso e estressante dos dias. Por me mostrar que o importante é estar perto de quem se ama. E que uma tese, é só uma tese.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Deonir e Neliz, e aos meus irmãos, Maiara e Giovani por todo amor e confiança depositados em mim e no meu trabalho. Vossa torcida me dá forças para trabalhar cada vez melhor.

À Universidade Estadual Paulista – UNESP e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade de cursar o Doutorado e de utilizar sua estrutura para desenvolver este trabalho de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luciano Hauschild pela orientação, pelos ensinamentos e pela oportunidade de crescimento profissional e intelectual. Agradeço por compartilhar, durante estes anos, parte de seu vasto conhecimento e também pelos valiosos exemplos de conduta profissional, na docência e na pesquisa, que muito inspiraram minha formação.

Ao Prof. Dr. Candido Pomar, pelo tempo dedicado ao trabalho e aos ensinamentos, imprescindíveis para a realização deste trabalho. Estendo este agradecimento ao Gustavo e ao Miguel, colegas de laboratório, pela formação de uma equipe de trabalho extremamente dedicada e, sem a qual, não teria finalizado o projeto.

Aos Professores da banca de qualificação (Dr. Marcos Macari, Dra. Nilva Kazue Sakomura, Dr. Edney Pereira da Silva e Dr. Luiz Guilherme de Oliveira) e da banca de defesa, pelas correções e contribuições.

Aos meus colegas de pós-graduação e graduação (Aline, Alini, Alicia, Jaqueline, Luan, Leury, Wellex) pelo apoio e colaboração, no âmbito profissional e pessoal.

Aos grandes amigos que fiz aqui em Jaboticabal, pela convivência e pelo apoio durante estes 3 anos.

Aos funcionários da UNESP (Wilson e Zé) pelo auxílio nas atividades relacionadas ao projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelas bolsas de estudo concedidas.

SUMÁRIO

INDÍCE DE FIGURAS	iii
INDÍCE DE TABELAS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO 1. Considerações gerais.....	1
2. Impacto da temperatura na produção animal.....	2
3. Resposta dos animais a altas temperaturas	4
2. Utilização de modelos na produção animal.....	6
3. Nutrição de precisão	7
4. Estratégias nutricionais para reduzir o impacto do estresse térmico.	10
4.1 Proteína Bruta.....	10
5. Referências bibliográficas	12
CAPÍTULO 2. Empirical models for predicting feed intake of growing-finishing pigs reared under high environmental temperatures	20
ABSTRACT	21
INTRODUCTION.....	22
MATERIAL AND METHODS.....	23
Description of the empirical models	23
Systematic literature review and database building	25
Calculations and statistical procedures.....	26
RESULTS AND DISCUSSION.....	27
ACKNOWLEDGMENTS.....	32

REFERENCES	33
CAPÍTULO 3. Programa de nutrição de precisão e níveis de proteína bruta para suínos em clima tropical	46
RESUMO	48
INTRODUÇÃO	50
MATERIAIS E MÉTODOS	51
Dietas Experimentais	53
Condução do Experimento	54
Procedimentos Analíticos	56
Cálculo e Análises Estatísticas	56
RESULTADOS.....	57
Fase 1 - (0 aos 28 dias)	58
Fase 2 – (29 aos 56 dias)	59
Fase 3 - (57 aos 78 dias)	59
Geral - (0 aos 77 dias)	60
DISCUSSÃO	60
Efeito dos Programas de Alimentação.....	61
Efeito da Proteína Bruta.....	64
Conclusão	66
Referências bibliográficas	67

INDÍCE DE FIGURAS

Figure 1: Agreement between the observed feed intake and the values estimated by the models Renaudeau I and Renaudeau II.....	45
Figura 2. Variação (mínima e máxima) da temperatura diária dentro do galpão experimental durante o período experimental (0 aos 77 dias).....	72

INDÍCE DE TABELAS

Tabela 1. Ingredientes e composição química das dietas experimentais.....	71
Tabela 2. Médias do desempenho e composição corporal de suínos em um programa de alimentação convencional de três fases (3P) ou programa de precisão (PF), utilizando dietas com nível convencional de proteína bruta (CPB) ou redução da proteína bruta em 4% (RPB)	73
Tabela 3. Média do consumo de nutrientes para suínos em um programa de alimentação com três fases (3P) ou programa de precisão (PF), dietas com nível convencional de proteína bruta (CPB) ou redução da proteína bruta em 4% (RPB).....	75
Tabela 4. Comportamento alimentar dos suínos em um programa de alimentação com três fases (3P) ou programa de precisão (PF), dietas com nível convencional de proteína bruta (CPB) ou redução da proteína bruta em 4% (RPB).	76
Table 1 – Empirical models predicting feed intake of growing-finishing pigs from environmental temperature (<i>T</i>) and body weight (<i>BW</i>).....	41
Table 2 – Reference and description of studies included in the database.....	42
Table 3 – Agreement between the feed intake (FI) estimated by the empirical models and the observed values in the general population.....	43
Table 4 – Agreement between the feed intake (FI) estimated by the empirical models and the observed values in each reference population.....	44

MODELOS EMPÍRICOS PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO E SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO COM NÍVEIS DE PROTEÍNA BRUTA PARA SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE CLIMA TROPICAL

RESUMO – Neste trabalho foi realizado um primeiro trabalho de avaliação e validação dos modelos empíricos presentes na literatura quanto a estimativa do consumo diário de ração para suínos. O segundo trabalho foi realizado para avaliar o desempenho de suínos em um sistema de alimentação de precisão para suínos em clima tropical. Vários modelos foram propostos para predição do consumo diário de ração (CDR) para suínos em crescimento e terminação mantidos em condições de altas temperaturas. Entretanto, estes modelos não têm sido avaliados em condições de diferentes as quais eles foram desenvolvidos. Neste trabalho foram avaliados 20 modelos empíricos utilizando uma base de dados. Sendo que foram testados em relação a uma base de dados geral e uma base de dados filtrada com as características do experimento que obteve o modelo (valores de temperatura, peso vivo e sexo). Seis modelos estimaram o consumo de ração próximo ao observado na população geral ($p > 0,05$). No entanto, quatro modelos estimaram consumo diário de ração similar ao observado na população filtrada. Sendo que os modelos empíricos apesar de não apresentarem relação biológica demonstram estimativas próximas aos valores observados. No segundo trabalho foi avaliado um programa de alimentação de precisão para suínos com dois níveis de proteína bruta. Foi avaliado o desempenho, composição corporal e comportamento alimentar dos suínos. Sendo que foram 60 suínos machos castrados com peso inicial de 38,9 kg (SE: 0,9) e duração de 77 dias experimentais. Os tratamentos foram distribuídos em um esquema fatorial com dois programas de alimentação: programa de três fases (3P) e alimentação de precisão (PF); e utilizados dois níveis de proteína bruta (PB): nível convencional (CPB) e redução de 4% na PB (RPB). O consumo diário de ração (CDR) foi coletado pelo comedouro Automatic and Intelligent Precision Feeder (AIPF). No início do experimento (0 d) e ao final das fases (28, 56 e 77 d) foram realizadas mensurações do peso vivo (PV), espessura de toucinho, profundidade de lombo e composição corporal. O CDR e ganho diário de peso (GPD) foram semelhantes ($P > 0,10$) entre os programas de alimentação durante as fases e para o período total. Porém, a eficiência alimentar (EA) foi maior (5%) nos suínos do PF ($P < 0,05$) durante o período total, e nas fases 1 e 2. O consumo de proteína bruta (CPB) e lisina digestível verdadeira foi menor ($P < 0,05$) nos suínos do PF (17 e 21%, respectivamente). Nos suínos do PF foi verificada redução no tempo de consumo (10%), em relação aos suínos do 3P em todas as fases do estudo. Quanto aos níveis de PB, o desempenho foi semelhante ($P < 0,10$) entre os suínos do tratamento CPB e RPB na fase total. Os suínos do RPB demonstraram redução ($P < 0,05$) no consumo de PB (27%) e de lisina digestível verdadeira (5%) em relação aos suínos do CPB. Ambas estratégias podem ser aplicadas em clima tropical, pois mantem o desempenho dos suínos e possibilitam redução no consumo de PB,

SID lisina e conseqüentemente na excreção de nitrogênio. O PF demonstra ser uma estratégia alimentar efetiva para suínos em clima tropical com melhora na eficiência alimentar.

Palavras-chave: eficiência alimentar, nitrogênio, temperatura

EMPIRICAL MODELS FOR CONSUMPTION ESTIMATION AND PRECISION FEEDING SYSTEM WITH CRUDE PROTEIN LEVELS FOR PIGS IN TROPICAL CLIMATE

ABSTRACT - In this work, a first working evaluation and validation of empirical models in the literature as the estimated daily feed intake for pigs. The second study were conducted to evaluate the performance of pigs on precision feeding system for pigs in tropical climate. Several models proposed for the prediction of daily feed intake (DFI) for growing and finishing pigs kept in high temperature. However, these models have not been evaluated under different conditions from which they were developed. In this work 20 empirical models were evaluated using a database. They were tested for a general database and with the characteristics of the experiment that obtained the model (temperature, body weight and sex). Six models estimated feed intake close to that observed in the general population ($p > 0.05$). However, four models estimated daily feed intake similar to that observed in the filtered population. Since the empirical models despite not presenting biological relationship estimates show close to the observed values. In the second work, a precision feed program was evaluated for pigs with two levels of crude protein. The performance, body composition and feeding behavior of pigs were evaluated. There were 60 male castrated pigs with initial weight of 38.9 kg (SE: 0,9) and duration of 77 experimental days. The treatments were distributed in a factorial scheme with two feeding programs: three-phase program (3P) and precision feeding (FP); and two levels of crude protein (PB) were used: conventional level (CPB) and 4% reduction in PB (RPB). The daily feed intake (DFI) was collected by the Automatic and Intelligent Precision Feeder (AIPF). At the beginning of the experiment (0 d) and at the end of the phases (28, 56 and 77 d) were measured body weight (BW), backfat thickness, loin depth and body composition. DFI and daily weight gain (DWG) were similar ($P > 0.10$) between the feeding programs during the phases and for the total period. However, the feed efficiency (FE) was higher (5%) in PF pigs ($P < 0.05$) over the total period, and the steps 1 and 2. Consumption of crude protein (CPB) and true digestible lysine was lower ($P < 0.05$) in PF pigs (17 and 21%, respectively). In PF pigs, a reduction in consumption time (10%) was observed in relation to 3P pigs in all phases of the study. As for CP levels, the performance was similar ($P < 0.10$) among the CPB and RPB treatment pigs in the total phase. RPB pigs showed a reduction ($P < 0.05$) in CP (27%) and true digestible lysine (5%) in relation to CPB pigs. Both strategies can be applied in tropical climate, since it maintains the performance of the pigs and allows a reduction in the consumption of CB, SID lysine and consequently in the excretion of nitrogen. PF proves to be an effective feeding strategy for tropical with improved feed efficiency to pigs.

Key words: feed efficiency, nitrogen, temperature

CAPÍTULO 1. Considerações gerais

No sistema industrial de produção de suínos o custo com alimentação representa entre 70% e 75% dos custos totais de produção, de acordo com o sistema de produção. Nas fases de crescimento e terminação qualquer redução econômica no custo da ração apresenta um impacto importante na cadeia, pelo fato que 70% do rebanho da unidade produtiva de suínos estão nestas fases. Além dos objetivos econômicos, estão sendo valorizados outros critérios como as exigências do consumidor pela qualidade da carne, bem-estar animal (Scramim & Batalha, 2004), preservação ambiental (Dourmad & Jondreville, 2007) e redução no uso de recursos naturais.

A produção de suínos está amplamente distribuída no planeta, sendo que 50% da produção está em condições de clima tropical. Do mesmo modo, é esperado um aumento da temperatura do planeta até 2100 de cerca de 4 a 6 graus. Este aumento da temperatura tende a causar perdas produtivas na produção de suínos e requer o uso de estratégias que amenizem este efeito. Vários estudos têm demonstrado que o uso de ambientes climatizados é uma das soluções, no entanto, esta tecnologia possui um elevado custo. Assim, há necessidade de alternativas. Uma destas alternativas tem sido através da nutrição, onde alguns estudos demonstram que a redução do teor proteico das rações ameniza o impacto do calor em condições de clima tropical para os animais.

A modelagem é uma destas estratégias que pode prever o ganho na produção de suínos. No entanto, diversos modelos foram criados em condições

diferentes e requerem validação para a acurácia. Modelos para predição do consumo diário de ração (CDR) são interessantes, pois permitiriam ajustes no programa de alimentação, níveis nutricionais e tempo de alojamento dos animais para atingir o peso final desejado. Vários estudos têm trazido novos modelos, mas sem validação. Andretta et al. (2014) verificaram que o uso de modelos na estimativa da exigência de suínos em tempo real reduziu a excreção de nutrientes e o custo por suíno.

Neste quesito ambiental, verifica-se que os níveis de N e P excretados são elevados em algumas regiões do Brasil (Lovatto et al., 2005a; Lovatto et al., 2005b). Sendo que o N e P são os principais elementos poluidores encontrados nas fezes dos suínos. Aproximadamente 50% do N e P ingeridos são excretados na urina e nas fezes (Dourmad et al., 1999; Jondreville et al., 2003). Como o P causa eutrofização na superfície das águas, o impacto desse elemento tem sido assunto de especial atenção nos órgãos sobre pesquisas ambientais. A eutrofização diminui o oxigênio dissolvido e prejudica a sobrevivência de seres aquáticos. Dessa forma, diversas pesquisas têm focado em minimizar a excreção de elementos poluidores.

2. Impacto da temperatura na produção animal

A nutrição, a ambiência, a sanidade e a genética são áreas que estão em constante desenvolvimento na suinocultura, buscando maximizar a utilização de recursos e a diminuição dos custos. Vários fatores interferem na expressão do máximo potencial genético dos animais dentro de um sistema produtivo. Dentre

estes, o ambiente de criação é um fator com grande reflexo na produção de suínos, pois em algumas épocas do ano ocorrem aumentos expressivos da temperatura, principalmente em países de clima tropical onde a amplitude térmica é alta. Aproximadamente metade dos suínos produzidos no mundo estão alojados em condições de clima tropical e subtropical (Rosegrant, 2001). Somando a isso o aumento das temperaturas no planeta para os próximos anos, verifica-se a importância de novos estudos nesta área para amenizar este efeito e trazer tecnologias compatíveis com o desafio.

O Brasil, sendo um país continental, apresenta amplitudes térmicas expressivas em determinadas épocas, onde a temperatura média no decorrer do dia fica acima dos 35°C em algumas regiões. Estima-se que, entre os anos de 2010 e 2100, ocorra um aumento entre 1 a 6°C na temperatura ambiente no Brasil, com diminuição das chuvas na região norte e nordeste, e aumento das precipitações na região sul do país (Annex, 2012).

Em condições comerciais os desafios são grandes, pois uma série de fatores acabam se somando e gerando perdas na produção. Fragomeni et al. (2016), realizaram um estudo em condições comerciais e verificaram um grande impacto do estresse térmico conforme o ano e local de produção. O principal problema relacionado ao aumento da temperatura para a produção de suínos se trata da diminuição no consumo de ração e, conseqüentemente, do ganho de peso (Renaudeau et al., 2011). Em algumas categorias de animais pode causar levar a morte (reprodutoras e reprodutores). Outro aspecto se refere ao uso ineficiente de nutrientes e redução nos valores pagos pela carcaça. Em alguns estudos tem-se verificado um aumento no teor de lipídeos e diminuição no teor

proteico na carcaça dos animais (St-Pierre et al., 2003). Outro aspecto se deve ao melhoramento genético dos suínos e a seleção para alta taxa de deposição proteica que melhoraram o desempenho dos animais, no entanto, estes efeitos diminuíram a resistência dos animais ao aumento das temperaturas (Renaudeau et al., 2011), pois diminui a capacidade de adaptação dos animais (Brown-Brandl et al., 2001). Outros fatores como a pressão por diminuição de custos e na utilização das instalações tem causado aumento da densidade de alojamento, somando-se as altas temperaturas tem gerado percas na produção de suínos (Kerr et al., 2003).

3. Resposta dos animais a altas temperaturas

O aumento da temperatura ambiente desencadeia um quadro de estresse térmico nos animais. Os suínos apresentam uma resposta fisiológica e comportamental, a fim de manter a temperatura corporal dentro da faixa de conforto. A primeira reação biológica é a redução do consumo de ração, para controlar a produção metabólica de calor. Esta depleção do consumo reduz o aporte de nutrientes para crescimento e manutenção dos animais, por consequência diminui o desempenho dos animais.

A magnitude de redução do consumo de ração é variável principalmente em função do peso do animal, sendo mais acentuada em animais na fase final de terminação e menor em animais em fase de crescimento (Renaudeau et al., 2011). Le Bellego et al. (2002) determinaram uma redução no consumo diário de ração de 35 gramas/°C/dia para suínos na fase de crescimento. Já em suínos na

fase de terminação a redução no CDR foi de 78 gramas/°C/dia. Assim, fica evidente que animais com alta relação massa proteica/área de superfície possuem grande dificuldade para dissipação do calor (Renaudeau et al., 2011). Outro estudo determinou que a produção de calor em um animal durante o jejum apresenta um comportamento linear de acordo com o percentual de músculo do animal (Van Milgen et al., 1998).

Em relação ao ganho de peso em suínos sob estresse térmico, verifica-se que a redução no ganho de peso possui comportamento diferente ao apresentado pelo consumo de ração. Segundo, Nienaber et al. (1987) suínos em fase de crescimento ocorre redução entre 25 e 30 gramas por dia em relação a animais mantidos em temperatura de conforto. Em condições controladas Pearce et al. (2013) verificaram redução no GDP de 47% em relação aos suínos em condições termoneutras.

O estresse térmico desencadeia alterações fisiológicas nos animais, sendo que alguns mecanismos são ativados a fim de minimizar o dano aos tecidos e proteção aos órgãos vitais (Kregel & Moseley, 1996). O aumento da taxa respiratória é o primeiro mecanismo ativado (Huynh et al., 2005) com consequente aumento da frequência cardíaca. Quando não é suficiente, ocorre aumento da temperatura retal, indicando exaustão do sistema termorregulatório, podendo levar o animal a morte. Yu et al. (2010) verificaram que suínos mantidos em estresse térmico, apresentaram danos nas microvilosidades do duodeno. Este dano causado ao duodeno prejudica a expressão dos transportadores de aminoácidos e peptídeos as concentrações plasmáticas dos aminoácidos lisina e metionina em relação a animais mantidos em termoneutralidade (Morales et

al., 2014) sendo que o estresse térmico interfere na expressão gênica afetando o desempenho, além da redução no consumo de ração. Outro aspecto importante está relacionado a eficiência de utilização da energia e da proteína, pois ocorre diminuição em 14 e 15% respectivamente, em suínos sob estresse térmico (Kiefer et al., 2010). São verificadas alterações nas concentrações plasmáticas de triglicerídeos e colesterol, da atividade da lipase lipoproteica, e redução dos hormônios tireoidianos (Christon, 1988), como redução do hormônio T4 (Collin et al., 2002). Os hormônios tireoidianos estão envolvidos na atividade metabólica dos animais e, conseqüentemente, na produção metabólica de calor (Macari et al., 2002).

2. Utilização de modelos na produção animal

A modelagem tem ganhado espaço na predição do desempenho e mudanças na resposta animal frente a fatores. Este modelo tem permitido que a produção possa prever com determinada exatidão mudanças em termos econômicos causadas por alguns fatores auxiliando na tomada de decisão. Os modelos são divididos conforme sua complexidade durante a elaboração dos mesmos.

Na produção de suínos o principal uso destes modelos tem sido principalmente na determinação das exigências nutricionais dos animais (NRC, 2012; Rostagno et al., 2017). Novos modelos têm surgido nos estudos gerando a partir de novas ferramentas na estatística. Estes tem possibilitado determinar variáveis até então difíceis de serem estimadas pela complexidade. Um destas variáveis é o consumo diário de ração, pois estes é determinado por fatores

intrínsecos do animal (genética, sexo, peso) e extrínsecos (temperatura, umidade).

3. Nutrição de precisão

Na produção de suínos, alguns fatores têm forçando produtores e nutricionistas a reavaliarem os programas nutricionais. Os programas estão cada vez mais voltados a tentar alcançar uma “nutrição de precisão” que reduza custos e excreção de elementos poluidores, mantenha ou melhore as respostas zootécnicas e garanta a qualidade do produto final. Nesse sentido, as pesquisas em alimentação e nutrição têm basicamente integrado três aspectos: potencial nutritivo dos ingredientes da dieta, exigências nutricionais dos animais e a resposta animal no que se refere à retenção e excreção de nutrientes (Whittemore et al., 2001).

Baseado nesses aspectos, os programas nutricionais são estabelecidos pelo balanço entre a quantidade de nutrientes dos ingredientes com as exigências nutricionais dos animais de acordo com objetivo de produção a ser otimizado (Patience et al., 1995). Esse balanço é realizado pela formulação de dietas e programa de alimentação por fases.

O programa de alimentação por fases em suínos em crescimento e terminação tem sido a técnica mais empregada. Essa técnica envolve fornecer um número sucessivo de dietas com o objetivo de atender as exigências dos animais no tempo. Para determinar as exigências são utilizados os métodos fatorial, dose resposta e modelos matemáticos que integram ambos os métodos.

Estes métodos têm sido utilizados para estimar as exigências de uma população com base em um único indivíduo (fatorial) ou na resposta da população (dose resposta). Um aspecto normalmente esquecido é que a resposta de uma população à ingestão de um nutriente em um dado ambiente, é dependente da resposta de cada animal (Pomar et al., 2003).

A nutrição de precisão é um conceito que considera os aspectos de variabilidade inter e intra-indivíduos (Wathes et al., 2008). Esta variabilidade no desempenho dos animais, resulta das diferenças entre os animais no que se refere à genética, idade e peso. Além dessa variação intrínseca ao animal existe também a variação extrínseca (umidade, temperatura, sanidade, instalação, entre outros) que se refere a fatores externos que influenciam o desempenho dos animais. Cada animal responde de diferente maneira a esses efeitos, o que pode aumentar a variabilidade entre os animais (Wellock et al., 2004). A nutrição de precisão visa, portanto, considerar esses aspectos e vem ao encontro de estudos que demonstraram a importância de considerar a variabilidade entre e intra-animais na avaliação da resposta biológica e nos programas nutricionais (Knap, 2000; Pomar et al., 2003).

No entanto, os sistemas de produção não possuem ferramentas para utilizar a variabilidade intra-animais. Assim tem surgido novas tecnologias que conseguem mitigar estas diferenças e alcançar o máximo biológico de cada indivíduo da população. Com este avanço e modernização das instalações dos suínos permitiu maximizar a utilização da mão de obra na produção de suínos, sendo que a indústria de equipamentos para alimentação, monitoramento e controle de ambiente oferece muitas opções. Dentre essas, um sistema de

alimentação de precisão denominado *Automated Intelligent Precision Feeder* (AIPF). Este sistema é composto por um componente estrutural e outro lógico. O componente estrutural é um comedouro automático que serve como alimentador e mecanismo de medição de peso e consumo em tempo real. Acoplado ao comedouro existe um subsistema de dosagem que permite fornecer uma ração em quantidade e qualidade. Para isso existem algoritmos específicos que permitem formular uma ração para cada dia e específica para cada animal. Esta ração é obtida pela mistura de duas rações pré-elaboradas (A e B). Onde a ração A é elaborada para atender as exigências do primeiro dia e a ração B para o último dia da fase de crescimento de uma dada população. No componente lógico está integrado um modelo matemático desenvolvido por Hauschild et al. (2012) que estima as exigências nutricionais de cada animal em tempo real com base em informações de peso e consumo mensuradas pelo sistema.

Apesar de seu desenvolvimento ser recente, o AIPF vem apresentando uma série de vantagens em relação aos sistemas convencionais de alimentação. Esse sistema devido prover uma nutrição adequada permite também melhorar aspectos relacionados à sanidade, bem-estar e ambiente dos animais. Um aspecto interessante desse sistema pelo fato de reduzir o aporte de proteína pode ser um ajuste da quantidade adequada de nutrientes para cada indivíduo, diminuindo a excreção de nutrientes e a produção de calor dos animais. Pomar et al. (2011) utilizando o sistema de alimentação de precisão verificaram redução na excreção de N e P em 38% e redução dos custos de produção em até 4,6 %. Da mesma forma, Pomar et al. (2014) utilizando o AIPF para suínos em fase de crescimento e terminação, verificaram que os animais no sistema de precisão

reduziram o consumo de proteína bruta (7,3%) e fósforo (4,4%), foram mais pesados (2,4%) e apresentaram menor concentração de lipídeos (8%) na carcaça em relação ao sistema de alimentação de fases. Esta diminuição do consumo de N encontrada utilizando o sistema AIPF, pode melhorar o desempenho dos animais quando em condições de clima tropical, visto que o N contribui para o incremento calórico do animal.

4. Estratégias nutricionais para reduzir o impacto do estresse térmico.

4.1 Proteína Bruta

Durante o processo de digestão, absorção e deposição da cadeia de aminoácidos que compõem a proteína, ocorre liberação de calor pelo organismo (na forma de incremento calórico). A deposição de proteína e excreção do excesso de nitrogênio (N) são processos que liberam grandes quantidades de energia. Le Bellego et al. (2001) determinaram que em suínos para cada um grama de redução na proteína consumida na média houve decréscimo de 7,0 kcal para o incremento calórico. Noblet et al. (1994) avaliando a eficiência de utilização de diferentes componentes da dieta na produção de energia verificaram que as frações proteína bruta e fibra aumentam o incremento calórico em relação a carboidratos e gorduras.

Em condições de altas temperaturas o uso de dietas com baixa proteína bruta poderia reduzir o estresse térmico nos suínos. Segundo, Noblet et al. (2001) verificaram que a redução do teor proteico com suplementação de

aminoácidos sintéticos nas rações reduziu a produção de calor dos suínos, reduzindo os efeitos negativos causados pelas altas temperaturas sobre o desempenho.

Assim, a redução do teor proteico e suplementação com aminoácidos sintéticos aumentam a energia das dietas causando um acréscimo na deposição de gordura na carcaça. A literatura sugere que suínos mantidos em ambientes quentes ganham mais tecido adiposo (Yunianto et al., 1997). No entanto, quando os suínos são mantidos em estresse térmico, diminuem o metabolismo basal causando alteração nas taxas de acréscimo de proteína e lipídeos na carcaça com aumento da taxa de catabolismo (Pearce et al., 2013).

Vários estudos demonstraram que a diminuição do teor proteico da dieta e suplementação com aminoácidos sintéticos em ambientes quentes não alterou o desempenho dos animais (Le Bellego et al., 2002; Kerr et al., 2003; Spencer et al., 2005). Ferreira et al. (2007) verificaram que em ambientes quentes a redução do teor proteico da dieta para 14%, piorou o ganho de peso e o consumo de ração em relação a dieta com 17%. Esta diminuição do desempenho, pode estar associada a absorção dos aminoácidos pelas células da mucosa intestinal, estes são absorvidos na forma de dipeptídeos e tripeptídeos (Leibach & Ganapathy, 1996). Assim, a redução do teor proteico das rações poderia contribuir para reduzir o desempenho dos animais (Otto et al., 2003). Outro fator negativo está relacionado a carcaça, a redução do teor proteico das rações pode aumentar a deposição de gordura na carcaça depreciando a mesma (Kerr et al., 1995; Le Bellego et al., 2001).

Poucos estudos abordam estratégias no sistema de alimentação para melhora no desempenho dos animais. Assim, foi realizado um trabalho de validação de modelos empíricos para estimativa do consumo em suínos sob estresse térmico. No segundo trabalho

5. Referências bibliográficas

ALMEIDA, E. C. D., FIALHO, E. T., CANTARELLI, V. D. S., ZANGERONIMO, M. G., PEREIRA, R. A. N., & RODRIGUES, P. B. Ileal digestibility and endogenous losses of amino acids in soybean oil diets to growing pigs. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 1045-1051, 2007.

ANNEX, I. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. **Sciences**, v. 10, p. 97-104, 2012.

BERTECHINI, A. G. **Nutrição de Monogástricos**. UFLA, 2012.

BLACK, J. et al. Simulation of energy and amino acid utilisation in the pig. **Research and Development in Agriculture**, 1986.

BROWN-BRANDL, T. et al. Thermoregulatory profile of a newer genetic line of pigs. **Livestock Production Science**, v. 71, n. 2, p. 253-260, 2001.

CHRISTON, R. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 66, n. 12, p. 3112-3123, 1988.

COLLIN, A.; VAZ, M.-J.; DIVIDICH, J. L. Effects of high temperature on body temperature and hormonal adjustments in piglets. **Reproduction Nutrition Development**, v. 42, n. 1, p. 45-54, 2002.

DOURMAD, J.-Y.; JONDREVILLE, C. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours.

Livestock Science, v. 112, n. 3, p. 192-198, 2007.

DOURMAD, J., GUINGAND, N., LATIMIER, P., SEVE, B. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France.

Livestock Production Science, v. 58, n. 3, p. 199-211, 1999.

FERREIRA, R. A. OLIVEIRA, R. F. M. D., DONZELE, J. L., SARAIVA, E. P., SILVA, F. C. D. O. E., ORLANDO, U. A. D. U., VAZ, R. G. M. V. E. Redução da proteína bruta e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 818-824, 2007.

FRAGOMENI, B. O., LOURENCO, D. A. L., TSURUTA, S., ANDONOV, S., GRAY, K., HUANG, Y., MISZTAL, I. Modeling response to heat stress in pigs from nucleus and commercial farms in different locations in the United States. **Journal of Animal Science**, v. 94, n.11, p. 4789-4798, 2016.

HAUSCHILD, L. LOVATTO, P. A., POMAR, J., POMAR, C. Development of sustainable precision farming systems for swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 7, p. 2255-63, 2012.

HAUSCHILD, L.; POMAR, C.; LOVATTO, P. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. **Animal**, v. 4, n. 05, p. 714-723, 2010.

HUYNH, T., AARNINK, A. J. A., VERSTEGEN, M. W. A., GERRITS, W. J. J., HEETKAMP, M. J. W., KEMP, B., CANH, T. T. Effects of increasing temperatures

on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 6, p. 1385-1396, 2005.

JONDREVILLE, C.; REVY, P.; DOURMAD, J. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. **Livestock Production Science**, v. 84, n. 2, p. 147-156, 2003.

JØRGENSEN, H.; ZHAO, X.-Q.; EGGUM, B. O. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. **British Journal of Nutrition**, v. 75, n. 03, p. 365-378, 1996.

KERR, B.; MCKEITH, F.; EASTER, R. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 2, p. 433-440, 1995.

KERR, B., YEN, J. T., NIENABER, J. A., EASTER, R. A. 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**, v. 81, n. 8, p. 1998-2007, 2003.

KIEFER, C., DE MOURA, M. S., DA SILVA, E. A., DOS SANTOS, A. P., SILVA, C. M., DA LUZ, M. F., NANTES, C. L. Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 11, n. 2, 2010.

KNAP, P. Stochastic simulation of growth in pigs: relations between body composition and maintenance requirements as mediated through protein turnover and thermoregulation. **Animal Science Glasgow**, v. 71, n. 1, p. 11-30, 2000.

KREGEL, K.; MOSELEY, P. L. Differential effects of exercise and heat stress on liver HSP70 accumulation with aging. **Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 2, p. 547-551, 1996.

LE BELLEGO, L. VAN MILGEN, J., DUBOIS, S., NOBLET, J. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 5, p. 1259-1271, 2001.

LE BELLEGO, L., VAN MILGEN, J., NOBLET, J. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 80, n. 3, p. 691-701, 2002.

LEIBACH, F. H.; GANAPATHY, V. Peptide transporters in the intestine and the kidney. **Annual Review of Nutrition**, v. 16, n. 1, p. 99-119, 1996.

LOVATTO, P. A., HAUSCHILD, L., HAUPTLI, L., LEHNEN, C. R., CARVALHO, A. D. Á. U. Modelagem da ingestão, retenção e excreção de nitrogênio e fósforo pela suinocultura brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, 2005.

LOVATTO, P. A., HAUSCHILD, L., LEHNEN, C. R., CARVALHO, A. D. Á. Modelling of ingestion, retention and excretion of nitrogen and phosphorus of the Rio Grande do Sul Brazil pig production. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 883-890, 2005.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia Aviária Aplicada a Frangos de Corte**. Funep, 2002.

MORALES, A., GRAGEOLA, F., GARCÍA, H., ARCE, N., ARAIZA, B., YÁÑEZ, J., CERVANTES, M. Performance, serum amino acid concentrations and expression of selected genes in pair-fed growing pigs exposed to high ambient temperatures. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 2014.

MYER, R.; BRENDemuHL, J.; BUCKLIN, R. Effect of season on growth performance of finishing pigs fed low-protein, amino acid supplemented diets.

Journal of Applied Animal Research, v. 34, n. 1, p. 1-8, 2008.

NIENABER, J.; HAHN, G.; YEN, J. Thermal environment effects of growing-finishing swine. I. Growth, feed intake and heat production.

Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers (USA), 1987.

NOBLET, J., FORTUNE, H., SHI, X. S., DUBOIS, S. Prediction of Net Energy Value of Feeds for Growing Pigs. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 2, p. 344-354, 1994.

NOBLET, J., LE BELLEGO, L., VAN MILGEN, J., DUBOIS, S. Effects of reduced dietary protein level and fat addition on heat production and nitrogen and energy balance in growing pigs. **Animal Research**, v. 50, n. 3, p. 227-238, 2001.

NRC. 2012. **Nutrient Requirements of Swine**. 11th ed. Natl. Acad. Press, Washington,DC.

OTTO, E., YOKOYAMA, M., HENGEMUEHLE, S., VON BERMUTH, R. D., VAN KEMPEN, T., TROTTIER, N. L. Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 7, p. 1754-1763, 2003.

PATIENCE, J. F.; THACKER, P. A.; DE LANGE, C. **Swine Nutrition Guide**. Prairie Swine Centre, University of Saskatchewan, 1995.

PEARCE, S. C., MANI, V., WEBER, T. E., RHOADS, R. P., PATIENCE, J. F., BAUMGARD, L. H., GABLER, N. K. Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 11, p. 5183-5193, 2013.

- POMAR, C., HAUSCHILD, L., ZHANG, G. H., POMAR, J., LOVATTO, P. A. . Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. In: (Ed.). **Modelling Nutrient Digestion and Utilisation in Farm Animals**: Springer. p.327-334, 2011.
- POMAR, C., KYRIAZAKIS, I., EMMANS, G. C., KNAP, P. W. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 14 suppl 2, p. e178-e186, 2003.
- POMAR, C. POMAR, J., DUBEAU, F., JOANNOPOULOS, E., DUSSAULT, J. P. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing–finishing pigs. **Animal**, v. 8, n. 05, p. 704-713, 2014.
- POMAR, C.; RIVEST, J. The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy x-ray absorptiometry (DEXA). **Canadian Society of Animal Science**, 1996.
- RENAUDEAU, D. COLLIN, A., YAHAV, S., DE BASILIO, V., GOURDINE, J. L., COLLIER, R. J. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. **Animal**, v. 6, n. 05, p. 707-728, 2012.
- RENAUDEAU, D.; GOURDINE, J. L.; ST-PIERRE, N. R. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 7, p. 2220-2230, 2011.
- ROSEGRANT, M. W. The economics of world wheat markets. **Journal of Agricultural Economics**, v. 52, n. 2, p. 125-129, 2001.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos - Composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. Viçosa, MG: 2011, p.252.

SCRAMIM, F. C. L.; BATALHA, M. O. Método para análise de benefícios em cadeias de suprimento: um estudo de caso. **Gestão & Produção**, v. 11, n. 3, p. 331-342, 2004.

SPENCER, J., GAINES, A. M., BERG, E. P., ALLEE, G. L. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 1, p. 243-254, 2005.

ST-PIERRE, N.; COBANOV, B.; SCHNITKEY, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. **Journal of Dairy Science**, v. 86, p. e52-e77, 2003.

VAN MILGEN, J., BERNIER, J. F., LECOZLER, Y., DUBOIS, S., NOBLET, J. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. **British Journal of Nutrition**, v. 79, p. 509-517, 1998.

WATHES, C., KRISTENSEN, H. H., AERTS, J. M., BERCKMANS, D. Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 2-10, 2008.

WELLOCK, I.; EMMANS, G.; KYRIAZAKIS, I. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. **Journal of Animal Science**, v. 82, n. 8, p. 2442-2450, 2004.

WHITTEMORE, C.; GREEN, D.; KNAP, P. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: food intake. **Animal Science-Glasgow**-, v. 73, n. 1, p. 3-18, 2001.

WOLP, R. C., RODRIGUES, N. E. B., ZANGERONIMO, M. G., CANTARELLI, V. S., FIALHO, E. T., PHILOMENO, R., ROCHA, L. F. Soybean oil and crude protein levels for growing pigs kept under heat stress conditions. **Livestock Science**, v. 147, n. 1-3, p. 148-153, 2012.

YU, J. YIN, P., LIU, F., CHENG, G., GUO, K., LU, A., XU, J. Effect of heat stress on the porcine small intestine: A morphological and gene expression study. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 156, n. 1, p. 119-128, 2010.

YUNianto, V. D., HAYASHIT, K., KAIWDA, S., OHTSUKA, A., TOMITA, Y. Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chickens. **British Journal of Nutrition**, v. 77, n. 06, p. 897-909, 1997.

CAPÍTULO 2. Empirical models for predicting feed intake of growing-finishing pigs reared under high environmental temperatures

Artigo aceito para Publicação na *Scientia Agricola*.

Manuscript category: Animal science and pastures.

Running title: Feed intake of pigs in hot environment.

Empirical models for predicting feed intake of growing-finishing pigs reared under high environmental temperatures

Dani Perondi¹, Marcos Kipper^{2*}, Ines Andretta², Luciano Hauschild¹,
Raquel Lunedo¹, Carolina Schell Franceschina², Aline Remus^{1,3}

¹ Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade do Estado de São Paulo, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brazil.

² Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 91540-000, Rio Grande do Sul, Brazil.

³ Dairy and Swine Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food Canada, Sherbrooke, J1M 0C8, Quebec, Canada.

ABSTRACT

Several empirical models were proposed to predict the feed intake (FI) of growing-finishing pigs reared under high environmental temperatures. However, these models have not been evaluated under conditions different from those in which they were developed. Twelve empirical models were evaluated using a database built after systematic literature review (observed data: 28 studies in which the FI was evaluated in pigs under high environmental temperatures). Model accuracy was assessed using the mean squared of prediction error (MSPE). Analyses were performed considering two scenarios: (1) general population, in which all observed data were used in the simulation; (2) reference population, in which data were filtered in order to simulate using only scenarios with environment (temperature range) and animals (body weight and sex) similar to that used in the model development. Six models estimated FI values similar ($p > 0.05$) to those observed in the general population, while four models produced estimates similar to the observed values in the reference populations. Most models were more accurate when simulated using the reference population than when the simulation considered the general database. Moving the simulation from the general database to the reference population reduced up to 98% the MSPE, depending on the equation. Empirical models allow accurately predicting the FI of growing-finishing pigs exposed to high environmental temperatures, especially in scenarios similar to the ones used for model development. Thus, characteristics of population (body weight and sex) and environment (temperature range) must be considered in the model assessment.

Key words: consumption, heat stress, modelling, precision feeding, swine.

INTRODUCTION

Precision feeding has great potential to improve the sustainability of pig production by ensuring a better adjustment of nutrient supply to animal requirements (Pomar et al., 2011). However, the proper application of precision feeding techniques depends on procedures that accurately predict the voluntary feed consumption (Pomar et al., 1991; Whittemore et al., 1995).

The control mechanisms of feed intake (FI) are complex and influenced by factors that are both extrinsic and intrinsic to the animals (Wellock et al., 2004; Kyriazakis and Whittemore, 2006). The complexity of these physiological processes may difficult the FI estimation. Among these factors, environmental temperature is considered to be one of the most important variable affecting FI in growing pigs (Le Bellego et al., 2002; Renaudeau et al., 2011). The increased heat production caused by the digestion process impairs the pig thermal homeostasis. In front of this, pigs tend to decrease the feed intake in high temperature environments (Le Bellego et al., 2002). Due to its great importance to pig production, the effect of environmental temperature on FI has been assessed on a large number of projects, including studies using modeling approach.

Several empirical models were proposed to predict the FI based on animal and environmental characteristics. However, these models were usually developed using databases limited in some experimental conditions, which leads to the need for ensuring the accuracy of their FI predictions even in different scenarios. Therefore, this study was developed to evaluate the accuracy,

trueness, and precision of empirical models in predicting the FI of growing-finishing pigs exposed to high environmental temperatures.

MATERIAL AND METHODS

Description of the empirical models

Empirical models proposed to estimate the FI of growing-finishing pigs according to the environmental temperature were searched on digital databases. Publications of the last 20 years were considered in the literature review. Twelve empirical models were found in six published papers. All models presented in the original publications were tested in the current study with any previous modification or calibration. These models were presented and labelled in Table 1.

Massabie et al. (1996) proposed two models for barrows and two models for gilts. Equations were based on one study performed for each sex. In these trials, pigs weighting from 25 to 105 kg were exposed to increasing temperature (16, 20, 24, and 28 °C). The body weight was not considered as independent variable in these models.

The model proposed by Rinaldo et al. (2000) was obtained using gilts and barrows weighing from 35 to 90 kg, which were reared between 20 and 30 °C. The temperature was used to categorize the model and was not considered as a continuous variable in the model. The body weight was used within a quadratic adjustment to describe FI.

The model reported by Quiniou et al. (2000) was obtained using barrows weighing between 30 and 90 kg, which were reared from 19 to 29 °C. Body weight

and temperature were considered as independent variables in the model, both showing quadratic fitting.

Two empirical models were proposed by Collin et al. (2001) considering pigs from 15 to 30 kg of body weight which were exposed to increasing temperature (19 to 35 °C). Sex was not considered in the modelling procedure. The model Collin I assumed a quadratic fit of FI to environmental temperature, while the model Collin II considered a non-linear regression.

Renaudeau et al. (2011) conducted a meta-analysis using data from 86 studies evaluating the performance of pigs reared under high temperature. Using mixed linear modelling, the authors considered linear and quadratic effects of temperature and body weight and their interaction on FI. Two models (Renaudeau I and II) considered the quadratic effect of body weight, temperature and their interaction to estimate FI. Another model (Renaudeau III) was proposed using a non-linear adjustment that considered the upper critical temperature depending on body weight, followed by the calculation of the parameter α , which indicates the magnitude of FI reduction when the upper critical temperature is exceeded.

The model proposed by NRC (2012) also recommended the use of critical temperature. In this model, the critical temperature is linearly related to the body weight (reduced by 0.0375 °C for each increase of 1 kg on body weight). Thus, this model predicts FI considering environmental temperature, linear critical temperature, and body weight.

Systematic literature review and database building

The empirical models were challenged with a database built with information collected in scientific papers that described the effect of high environmental temperature on pig performance. These papers were systematically searched on digital databases. The criteria for paper selection were: (1) FI data of growing-finishing pigs exposed to high environmental temperatures; (2) *ad libitum* access to feed and water; (3) detailed description of environment and animal characteristics; and (4) dietary metabolizable energy level higher than 3,000 kcal kg⁻¹ of feed (Noblet and Van Milgen, 2004).

Forty-six articles published in peer-reviewed scientific journals from 1979 to 2014 match the first selection criterion. These studies were then evaluated according to the other criteria (2, 3, and 4) and 18 articles were removed from the database (two applied feed restriction, 12 showed incomplete information of body weight and temperature, and four studies used metabolizable energy levels lower than 3,000 kcal kg⁻¹ of diet). Therefore, 28 studies remained in the database (presented and briefly described in Table 2), totaling 226 observations and 1,968 animals. After the papers selection, the information related to the proposed theoretical model and other additional variables were copied from material and methods and results sections in the original publication, and transferred to an electronic spreadsheet.

The average initial body weight of pigs used in the database was 48.6 kg (from 14.7 to 103.3 kg) while the average final body weight was 70.9 kg (from 22.3 to 127.5 kg). Average temperature in thermoneutral environments was 21.5 °C (from 18.3 to 25.0 °C) while it was 31.3 °C (from 27.0 to 35.0 °C) in high-

temperature environments. The relative air humidity was reported only in 21 articles, with an average value of 64 % (from 37 to 83 %).

Calculations and statistical procedures

The empirical models were used to generate FI estimates from observed data (pig body weight and environment temperature) presented on the database. Calculations were performed individually for each treatment (i.e. environmental temperature) of the original publication. Repeated-measures over time were considered when available. The observed FI data (results presented in the original publications) were then compared to the estimated FI values (predicted by each empirical model). Comparisons were performed by ANOVA using the General Linear Model procedure (PROC GLM).

Evaluating the accuracy of the model implies the evaluation of the closeness between its estimates and the observed values in terms of trueness and precision (Benchaa et al., 1998; Pomar and Marcoux, 2003). In the current study, the observed FI responses (obtained from previously published papers) were compared to the values estimated by the empirical models for the same scenario. Inputs for data modelling (i.e. temperature and body weight) were obtained in the previous published papers. The overall lack of accuracy was evaluated by the magnitude of the mean squared prediction error (MSPE). The MSPE was then decomposed following the proposition described by Theil (1966) into error of central tendency (ECT), error of regression (ER), and error due to disturbances (ED). The trueness of a measurement indicates the degree of agreement between the expected and reference value. In the current study, the

lack of trueness (ECT + ER values) was evaluated as the systematic error, which could be easily corrected using linear regression. The lack of precision was evaluated in terms of random error (ED), which indicates the degree of internal agreement between independent measurements made under specific conditions.

Pearson correlations were calculated considering observed and predicted values. Scatterplot graphs comparing these values were generated and analyzed jointly with linear regressions. In this regard, estimated FI values were regressed (PROC REG procedure) against observed FI values to determine the coefficient of determination (R^2), which indicated the goodness of fit.

Statistical analyses were performed considering two scenarios: (1) general population, in which the entire database (all observed data) were included in the analysis; or (2) reference population, in which the database was filtered in order to perform the simulation using only scenarios with environment (temperature range) and animals (body weight and sex) similar to that used in the models development. All statistical procedures were performed using SAS software (Statistical Analysis System, version 9.3).

RESULTS AND DISCUSSION

Results obtained considering the general population (Table 3) and the reference population (Table 4) were used to evaluate the models in terms of lack of accuracy, trueness, and precision. It is important to point out that the best estimates were provided by the models that showed the lowest error values (Benchaar et al., 1998; Pomar and Marcoux, 2003).

Half of the evaluated models estimated FI values similar ($p > 0.05$) to those observed in the general population. Comparing estimated and observed values in populations similar to those used for the model development (reference populations) was possible only for seven equations. Simulations were not performed for Massabie III and IV models due to the limited number of observed values in the population similar to the used for the model development. The Renaudeau I, II, and III models were neither tested in reference populations since these equations were obtained by meta-analysis.

The predicted FI from Massabie I, II and III models were similar ($p > 0.05$) to the observed values in general population, while Massabie I and II produced estimates similar to the observed values in reference populations. Although Massabie IV estimated lower (-7 %, $p < 0.05$) FI compared to observed values in general population database, this equation presented the highest precision (i.e., lowest ED = 0.031) among all studied models in this general scenario. Applying Massabie models in reference population generated best estimates in terms of accuracy (MSPE = -0.202 and -0.145, respectively for Massabie I and II), precision (ED = -0.055 and -0.029), and trueness (ECT + ER = -0.145 and -0.117) than applying the same models in general database. The ER accounted for most of the error in both simulations (general and reference populations) performed with Massabie models, which may be partially explained by the linearity of the models. In addition, body weight was not accounted in Massabie models, even though the effects of temperature on animal performance are usually age-dependent (Bruce and Clark, 1979). Another particularity of these models is that

pigs used in the model development were exposed to different temperature levels during the whole growing-period.

The FI estimates from Rinaldo model were lower ($p < 0.05$) than the observed FI in general (-13 %) and reference populations (-12 %). Applying this model in reference population generated similar accuracy (MSPE = -0.005), precision (ED = -0.014), and trueness (ECT + ER = 0.009) than applying it in general database. Most of the lack of accuracy of the Rinaldo model was due to the lack of trueness, which may be related to the temperature variation interval (20 to 30 °C) or the tropical humidity condition used for the model development (Rinaldo et al., 2000).

The Quiniou model estimates were lower ($p < 0.05$) than the observed FI in general (-11 %) and reference populations (-10 %). Using reference population improved accuracy (MSPE = -0.063) and precision (ED = -0.065), while worsened trueness (ECT + ER = 0.003) compared to using the model in general population. It is important to address that the housing conditions used to generate the model (respiratory chambers) were not considered when filtering the database (to obtain the reference population) due to the lack of available information. The accuracy of the model was limited by ED when applied to general population, while trueness was the limiting factor when applied to reference population.

The Collin I model estimated higher (+22 %, $p < 0.05$) FI compared to observed values in general database. When applied to reference population, the FI values predicted by Collin I were similar ($p > 0.05$) to the observed values. The estimates from Collin II model were similar ($p > 0.05$) to the observed values in the general population, while lower (-11 %; $p < 0.05$) estimates than the observed

values were obtained in reference population. Applying Collin I and II models in reference population improved accuracy (MSPE = -0.435 and -0.232, respectively for Collin I and II), precision (ED = -0.161 and -0.164), and trueness (ECT + ER = -0.272 and -0.069) comparing to using general population. These improvements were particularly relevant for Collin I model and are probably because both models were developed using young pigs and short-term challenge. When applied to general database, the models did not completely estimated the FI variation (ED, by definition) observed in heavier pigs.

The estimates from Renaudeau I and III models differed from the observed FI in the general database (model I, +61 %; model III, -16 %; $p < 0.05$). However, the estimates from Renaudeau II model were similar ($p > 0.05$) to the observed values. The Renaudeau II model showed the lowest MSPE among all tested models, while both Renaudeau models showed the lowest ER. The Renaudeau II model showed also the lowest ECT among other Renaudeau models. The importance of ECT may be observed in Figure 1, in which the graphical comparison between estimates from Renaudeau I and II models is presented. Renaudeau III model showed higher ED (0.156) than Renaudeau I and II models (0.064 and 0.068, respectively). Unlike earlier presented equations, the Renaudeau models were obtained by meta-analysis and fitted using variance-covariance components, which is a procedure recommended to obtain higher accuracy (St-Pierre, 2001). Therefore, it was expected that estimates from these models would be closer to the general population, as the modelling procedure took into account the variability among studies, and consequently, among different population scenarios.

The FI estimated by the NRC model were similar ($p > 0.05$) to the observed values in general and reference populations. This model presented close MSPE (+0.024), ECT (+0.029), ER (-0.005), and the same ED values when applied in general or reference databases, which indicated that the model consistently predicted FI for both populations. The NRC model showed the lowest ECT among tested models. Despite of showing lower MSPE values compared to most of studied models, it is important to point out that the major participant in the lack of accuracy of NRC model was the random error (ED), which is difficult to correct.

The models collected in literature to estimate FI based on independent variables (body weight, temperature) presented linear, exponential, and logarithmic fits. The Renaudeau III model includes the parameter α , which describes a negative relation between body weight and FI when the environmental temperature exceeds maximum comfort temperature (upper critical temperature). Some authors reported FI reduction from 40 to 80 g day⁻¹ per each 1 °C increase in environmental temperature (Quiniou et al., 2000; Renaudeau et al., 2011). Linear and quadratic fits estimate a constant rate of FI decrease as temperature and body weight increase. The NRC model also considered the critical temperature, which is affected by body weight. In this model, the deviations below the lower critical temperature and above the upper critical temperature (in other words, when comfort temperature is not meet) affect pig heat metabolism (production or loss) and FI.

The diversity on experimental characteristics (i.e. other than the aspects considered in the filtering to generate the reference population) may had

contributed to the high ED values observed for some models. One of the most important factors to be considered in the development of new models is the adaptation period, since several studies shown that FI decreases during the first days of exposure to high temperature, but the pigs tend to recover their FI capacity after this period (Renaudeau et al., 2008; Renaudeau et al., 2010). Therefore, it is not possible to perfectly describe the FI pattern of pigs in the short and long-term stress using only body weight and temperature in the modelling procedures (Whittemore et al., 2001; Renaudeau et al., 2011). Moreover, the susceptibility to the temperature effects and the time required for recovery may vary among individuals of a given population, which may reduce the precision of the models (Wellock et al., 2003). The use of modelling procedures that consider the variability among animals in the populations challenged by high environmental temperatures (i.e. stochastic approach) would be a major step forward for this area. For this to be possible, future research projects should be planned to provide the required information for the development of powerful mathematical models, which will be able to provide accurate FI estimates for pigs reared under high environmental temperatures, allowing precision feeding strategies to be applied in the field.

ACKNOWLEDGMENTS

To *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP* (Project n. 2012/03781-0), *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES*, and *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq* for financial support.

REFERENCES

- Batista, R.M.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Oliveira, W.P. de; Lima, A.L.; Abreu, M.L.T. de. 2011. Digestible lysine levels for high lean disposition barrows from 30 to 60 kg kept under heat stress - Lisina digestível para suínos machos castrados de alta deposição de carne submetidos a estresse por calor dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 1925-1932 (in Portuguese, with abstract in English).
- Becker, B.A.; Knight, C.D.; Buonomo, F.C.; Jesse, G.W.; Hedrick, H.B.; Baile, C.A. 1992. Effect of a hot environment on performance, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites of pigs treated with porcine somatotropin. *Journal of Animal Science* 70: 2732-2740.
- Bellego, L. le; Milgen, J. van; Noblet, J. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 80: 691-701.
- Benchaar, C., Rivest, J.; Pomar, C.; Chiquette, J. 1998. Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *Journal of Animal Science* 76: 617-627.
- Bruce, J.; Clark, J. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. *Animal Production* 28: 353-369.
- Campos, P.H.R.F.; Noblet, J.; Jaguelin-Peyraud, Y.; Gilbert, H.; Mormède, P.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Renaudeau, D. 2014. Thermoregulatory responses during thermal acclimation in pigs divergently selected for residual feed intake. *International Journal of Biometeorology* 58: 1545-1557.

Christon, R. 1988. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. *Journal of Animal Science* 66: 3112-3123.

Collin, A.; Noblet, J.; Milgen, J. van; Dubois, S.; Dividich J. le. 2001. Effet de l'elevation de la temperature ambiante sur la consommation d'aliment, les performances et la production de chaleur chez le porcelet sevre. *Journées de la Recherche Porcine* 33: 9-16 (in French, with abstract in English).

Ferreira, R.A.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Araújo, C.V. de.; Silva, F.C.d.O.; Fontes, D.O.; Saraiva, E.P. 2005. Reduction of crude protein levels of ration with amino acid supplementation to castrated swine maintained in a termoneutral environment from 30 to 60 kg - Redução do nível de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 548-556 (in Portuguese, with abstract in English).

Ferreira, R.A.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Araújo, C.V. de; Silva, F.C.d.O.; Vaz, R.G.M.V.; Rezende, W.d.O. 2006. Effect of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets on performance of castrated swine from 15 to 30 kg on high environmental temperature - Redução da proteína bruta da ração e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35: 1056-1062 (in Portuguese, with abstract in English).

Ferreira, R.A., Oliveira, R.F.M. de.; Donzele, J.L.; Lopes, D.C.; Orlando, U.A.D.; Resende, W.d.O.; Vaz, R.G.M.V. 2003. Reduction of crude protein level of ration to castrated swine from 15 to 30 kg maintained in a termoneutral environment (22 °C) - Redução da proteína bruta da ração para suínos machos castrados dos 15

aos 30 kg mantidos em termoneutralidade. Revista Brasileira de Zootecnia 32: 1639-1646 (in Portuguese, with abstract in English).

Ferreira, R.A.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Saraiva, E.P.; Silva, F.C.d.O.; Orlando, U.A.D.; Vaz, R.G.M.V. 2007. Reduction of dietary crude protein levels and amino acid supplementation for 30 to 60 kg barrows maintained in a high environmental temperature - Redução da proteína bruta e suplementação de aminoácidos para suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg mantidos em ambiente de alta temperatura. Revista Brasileira de Zootecnia 36 : 818-824 (in Portuguese, with abstract in English).

Kerr, C.A.; Giles, L.R.; Jones, M.R.; Reverter, A. 2005. Effects of grouping unfamiliar cohorts, high ambient temperature and stocking density on live performance of growing pigs. Journal of Animal Science 83: 908-915.

Kouba, M.; Hermier, D.; Dividich, J. le. 2001. Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. Journal of Animal Science 79: 81-87.

Kyriazakis, I.; Whittemore, C.T. 2006. Wittemore's Science and Practice of Pig Production. 3rd ed. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.

Lopez, J.; Goodband, R.D.; Allee, G.L.; Jesse, G.W.; Nelssen, J.L.; Tokach, M.D.; Spiers, D.; Becker, B.A. 1994. The effects of diets formulated on an ideal protein basis on growth performance, carcass characteristics, and thermal balance of finishing gilts housed in a hot, diurnal environment. Journal of Animal Science 72: 367-379.

Lopez, J.; Jesse, G.W.; Becker, B.A.; Ellersieck, M.R. 1991. Effects of temperature on the performance of finishing swine: I. Effects of a hot, diurnal

temperature on average daily gain, feed intake, and feed efficiency. *Journal of Animal Science* 69: 1843-1849.

Manno, M.C.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Ferreira, A.S.; Oliveira, W.P. de; Lima, K.R.d.S.; Vaz, R.G.M.V. 2005. Effect of thermal environment on performance of growing pigs from 15 to 30 kg - Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 15 aos 30 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 1963-1970 (in Portuguese, with abstract in English).

Manno, M.C.; Oliveira, R.F.M. de; Donzele, J.L.; Oliveira, W.P. de; Vaz, R.G.M.V.; Silva, B.A.N.; Saraiva, E.P.; Lima, K.R.d.S. 2006. Effects of environmental temperature on performance of pigs from 30 to 60 kg live weight - Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35: 471-477 (in Portuguese, with abstract in English).

Massabie, P.; Granier, R.; Dividich, J. le. 1996. Effect of ambient temperature on zootechnical performance of growing-finishing pigs fed ad libitum – Influence de la température ambiante sur les performances zootechniques du porc à l'engrais alimenté ad libitum. *Journées de la Recherche Porcine* 28: 189-194 (in French, with abstract in English).

Moura, M.S. de; Kiefer, C.; Silva, C.M.; Santos, A.P. dos; Fantini, C.C.; Lucas, L.d.S. 2011. Net energy and ractopamine to finishing gilts under high temperature environment - Energia líquida e ractopamina para leitoas em terminação sob altas temperaturas ambientais. *Ciência Rural* 41: 888-894 (in Portuguese, with abstract in English).

National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements of swine. National Academy Press, Washington, DC, USA.

Noblet, J.; Milgen J. van. 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *Journal of Animal Science* 82: E229-E238.

Oliveira, R.F.M.; Donzele, J.L. 1999. Effect of environmental temperature on performance and on physiological and hormonal parameters of gilts fed at different levels of digestible energy. *Animal Feed Science and Technology* 81: 319-331.

Pomar, C.; Marcoux, M. 2003. Comparing the Canadian pork lean yields and grading indexes predicted from grading methods based on Destron and Hennessy probe measurements. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 451-458.

Pomar, C.; Harris, D.L.; Minvielle, F. 1991. Computer simulation model of swine production systems: I. Modeling the growth of young pigs. *Journal of Animal Science* 69: 1468-1488.

Pomar, C.; Hauschild, L.; Zhang, G.H.; Pomar, J.; Lovatto, P.A. 2011. Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing animals. p. 327-334. In: Sauvant D.; Milgen, J.; Faverdin, P.; Friggens, N., eds. *Modelling nutrient digestion and utilisation in farm animals*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Quiniou, N.; Dubois, S.; Noblet, J. 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science* 63: 245-253.

Renaudeau, D., Anais, C.; Tel, L.; Gourdine, J.L. 2010. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *Journal of Animal Science* 88: 3715-3724.

Renaudeau, D.; Gourdine, J.L.; St-Pierre, N. 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 89: 2220-2230.

Renaudeau, D.; Kerdoncuff, M.; Anais, C.; Gourdine, J. 2008. Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. *Animal* 2: 1619-1626.

Rinaldo, D., Dividich J. le; Noblet, J. 2000. Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs. *Livestock Production Science* 66: 223-234.

Rodrigues, N.E.B.; Tadeu Filho, E.; Zangeronimo, M.G.; Cantarelli, V.d.S.; Rodrigues, P.B.; Rodrigues Filho, M.; Gomide, E.M.; Betarelli, R.P. 2012. Reduction in the protein level and addition of oil in diets for finishing pugs under different temperatures. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41: 1878-1883.

Sanches, J.F.; Kiefer, C.; Carrijo, A.S.; Moura, M.S. de; Silva, E.A. da; Santos, A.P. dos. 2010. Ractopamine levels for finishing barrows maintained in heat stress – Níveis de ractopamina para suínos machos castrados em terminação mantidos sob estresse por calor. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39: 1523-1529 (in Portuguese, with abstract in English).

Sobrinho, D.C.d.S.; Oliveira Jr., G.M. de; Roner, M.N.B.; Ferreira, A.S.; Oliveira, A.G. de; Santos, W.G. dos; Gomide, A.P.C.; Morais, J.A.d.S. 2013. Digestible lysine levels for barrows housed in ambient of heat stress from 95 to 115 kg of

weight – Lisina digestível para suínos machos castrados submetidos a estresse por calor dos 95 aos 115 kg. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 14: 546-557 (in Portuguese, with abstract in English).

Song, R.; Foster, D.N.; Shurson, G.C. 2011. Effects of feeding diets containing bacitracin methylene disalicylate to heat-stressed finishing pigs. *Journal of Animal Science* 89: 1830-1843.

Stahly, T.S.; Cromwell, G.L. 1979. Effect of Environmental Temperature and Dietary Fat Supplementation on the Performance and Carcass Characteristics of Growing and Finishing Swine. *Journal of Animal Science* 49: 1478-1488.

Tavares, S.L.d.S.; Donzele, J.L.; Oliveira, R.F.M. de; Ferreira, A.S. 2000. Influence of environment temperature on the performance and the physiological traits of barrows from 30 to 60 kg - Influência da temperatura ambiente sobre o desempenho e os parâmetros fisiológicos de suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29: 199-205 (in Portuguese, with abstract in English).

Theil, H. 1966. *Applied Economic Forecasting*. North Holland Publishing Co, Amsterdam, The Netherlands.

Vaz, R.G.M.V.; Oliveira, R.F.M.; Donzele, J.L.; Ferreira, A.S.; Brustolini, P.C.; Kiefer, C.; Orlando, U.A.D. 2005. Digestible sulphurous aminoacid requirement for swine barrows maintained in a thermoneutral environment from 15 to 30 kg - Exigência de aminoácidos sulfurados digestíveis para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 15 aos 30kg. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 57: 345-352 (in Portuguese, with abstract in English).

Weller, M.M.D.C.A.; Alebrante, L.; Campos, P.H.R.F.; Saraiva, A.; Silva, B.A.N.; Donzele, J.L.; Guimarães, S.E.F. 2013. Effect of heat stress and feeding phosphorus levels on pig electron transport chain gene expression. *Animal* 7: 1985-1993.

Wellock, I.; Emmans, G.; Kyriazakis, I. 2003. Predicting the consequences of social stressors on pig food intake and performance. *Journal of Animal Science* 81: 2995-3007.

Wellock, I.; Emmans, G.; Kyriazakis, I. 2004. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. *Journal of Animal Science* 82: 2442-2450.

Whittemore, C.T.; Green, D.M.; Knap, P.W. 2001. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. *Animal Science* 73: 363-373.

Whittemore, C.T., Kerr, J.; Cameron, N. 1995. An approach to prediction of feed intake in growing pigs using simple body measurements. *Agricultural Systems* 47: 235-244.

Witte, D.P.; Ellis, M.; McKeith, F.K.; Wilson, E.R. 2000. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *Journal of Animal Science* 78: 1272-1276.

Table 1 – Empirical models predicting feed intake of growing-finishing pigs from environmental temperature (T) and body weight (BW).

References and model labels	Equations ¹	Sex	BW , kg	T , °C
Massabie et al. (1996)				
Massabie I	$y = -0.051 \times T + 3.53$	Barrows	25 -105	16 - 28
Massabie II	$y = -0.050 \times T + 3.47$	Barrows	25 -105	16 - 28
Massabie III	$y = -0.040 \times T + 3.10$	Gilts	25 -105	16 - 28
Massabie IV	$y = -0.037 \times T + 2.96$	Gilts	25 - 105	16 - 28
Rinaldo et al. (2000)				
Rinaldo	$y = -0.228 \times BW^2 + 42.7 \times BW + 260.3$	Mixed	35 - 90	20 - 30
Quiniou et al. (2000)				
Quiniou	$y = -0.26 \times BW^2 + 73.6 \times BW - 2.40 \times T^2 + 117 \times T - 0.95 \times BW \times T - 1264$	Barrows	30 - 90	19 - 29
Collin, et al. (2001)				
Collin I	$y = 97.0 + 5.24 \times (T - 19) - 0.132 \times (T^2 - 19^2) \times BW^{0.83}$	Mixed	15.5 - 25	19 - 35
Collin II	$y = (96.0 + 0.500 - 2.75 \log(1 + \exp^{(T-24.7)/0.5})) \times BW^{0.83}$	Mixed	15.5 - 25	19 - 35
Renaudeau et al. (2011)				
Renaudeau I	$y = -0.105 \times BW^2 + 58.7 \times BW - 2.40 \times T^2 + 134 \times T - 0.923 \times BW \times T - 1.33$	Mixed	14 - 101.5	14 - 36
Renaudeau II	$y = 1.30 \times BW - 0.215 \times T^2 + 10.1 \times T - 0.045 \times BW \times T + 65.2$	Mixed	14 - 101.5	14 - 36
Renaudeau III	$y = a \times BW^{0.69}$	Mixed	14 - 101.5	14 - 36
NRC (2012)				
NRC	$y = 111 \times BW^{0.803} + 111 \times BW^{0.803} \times (LCT - T) \times 0.025$	Mixed	25 - 90	-

¹ Models predicting feed intake in g/day, except for the model Renaudeau II in which results are expressed in g/day/kg of $BW^{0.60}$. Parameters considered in the models: T : environmental temperature (°C); BW : body weight (kg); a : parameter for the relationship between temperature and upper critical temperature; UCT : upper critical temperature (°C); and LCT : linear critical temperature (°C).

Table 2 – Reference and description of studies included in the database

References	Temperature range, °C	Body weight, kg		Average daily feed intake, kg day ⁻¹
		Initial	Final	
Batista et al. (2011)	22.7-34.2	30.0	58.3	1.92
Becker et al. (1992)	19.5-31.0	77.5	96.1	2.82
Campos et al. (2014)	24.0-30.0	54.4	64.0	2.43
Christon (1988)	21.0-32.0	40.7	64.1	1.76
Collin et al. (2001)	21.0-35.0	16.6	28.2	1.12
Ferreira et al. (2003)	22.0	15.0	30.2	1.19
Ferreira et al. (2005)	23.0	30.2	60.2	2.04
Ferreira et al. (2006)	32.3	15.2	29.9	1.09
Ferreira et al. (2007)	32.2	29.8	59.9	1.86
Kerr et al. (2005)	22.0-30.0	60.9	67.8	2.28
Kouba et al. (2001)	20.0-31.0	20.1	34.4	1.13
Le Bellego et al. (2002)	22.0-29.0	45.8	82.0	2.46
Le Bellego et al. (2002)	23.0-30.0	44.1	80.7	2.44
Lopez et al. (1991)	20.0-28.8	95.2	101.6	3.35
Lopez et al. (1994)	20.0-31.4	70.9	92.7	2.65
Manno et al. (2005)	22.7-34.2	15.0	30.0	1.06
Manno et al. (2006)	22.8-31.7	29.9	60.0	1.91
Moura et al. (2011)	30.0	69.2	88.6	1.66
Oliveira and Donzele (1999)	22.1-31.7	15.3	29.8	1.21
Rodrigues et al. (2012)	19.0-31.0	68.0	95.4	2.65
Sanches et al. (2010)	31.8	67.3	83.1	1.59
Sobrinho et al. (2013)	32.0	94.9	112.5	2.56
Song et al. (2011)	23.0	96.5	121.0	3.21
Stahly and Cromwell (1979)	22.5-35.0	34.7	67.6	1.83
Tavares et al. (2000)	21.3-32.0	30.6	60.0	2.03
Vaz et al. (2005)	21.8	15.1	29.9	1.15
Weller et al. (2013)	22.0-34.0	22.6	45.0	1.54
Witte et al. (2000)	18.3-32.7	90.3	126.3	3.12

Table 3 – Agreement between the feed intake (FI) estimated by the empirical models and the observed values in the general population¹

Model label	n^2	FI, kg/day ³	SD ⁴	Estimated vs observed FI			MSPE ⁸	MSPE		
				p^5	SEM ⁶	r^7		ECT	ER	ED
Observed	226	2.11	0.69							
Massabie I	226	2.17	0.27	0.242	0.025	0.40	0.398	0.003	0.335	0.059
Massabie II	226	2.13	0.26	0.627	0.024	0.36	0.411	0.001	0.351	0.060
Massabie III	226	2.03	0.21	0.099	0.024	0.40	0.405	0.006	0.362	0.037
Massabie IV	226	1.97	0.19	0.004	0.024	0.40	0.420	0.019	0.370	0.031
Rinaldo	226	1.84	0.43	<0.001	0.028	0.84	0.234	0.071	0.108	0.055
Quiniou	226	1.87	0.63	<0.001	0.031	0.89	0.157	0.055	0.016	0.085
Collin I	226	2.57	1.02	<0.001	0.042	0.91	0.444	0.214	0.060	0.170
Collin II	226	2.27	1.04	0.054	0.042	0.90	0.296	0.026	0.065	0.205
Renaudeau I	226	3.40	0.66	<0.001	0.044	0.92	1.741	1.671	0.006	0.064
Renaudeau II	226	2.07	0.69	0.569	0.032	0.93	0.072	0.001	0.002	0.068
Renaudeau III	226	1.78	0.71	<0.001	0.034	0.83	0.274	0.110	0.008	0.156
NRC	226	2.10	0.85	0.872	0.036	0.92	0.125	<0.001	0.008	0.117

¹ General population: all observed data were used in the simulation ² n : Number of estimates or observations. ³ Feed intake was estimated individually for each treatment (i.e. environmental temperature) of the original publication. ⁴ SD: Standard deviation. ⁵ p : Probability comparing estimated and observed values (F test). ⁶ SEM: Standard error for the mean. ⁷ Correlation between estimated and observed values. ⁸ MSPE: mean squared prediction error; composed by ECT: error of central tendency; ER: error of regression; and ED: error due to disturbances.

Table 4 – Agreement between the feed intake (FI) estimated by the empirical models and the observed values in each reference population¹

Model label	n^2	Observed FI, kg/day		Estimated FI, kg/day		Estimated vs observed FI			MSPE ⁸	MSPE		
		Mean	SD ³	Mean	SD	p^5	SEM ⁶	r^7		ECT	ER	ED
Massabie I	38	2.43	0.47	2.44	0.07	0.865	0.038	0.45	0.196	<0.001	0.192	0.004
Massabie II	38	2.43	0.47	2.34	0.18	0.280	0.041	-0.03	0.266	0.008	0.227	0.031
Rinaldo	148	2.25	0.50	1.99	0.26	<0.001	0.024	0.62	0.229	0.068	0.120	0.041
Quiniou	40	2.31	0.43	2.09	0.32	0.010	0.044	0.89	0.094	0.051	0.023	0.020
Collin I	42	1.13	0.12	1.15	0.15	0.597	0.015	0.78	0.009	<0.001	<0.001	0.009
Collin II	42	1.13	0.12	1.01	0.30	0.021	0.025	0.73	0.064	0.013	0.009	0.041
NRC	150	2.24	0.51	2.23	0.68	0.871	0.035	0.83	0.149	<0.001	0.003	0.146

¹ Reference population: data were filtered in order to simulate using only scenarios with environment (temperature range) and animals (body weight and sex) similar to that used in the model development. ² n : Number of estimates or observations. ³ SD: Standard deviation. ⁴ Feed intake was estimated individually for each treatment (i.e. environmental temperature) of the original publication. ⁵ p : Probability comparing estimated and observed values (F test). ⁶ SEM: Standard error for the mean. ⁷ Correlation between estimated and observed values. ⁸ MSPE: mean squared prediction error; composed by ECT: error of central tendency; ER: error of regression; and ED: error due to disturbances.

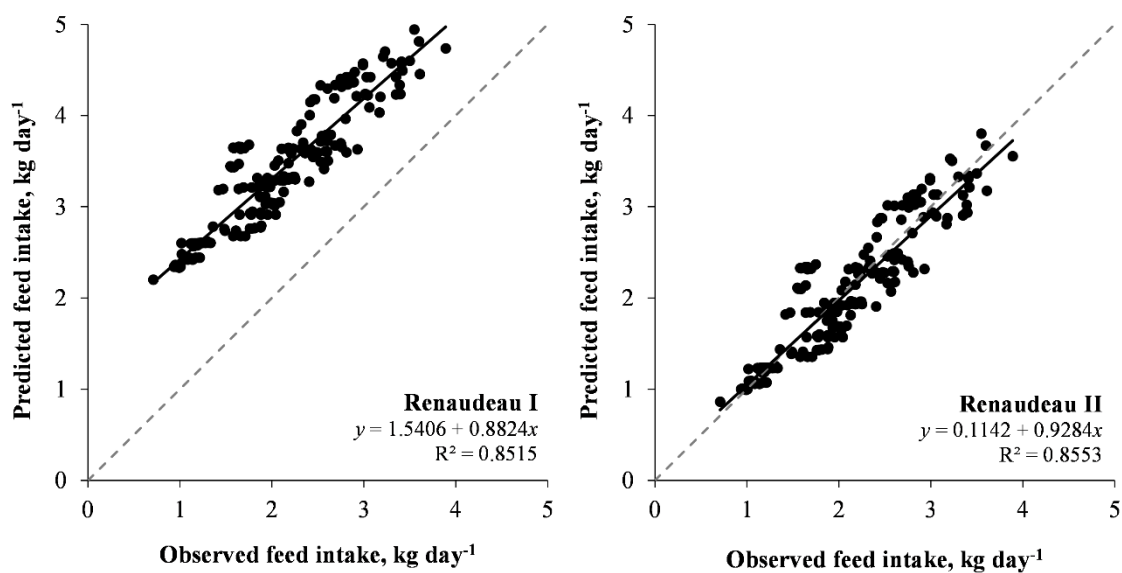


Figure 1: Agreement between the observed feed intake and the values estimated by the models Renaudeau I and Renaudeau II.

CAPÍTULO 3. Programa de nutrição de precisão e níveis de proteína bruta para suínos em clima tropical

Artigo a ser enviado para a *Journal of Animal Science*.

Running head: Nutrição de precisão para suínos em clima tropical.

PROGRAMA DE NUTRIÇÃO DE PRECISÃO E NÍVEIS DE PROTEÍNA BRUTA PARA SUÍNOS EM CLIMA TROPICAL¹

D. Perondi*, L. Hauschild*, C. Pomar†², I. Andretta‡, L. Souza*, A. Remus*†, J. P.
Gobi*

* Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista,
Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane, s/n, 14.884-900, Jaboticabal,
São Paulo, Brazil.

† Dairy and Swine Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food
Canada, Sherbrooke, J1M 0C8, Quebec, Canadá.

‡ Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto
Alegre, 91540-000, Rio Grande do Sul, Brazil.

¹The authors thank Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) for funding this study (Project n. 2012/03781-0) Agrocere PIC by the grants of animals. The authors also thank Coordenação de Aperfeiçoamento de

Pessoal de Nível Superior (CAPES) and Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the scholarships.

²Corresponding author: Candido.Pomar@agr.gc.ca

RESUMO: A utilização de estratégias na nutrição de suínos poderia amenizar o impacto das altas temperaturas. O objetivo deste estudo foi avaliar o programa de alimentação de precisão (**PF**) e redução de 4% na proteína bruta (**RPB**) da dieta como estratégias em condições de clima tropical avaliando o desempenho, composição corporal e comportamento alimentar de suínos nas fases de crescimento e terminação. Foram utilizados 60 suínos machos castrados com peso inicial de 38,9 kg (SE: 0,9) e duração de 77 dias experimentais. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento fatorial sendo dois programas de alimentação: programa de três fases (**3P**) e PF; e utilizados dois níveis de proteína bruta (**PB**): nível convencional (**CPB**) e RPB. Os suínos foram alojados em grupo, com água e ração ad libitum. A temperatura e umidade do interior do galpão foram monitoradas diariamente. O consumo diário de ração (**CDR**) foi coletado pelo comedouro Automatic and Intelligent Precision Feeder (**AIPF**). No início do experimento (0 d) e ao final das fases (28, 56 e 77 d) foram realizadas mensurações do peso vivo (**PV**), espessura de toucinho, profundidade de lombo e composição corporal. O CDR e ganho diário de peso (**GPD**) foram semelhantes ($P > 0,10$) entre os programas de alimentação durante as fases e para o período total. Porém, a eficiência alimentar (**EA**) foi maior (5%) nos suínos do PF ($P < 0,05$) durante o período total, e nas fases 1 e 2. O consumo de proteína bruta (**CPB**) e lisina digestível verdadeira foi menor ($P < 0,05$) nos suínos do PF (17 e 21%, respectivamente). Nos suínos do PF foi verificada redução no tempo de consumo (10%), em relação aos suínos do 3P em todas as fases do estudo. Quanto aos níveis de PB, o desempenho foi semelhante ($P < 0,10$) entre os suínos do tratamento CPB e RPB na fase total. Os suínos do RPB demonstraram redução (P

< 0,05) no consumo de PB (27%) e de lisina digestível verdadeira (5%) em relação aos suínos do CPB. Ambas estratégias podem ser aplicadas em clima tropical, pois mantem o desempenho dos suínos e possibilitam redução no consumo de PB, SID lisina e consequentemente na excreção de nitrogênio. O PF demonstra ser uma estratégia alimentar efetiva para suínos em clima tropical com melhora na eficiência alimentar.

Key words: comportamento de consumo, lisina, nitrogênio, sistema de alimentação,

INTRODUÇÃO

Projeções apontam um aumento da temperatura do planeta até 2100 entre 1,8 a 4,0 °C acima da média, principalmente em regiões de clima tropical e sub tropical (IPCC, 2007). Este aumento pode causar redução na produção de alimento. Estima-se ainda perdas econômicas na produção de suínos em até 300 milhões de dólares ao ano somente nos EUA (St-Pierre et al., 2003). Estas perdas estão relacionadas principalmente a redução no GPD, aumento na deposição de gordura (Campos et al., 2014) e mortalidade de animais.

Os suínos possuem dificuldade para dissipar o calor, devido a diversos fatores, como excesso de gordura corporal, poucas glândulas sudoríparas. Considerando estes aspectos e deficiência de instalações, em clima tropical as elevadas temperaturas, reduzem a expressão do máximo potencial genético dos animais. Os suínos na tentativa de reduzir a produção de calor, reduzem o consumo de alimento. Pois, durante a digestão e metabolismo dos nutrientes ocorre liberação de calor, principalmente em dietas com altos teores de fibra e proteína bruta (van Milgen et al., 2001). No entanto, a literatura não reporta perdas no desempenho de suínos em crescimento e terminação utilizando dietas com baixa PB (Morales et al., 2015; Tous et al., 2014). Um estudo reportou melhora no consumo diário de ração (CDR) para suínos com baixa PB (Le Bellego and Noblet, 2002).

Os sistemas alimentação para suínos em fase de crescimento e terminação utilizam de 3 até 7 fases. O número de fases depende de diversos fatores, mas geralmente são desenhados para atender a exigência nutricional específica dos animais com base no peso vivo e para redução do custo por animal.

Nesse contexto, o programa de alimentação de precisão (PF) pode ser útil na produção de suínos em condições de stress térmico (i.e., clima tropical e subtropical no verão). Este programa baseia-se no conceito de que cada indivíduo na população possui desempenho (i.e., CDR e GPD) e exigências nutricionais específicas ao longo do crescimento (Pomar et al., 2009), possibilitando redução no consumo de PB e lisina estandardizada íleal digestível (SID lisina)(Andretta et al., 2016; Pomar et al., 2014). Neste programa de alimentação, a redução no consumo de PB, pode amenizar o stress térmico em comparação ao programa de alimentação convencional (3P). Porém, há poucos estudos na literatura avaliando o PF em condições de clima tropical para suínos. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o programa de alimentação (PF) e níveis dietéticos de PB quanto ao desempenho, composição corporal, consumo de nutrientes e comportamento alimentar de suínos em clima tropical úmido.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV) em Jaboticabal, SP, Brasil (21°15'22"S latitude; 48°18'58"W de longitude). Foram utilizados 60 suínos machos castrados com 38,9 kg (SE: 0,9) de peso inicial, com perfil genético para alto potencial no desempenho (Agrocere PIC, Patos de Minas, Brasil). Os suínos foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 2 por 2, sendo dois sistemas de alimentação: convencional com três fases – 3P e alimentação de precisão – PF e dois níveis de PB: PB convencional – **CPB** e redução em 4% - **BPB**. Os suínos foram caracterizados como

de alto potencial para deposição proteica (1,16 de GPD e 0,45 EA entre 40 aos 130 kg de PV) conforme definido por Rostagno et al. (2011).

A adaptação dos animais ao local experimental e equipamentos foi realizada durante 21 dias. O galpão experimental possui área de 60 m² atendendo as exigências de espaço para suínos nas fases de crescimento e terminação (1 m² /animal). As temperaturas no interior do galpão foram monitoradas diariamente (coleta a cada hora), utilizando dois dataloggers (versão HT 500, Instrutherm Ltd, São Paulo, Brasil) colocados próximos à altura dos suínos. Durante o período experimental os animais foram mantidos sob a influência da temperatura e umidade do ambiente, sem uso de equipamentos.

A água foi fornecida por bebedouros do tipo nipple e a alimentação por 5 alimentadores do modelo Automatic and Intelligent Precision Feeder (**AIPF**; University of Lleida, Lleida, Spain). A função dos alimentadores foi previamente descrita por Pomar et al. (2011) e (Andretta et al., 2014). Os AIPF possuem quatro compartimentos localizados na parte superior onde as dietas são armazenadas. O animal é identificado ao inserir a cabeça no AIPF que fornece as proporções das dietas (A e B) conforme a recomendação de SID lisina e com o tratamento experimental. Para receber uma nova dose de dieta é inserido um tempo (15 s) para que o animal ingira toda a dieta presente no prato. O volume de ração foi progressivamente aumentando de 14 a 30 g durante o decorrer do experimento, cada vez que o animal batia no sensor do comedouro. A densidade da dieta foi mensurada semanalmente e a calibração do AIPF foi realizada convertendo o volume de dieta pelo peso da dieta. Este alimentador permite que os animais permaneçam todos juntos em um único grupo.

Dietas Experimentais

Durante a adaptação os suínos receberam uma dieta que atendesse as exigências nutricionais conforme recomendado pelo NRC (2012) para suínos com peso médio de 25 kg. As equações utilizadas para simular as exigências foram recomendadas pelo NRC (2012). Inicialmente foram formuladas duas dietas (nomeadas de dieta **A1** e **B1**) com diferentes concentrações de SID lisina, porém com nível convencional de PB. A dieta A1 foi formulada com alta concentração de AA, macro e micro minerais (para satisfazer a exigência do suíno mais exigente no início do experimento). A dieta B1 foi formulada com menor concentração de AA, macro e micro minerais (satisfazer a exigência do suíno menos exigente no final do experimento). Durante a formulação das dietas A1 e B1 para atingir o nível convencional de PB, foi considerada como principal fonte dos AA o milho e farelo de soja, suplementando-se alguns AA essenciais (L-Lisina HCl; DL-Metionina) para manter a relação ideal dos AA (NRC, 2012). Em seguida duas dietas foram formuladas (denominadas A2 e B2) com redução de quatro pontos percentuais no nível de PB, em relação, às dietas A1 e B1. A relação entre os AA foi mantida conforme recomendação do NRC (2012). Para formulação das dietas A2 e B2 reduziu-se a inclusão do farelo de soja e preconizou-se o uso de AA sintéticos (L-Isoleucina). Em todas as dietas a relação dos AA essenciais foi em relação a lisina e suplementando-se 5% acima, garantido a lisina como o primeiro AA limitante nas dietas (Tabela 1). Para a relação entre os AA de cadeia ramificada (valina, isoleucina e leucina) com a lisina foi considerada para não modificar o CDR (Gloaguen et al., 2012).

As exigências dos minerais Ca e P disponível foram mantidas conforme recomendação do NRC (2012) com relação entre eles de 2:1. A formulação das dietas foi realizada com base nos valores de EL, SID AA e o conteúdo de Ca total e P disponível. Os valores dos SID AA para cada ingrediente foram determinados com base nos resultados da análise por HPLC (obtendo-se o conteúdo total de AA em cada ingrediente) em seguida utilizado os coeficientes de digestibilidade proposta por Sauvant et al. (2004). A EL em cada ingrediente foi estimada utilizando a equação proposta por Sauvant et al. (2004). As dietas foram peletizadas a 2,5 mm.

Condução do Experimento

O desempenho foi dividido em três fases com 28 dias para a fase 1 e 2 e 21 dias a 3, totalizando 77 dias experimentais. No tratamento 3P, as proporções das dietas A e B foram determinadas para atender as exigências nutricionais do suíno que representa o percentil 82th da população para maximizar o GPD, para isso os últimos três dias da fase anterior foram utilizados como base, conforme sugerido por Hauschild et al. (2010). As proporções das dietas A e B permaneceram constantes no decorrer de cada fase para o tratamento 3P.

Diariamente durante a parte da manhã foi realizada estimativa da exigência de SID lisina para cada suíno do tratamento PF. As exigências diariamente foram estimadas utilizando um modelo matemático com as informações individuais do CDR e peso vivo (Hauschild et al., 2012). Utilizando estas informações, o modelo simula o peso vivo e o CDR para o dia seguinte. Em seguida a exigência de SID lisina (g/d) foi estimada utilizando um modelo fatorial que considera a exigência de manutenção e crescimento do animal. A exigência de manutenção foi baseada na

equação proposta por Fuller (1994) em que a manutenção é o peso vivo elevado na 0,75 multiplicado pelo fator 0,036 mg/kg 0,75. A exigência para crescimento foi estimada assumindo que 16% do GPD é proteína, e 7% é lisina com eficiência de 72% da SID lisina para deposição, conforme preconizado no NRC (2012).

Os suínos foram pesados na chegada e semanalmente (durante o período experimental) para calibração do modelo matemático (sem restrição no consumo de água e ração). No início de cada fase experimental (0, 28 e 56 d) e no final do experimento (77 d), a espessura de toucinho e profundidade de lombo foram mensuradas utilizando uma ecocamera (Aloka SSD-500, Aloka Co. Ltd, Wallingford, Oxfordshire, England) em modo B, com uma probe (3,5 MHz, Aloka Co. Ltd, Wallingford, Oxfordshire, England) colocada entre a 10 e 14th costela torácica a cinco cm da linha média. As imagens foram gravadas e analisadas na sequência (Software Image Pro Plus 4.0, Piracicaba, São Paulo).

A composição corporal em massa magra, gordura e minerais foi analisado no dia 0, 28 e 56, utilizando um equipamento Dual-energy X-ray Absorptiometry (**DXA**; Hologic Discovery, Hologic, Inc., Waltham, MA, USA). O modo de leitura foi de corpo inteiro (Hologic Software Version 13.4.2, Waltham, MA, USA). Os suínos permaneceram em jejum de 8 horas antes da avaliação. Antes do scanner um procedimento para anestésiar os animais foi adotado. Inicialmente (15 minutos antes) foi realizada aplicação de um tranquilizante muscular a base de acepromazina (0,10 mg/kg), em seguida aplicação intramuscular de um anestésico a base de quetamina (0,93 g/kg) e xilazina (11,00 mg/kg). Cerca de 5 minutos após a aplicação dos anestésicos foi realizado o scanner dos animais e colocando os suínos em posição de decúbito ventral (com um tempo médio de 7 minutos para a

leitura). Os valores obtidos por análise através do DXA, não foram transformados em seus equivalentes químicos. O DXA no dia 77 não foi realizado, pelo elevado PV (130 kg) dificultando o procedimento.

Procedimentos Analíticos

Amostras das dietas foram coletadas semanalmente durante o experimento e estocadas (4 °C) sendo homogenizadas em uma amostra única de cada tratamento ao final do experimento. As dietas foram analisadas conforme métodos descritos no AOAC (1990).

Cálculo e Análises Estatísticas

O CDR foi registrado diariamente pelos comedouros AIPF com o horário de entrada e saída, número de trabalhos e volume de ração por visita. O GPD foi calculado pela diferença entre o peso vivo no início e ao final de cada fase. O consumo de energia líquida (EL), SID lisina e PB foram obtidas pela multiplicação do CDR do suíno pela concentração do nutriente na dieta no respectivo dia. O valor obtido através da dual-energy X-ray absorptiometry para ganho diário de massa magra (DXA-LEAN) foi calculado pela diferença da massa magra no início e ao final de cada período e dividido pelo número de dias do período. O mesmo procedimento foi realizado para gordura (DXA-FAT) e concentração de mineral no corpo (DXA BMC).

O comportamento alimentar foi avaliado a partir dos registros das visitas, inseridas em uma planilha eletrônica. As visitas sem consumo de ração foram retiradas da base de dados. As visitas com intervalo menor que um minuto (entre

visitas do mesmo suíno no mesmo comedouro) foram combinadas em uma única visita. Os dias em que os suínos foram submetidos a avaliação no DXA foram removidos da base de dados. Após a filtragem dos dados, as variáveis de comportamento alimentar foram calculadas (total de visitas, tempo por visita e consumo por visita) ou derivadas da base (taxa de consumo por minuto, obtida pela divisão do consumo por visita pelo tempo de visita).

A normalidade dos dados quanto ao desempenho, composição corporal, consumo de nutrientes e comportamento alimentar foi checada através do teste de Shapiro-Wilks. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância pelo procedimento PROC MIXED (SAS System for Windows 9.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA). O modelo considerou o efeito do nível de PB, sistema de alimentação e interação (nível de PB vs sistema de alimentação). Os efeitos foram considerados significativos quando o valor de $P < 0,05$ e tendência quando $P < 0,10$. Os resultados foram expressados em médias, sendo o suíno a unidade experimental.

RESULTADOS

A análise bromatológica das dietas demonstrou redução de 4,0% no nível de PB entre as dietas A1 vs A2 e de 3,8% entre as dietas B1 vs B2. Três suínos morreram durante o experimento. A morte dos suínos não foi atribuída aos tratamentos, sendo observadas durante a recuperação dos animais ao procedimento do DXA. Não foram observados problemas sanitários durante o experimento.

A temperatura média durante o período experimental foi de $26,7 \pm 1,6$ °C com coeficiente de variação de 10% (Figura 1). O horário do dia com maior temperatura

foi entre as 14 e 18 horas (29 °C) e menor entre às 3 e 8 horas (25 °C), a umidade média durante o período experimental foi de 70,9%. No início do experimento (0 dias) as variáveis de peso vivo, profundidade de lombo, espessura de toucinho e composição corporal dos suínos não diferiram ($P > 0,10$) entre os tratamentos (Tabela 2).

Fase 1 - (0 aos 28 dias)

Os suínos do tratamento 3P-CPB apresentaram menor EA (14%; $P < 0,05$) em relação aos demais tratamentos. Para as demais variáveis do estudo não foi verificada interação ($P > 0,10$) entre os tratamentos.

Para o sistema de alimentação, verificamos que os suínos do PF demonstraram aumento da espessura de toucinho (7%; $P < 0.05$), menor consumo de SID lisina (22%; $P < 0.05$; Tabela 3) e menor consumo de PB (18%; $P < 0.05$) em relação aos suínos de 3P. Houve tendência para maior EA (8%; $P < 0.10$), DXA FAT (11%; $P < 0.10$) nos suínos do PF em relação, aos suínos do 3P. O tempo por alimentação demonstrou tendência de redução (9%; $P < 0.10$) para os suínos do PF (Tabela 4). Os programas de alimentação não diferiram ($P > 0.10$) para as demais variáveis analisadas.

Quanto aos níveis de PB, os animais do tratamento RPB demonstraram maior GPD (10%; $P < 0,05$), EA (10%; $P < 0.05$), DXA LEAN (11%; $P < 0.05$) e menor consumo de PB (23%; $P < 0,05$). Enquanto verificou-se tendência de maior profundidade de lombo (5%; $P < 0,10$) em relação ao CPB. Adicionalmente o CDR, PV, espessura de toucinho, DXA FAT, DXA BMC, consumo de EL, SID lisina e variáveis de comportamento alimentar não diferem ($P > 0,10$) entre os níveis de PB.

Fase 2 – (29 aos 56 dias)

Os suínos do PF-CPB apresentaram maior EA (10%; $P < 0,05$) em relação aos demais tratamentos e este grupo de animais demonstrou tendência de menor CDR (6%; $P < 0,10$) e menor consumo de EL (8%). Para as demais variáveis não foi verificado efeito ($P > 0,05$) da interação dos tratamentos.

Foi verificado menor consumo de SID lisina (22%; $P < 0,05$) e PB (19%; $P < 0,05$) para os suínos do PF em relação ao 3P. Os suínos do PF demonstraram tendência de menor CDR (5%; $P < 0,10$), maior EA (7%; $P < 0,10$), menor DXA BMC (3%; $P < 0,10$) e menor tempo por alimentação (10%; $P < 0,10$) em relação aos suínos do 3P. O GPD, PV, espessura de toucinho, profundidade de lombo, DXA LEAN e DXA FAT, consumo de EL, e variáveis de comportamento alimentar não diferem ($P > 0,10$) entre os programas de alimentação.

Os suínos do tratamento BPB demonstraram menor consumo de PB (27%; $P < 0,05$). Verifica-se tendência de menor GPD (5%; $P < 0,10$), EA (4%; $P < 0,10$) e profundidade de lombo (4%; $P < 0,10$) e menor consumo de SID lisina (5%; $P < 0,10$), em relação aos suínos do CPB. A composição corporal e comportamento alimentar não diferem ($P > 0,10$) entre os níveis dietéticos de PB.

Fase 3 - (57 aos 78 dias)

Não foi verificada interação entre os tratamentos ($P > 0,10$) nesta fase do estudo. Os suínos do PF apresentaram menor consumo de SID lisina (18%; $P < 0,05$) e PB (14%; $P < 0,05$). Foi verificada tendência de menor tempo por alimentação (11%; $P < 0,10$) em relação aos suínos do 3P. As variáveis de

desempenho não diferem ($P > 0,10$) entre os programas de alimentação. O consumo de EL, taxa de consumo, consumo de alimento por minuto e número de alimentações foram semelhantes ($P > 0,10$) entre os programas de alimentação.

Os suínos do tratamento RPB apresentam menor GPD (7%; $P < 0,05$), EA (5%; $P < 0,05$), consumo de SID lisina (7%; $P < 0,05$) e PB (31%; $P < 0,05$) em relação, aos suínos do CPB. O CDR, PV, profundidade de lombo, espessura de toucinho, consumo de EL e o comportamento alimentar não diferem ($P > 0,10$) entre os níveis de PB.

Geral - (0 aos 77 dias)

No período total a interação entre os tratamentos não demonstra significância ($P > 0,10$). Os suínos do PF apresentam maior EA (5%; $P < 0,05$), menor consumo de SID lisina (21%; $P < 0,05$), menor consumo de PB (17%; $P < 0,05$) e menor tempo por alimentação (10%; $P < 0,05$) em relação aos suínos do 3P. O CDR, GPD, consumo de EL, taxa de consumo por minuto, consumo por visita e número de visitas por dia não diferem ($P > 0,10$) entre os programas de alimentação.

Os suínos do tratamento RPB apresentaram menor consumo de SID lisina (5%; $P < 0,05$) e PB (27%; $P < 0,05$) em relação, aos suínos do CPB. As variáveis de desempenho e comportamento alimentar não diferiram ($P > 0,10$) entre os níveis de PB.

DISCUSSÃO

Durante o estudo a temperatura no interior do galpão apresentou elevada variação sendo característico de regiões com clima tropical. Estudos realizados em

clima tropical constataram variação semelhante na temperatura (Rinaldo et al., 2000). Alguns fatores estão associados a variação na temperatura, como; diferenças nas instalações (local de coleta, densidade de alojamento, PV dos suínos). Segundo, (Le Bellego et al., 2002) quando há aumento abrupto na temperatura pode ocorrer stress térmico nos animais. Assim, o animal ativa mecanismos para controle da temperatura corporal, como redução no consumo de ração (Renaudeau et al., 2007).

Efeito dos Programas de Alimentação

A alimentação de precisão é uma técnica eficaz que permite considerar a variação entre animais ao alimentá-los de forma individual com dietas ajustadas em tempo real com base na evolução do crescimento e consumo de cada suíno (Andretta et al., 2014). No presente estudo o CDR e o GPD foram semelhantes entre os programas de alimentação, no entanto, o PF melhorou a EA. A literatura reporta resultados similares para o CDR e GPD (Andretta et al., 2014; Pomar et al., 2014). Estes resultados demonstram que o sistema de alimentação de precisão atende as exigências nutricionais dos animais, sem comprometer o desempenho. A melhora na EA dos animais mantidos no sistema PF, pode estar associada a maior concentração de lisina na dieta nos momentos mais quentes do dia para os animais do PF. Diversos autores verificaram que o aumento na concentração de lisina em altas temperaturas melhora a EA (Ferguson e Gous, 1997; Witte et al., 2000; Orlando et al., 2001).

Além disso, no sistema de alimentação PF a redução no consumo de PB pode ter influenciado a EA em função de um menor gasto energético para digestão

e excreção do N (Le Bellego et al., 2002; Moehn et al., 2013). Nesse contexto, a redução no consumo de PB possivelmente reduziu o IC dos animais mantidos em condições de clima tropical. O gasto energético durante o metabolismo da PB é de 1,67 kcal/ g de PB ingerida (Le Bellego et al., 2001). No sistema PF com a redução na ingestão de PB estimou-se em média 12 kcal/animal/d (SE: 1,4) ($IC = 1,67 \text{ kcal/g de PB} \times \text{g de PB/animal/d}$) de redução no gasto energético. Foi assumido um gasto energético semelhante entre todos os animais de ambos os tratamentos, porém há diferenças entre os animais devido a relação carne: gordura e PV. Além disso, a equação foi obtida em suínos mantidos em gaiolas metabólicas, sendo que suínos em condições normais podem apresentar maior IC (van Milgen and Noblet, 2000).

A composição corporal dos animais foi semelhante entre os suínos do PF e 3P durante o período total do estudo. Contudo, durante a fase I a deposição de gordura foi maior nos suínos do PF. Este resultado pode estar relacionado a relação constante de 16% considerada no modelo para o ganho de proteína por kg de ganho de peso. Em um estudo recente (Cloutier et al., 2015) encontraram que suínos em crescimento apresenta valor de 19%, já para suínos em terminação este valor é de 13%. O modelo não considera esta variação durante o crescimento dos animais. Considerando o potencial de deposição específico para cada fase, possivelmente poderia reduzir a deposição de gordura de suínos em crescimento.

Neste estudo verificou-se uma variação entre os animais na exigência de SID lisina/Mcal de EL de 9,2%. Outros estudos encontraram resultados similares, Bertolo et al. (2005) demonstraram variação entre os animais de 9,6% na exigência de lisina utilizando a técnica de oxidação dos AA. Outro estudo, utilizando metodologia similar ao do presente estudo, porém em condições termoneutras

apresentaram valores entre 16 a 28% para suínos em crescimento e terminação na SID lisina (Andretta et al., 2014). Estas diferenças intra-estudos podem estar relacionadas a variabilidade na população durante o alojamento, genótipo, qualidade de ingredientes e outros fatores que influenciam na variabilidade entre animais. No entanto, os programas de alimentação praticados não consideram a variabilidade entre os animais, podendo fornecer nutrientes em excesso ou abaixo da exigência dos animais. No presente estudo os animais do PF consumiram uma menor quantidade de SID lisina e PB. Ou seja, o ajuste conforme o potencial de cada animal permite melhorar a eficiência no uso de nutrientes. Estudos recentes reportam resultados similares quanto ao consumo de SID lisina e PB, com redução na excreção de N (30%) e P (Andretta et al., 2014; Andretta et al., 2016). Estes resultados demonstram que o sistema de alimentação em fase desconsidera variações entre os animais no CDR e GPD, e assim fornece nutrientes acima da exigência para uma parcela da população.

O aumento no consumo de nutrientes pelos animais parece não influenciar o comportamento alimentar dos animais. No presente estudo, o comportamento alimentar dos suínos foi semelhante entre os programas de alimentação, porém o tempo por alimentação foi menor nos animais do PF. Os animais deste sistema receberam dietas com menor PB dietética, assim com maior inclusão de milho resultando em maior ingestão de carboidratos. O aumento no consumo de carboidratos causa um aumento nos níveis de glicose no sangue (Solà-Oriol et al., 2010) enviando um sinal de saciedade ao hipotálamo reduzindo dessa forma o tempo por alimentação.

Efeito da Proteína Bruta

A literatura reporta que a redução na PB não afeta o desempenho dos suínos (Le Bellego et al., 2002; Spencer et al., 2005). No presente estudo, os resultados demonstraram que o desempenho foi similar entre os níveis PB. No entanto, alguns estudos demonstram que a redução na PB pode reduzir o desempenho dos animais (Kerr et al., 2003; Morales et al., 2015; Tous et al., 2014). Em dietas com redução na PB, desde que mantida a relação lisina/Mcal de energia não ocorrem alterações no desempenho.

Em regiões de clima tropical o uso de dietas com redução na PB auxilia em menor produção de calor pelos animais, desta forma pode favorecer um ajuste no CDR (Le bellego et al., 2002) reduzindo o impacto do IC sobre o desempenho. Durante o experimento não foram verificadas mudança no CDR, este resultado deixa claro que apenas a redução na PB não favoreceu o CDR. Outro aspecto importante a ser considerado é que apenas a redução do N dietético não é o suficiente para ativar mecanismos que favoreçam o aumento do CDR, (Gloaguen et al., 2014).

Para a composição corporal, a literatura reporta que a redução na PB aumenta a deposição de gordura (Smith et al., 1999). No presente estudo, a deposição de gordura foi semelhante entre os tratamentos. Parte destes resultados é devido ao ajuste nas dietas utilizando EL dos ingredientes na formulação. Quando considerando a eficiência energética de cada componente (PB, EE e amido) a deposição de gordura é semelhante entre dietas com níveis diferentes de PB. Na deposição de massa magra verificou-se que durante a fase de crescimento a redução na PB dietética aumentou a deposição corporal de massa magra inclusive

com aumento na profundidade de lombo, apesar de que este efeito não foi observado durante a fase de terminação.

Outro aspecto interessante está relacionado a altas temperaturas reduzem o consumo dos animais. Porém, apesar do estudo apresentar momentos de alta temperatura, utilizando dietas com AA sintéticos os animais demonstraram desempenho semelhante. Estes resultados são semelhantes aos encontrados na literatura onde não verificou-se diferenças na composição corporal de suínos com redução na PB (Kerr et al., 2003). A hipótese inicial que a associação entre o PF e dieta com RPB poderia melhorar o consumo e assim o desempenho dos suínos não foi confirmada pelos resultados. A redução no PB, com ajuste das necessidades dos AA diariamente e individualmente não melhorou o desempenho dos suínos. Porém, verificou-se aumento no EA com o nível normal de PB e usando o PF como sistema de alimentação. Ou seja, nos animais do tratamento PF-RPB pode ter ocorrido redução do N para síntese de AA não essenciais, conforme reportado por Gloaguen et al. (2014) principalmente em dietas com níveis menores que 10% de PB.

O PF utilizado para suínos em condições de clima tropical melhorou a eficiência alimentar com redução no consumo de PB e SID lisina. Interessante que o PF reduziu a PB nas dietas semelhante ao tratamento RPB, porém o PF demonstrou um aumento na eficiência, ou seja, ajustando-se a oferta de AA conforme o crescimento dos animais reduz o impacto do clima tropical sobre a eficiência alimentar. A redução em até 4% na PB nas dietas não prejudica o desempenho desde que suplementada adequadamente com AA sintéticos. A

adaptação dos suínos ao clima tropical requer mais estudos avaliando o impacto das estratégias quanto a diminuição no IC para suínos em grupo.

Conclusão

A utilização do PF para suínos em clima tropical mantém o desempenho dos suínos. Dietas com redução de 4% na PB para suínos na fase de crescimento e terminação não alteram o desempenho dos animais mesmo em condição de clima tropical.

Referências bibliográficas

- Andretta, I. et al. 2014.** The impact of feeding growing–finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *Journal of animal science* 92: 3925-3936.
- Andretta, I., C. Pomar, J. Rivest, J. Pomar, and J. Radünz. 2016. Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *animal*: 1-11.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official methods of analysis. 15th ed. AOAC, Arlington, VA.
- Bertolo, R., S. Moehn, P. Pencharz, and R. Ball. 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal of animal science* 83: 2535-2542.
- Berton, M. P., de Cássia Dourado, R., de Lima, F. B. F., Rodrigues, A. B. B., Ferrari, F. B., do Carmo Vieira, L. D., Borba, H. 2014. Growing-finishing performance and carcass yield of pigs reared in a climate-controlled and uncontrolled environment. *International journal of biometeorology*: 1-6.
- Campos, P., Labussière, E., Hernández-García, J., Dubois, S., Renaudeau, D., Noblet, J. 2014. Effects of ambient temperature on energy and nitrogen utilization in lipopolysaccharide-challenged growing pigs. *Journal of animal science* 92: 4909-4920.
- Figueroa, J., Lewis, A. J., Miller, P. S., Fischer, R. L., Gómez, R. S., Diedrichsen, R. M. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *Journal of Animal Science* 80: 2911-2919.
- Fuller, M. 1994. Amino acid requirements for maintenance, body protein accretion and reproduction in pigs.
- Gloaguen, M., L. Floc'h, E. Corrent, Y. Primot, and J. van Milgen. 2012. Providing a diet deficient in valine but with excess leucine results in a rapid decrease in feed intake and modifies the postprandial plasma amino acid and α -keto acid concentrations in pigs. *Journal of animal science* 90: 3135-3142.

- Gloaguen, M., L. Floc'h, E. Corrent, Y. Primot, and J. van Milgen. 2014. The use of free amino acids allows formulating very low crude protein diets for piglets. *Journal of animal science* 92: 637-644.
- Hauschild, L., P. Lovatto, J. Pomar, and C. Pomar. 2012. Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *Journal of animal science* 90: 2255-2263.
- Hauschild, L., C. Pomar, and P. Lovatto. 2010. Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal* 4: 714-723.
- IPCC. 2007. The intergovernmental panel on climate change 4th assessment report. Available from: <http://www.ipcc.ch/>. Accessed Jan 10, 2016.
- Kerr, B., J. Yen, J. Nienaber, and R. Easter. 2003. 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: 1998-2007.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livestock Production Science* 76: 45-58.
- Le Bellego, L., J. Van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *Journal of Animal Science* 79: 1259-1271.
- Le Bellego, L., J. Van Milgen, and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *Journal of animal Science* 80: 691-701.
- Main, R., S. Dritz, M. Tokach, R. Goodband, and J. Nelssen. 2008. Determining an optimum lysine: calorie ratio for barrows and gilts in a commercial finishing facility. *Journal of Animal Science* 86: 2190-2207.
- Morales, A., Buenabad, L., Castillo, G., Arce, N., Araiza, B. A., Htoo, J. K., Cervantes, M. 2015. Low-protein amino acid-supplemented diets for growing pigs: Effect on expression of amino acid transporters, serum concentration,

- performance, and carcass composition. *Journal of Animal Science* 93: 2154-2164.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements of swine. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Pomar, C., L. Hauschild, G.-H. Zhang, J. Pomar, and P. A. Lovatto. 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 226-237.
- Pomar, C., J. Pomar, F. Dubeau, E. Joannopoulos, and J.-P. Dussault. 2014. The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing–finishing pigs. *animal* 8: 704-713.
- Pomar, J., V. López, and C. Pomar. 2011. Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. *Computers and electronics in agriculture* 78: 88-97.
- Rinaldo, D., J. Le Dividich, and J. Noblet. 2000. Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs. *Livestock Production Science* 66: 223-234.
- Sauvant, D., J.-M. Perez, and G. Tran. 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses and fish. Wageningen Academic Publishers.
- Smith, J., P. O'Quinn, R. Goodband, M. Tokach, and J. L. Nelssen. 1999. 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: 1-16.
- Solà-Oriol, D., T. van Kempen, and D. Torrallardona. 2010. Relationships between glycaemic index and digesta passage of cereal-based diets in pigs. *Livestock Science* 134: 41-43.
- Spencer, J., A. Gaines, E. Berg, and G. Allee. 2005. Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress. *Journal of animal science* 83: 243-254.

- St-Pierre, N., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *Journal of dairy science* 86: E52-E77.
- Tous, N., Lizardo, R., Vila, B., Gispert, M., Font-i-Furnols, M., Esteve-Garcia, E. 2014. Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows. *Journal of animal science* 92: 129-140.
- van Milgen, J., J. Noblet, and S. Dubois. 2001. Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *The Journal of nutrition* 131: 1309-1318.
- Wellock, I., G. Emmans, and I. Kyriazakis. 2004. Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs. *Journal of animal science* 82: 2442-2450.
- Orlando, U. A. D., Oliveira, R. F. M. D., Donzele, J. L., Lopes, D. C., Silva, F. C. O., & Generoso, R. A. R. (2001). Níveis de proteína bruta para leitoas dos 30 aos 60 kg mantidas em ambiente de alta temperatura (31°C). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(5), 1536-1543. Demais referencias estão no artigo do Uislei.
- Le Bellego, L., Van Milgen, J., Dubois, S., & Noblet, J. (2001). Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 79(5), 1259-1271.

Tabela 1. Ingredientes e composição química das dietas experimentais.

	Dietas experimentais			
	A1	A2	B1	B2
Ingredientes (na matéria natural), %				
Milho	53,03	66,03	88,99	86,16
Farelo de soja	40,49	27,74	8,91	-
Amido de milho	-	-	-	8,00
Inerte	-	-	-	1,30
Oleo de soja	3,00	1,96	-	1,92
Fosfato bicalcico (18%)	1,36	1,44	0,44	0,57
Calcario	0,93	0,95	0,64	0,62
Dextrina	0,50	0,50	0,50	0,50
Premix mineral e vitaminico ¹	0,30	0,30	0,30	0,30
Sal	0,20	0,20	0,20	0,21
L-Lys HCL	0,07	0,46	-	0,30
DL-Met	0,09	0,13	-	0,02
L-Thr	-	0,18	-	0,06
L-Trp	-	0,04	-	0,03
L-Val	-	0,02	-	0,001
L-Iso	-	0,001	-	0,001
Composição Química				
Matéria seca, %	91,62	90,48	91,69	92,18
Proteína bruta (calculado), %	22,50	18,40	11,14	7,30
Proteína bruta (analisada), %	23,60	19,60	12,80	8,96
Energia metabolizável ² , Mcal/kg	3,32	3,30	3,27	3,35
Energia liquida ² , Mcal/kg	2,41	2,46	2,54	2,68
Fósforo total, %				
Fósforo disponível, %	0,40	0,40	0,20	0,20
Cálcio, %	0,80	0,80	0,40	0,40
SID Lisina ³ , %	1,20	1,20	0,40	0,40
SID Metionina ³ , %	0,58	0,36	0,18	0,15
SID Treonina ³ , %	0,76	0,76	0,34	0,25
SID Triptofano ³ , %	0,24	0,22	0,09	0,08
SID Valina ³ , %	0,97	0,79	0,49	0,31
SID Isoleucina ³ , %	0,90	0,70	0,40	0,23

1 - O suplemento Mineral-vitaminico fornece as seguintes quantidades de nutrientes por kg do produto: Vitamin A (min) 2.153.333 UI; Vitamin B1 (min) 260 mg; Vitamin B12 (min) 5.000 mg; Vitamin B2 (min) 1.003 mg; Vitamin B6 (min) 350 mg; Vitamin D3 (min) 300.000 UI; Vitamin E (min) 6.666 UI; Vitamin K3 (min) 500 mg; Biotin (min) 5 mg; Colina (min) 28.67 g; Niacina (min) 7.500 mg; Ácido pantotenico (min) 3.290 mg; Cobalto (min) 83 mg; Cobre (min) 33.33 mg; Ferro (min) 30 g; Iodo (min) 88 mg; Manganês (min) 14.5 g; Selênio (min) 53 mg; Zinco (min) 28.5 g; *Bacillus Subtilis* 50x10⁹ UFC.

2 – Calculado.

3 – Digestibilidade ileal verdadeira (SID). Composição de todos os AA foi calculada utilizando os valores presentes no EvaPig (Version 1.3.1.7).

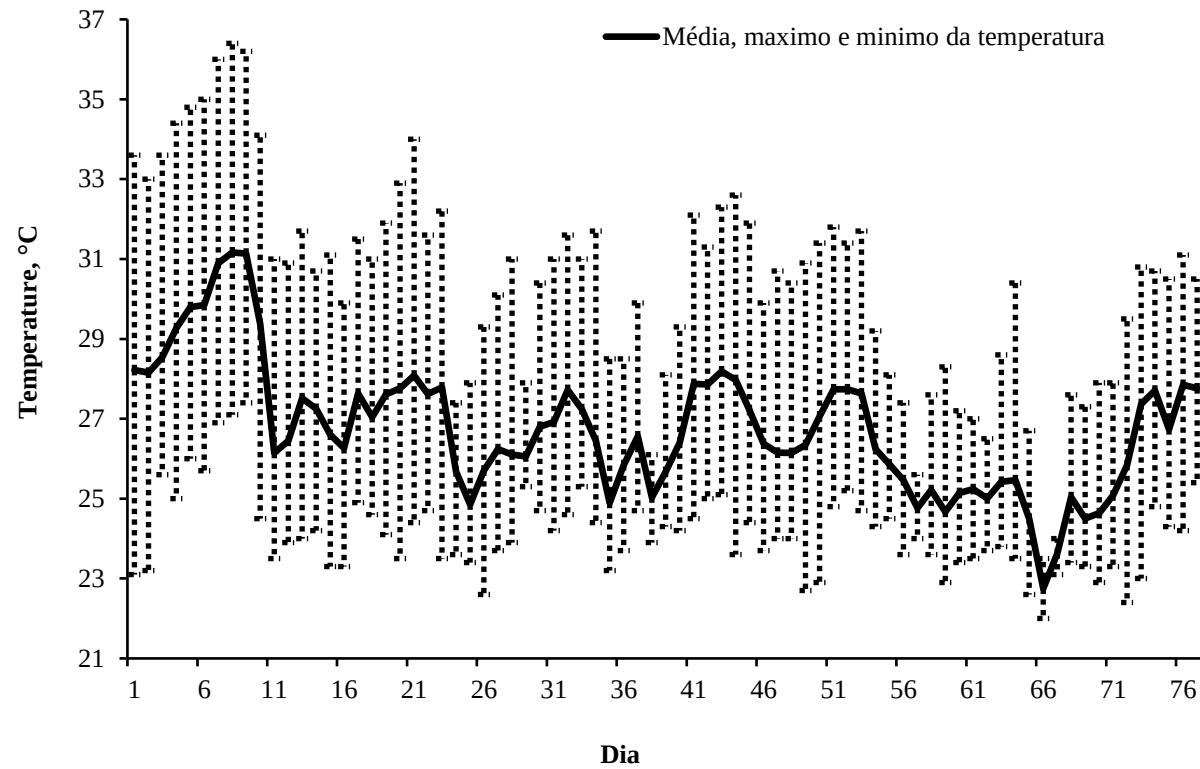


Figura 2. Variação (mínima e máxima) da temperatura diária dentro do galpão experimental durante o período experimental (0 aos 77 dias).

Tabela 2. Médias do desempenho e composição corporal de suínos em um programa de alimentação convencional de três fases (3P) ou programa de precisão (PF), utilizando dietas com nível convencional de proteína bruta (CPB) ou redução da proteína bruta em 4% (RPB)

Itens ¹	Programa de alimentação		Nível de PB		SEM	Valor de P		
	3P	PF	CPB	RPB		PA	PB	PA*PB
Condição inicial (0 d)								
PV, kg	39,0	39,4	39,5	38,9	0,67	0,781	0,639	0,853
Espessura de toucinho, mm	8,5	8,5	8,5	8,5	0,11	0,870	0,960	0,737
Profundidade de lombo, mm	34,2	32,0	33,0	33,1	0,70	0,107	0,976	0,588
DXA body lean, kg	33,7	33,9	34,0	33,5	0,54	0,841	0,662	0,964
DXA body fat, kg	4,8	4,9	4,9	4,8	0,16	0,633	0,728	0,525
DXA BMC, kg	465	442	454	455	8,17	0,147	0,924	0,835
Fase 1 (0 aos 28 dias)								
CDR, kg/d	1,99	1,94	1,96	1,97	0,04	0,506	0,875	0,126
GPD, kg/d	1,00	1,05	0,97	1,07	0,13	0,240	0,011	0,619
EA	0,51	0,55	0,50	0,55	0,01	0,064	0,030	0,074
PV, kg	66,6	68,7	66,5	68,8	0,93	0,247	0,232	0,863
Espessura de toucinho, mm	9,4	10,1	9,7	9,8	0,20	0,050	0,868	0,491
Profundidade de lombo, mm	43,9	44,3	43,1	45,2	0,59	0,750	0,086	0,745
DXA LEAN, g/d	717	721	681	757	12,8	0,881	0,004	0,984
DXA FAT, g/d	242	269	243	268	8,8	0,086	0,121	0,938
DXA BMC, g	875	854	849	881	17,5	0,523	0,347	0,873
Fase 2 (29 aos 56 dias)								
CDR, kg/d	2,87	2,74	2,82	2,79	0,04	0,097	0,778	0,068
GPD, kg/d	1,20	1,23	1,24	1,18	0,13	0,444	0,095	0,987
EA	0,42	0,45	0,44	0,42	0,01	0,008	0,098	0,033
PV, kg	100,5	103,0	101,4	102,1	1,11	0,269	0,761	0,864
Espessura de toucinho, mm	14,0	14,5	14,0	14,4	0,31	0,495	0,552	0,403
Profundidade de lombo, mm	58,2	58,0	59,3	56,9	0,66	0,921	0,075	0,791
DXA LEAN, g/d	625	615	643	598	15,3	0,747	0,117	0,668
DXA FAT, g/d	534	566	546	554	14,7	0,251	0,770	0,389
DXA BMC, kg	1,480	1,430	1,430	1,470	22,1	0,096	0,301	0,576
Fase 3 (57 aos 77 dias)								

CDR, kg/d	3,26	3,15	3,23	3,17	0,05	0,235	0,513	0,218
GPD, kg/d	1,25	1,23	1,29	1,20	0,13	0,592	0,011	0,134
EA	0,38	0,39	0,40	0,38	0,01	0,328	0,011	0,665
PV, kg	126,7	128,6	128,6	126,7	1,25	0,443	0,439	0,756
Espessura de toucinho, mm	18,1	17,8	17,5	18,4	0,46	0,696	0,318	0,576
Profundidade de lombo, mm	68,0	67,8	67,3	68,4	0,72	0,896	0,441	0,777
Período Total (0 aos 77 dias)								
CDR, kg/d	2,71	2,61	2,67	2,64	0,03	0,147	0,721	0,063
GPD, kg/d	1,15	1,17	1,17	1,15	0,01	0,458	0,460	0,609
EA	0,44	0,46	0,45	0,45	0,01	0,021	0,841	0,082

¹O número de observações por tratamento foram de 15 suínos; DXA LEAN = Dual-energy X-ray Absorptiometry para ganho diário de massa magra; DXA FAT = Dual-energy X-ray Absorptiometry para ganho diário de gordura; DXA BMC = Dual-energy X-ray Absorptiometry para concentração de mineral no corpo.

Tabela 3. Média do consumo de nutrientes para suínos em um programa de alimentação com três fases (3P) ou programa de precisão (PF), dietas com nível convencional de proteína bruta (CPB) ou redução da proteína bruta em 4% (RPB).

Itens ¹	Programa de alimentação		Nível de PB		SEM	Valor de P		
	3P	PF	CPB	RPB		PA	PB	PA*PB
Fase 1 (0 aos 28 dias)								
Consumo de EL, kcal/d	4,97	4,91	4,87	5,00	0,39	0,761	0,475	0,173
Consumo de SID ² Lisina, g/d	20,62	16,11	18,57	18,16	0,43	0,001	0,542	0,294
Consumo de PB, g/d	36,23	29,61	37,20	28,63	0,80	0,001	0,001	0,224
Fase 2 (29 aos 56 dias)								
Consumo de EL, kcal/d	7,26	7,00	7,03	7,24	0,45	0,214	0,311	0,060
Consumo de SID ² Lisina, g/d	24,57	19,13	22,38	21,32	0,48	0,001	0,099	0,631
Consumo de PB, g/d	45,06	36,69	47,29	34,47	1,15	0,001	0,001	0,258
Fase 3 (57 aos 77 dias)								
Consumo de EL, kcal/d	8,29	8,07	8,08	8,29	0,51	0,381	0,394	0,193
Consumo de SID ² Lisina, g/d	22,76	18,77	21,51	20,03	0,44	0,001	0,036	0,806
Consumo de PB, g/d	43,93	37,67	48,27	33,34	1,23	0,001	0,001	0,714
Período total (1 aos 77 dias)								
Consumo de EL, kcal/d	6,84	6,66	6,66	6,84	0,49	0,450	0,430	0,170
Consumo de SID ² Lisina, g/d	22,65	18,00	20,82	19,84	0,28	0,001	0,020	0,530
Consumo de PB, g/d	41,64	34,66	44,15	32,15	0,70	0,001	0,001	0,290

¹O número de suínos por tratamento foi de 15 suínos.

²SID = digestibilidade ileal verdadeira. Os valores de SID lisina foram obtidos das tabelas de Sauvant et al. (2004).

Tabela 4. Comportamento alimentar dos suínos em um programa de alimentação com três fases (3P) ou programa de precisão (PF), dietas com nível convencional de proteína bruta (CPB) ou redução da proteína bruta em 4% (RPB).

Itens ¹	Programa de alimentação		Nível de PB		SEM	Valor de P		
	3P	PF	CPB	RPB		PA	PB	PA*PB
Fase 1 (0 aos 28 dias)								
Consumo por alimentação, g	277,9	250,4	261,7	266,6	7,60	0,173	0,806	0,965
Tempo por alimentação, min	9,26	8,38	8,71	8,93	0,24	0,072	0,655	0,820
Número de alimentações, d	8,7	9,0	8,8	8,9	0,37	0,578	0,803	0,334
Taxa de consumo, g/min	29,96	30,36	30,37	29,95	0,37	0,589	0,597	0,454
Fase 2 (29 aos 56 dias)								
Consumo por alimentação, g	297,3	268,9	277,3	289,0	8,49	0,130	0,529	0,845
Tempo por alimentação, min	7,34	6,64	6,95	7,03	0,19	0,076	0,839	0,921
Número de alimentações, d	11,3	11,9	11,8	11,4	0,41	0,416	0,620	0,951
Taxa de consumo, g/min	37,74	37,06	36,88	37,92	0,37	0,363	0,162	0,728
Fase 3 (57 aos 77 dias)								
Consumo por alimentação, g	383,9	350,1	350,6	383,5	12,0	0,208	0,221	0,525
Tempo por alimentação, min	8,05	7,15	7,53	7,66	0,26	0,087	0,814	0,746
Número de alimentações, d	9,9	10,6	10,7	9,9	0,51	0,341	0,324	0,847
Taxa de consumo, g/min	44,73	43,96	43,43	45,26	0,36	0,272	0,011	0,628
Período total (1 aos 77 dias)								
Consumo por alimentação, g	319,8	289,8	296,5	313,1	7,90	0,108	0,372	0,721
Tempo por alimentação, min	8,21	7,39	7,73	7,87	0,19	0,031	0,710	0,931
Número de alimentações, d	10,0	10,5	10,4	10,1	0,37	0,344	0,584	0,663
Taxa de consumo, g/min	37,47	37,13	36,89	37,71	0,31	0,578	0,192	0,725

¹O número de observações por tratamento foi de 15 suínos.