

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

Henrique da Costa Mendes Muniz

**ASPECTOS COMPARATIVOS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS MACHOS
SUBMETIDOS A IMUNOCASTRAÇÃO OU CASTRAÇÃO CIRÚRGICA**

Santa Maria, RS

2019

Henrique da Costa Mendes Muniz

**ASPECTOS COMPARATIVOS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS MACHOS
SUBMETIDOS A IMUNOCASTRAÇÃO OU CASTRAÇÃO CIRÚRGICA**

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

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Oliveira

Santa Maria, RS

2019

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

Muniz, Henrique da Costa Mendes
ASPECTOS COMPARATIVOS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS MACHOS
SUBMETIDOS A IMUNOCASTRAÇÃO OU CASTRAÇÃO CIRÚRGICA /
Henrique da Costa Mendes Muniz.- 2019.
85 p.; 30 cm

Orientador: Vladimir de Oliveira
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Zootecnia, RS, 2019

1. Avaliação da carcaças e carne 2. Desaparecimento
hídrico 3. Exigências de lisina 4. Imunocastração 5. Suínos
I. de Oliveira, Vladimir II. Título.

© 2019

Todos os direitos autorais reservados a Henrique da Costa Mendes Muniz. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

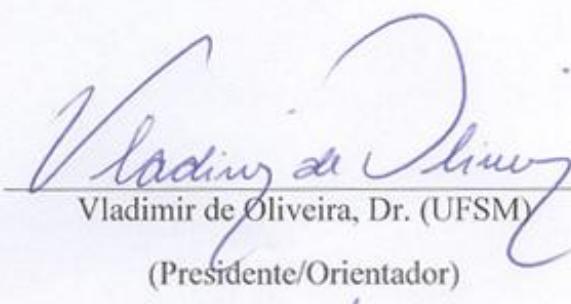
E-mail: henriquecmmuniz@hotmail.com

Henrique da Costa Mendes Muniz

**ASPECTOS COMPARATIVOS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS MACHOS
SUBMETIDOS A IMUNOCASTRAÇÃO OU CASTRAÇÃO CIRÚRGICA**

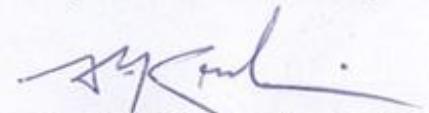
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Zootecnia**.

Aprovado em 19 de julho de 2019

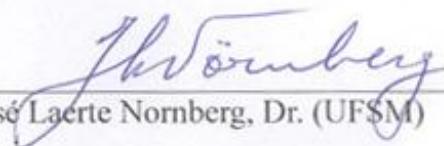


Vladimir de Oliveira, Dr. (UFSM)

(Presidente/Orientador)



Alexandre de Mello Kessler, Dr. (UFRGS)



José Laerte Nornberg, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Agradeço aos meus pais Sérgio e Marly Muniz, aos meus irmãos Rodrigo e Bernardo da Costa Mendes Muniz e suas respectivas companheiras Amanda Freitas e Luciane Giordani, por sempre terem me incentivado a seguir meu sonho, não poupando puxões de orelha, conversas e orientações a respeito da vida.

Agradeço a minha namorada Eduarda Santos de Lima, pela parceria, dedicação e apoio incondicional, que me forneceu neste período de mestrado.

Agradeço as minhas avós Margarida Wypyczynski da Costa e Gelci Mendes Muniz (em memória), por terem sido minhas incentivadoras desde o início da graduação.

Agradeço aos alunos da pós-graduação, em especial aos colegas de sala, Daniela K., Josué S., Leonardo R. e Michael C., pelas conversas de orientação, apoio e dicas para melhor realizar as atividades propostas.

Agradeço aos estagiários do Setor de Suínos, pelo apoio na realização do experimento que compõem minha dissertação de mestrado e pelas conversas as quais me incentivaram a ir em busca de conhecimento.

Agradeço meu orientador professor Vladimir de Oliveira, por sua dedicação na confecção deste trabalho, que rendeu muitos ensinamentos e pelas conversas de orientação que recebi nesses dois anos de convivências.

Agradeço aos professores Arlei Rodrigues Bonet de Quadros e Marcos Speroni Ceron, pelas conversas, que refletiram em ensinamentos, e auxílio na confecção dos artigos científicos que compõem a dissertação.

Agradeço a todos meus amigos, que estiveram presentes nesta fase da minha vida e que de uma forma, ou de outra, sempre me incentivaram a buscar meus ideais.

Agradeço a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

ASPECTOS COMPARATIVOS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS MACHOS SUBMETIDOS A IMUNOCASTRAÇÃO OU CASTRAÇÃO CIRÚRGICA

AUTOR: Henrique da Costa Mendes Muniz
ORIENTADOR: Vladimir de Oliveira

Foram realizados três estudos visando comparar aspectos produtivos de suínos machos submetidos a imunocastração ou castrados cirurgicamente. O primeiro estudo teve o objetivo de comparar as exigências de lisina digestível, geradas a partir do emprego de três métodos fatoriais. No segundo, o objetivo foi avaliar as características de carcaça, índice de bonificação, qualidade da carne, peso dos principais cortes e aceitabilidade de produtos oriundos de suínos imunocastrados e castrados cirurgicamente. No terceiro, objetivo foi comparar o desaparecimento hídrico, o desperdício e comportamento ingestivo de água entre suínos machos imunocastrados e castrados cirurgicamente. Concluímos, no primeiro estudo, que existe diferença entre os métodos fatoriais utilizados e que suínos submetidos a imunocastração necessitam, no geral, maior quantidade de lisina pelos três métodos, além de possuírem menor ingestão de alimento, maior ganho de peso e melhor conversão alimentar. Além disso, no período após segunda dose da vacina aumenta o seu consumo de alimento. No segundo estudo foi concluído que suínos machos imunocastrados apresentam maior peso de abate e menor rendimento de carcaça, assim como menor capacidade de retenção de água, carne mais clara e menos avermelhada, mas valores para força de cisalhamento similares ao dos machos castrados. O índice de bonificação, de ambas categorias sexuais foram superiores a 1 e não houve diferença no peso dos principais cortes comerciais. A análise sensorial demonstrou não haver diferença na aceitabilidade pelo consumidor de produtos manufaturados a partir da carne de suínos castrados ou imunocastrados. Por último, o terceiro estudo permitiu concluir que suínos imunocastrados possuem menor desaparecimento e desperdício de água em relação aos castrados e o comportamento diário do desaparecimento de água, de ambas categorias sexuais é bimodal, com maior desaparecimento de água no período da tarde.

Palavras-chave: Avaliação de carcaças e carnes. Desaparecimento hídrico. Exigências de lisina. Imunocastração. Suínos.

ABSTRACT

COMPARATIVE ASPECTS IN THE PRODUCTION OF MALE PIGS SUBMITTED TO IMUNOCASTRATION OR SURGICAL CASTRATION

AUTHOR: Henrique da Costa Mendes Muniz
ADVISER: Vladimir de Oliveira

Three studies were conducted to compare productive aspects of male pigs submitted immunocastration or castrated surgically. The first study aimed to compare the requirements of digestible lysine, generated from the use of three factorials methods. In the second, the objective was to evaluate the carcass characteristics, bonus index, meat quality, weight of the main cuts and acceptability of products from pigs immunocastrated and castrated surgically. In the third, the objective was to compare the water disappearance, the wastage and ingestive behavior of water between male pigs immunocastrated and surgically castrated. We conclude in the first study that there is a difference between the factorials methods used and that pigs submitted to immunocastration generally require a higher amount of lysine by the three methods, besides having lower feed intake, greater weight gain and better feed conversion. Furthermore, it was observed that, in the period after the second dose of vaccine increases your feed intake. In the second study, it was concluded that immunocastrated male pigs, have a higher slaughter weight and lower carcass yield, as well as lower water holding capacity, lighter and less redness meat, but values for shear force similar to that of castrated males. The bonus index in both sexual categories was higher than “1” and there was no difference in the weight of the main commercial cuts. Sensory analysis showed no difference in consumer acceptability of products manufactured from castrated or immunocastrated pigs. Finally, the third study allowed to conclude that immunocastrated pigs have less disappearance and water wastage in relation to the castrated ones and the daily behavior of water disappearance, of both sexual categories is bimodal, with greater disappearance of water in the afternoon.

Keywords: Carcass and meat evaluation. Hydric disappearance. Immunocastration. Lysine requirements. Swine.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO.....	12
2.1 IMUNOCASTRAÇÃO	12
2.2 CRESCIMENTO	13
2.2.1. Modelos simuladores do crescimento	14
2.3 COMPOSIÇÃO DAS CARCAÇAS E QUALIDADE DE CARNE	15
2.4 COMPORTAMENTO INGESTIVO DE SUÍNOS.....	16
2.4.1 Consumo de alimento	16
2.4.2 Consumo de água.....	17
2.5 MÉTODOS PARA ESTIMAR EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS	18
2.5.1 Método empírico	19
2.5.2 Método factorial	20
3 ARTIGO - EVALUATION OF FACTORIAL METHODS TO ESTIMATE LYSINE REQUIREMENTS FOR BARROWS AND IMMUNOCASTRATED PIGS	22
Abstract.....	23
Introduction	23
Material and methods	24
Results.....	29
Discussion	31
Conclusion	34
References.....	40
4 ARTIGO - EVALUATION OF CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY, WITH CONSUMER SENSORIAL ANALYSIS OF MEAT FROM SURGICALLY CASTRATED AND IMMUNOCASTRATED MALE PIGS	44
Abstract	45
Introduction	45
Material and methods	46
Results.....	50
Discussion	50
Conclusion	53
References.....	57

5 ARTIGO – DESAPARECIMENTO DE ÁGUA NO PERÍODO DE CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO EM SUÍNOS MACHOS CIRURGICAMENTE CASTRADOS E IMUNOCASTRADOS	61
Resumo	62
Material e métodos	63
Resultados	65
Discussão	66
Referências	69
6 DISCUSSÃO GERAL	79
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

A imunocastração é uma alternativa à castração cirúrgica realizada com objetivo principal de evitar sabor e odor desagradáveis na carne de suínos machos inteiros, ao mesmo tempo que melhora os níveis de bem-estar dos animais de produção (WEILER et al., 2013). Consiste na aplicação de uma vacina contendo antígeno para o hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH), que resulta na inibição da síntese de hormônios da hipófise e testículos. A primeira dose possui caráter sensibilizador ao sistema imune e a segunda atua na redução da atividade testicular (DUNSHEA et al., 2001).

Até a realização da segunda dose da vacina, os suínos machos são considerados inteiros, porém após, eles migram para categoria dos castrados o que para Martins et al. (2013), gera um desafio aos nutricionistas balancear dietas que atendam às necessidades nutricionais dessa nova categoria sexual, pois serão animais fisiologicamente castrados, com composição corporal de suínos inteiros, até aquele momento. Existem diferenças marcantes entre suínos que foram castrados cirurgicamente e suínos submetidos a imunocastração, quanto ao consumo de dietas, ganho de peso e sua composição corporal (VAN DE BROEKE et al., 2016).

A fim de elaborar estratégias alimentares mais econômicas, que maximizem a eficiência na produção de suínos, é de fundamental importância conhecer a curva de crescimento das categorias sexuais a serem utilizadas. Existem diversas maneiras de mensurar o crescimento animal, sendo a função de Gompertz um dos modelos mais utilizadas na suinocultura, pois necessita de pequeno número de dados coletados, e seus parâmetros possuem interpretação biológica, além de apresentarem confiabilidade em suas previsões (NASCIMENTO et al., 2017).

Descrever matematicamente os consumos de ração e água é um desafio para nutricionistas, pois ocorrem interferências de muitas variáveis independentes, como estresse sanitário, calórico, social e ambiental. No entanto, em alojamentos livres destas adversidades,

acredita-se que o consumo depende da capacidade de crescimento do animal (EMMANS et al., 1999). A maioria das equações utiliza como variável independente o peso vivo do suíno, e por meio de funções polinomiais é obtido o consumo médio de ração do animal. Para ingestão hídrica, muitos autores correlacionam positivamente seu consumo com o da dieta do animal (PADILHA et al., 2013).

Controlar os parâmetros médios populacionais das curvas de consumo e deposição tecidual e saber sua variabilidade é de extrema importância. Na indústria, é comum ocorrer elaboração de estratégias alimentares considerando um animal como população, o que pode acarretar problemas econômicos e ambientais da produção (CERON et al. 2013; FRAGA et al., 2015). Com isso, o objetivo dessa dissertação foi comparar as exigências de lisina digestível, geradas a partir do emprego de três métodos fatoriais, avaliar as características de carcaça e qualidade de carne, o consumo de ração e o desaparecimento hídrico, em suínos machos submetidos a imunocastração, ou a castração cirúrgica.

2 ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

2.1 IMUNOCASTRAÇÃO

O macho inteiro, caracteriza-se como a categoria sexual detentora do melhor desempenho zootécnico na suinocultura, porém após o abate a carcaça destes animais possui níveis elevados de odores sexuais. Adotou-se então a prática da castração cirúrgica, fazendo surgir a categoria sexual de macho cirurgicamente castrado, que resultou no aumento de gordura corporal, mas auxiliou na redução dos níveis de odor sexual na carcaça suína (EFSA, 2004; PAULY et al., 2009).

Os odores sexuais, não são exclusivos dos machos suínos inteiros, podendo ser encontrado em fêmeas e machos castrados, porém em concentrações baixas, sendo despercebidos sensorialmente pela maioria dos consumidores (ZAMARATSKAIA e SQUIRES, 2009). Com a pressão da sociedade mundial, por maior bem-estar na produção suína, aliado ao avanço tecnológico, surgiu na década de noventa como alternativa a castração cirúrgica, à vacina de imunocastração.

Essa vacina faz uso do sistema imune do animal, através da utilização do análogo de GnRH, onde a primeira dose possui caráter sensibilizador e a segunda realiza produção de anticorpos anti-GnRH. Ocorre redução nas atividades no eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal, auxiliando na obtenção de uma carcaça com níveis de odores sexuais semelhantes à dos machos castrados, sem a realização de castração cirúrgica (THUN et al., 2006).

A androstenona e o escatol são os principais representantes de odores sexuais em carcaças de suínos. Conforme Zamaratskaia e Squires (2009), a androsterona é um hormônio esteroide produzido pelas células de Leydig nos testículos dos suínos e através da corrente sanguínea é transportada até as glândulas salivares. Parte da androstenona atua como feromônio sendo secretada pela saliva e a outra parte é depositada junto ao tecido adiposo.

O escatol origina-se através da degradação do aminoácido triptofano, que ocorre por bactérias no intestino grosso mais especificamente na região do cólon. Segundo Brunius (2011) o escatol possui várias rotas no organismo dos suínos, podendo ser excretado através das fezes, metabolizado pelo fígado, sendo posteriormente eliminado pela urina e pode ser também depositado junto ao tecido adiposo do suíno.

Com o uso da vacina em suínos machos inteiros, surge a categoria sexual machos imunocastrados, que se diferenciam das demais anteriormente citadas, pelo fato de possuírem comportamento social e desempenho semelhante ao macho inteiro no início de sua vida produtiva (WEILER et al., 2012). Contudo, uma semana após segunda dose da vacina, torna-se fisiologicamente castrado, apresentando aumento no seu consumo voluntário e realização de maior deposição lipídica (VAN DEN BROEKE et al., 2016).

2.2 CRESCIMENTO

Para Zuidof (2005), o crescimento animal é obtido através da soma das deposições de água, proteína, lipídeos e minerais e nos processos de hiperplasia e hipertrofia dos tecidos corporais. Van Milgen et al. (2000) citam que se tratando do crescimento animal, pós nascimento, a retenção de nitrogênio é o mais importante processo metabólico que ocorre.

Segundo Wellock et al. (2004) cada animal tem sua própria curva de crescimento, onde o animal expressa seu maior potencial de crescimento em condições ideais e sem restrição alimentar. Freitas (2005) cita que além dos fatores mencionados anteriormente, a deposição tecidual ainda sofre influência da genética, sexo, hormônios e sanidade.

O crescimento animal é de caráter alométrico, ou seja, cada tecido possui seu próprio tempo e velocidade de deposição. O primeiro tecido a ser depositado é o nervoso, seguido de ósseo, muscular e adiposo, por este motivo preconiza-se o abate de suínos até 120 quilos, para obtenção de maior quantidade de carne e ainda menor quantidade de gordura na carcaça.

2.2.1. Modelos simuladores do crescimento

O estudo da curva de crescimento é realizado através de medidas ao longo do tempo, possibilitando através de modelos matemáticos simular o comportamento da deposição tecidual, descrevendo o crescimento animal. Segundo Pomar (2015), os modelos mais utilizados na produção suína são os modelos de Brody, Gompertz, Logístico, Richards, Robertson e Von Bertalanffy.

Na literatura atual, não há um consenso do modelo a ser utilizado a fim de melhor prever o crescimento dos suínos (NASCIMENTO et al., 2017). Por exemplo, o modelo de Gompertz foi citado por Freitas (2005) e Kohn et al. (2007), o modelo Von Bertalanffy por Oliveira et al. (2007) e o modelo Logístico por Macedo et al. (2014) e Luo et al. (2015). Há também autores como Silva et al. (2013), que citam os modelos de Richards e Brody, além dos anteriores mencionados, para descrever o crescimento suíno.

A função de Gompertz muitas vezes é escolhida para estimar o crescimento dos suínos, pois possui interpretação biológica e pela facilidade de aplicação, sendo necessários apenas três parâmetros para prever o comportamento das deposições teciduais e obter a curva de crescimento dos animais (EMMANS et al., 1999). Com o avanço da tecnologia, surgiram as facilidades computacionais, aumentando a quantidade de simulações do crescimento animal, sendo a produção de suínos a criação com maior número de estudos realizados (FREITAS, 2005).

Estudos como de Schiavon et al. (2007) e Casas et al. (2010) utilizaram a função de Gompertz para descrever o crescimento dos componentes corporais. Segundo Brossard et al. (2009) Gompertz é uma função não linear, eficaz quando usada com informações de diversos indivíduos para estimar um potencial médio, no entanto, quando se trata de um único indivíduo, pode não apresentar concordância nos resultados. Este modelo é expresso da seguinte maneira:

$$M = A * e^{(-B * (t - C))}$$

Onde, “M” é a massa corporal em quilograma (kg), “A” é a massa na maturidade em kg, “e” é uma constante de valor 2,718281828459, “B” é o crescimento relativo no ponto de inflexão (kg/dia por kg), “t” é a idade do sistema biológico em dias e “C” é a idade no ponto de inflexão em dias (NASCIMENTO et al., 2017).

2.3 COMPOSIÇÃO DAS CARCAÇAS E QUALIDADE DE CARNE

Na suinocultura machos inteiros possuem melhor desempenho, isso ocorre pois eles realizam com maior eficiência a retenção de nitrogênio, resultando em uma carcaça com maior rendimento de carne magra, além de apresentar menor consumo de ração (POMAR et al., 1991; DUNSHEA et al., 2013). Já os suínos castrados consomem mais alimento e possuem uma carcaça com maior quantidade de gordura, a provável explicação para isso é o fato de não possuírem as gônadas sexuais desde a maternidade (DUNSHEA et al., 2001; GISPERT et al., 2010).

Suínos imunocastrados passam 2/3 do período de engorda como macho inteiro (VAN DEN BROEKE et al., 2016), em média 4 semanas antes do abate, ocorre a aplicação da segunda dose da vacina de imunocastração, tornando esses animais fisiologicamente castrados, fazendo com que realize maior deposição de lipídio durante esse período (PAULY et al., 2009).

Segundo van den Broeke et al. (2016) suínos machos inteiros após a imunocastração aumentam seu ganho de peso diário, produzindo no animal maior *turnover* da proteína e consequente maior proteólise *post mortem* (THERKILDSEN et al., 2004; LAMETSCH et al., 2006). Aumenta, também, a quantidade de gordura intramuscular (VAN LAACK et al., 2001), melhorando a suculência da carne e diminuindo a força de cisalhamento, deixando-o semelhante aos machos castrados para algumas características qualitativas da carne (BATOREK et al., 2012).

Segundo Aluwé et al. (2013), estudos que analisam a cor de carne de suínos castrados e imunocastrados, apresentam grandes variações dos valores. No entanto, há um consenso que

suínos imunocastrados possuem uma carne mais clara e menos avermelhada (TAVARES et al., 2014). Alguns estudos como de Boler et al. (2014), relatam uma carne mais amarelada de suínos imunocastrados, em relação aos suínos castrados cirurgicamente, provavelmente se deve pelo maior marmoreio, que acaba afetando a cor da carne (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios para características de carcaça e qualidade de carne.

Variáveis	Média		Máximo		Mínimo	
	MC	MI	MC	MI	MC	MI
Características de Carcaça (n)	661	756				
Peso de abate, Kg	122,3	124,7	134,3	137,4	106,9	107,2
Peso carcaça quente, Kg	92,3	91,9	103,4	102,9	82,5	83,9
Peso carcaça fria, Kg	83,1	81,7	83,3	81,5	82,9	81,5
Rendimento de carcaça, %	76,7	75,3	80,8	79,1	73,1	71,5
Rendimento de carne, %	52,7	53,8	58,3	60,6	34,0	35,5
Área de gordura no lombo, cm ²	15,2	14,4	15,2	14,4	15,2	14,4
Espessura de toucinho P2, mm	21,3	19,8	25,2	24,3	17,4	15,3
Espessura de toucinho, mm	22,4	20,1	33,0	28,9	14,8	12,9
Área de olho no lombo, cm ²	50,7	51,4	59,9	58,6	43,3	45,6
Profundidade do músculo, mm	63,0	62,6	68,7	68,4	42,9	47,4
Qualidade da Carne (n)	601	636				
pH inicial	6,2	6,2	6,3	6,4	5,8	6,0
pH final	5,5	5,5	5,8	5,8	5,1	5,1
L	49,4	49,6	57,3	56,3	45,1	46,1
a*	7,1	7,0	9,3	8,9	4,4	4,7
b*	5,4	5,4	16,4	16,4	1,4	1,6
Força Cisalhamento (kg/cm ³)	2,8	2,8	2,8	2,9	2,5	2,5

MC: Macho castrado, MI Macho imunocastrado; Dados foram coletados de 14 estudos realizados em diferentes locais do mundo, onde os animais receberam dietas isonutritivas.

Base: Pauly et al. (2009), Gisperte et al. (2010), Boler et al. (2011a), Boler et al. (2011b), Boler et al. (2011c), Dunshea et al. (2011), Batorek et al. (2012), Aluwé et al. (2013), Boler et al. (2014), Braña et al. (2014), Tavares et al. (2014a), Tavares et al. (2014b), Lowe et al. (2014) e Fernandes et al. (2017).

2.4 COMPORTAMENTO INGESTIVO DE SUÍNOS

2.4.1 Consumo de alimento

O consumo voluntário sofre influência de diversos fatores, como estresse térmico, físico, social, a genética, o ambiente, a sanidade e o sexo. Estudos como de Rydhmer et al.

(2010), Dunshea et al. (2011) e Weiler et al. (2013) relataram o comportamento ingestivo de animais cirurgicamente castrados e inteiros submetidos a imunocastração.

Suínos machos inteiros são mais agressivos, apresentando comportamentos de dominância e brigas, utilizando pouco tempo para realizar suas refeições. Estudos sobre comportamento ingestivo demonstraram que os hormônios esteroides, principais responsáveis pelo aumento da massa magra, podem ser os fatores limitantes no consumo voluntário dos suínos inteiros. No entanto, após a segunda dose da vacina em suínos, agora, imunocastrados, é retirado o fator hormonal que limita o consumo, ocasionando aumento do mesmo (FEERGUSON e THEERUTH, 2002; PAULY et al., 2009; WEILER et al., 2013).

Segundo Batorek et al. (2012) os suínos machos imunocastrados possuem consumo superior aos castrados, no período compreendido entre a segunda dose da vacina e o abate. Se considerar todo período de engorda, há na literatura estudos que relatam maior consumo para machos castrados (Van den Broeke et al., 2016) e estudos que encontraram consumos iguais entre as duas categorias sexuais (PAULY et al., 2009). Quanto maior o período entre a segunda dose e o abate, menor será a diferença de consumo total de ração entre as categorias sexuais.

2.4.2 Consumo de água

O consumo da água na produção de suínos sofre interferência de fatores como: sanidade, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, fase fisiológica do animal, estresse, idade e alimento consumido, sofrendo variações conforme o desenvolvimento do animal (BELLAVER e OLIVEIRA, 2009; NRC, 2012). Whittemore (2006) afirma que suínos na fase de crescimento e terminação com acesso *ad libitum* a ração, consomem 5 kg de água por kg de ração, para o NRC (2012), o valor proposto é 2,5 kg de água por kg de ração. Cumby (1986) observou que quando ocorre restrição no fornecimento de ração, os suínos passam a consumir mais água, encontrando 3,7 kg de água por kg de ração.

Conforme a literatura científica, à medida em que o animal se desenvolve, ele diminua sua necessidade de água por kg de ração ingerida (BELLAVER e OLIVEIRA, 2009; BERTECHINI et al., 2012). Isso pode ser explicado pela composição corporal do animal que, segundo Schiavon e Emmans (2000), quanto maior a deposição de proteína, mais água é retida pelo animal. Nos períodos iniciais de crescimento os suínos possuem maior retenção de nitrogênio, porém à medida que o animal se aproxima do abate, realiza maior deposição lipídica, ocasionando menor retenção de água na carcaça, podendo influenciar no consumo hídrico do animal.

Batorek et al. (2012) demonstraram através de estudo meta-analítico que após a segunda dose da vacina de imunocastração, o suíno aumenta o consumo de ração, porém não abordaram sobre o consumo hídrico nesta categoria sexual, necessitando de pesquisas. Porém Chimainski et al. (2019) afirmam que, os consumos de ração e água correlacionam-se positivamente, então pode-se deduzir que, há aumento na ingestão hídrica no período pós vacina em machos imunocastrados.

2.5 MÉTODOS PARA ESTIMAR EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS

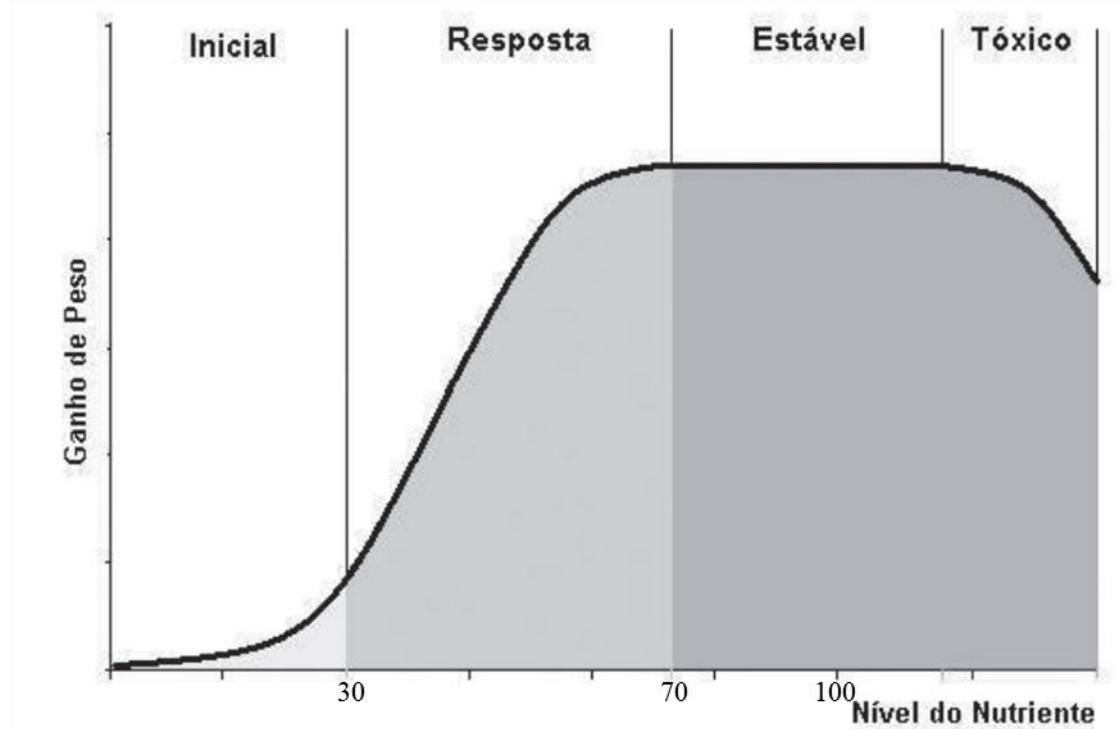
Exigência nutricional é a quantidade de nutrientes necessários afim de atender objetivos específicos da produção animal. Sofrendo interferência de diversos fatores sejam eles intrínsecos ao animal como genética, idade e peso, ou extrínsecos como acesso ao alimentador, ao bebedouro, hierarquia social, taxa de lotação, temperatura, umidade e sanidade (POMAR et al., 2009; HAUSCHILD et al., 2012).

Energia, aminoácidos, vitaminas, minerais e água são nutrientes essenciais que necessitam ser fornecidos diariamente na dieta de suínos. Segundo Pomar (2015) existem dois métodos utilizados para balancear esses nutrientes em dietas de suínos: o método empírico e o factorial. Ambos são baseados em resultados experimentais que correlacionam a ingestão de nutrientes e a resposta animal.

2.5.1 Método empírico

No método empírico, a exigência nutricional é avaliada conforme a resposta obtida pelo animal, em relação ao aumento ou redução da ingestão do nutriente em estudo. O aumento da ingestão produz uma curva-resposta (Figura 2), que é dividida em quatro fases: fase inicial, a exigência do animal foi atendida em até 30%, fase resposta a exigência do animal foi atendida de 30-70%, fase estável a exigência foi atendida de 70-100% e a fase tóxica onde o animal reduz seu ganho, pois o nutriente em questão foi consumido em excesso, causando toxidez (SAKOMURA e ROSTAGNO, 2016).

Figura 1 -Resposta animal com adição de um nutriente limitante na dieta



Fonte: Adaptado de Sakomura e Rostagno (2016).

Segundo Pomar et al. (2003), o formato da curva varia conforme a variabilidade entre os animais e critérios-respostas utilizados. Mesmo que possa superestimar as exigências dos nutrientes (WHITTEMORE et al., 2001), esta metodologia é mais utilizada na produção de suínos, estando presente em diversos materiais que formulam dietas balanceadas. Segundo

Oliveira e Fraga (2015), muito se utiliza o método empírico, pela ausência do conhecimento de fatores biológicos relacionados aos animais.

2.5.2 Método fatorial

Para Sakomura e Rostagno (2016), o método fatorial baseia-se no princípio que o animal deve receber a quantidade de nutriente para manter seus processos metabólicos vitais e auxiliar no crescimento corporal. O NRC (2012), destaca que o método fatorial é estimado pela exigência de manutenção e produção, onde o primeiro considera a quantidade do nutriente para realizar as atividades metabólicas basais e a segunda quantifica os nutrientes necessários para realizar a produção, podendo ser carne e leite.

Ao utilizar o método fatorial para estimar exigências de um grupo de suínos, deve-se escolher o animal com potencial médio, pois será o mais representativo da população (POMAR, 2015). Segundo Hauschild et al. (2012), modelos matemáticos que otimizam a produção suína estão sendo elaborados com base no método fatorial para estimar as exigências nutricionais. Estes modelos levam em consideração o peso do animal, a composição corporal, o potencial de crescimento e de produção dos animais (SAKOMURA e ROSTAGNO 2016).

O livro Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos, (ROSTAGNO et al., 2017), utiliza os métodos empírico e fatorial para calcular exigências de lisina. Para estimar a quantidade de lisina de manutenção, utiliza-se o conceito empírico de $36 \text{ mg/kg PV}^{0,75}$, que significa o intercepto da retenção de nitrogênio e a lisina ingerida. A quantidade de lisina para deposição de proteína é obtida através de uma equação polinomial, que foi gerada com base em um banco de dados, com aproximadamente 50 experimentos, realizados com a metodologia de dose resposta em relação ao peso vivo do suíno. A soma destas duas estimativas, resulta na quantidade total de lisina (g/dia) para os suínos em questão.

O conceito de proteína ideal para suínos é o balanceamento de aminoácidos essenciais em relação a lisina, capaz de atender sem excesso, ou deficiência as necessidades nutricionais do animal (NRC, 2012). Segundo van Milgen e Dourmad (2015), a lisina é utilizada como aminoácido base, pois é pouco afetada pelas funções metabólicas no animal, sendo quase exclusivamente utilizada para deposição proteica. Na literatura científica, existem várias concentrações dos aminoácidos essenciais em relação a lisina, para obtenção da proteína ideal em suínos (Tabela 2).

Tabela 2 - Estimativas dos aminoácidos essenciais, com base na lisina para estimar a quantidade de proteína ideal, conforme diferentes instituições de ensino e pesquisa para fase de crescimento.

	ARC, 1981	INRA, 2008	NRC, 2012	UFV, 2017
Lisina	100	100	100	100
Metionina	#	30	29	30
Metionina + Cisteína	50	60	56	59
Treonina	60	65	61	65
Triptofano	15	18	17	20
Arginina	#	42	46	42
Valina	70	70	65	69
Isoleucina	55	55	52	55
Leucina	100	100	101	100
Histidina	23	32	34	33
Fenilalanina	#	50	60	50
Fenilalanina + Tirosina	96	95	94	100

Fonte: Adaptado pelo autor.

3 ARTIGO - EVALUATION OF FACTORIAL METHODS TO ESTIMATE LYSINE REQUIREMENTS FOR BARROWS AND IMMUNOCASTRATED PIGS

Esta sessão é apresentada de acordo com as normas para publicação na revista **LIVESTOCK SCIENCE** (ISSN Impresso: 1871-1413).

Aceito para publicação, Livestock Science, 2019.

1 **Evaluation of factorial methods to estimate lysine requirements for barrows and
2 immunocastrated pigs**

3

4 **Abstract**

5 The aim of this study was to compare the digestible lysine requirements of castrated
6 and immunocastrated pigs, generated via three factorial methods based on the performance of
7 these animals. This study was divided into two steps. In the first step, an experiment was
8 conducted to evaluate the performance of castrated and immunocastrated pigs. In the second
9 step, the performance data were used to evaluate the nutritional requirements generated by three
10 factorial methods. A total of 48 pigs (24 barrows and 24 immunocastrated) from a commercial
11 line, with an average initial body weight of 29.3 ± 1.9 kg at 75 days of age and a final body
12 weight of 129.9 ± 9.0 kg at 177 days of age, were used. The experimental diets were formulated
13 based on the ideal protein concept in a nutritional programme of four diets. Immunocastrated
14 pigs had lower feed intake, greater weight gain and better feed conversion in relation to
15 physically castrated pigs, but after the application of the second dose of the vaccine, there was
16 an increase in feed intake. There was a difference between the factorial methods used to
17 estimate the lysine requirement of growing and finishing pigs, especially considering lysine
18 deposition efficiency. According to the tested methods, entire males submitted to
19 immunocastration require a higher amount of lysine, compared with surgically castrated pigs.

20

21 **Keywords:** Factorial methods – Immunocastration – Lysine requirements – Swine.

22

23 **Introduction**

24 Pig diets with adequate amino acid levels may increase net revenue and reduce the
25 environmental impact of pig production (Rossi et al., 2013; Andretta et al., 2016). Supplying
26 amino acids levels above the requirements are deaminated, increasing the nitrogen content
27 excreted through the urine and impacting the sustainability of production (Pomar et al., 2009).

28 Formulating diets with adequate amino acids levels is a challenge for nutritionists, as
29 many factors may interfere with the digestible amino acid content of pig diets. From a didactic
30 perspective, these factors can be divided into two groups: those that directly influence the
31 requirements and those that affect the voluntary feed intake of the animal (Fraga et al., 2015).

32 The factorial method is widely used to estimate nutritional requirements and is
33 invariably incorporated into computational models of growth simulation, such as Inraporc®
34 (2008) and the National Research Council (NRC, 2012). For growing and finishing pigs, the
35 factorial method establishes requirements using the sum of the biological demands for
36 maintenance and body protein gain (Ceron et al., 2013).

37 The maintenance requirement considers the amino acids used for basal metabolic
38 activities, whereas the production requirement quantifies the amino acids for body protein gain
39 (NRC, 2012). Lysine is the first limiting amino acid for pig. Lysine requirements are minimally
40 affected by other metabolic functions, being almost exclusively used for protein deposition, for
41 this reason, this amino acid serves as a reference for the application of the pig ideal protein
42 concept (van Milgen and Dourmad, 2015).

43 Thus, the aim of this study was to compare the standardized ileal digestible (SID) lysine
44 requirements of castrated and immunocastrated pigs, estimated via three factorial methods
45 applied to animal performance data.

46

47 **Material and methods**

48 The procedures adopted to conduct this experiment were in accordance with the
49 provisions of Federal Law No. 11,794, of October 08, 2008, and Decree No. 6,899, of July 15,
50 2009, under case n° 2874110618 on the local Ethics Committee at Use of Animals (CEUA) of
51 Universidade Federal de Santa Maria.

52 This study was divided into two steps. In the first step, an experiment was carried to
53 evaluate the performance of surgically castrated and immunocastrated pigs. In the second step,
54 the performance data were used to evaluate the lysine requirements generated using three
55 factorial methods.

56

57 **Animals, equipment and feeding**

58 A total of 48 pigs (24 barrows and 24 immunocastrated) from a commercial line
59 (Agroceres x Topigs), with an average initial body weight of 29.3 ± 1.9 kg at 75 days of age
60 and final body weight of 129.9 ± 9.0 kg at 177 days of age, were used. The animals were
61 distributed in 24 pens (two animals per pen), with a compact concrete floor and equipped with
62 a semiautomatic feeder and nipple-type drinkers with height adjustments. The total area of each
63 pen was 4.50 m^2 ($1.50 \text{ m} \times 3.00 \text{ m}$), located in a pre-moulded shed, with side-curtains and an
64 aluminium-zinc alloy cover lined with polyethylene.

65 Experimental diets were balanced on the basis of the ideal protein concept (NRC, 2012)
66 in order not to limit pig performance. The nutritional programme consisted of four diets, with
67 decreasing levels of SID lysine: 1.00, 0.92, 0.88 and 0.79 % (Table 1) provided to all animals
68 at the following age periods: G1:75–98, G2: 99–126, F1:127–151 and F2: 152–177 days. Pigs
69 had free access to feed and water.

70 **Performance**

71 During the experimental period, the pigs were weighed individually twice weekly, at
72 intervals of 3 and 4 days, after fasting for 12 hours over-night. Feed leftovers were collected to
73 estimate feed intake. The immunocastration of entire males was performed by a technical team
74 (Vivax®, Zoetis, Brazil). The vaccination protocol consisted of the subcutaneous application of
75 2 ml (200 µg GnRH) of the vaccine; the first dose was given at 121 and the second dose at 149
76 days of age.

77 Pig body composition was determined by ultrasonography (Piglog-105®).
78 Measurements were taken at two points: the first point between the 3rd and 4th lumbar vertebra,
79 to measure backfat thickness, and the second point between the 3rd and 4th rib in the caudal-
80 cranial direction, to measure backfat thickness and the depth of the *Longissimus dorsi*, both 7
81 cm from the dorsum-lumbar line.

82

83 **Lysine requirements**

84 **Daily feed intake**

85 To establish individual feed intake, the average intake per pen and the average weight
86 of the animals in the pen were calculated. The relationship between these variables was
87 calculated through a regression equation, using the average intake per pen as the dependent
88 variable and the average live weight of the pen as an independent variable. Finally, to estimate
89 individual daily intake, the average weight of the pen was replaced by the daily weight of the
90 animal, obtained using the Gompertz function, as described below.

91

92 **Growth**

93 The weights of each pig were used to model individual growth using the Gompertz
94 function, according to the following formula: $BW = A \times \exp \{-\exp [-B \times (\text{age}-C)]\}$, where BW
95 is the body weight; A is the weight at maturity; B is the maturity rate; and C is the age at which
96 the rate of maximum tissue deposition occurs (Nascimento et al., 2017). Average daily gain
97 (ADG) was calculated using the relative growth rate, generated using the parameters A and B
98 from the animal growth curve in the model proposed by Gous et al. (1999), calculated as
99 follows: $ADG = B \times BW \times \ln (A / BW)$, where ln is the natural logarithm. The result of this
100 equation is expressed in grams per day and represents the gain of the animal at its respective
101 age.

102 **Protein and lipid growth**

103 Ultrasonography measurement of the backfat thickness (BT) of each pig was used to
104 obtain the body composition according to the equations described by Schiavon et al. (2007) and
105 Cesaro et al. (2013). Lipid mass (LM) was calculated as follows: $LM = [(9.17 + 0.7 \times BT) \times$
106 $BW / 100]$. To estimate the protein mass (PM), the following equation was used: $PM = (0.1277$
107 \times empty body weight - LM)^{1.11}. The empty body weight (EBW) was estimated by the following
108 equation: $EBW = BW \times 0.95$. The amount of ash and water were estimated in relation to the PM
109 of the carcass, in which ash = $(0.2 \times PM)$ and water = $(5.193 \times PM^{0.855})$. The weight of the body
110 components over time was used to generate protein and lipid tissue deposition curves, using the
111 Gompertz function (Gous et al., 1999).

112

113 **Methods for the estimation of lysine**

114 In order to estimate the digestible lysine daily requirement (LDR) for two sex categories
115 (SC) during the growing and finishing phases, three factorial methods were used (Table 2). The
116 SID lysine ($g \text{ day}^{-1}$) was obtained by summing the maintenance and body protein gain
117 requirements of each animal.

118 In method 1 (MET1), a Brazilian method proposed by the Federal University of Viçosa,
119 $36 \text{ mg kg}^{-1} BW^{0.75}$ (Wang and Fuller, 1989) is used for the lysine requirement for maintenance.
120 The requirement of SID lysine for production is obtained by a second order polynomial equation
121 derived from empirical experiments as a function of body weight (BW); the result is multiplied
122 by the average daily gain (ADG). For barrows (PC) pigs, the following equation is used to
123 estimate the LDR: $LDR = [(16.664 + 0.0736 \times BW - 0.0003 \times BW^2) \times ADG]$; for entire males
124 submitted to immunocastration (IC), the following equation is used: $LDR = [(15.795 + 0.142 \times$
125 $BW - 0.0008 \times BW^2) \times ADG]$ (Rostagno et al., 2017).

126 In method 2 (MET2), a French method proposed by the Institut National de la Recherche
127 Agronomique, the SID lysine requirement for maintenance is calculated by the sum of the basal
128 endogenous losses (0.313 g.kg^{-1} of dry matter intake), protein turnover ($23.9 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$)
129 and tegumentary losses ($4.5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ BW}^{0.75}$). The SID lysine requirement for production is
130 calculated by multiplying the daily body protein gain (g.day^{-1}), by the amount of lysine in
131 protein (6.96%) and the efficiency of lysine utilisation (72%). To meet the requirements of most
132 of the pig population, total lysine requirements was increased by 10% (van Milgen et al., 2008).

133 In method 3 (MET 3), an American method proposed by the Committee on Nutrient
134 Requirements of Swine Board on Agriculture and Natural Resources Division on Earth and Life
135 Studies, the SID lysine requirement for maintenance is calculated by the sum of the basal
136 endogenous losses (0.417 g.kg^{-1} of dry matter intake) and tegumentary losses (4.5 mg.kg^{-1}
137 $\text{BW}^{0.75}$).

138 The requirement of SID lysine for production uses the deposition of protein (PD; g.day^{-1})
139 multiplied by the amount of lysine in the protein (7.10%) and its efficiency of use (75%),
140 with a correction factor of (0.2%) in the efficiency of use, when the maximum value of the PD
141 found, is different from 147.7 g. Moreover, this value is empirically adjusted in relation to the
142 deposition efficiency variability between the animals, considering their body weight ($1 +$
143 $0.0547 + 0.002215 \times \text{BW}$) (NRC, 2012).

144

145 **Statistical analysis**

146 Statistical analyses were performed using the Minitab® statistical program (2018). Data
147 obtained from performance between sexual categories and observed and estimated intakes were
148 submitted to analysis of variance using the general linear model procedure with significance
149 level of 5%. A 2x3 factorial analysis was performed per period (sexual category x standard

150 digestible lysine requirement methods) for SID lysine estimates. In the case of a significant P,
151 the differences between the treatment were compared by Fisher's test 5%.

152

153 **Results**

154 **Animal performance**

155 The average daily feed intake (ADFI) was higher ($P<0.05$) for PC pigs in all studied
156 phases, except in the last phase, in which the IC pigs had a higher feed intake ($P<0.05$) (Table
157 3). Over the total period, the ADFI of PC pigs was 10.1% higher than that of the IC pigs. The
158 ADG was higher ($P<0.05$) in phase 1 for the PC pigs, while in the other phases and over the
159 total period, the ADG of IC pigs was higher ($P<0.05$). The feed to gain ratio (F:G) of the PC
160 pigs was higher ($P<0.05$) during all phases, requiring a 19.6% higher feed supply than the IC
161 pigs, considering the total period.

162

163 **Lysine requirement**

164 The average values for the lysine requirements according to method and phase are
165 shown in Table 4. In phase 1, the LDR obtained using MET1 was higher than that obtained
166 from MET2 and this was in turn higher than that from MET3 for both PC and IC pigs. MET1
167 indicated a higher lysine requirement for PC pigs, while in MET2 and MET3, the LDR did not
168 differ statistically between the sexual categories. For PC pigs, MET1 (17.7 g/day^{-1}) estimated
169 a LDR that was 17.3 and 23.9% higher than MET2 (15.1 g/day^{-1}) and MET3 (14.3 g/day^{-1}),
170 respectively. Meanwhile, for IC pigs, MET1 (17.3 g/day^{-1}) produced a LDR that was 14.8 and
171 19.2% higher than that from MET2 (15.0 g/day^{-1}) and MET3 (14.5 g/day^{-1}), respectively.

172 In phase 2, the LDR was higher ($P<0.05$) when estimated by MET1; no difference was
173 detected between MET2 and MET3. The evaluated methods indicated that IC pigs had a higher
174 lysine requirement; by MET1 (22.6 g/day^{-1}), the LDR was 27.5 and 29.6% higher compared to

175 by MET2 (18.6 g/day^{-1}) and MET3 (18.6 g/day^{-1}) for this sexual category. In PC pigs, the
176 LDR was 21.7 and 21.5% higher by MET1 (22.1 g/day^{-1}) compared to by MET2 (17.3 g/day^{-1})
177 and MET3 (17.0 g/day^{-1}), respectively.

178 The results of phase 3 indicated that MET1 estimated a higher ($P<0.05$) LDR than the
179 others methods for the two studied sexual categories. In PC pigs, there were no differences
180 between MET2 and MET3, while for IC pigs, MET3 resulted in a higher LDR than MET2. At
181 this phase, for PC pigs, MET1 (24.0 g/day^{-1}) estimated a LDR that was 39.2 and 36.5% higher
182 than MET2 (17.3 g/day^{-1}) and MET3 (17.6 g/day^{-1}), respectively. For IC pigs, the LDR
183 calculated using MET1 (26.5 g/day^{-1}) was 31.9 and 26.2% higher than that calculated using
184 MET2 (20.0 g/day^{-1}) and MET3 (20.1 g/day^{-1}).

185 During phase 4, MET1 resulted in a higher LDR estimate, both for PC and IC pigs. The
186 estimates generated by MET3 were higher than those obtained by MET2 for both sexual
187 categories. Following the tendency of phases 2 and 3, all the methods indicated that the IC pigs
188 had a higher lysine requirement than the PC pigs. In phase 4, for PC pigs, MET1 (23.6 g/day^{-1})
189 generated LDR levels that were 49.3 and 42.6% higher than MET2 (15.8 g/day^{-1}) and MET3
190 (16.6 g/day^{-1}), respectively. For IC pigs, lysine requirements estimated using MET1 (28.1
191 g/day^{-1}) were 42.4 and 31.3% higher than those from MET2 (19.7 g/day^{-1}) and MET3 (21.4
192 g/day^{-1}).

193 When considering the total period, MET1 led to the highest estimate of LDR for both
194 sexual categories. There was no difference ($P<0.05$) between the LDR calculated by MET2 and
195 MET3 for PC pigs. For IC pigs, MET3 resulted in a higher LDR than MET2. In general, the
196 LDR estimated by MET1 (21.9 ; 23.7 g/day^{-1}) was 33.6% higher than by MET2 (16.4 g/day^{-1})
197 and MET3 (16.4 g/day^{-1}) for PC pigs, and 28.7 and 25.2% higher than by MET2 (18.4 g/day^{-1})
198 and MET3 (18.9 g/day^{-1}) for IC pigs, respectively.

199

200 **Discussion**

201 **Performance**

202 The ADFI for IC pigs, in the first three phases, was in agreement with that found by
203 other authors for animals with a similar weight range (Fàbrega et al., 2010; van den Broeke et
204 al., 2016). Testosterone is known to be present in uncastrated piglets during the first months of
205 life; this hormone reduces appetite, interfering with feed intake, which may be the cause of the
206 lower ADFI observed in this sexual category (Campbell and Taverne, 1988; Schwarzenberger
207 et al., 1993; Pauly et al., 2009).

208 The ADFI results from phase 4, in which there was an increase in feed intake in IC pigs,
209 have already been demonstrated in studies by Moraes et al. (2010) and Batorek et al. (2012).
210 The growth rate and tissue deposition of pigs is genetically pre-defined, but this cannot be
211 expressed if restrictions are imposed (Ferguson and Theeruth, 2002). The estrogens and
212 androgens levels observed in entire males limit their intake and lipid retention. After the second
213 dose of the immunocastration vaccine, hormone levels are reduced, removing the limiting
214 factors and increasing the dry matter intake and lipid deposition in the carcass (Bauer et al.,
215 2009; Fàbrega et al., 2010; Huber et al., 2016).

216 The high ADG for PC pigs during phase 1 may be related to two main factors: a) a
217 higher ADFI, IC pigs having more active social behaviour, which decreases the time spent
218 feeding; b) the similar potential for protein deposition between boars and barrows at this early
219 stage of growth, which would lead to the energy surplus in barrows, being deposited as fat
220 (Pauly et al., 2009; Weiler et al., 2013). In the following phases, the IC pigs demonstrated a
221 higher ADG, probably by higher potential for protein deposition in relation to the PC pigs.
222 (Carabús et al., 2017; Monteiro et al., 2018).

223 The F:G was higher in IC than PC pigs in all phases, this result is similar to those found
224 by Morales et al. (2013) and van den Broeke et al. (2016). Lipid deposition, in the same

225 proportions as protein, requires more energy. According to the tissue deposition observed in the
226 sexual categories, the protein deposition in IC pigs was higher than in PC pigs, influencing feed
227 conversion efficiency (Noblet et al., 1999; van Milgen and Noblet 2003; Kil et al., 2013).

228

229 **Lysine requirement**

230 In all studied phases, MET1 estimated the highest digestible lysine requirement,
231 regardless of sex category. The factorial method to estimate amino acid requirements for
232 growing pigs considers two factors in its estimation: maintenance and protein deposition. To
233 calculate maintenance requirements, MET1 uses an empirical value based on body weight, as
234 suggested by Wang and Fuller (1989), whereas MET2 and MET3 estimate the maintenance
235 requirement using a mechanistic approach (Table 2). However, when comparing the amount of
236 lysine required for maintenance according to the three methods, the values obtained by MET1
237 were the smallest and, therefore, the maintenance requirement was not responsible for the
238 higher estimates by this method (Figure 1).

239 The requirements for lysine deposition are estimated by MET1 from body weight and
240 ADG, using a second-degree equation that provides an overall estimate of lysine content in
241 weight gains and the efficiency of digestible lysine utilization. Methods 2 and 3 provide
242 estimates of the lysine content of deposited protein and the efficiency of digestible lysine
243 utilization, but daily protein deposition is the baseline for calculations and should be known
244 beforehand (van Milgen et al., 2008; NRC, 2012; Rostagno et al., 2017).

245 Therefore, in order to compare the methods, it was assumed that 96% of the ADG is
246 ADG_{empty}, gain where blood and visceral weights in animals are excluded, 17% of the ADG_{empty}
247 is protein and 7% of this protein is represented by lysine. Based on this premise, the efficiency
248 of digestible lysine utilisation in PC and IC pigs, considering all phases, should be
249 approximately 0.50 and 0.55 to justify the 21.9 and 23.7 grams of lysine that were

250 recommended by MET1 (Table 4). At the same conditions, the efficiency values would be 0.67
251 and 0.70 for PC and IC pigs by MET2 and 0.67 and 0.68 for PC and IC pigs by MET3.

252 The efficiency of using a limiting amino acid, ingested above maintenance, is dependent
253 on the intensity of the inevitable catabolism that occurs at the cellular level (Moughan and
254 Rutherford, 1996). Experimental evidence indicates that lysine ingested above maintenance is
255 deposited with about 75% efficiency (Moehn et al., 2004); nonetheless, inter-individual
256 variation implies a reduction in efficiency when it is considered over the population (Pomar et
257 al., 2003).

258 Through a literature review, Susenbeth (1995) estimated a lysine utilisation efficiency
259 of 0.55 for total lysine ingested above maintenance. Adjusting this value to the digestibility
260 coefficient of 0.875 (Sauvant et al., 2004), the lysine utilisation efficiency would be 0.63. The
261 factor that determined the difference in lysine estimated between MET2 and MET3 was the
262 method through which the efficiency of use of this amino acid was estimated. While MET2
263 assigns a standard value of utilisation efficiency during the whole pig's life, MET3 uses a
264 correction factor that implies a reduction of the utilisation efficiency as the pig grows (NRC,
265 2012; van Milgen and Dourmad, 2015).

266 Considering the sexual category, the highest ADG observed in PC pigs during phase 1
267 is possibly the reason why MET1 provides higher estimates of lysine requirements for this
268 category. On the other hand, MET2 and MET3 produced no differences in lysine estimations
269 between sexual category, because to the fact that PC and IC pigs had similar average protein
270 deposition (APD) during this phase (Table 3). In the subsequent phases, APD could also explain
271 the higher amount of lysine estimated for the IC pigs according to all methods. Several
272 experimental results confirm that the LDR levels of IC pigs are higher than those of PC pigs,
273 as proposed by Dunshea et al. (2013).

274 The digestible lysine requirement above maintenance can be obtained through the
275 factorial method which usually considers information about the daily rate of protein deposition,
276 lysine content in the deposited protein and the post-absorptive efficiency of digestible lysine
277 utilization. It is common to attribute to these variables values that represent the average animal
278 of a population for which the requirement will be applied. In this way, the variability between
279 individuals is not considered and the lysine requirements are underestimated in a magnitude
280 directly proportional to the population variability (Hauschild et al., 2010; NRC, 2012).

281 According to empirical estimates the variability among individuals in lysine
282 requirement is around 10 to 12% (Bertolo et al., 2005; Heger et al., 2009). To deal with
283 individual variability, the methods evaluated in this study use different approaches each one
284 resulting in a specific lysine requirement. Thus, the knowledge of between animal variability
285 in a given population of pigs may improve the definition of lysine requirements using the
286 factorial method.

287

288 **Conclusion**

289 Immunocastrated pigs have lower feed intake, greater weight gain and better feed
290 conversion, in relation to physically castrated pigs, but after the application of the second dose
291 of the vaccine, there is an increase in feed intake. There is a difference between the factorial
292 methods used to estimate the lysine requirement for growing and finishing pigs, especially
293 considering efficiency of lysine utilisation for growth. According to the tested methods, entire
294 males submitted to immunocastration require a higher amount of lysine, in relation to the
295 physically castrated pigs.

296

297

298

299 **Acknowledgements**

300 This study was carried out with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento
301 de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 and the financial support of
302 the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, process
303 425055/2016-7).

304

305 Table 1 - Composition and calculated nutritional values of the diets fed to pigs in the growing
 306 and finishing phases

Ingredients	Diets, %			
	G1	G2	F1	F2
Corn	64.48	68.13	69.74	75.14
Soybean meal (46% CP)	30.41	27.03	25.46	21.83
Soya oil	1.94	1.79	1.73	0.40
L-Lysine	0.32	0.31	0.29	0.27
DL-Methionine	0.14	0.11	0.13	0.07
L-Threonine	0.11	0.09	0.10	0.07
Limestone	0.74	0.77	0.78	0.76
Dicalcium phosphate	1.33	1.20	1.19	0.92
Salt	0.43	0.48	0.48	0.45
Mineral premix ¹	0.05	0.05	0.05	0.05
Vitamin premix ²	0.05	0.05	0.05	0.05
Composition nutritional and energy	G1	G2	F1	F2
Crude Protein, %	18.85	17.61	16.77	15.81
Metabolizable energy (ME), MJ·kg ⁻¹	13.82	13.82	13.82	13.60
SID lysine (Lys), %	1.00	0.92	0.88	0.79
Lys: ME, (g·MJ ⁻¹)	0.73	0.66	0.64	0.57
Calcium, %	0.70	0.67	0.64	0.59
Standardized phosphorus, %	0.35	0.33	0.32	0.28
Sodium, %	0.17	0.19	0.19	0.18

307 G1- 24 days (30-50kg); G2- 28 days (50-80kg); F1- 25 days (80-105kg) e F2- 26 days (105-
 308 130kg); ¹Composition per kg of product: calcium: 98.800mg; cobalt: 185mg; copper:
 309 15.750mg; iron: 26.250mg; iodine: 1.470mg; manganese: 41.850mg; zinc: 77.999mg;
 310 selenium: 105mg; ² Composition per kg of product: folic acid: 116.55mg; pantothenic acid:
 311 2.333mg; biotin: 5.28mg; niacin: 5.600mg; pyridoxine: 175mg; riboflavin: 933.3mg; thiamine:
 312 175mg; Vit. A: 1.225.000 U.I.; Vit. D3: 315.000 U.I.; Vit. E: 1.400mg; Vit. K3: 700mg; Vit.
 313 B12: 6.825mg.

314 Table 2- Factorial methods used to estimate the standard digestible lysine requirement ($\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$
 315 1)

Method (Reference)	Partition	Equation
1 (Rostagno et al., 2017)	Maintence Body protein gain	$0.036 \times \text{BW}^{0.75}$ $\text{PC} = (16.664 + 0.0736 \times \text{BW} - 0.0003 \times \text{BW}^2) \times \text{ADG}$ $\text{IC} = (15.795 + 0.142 \times \text{BW} - 0.0008 \times \text{BW}^2) \times \text{ADG}$
2 (van Milgen et al., 2008)	Maintence Body protein gain	$(0.0239 \times \text{BW}^{0.75}) + (0.0045 \times \text{BW}^{0.75}) + (0.313 \times \text{DMI})$ $(\text{PD} \times (0.0696 / 0.72))$
3 (NRC, 2012)	Maintence Body protein gain	$(\text{FI} \times (0.417 \times \text{DMI} \times 1.1) + (0.0045 \times \text{BW}^{0.75}))$ $(\text{PD} \times 0.071 / (0.75 + 0.002 \times (\text{PDMAX} - 147.7))) \times (1 + 0.0547 + 0.002215 \times \text{BW})$

316 BW: Body Weight (kg); ADG: Average Daily Gain (kg); DMI: Dry Matter Intake ($\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$);
 317 PD: Protein Deposition ($\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$); FI: Feed Intake ($\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$); PDMAX: Maximum Protein
 318 Deposition ($\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$); PC: Physically castrated male pig; IC: Immunologically castrated male
 319 pig.

320

321 Table 3 - Performance of barrows and entire males pigs submitted to immunocastration

Trait	Phase	Barrows	Immunocastrated	SEM	p-value
ABW, kg	1	40.99	40.77	0.164	0.348
	2	65.47	65.20	0.206	0.350
	3	91.80	93.10	0.224	< 0.001
	4	115.74	120.35	0.243	< 0.001
ADFI, kg	1	1.77	1.50	0.005	< 0.001
	2	2.37	1.86	0.030	< 0.001
	3	2.90	2.54	0.008	< 0.001
	4	3.29	3.48	0.012	< 0.001
	T	2.59	2.35	0.009	< 0.001
ADG, kg	1	0.87	0.85	0.002	< 0.001
	2	0.99	1.01	0.002	< 0.001
	3	0.98	1.08	0.002	< 0.001
	4	0.89	1.05	0.003	< 0.001
	T	0.93	1.00	0.001	< 0.001
F:G, kg·kg ⁻¹	1	2.03	1.78	0.005	< 0.001
	2	2.40	1.85	0.005	< 0.001
	3	2.97	2.37	0.007	< 0.001
	4	3.74	3.34	0.013	< 0.001
	T	2.79	2.34	0.009	< 0.001
APD, kg·day ⁻¹	1	0.132	0.132	0.001	0.975
	2	0.149	0.162	0.001	< 0.001
	3	0.145	0.172	0.001	< 0.001
	4	0.129	0.165	0.001	< 0.001
	T	0.139	0.158	0.000	< 0.001

322 ABW: Average Body Weight (kg), ADFI: Average Daily Feed Intake (kg), ADG: Average
 323 Daily Gain (kg), F:G Feed Intake per Gain (kg·kg⁻¹), APD: Average Protein Deposition (kg·day⁻¹), SEM: Standard error medium; We used information from 48 pigs, 24 barrows and 24 boars
 324 immunocastrated, with average initial body weight of 29.3 ± 1.9 kg and final body weight of
 325 129.9 ± 9.0 kg; Phase 1- 24 days (30-50kg); Phase 2- 28 days (50-80kg); Phase 3- 25 days (80-
 326 105kg); Phase 4- 26 days (105-130kg); Total period- 102 days (30-130kg).
 327
 328

329 Table 4 - Evaluation of the SID lysine requirement ($\text{g}\cdot\text{day}^{-1}$), for different sexual category in
 330 relation to the period

Period	Method	SC		SEM	SC	MET	p-value
		Barrows	Immunocastrated				
Phase 1 30-50 kg	1	17.7 ^{aA}	17.3 ^{aB}	0.06	NS	***	*
	2	15.1 ^{bA}	15.0 ^{bA}				
	3	14.3 ^{cA}	14.5 ^{cA}				
	SEM		0.05				
	1	22.1 ^{aB}	22.6 ^{aA}	0.06	***	***	***
	2	17.3 ^{bB}	18.6 ^{bA}				
	3	17.0 ^{bB}	18.6 ^{bA}				
Phase 2 50-80 kg	SEM		0.05				
	1	24.1 ^{aB}	26.5 ^{aA}	0.07	***	***	***
	2	17.3 ^{bB}	20.1 ^{cA}				
	3	17.6 ^{bB}	21.0 ^{bA}				
	SEM		0.05				
	1	23.6 ^{aB}	28.1 ^{aA}				
Phase 3 80-100 kg	2	15.8 ^{cB}	19.7 ^{cA}	0.08	***	***	*
	3	16.6 ^{bB}	21.4 ^{bA}				
	SEM		0.07				
	1	21.9 ^{aB}	23.7 ^{aA}	0.05	***	***	***
	2	16.4 ^{bB}	18.4 ^{cA}				
	3	16.4 ^{bB}	18.9 ^{bA}				
	SEM		0.04				

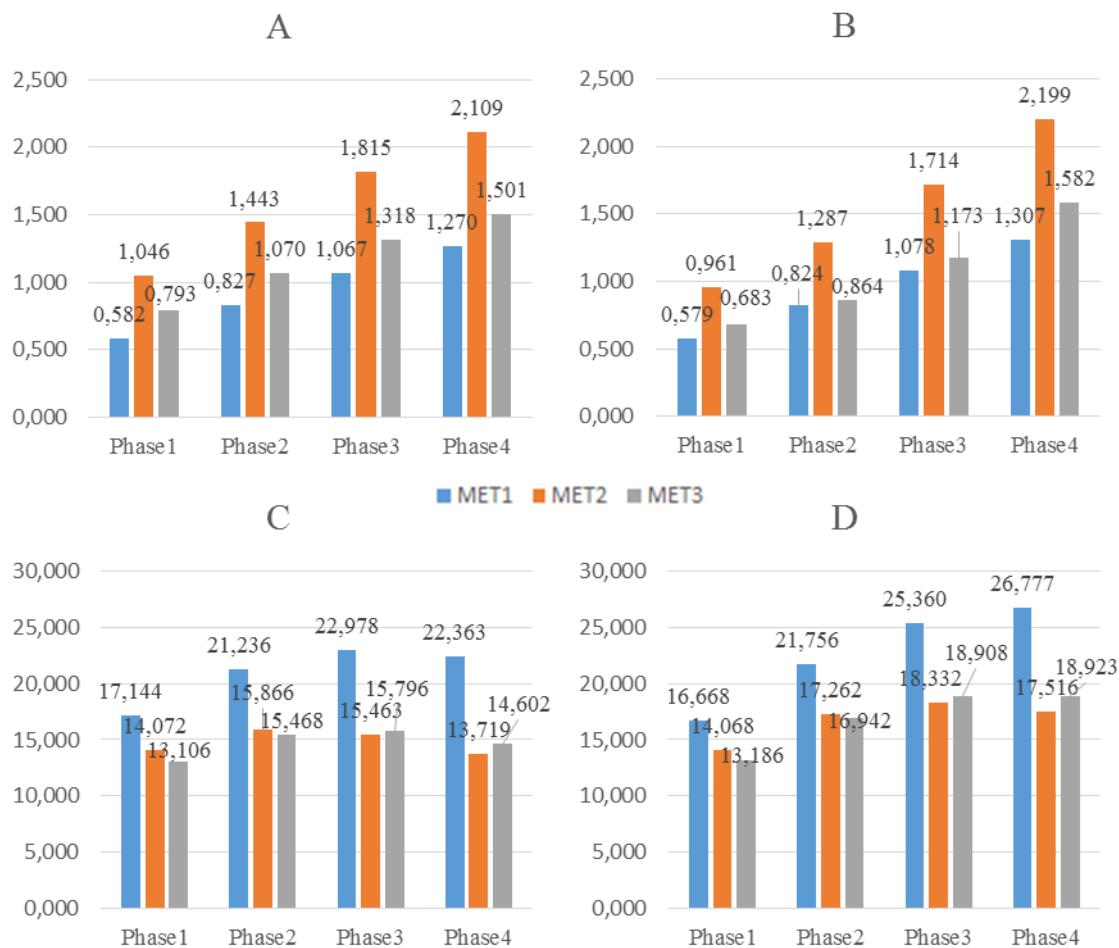
331 SEM: Standard error medium; SC: Sexual category; MET: Method; SC*MET:
 332 Interaction between sexual category and method; MET1: a Brazilian method proposed by the
 333 Federal University of Viçosa; MET2: a French method proposed by the Institut National de la
 334 Recherche Agronomique; MET3: an American method proposed by the Committee on Nutrient
 335 Requirements of Swine Board on Agriculture and Natural Resources Division on Earth and Life
 336 Studies; The uppercase letter compares line (sexual category) and the lowercase letter compares
 337 the column (method); p-values represented by: *** P<0.001; ** P<0.01; * P<0.05; NS P>0.05.
 338

339

340

341

342



343
344 Figure 1. Standard digestible lysine requirements ($\text{g}.\text{day}^{-1}$) for protein maintenance (A and B)
345 and body protein gain (C and D) from barrows and immunocastrated pigs, respectively.
346

347 References

- 348
349
350 Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., Radünz, J., 2016. Precision feeding can
351 significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the
352 performance of growing pigs. *Animal*. 10, 1137-1147.
353
354 Batorek, N., Candek-Potokar, M., Bonneau, M., van Milgen, J., 2012. Meta-analysis of the
355 effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint
356 compounds in pigs. *Animal*. 6, 1330-1338.
357
358 Bauer, A., Lacorn, M., Claus, R., 2009. Effects of two levels of feed allocation on IGF-I
359 concentrations and metabolic parameters in GnRH-immunized boars. *Journal of Animal
360 Physiology and Animal Nutrition*. 93, 744–753.
361
362 Bertolo, R.F., Moehn, S., Pencharz, P.B., Ball, R.O., 2005. Estimate of the variability of the
363 lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. *Journal
364 of Animal Science*. 83, 2535-2542.
365

- 366 Campbell, R.G., Taverner, M.R., 1988. Genotype and sex effects on the relationship between
367 energy intake and protein deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 66, 676-686.
- 368 Carabús, A., Sainz, R.D., Oltjen, J.W., Gispert, M., Font-i-Furnols, M.. 2017. Growth of total
369 fat and lean and of primal cuts is affected by the sex type. *Animal*. 11, 1321-1329.
- 370
- 371 Ceron, M.S., Oliveira, V., Lovatto, P.A., Vale, M.M., 2013. Maintenance requirement and
372 deposition efficiency of lysine in pigs. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 48, 1269-1274.
- 373
- 374 Cesaro, G., Gallo, L., Carraro, L., Tagliapietra, F., Bunger, L., Schiavon, S., 2013. Energy
375 balance estimated from individual measurements of body weight and backfat thickness of heavy
376 pigs of four genetic lines fed different diets. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 78, 221-224.
- 377
- 378 Dunshea, F.R., Allison, J.R.D., Bertram, M., Boler, D.D., Brossard, L., Campbell, R. G., Crane,
379 J.P., Hennessy, D.P., Huber, L., de Lange, C.F.M., Ferguson, N., Matzat, P., McKeith, F.,
380 Moraes, P.J.U., Mullan, B.P., Noblet, J., Quiniou, N., Tokach, M., 2013. The effect of
381 immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: a review. *Animal*. 7, 1769-
382 1778.
- 383
- 384 Fàbrega, E., Velarde, A., Cros, J., Gispert, M., Suárez, P., Tibau, J., Soler, J., 2010. Effect of
385 vaccination against gonadotrophin-releasing hormone, using Improvac®, on growth
386 performance, body composition, behavior and acute phase proteins. *Livestock Science*. 132,
387 53-59.
- 388
- 389 Fraga, B.N., Lovatto, P.A., Rorato, P.R.N., Oliveira, V., Rossi, C.A.R., Lehnen, C.R., 2015.
390 Modeling performance and nutritional requirements of pigs lots during growth and finishing.
391 *Ciência Rural*. 45, 1841-1847.
- 392
- 393 Ferguson, N.S., Theeruth, B.K., 2002. Protein and lipid deposition rates in growing pigs
394 following a period of excess fattening. *South African Journal of Animal Science*. 32, 97-105.
- 395
- 396 Gous, R.M., Moran, E.T.J.R., Stilborn, H.R., Bradford, G.D., Emmans, G.C., 1999. Evaluation
397 of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth
398 of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry Science*. 78, 812-821.
- 399
- 400 Hauschild, L., Pomar, C., Lovatto, P. A., 2010. Systematic comparison of the empirical and
401 factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal*. 4(5),
402 714-723.
- 403
- 404 Heger, J., Krizová, L., Sustala, M., Nitrayová, S., Patrás, P., Hampel, D., 2009. Individual
405 response of growing pigs to lysine intake. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*.
406 93, 538-546.
- 407
- 408 Huber, L., Squires, E.J., de Lange, C.F.M., Plasma concentrations of hormones and growth
409 factors in entire male pigs immunized against gonadotropin releasing hormone, *Can. J. Anim.
410 Sci.* 97, 2016, 526–529.
- 411
- 412 Kil, D.Y., Kim, B.G., Stein, H.H., 2013. Feed energy evaluation for growing pigs. *Asian
413 Australas Journal Animal Science*. 26, 1205-1217.
- 414

- 415 Moehn, S., Ball, R.O., Fuller, M.F., Gillis, A.M., de Lange, C.F.M., 2004. Growth potential,
416 but not body weight or moderate limitation of lysine intake, affects inevitable lysine catabolism
417 in growing pigs. *Journal of Nutrition.* 134, 2287-2292.
- 418
- 419 Moughan, P.J., Rutherford, S.M., 1996. A new method for determining digestible reactive
420 lysine in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 44, 2202–2209.
- 421
- 422 Monteiro, A.N.T.R., Huepa, L.M.D., Castilha, L.D., Pozza, P.C., 2018. Síntese proteica em
423 suínos: como fêmeas, machos não castrados e castrados respondem a este processo? *Pubvet.*
424 12, 1-10.
- 425
- 426 Moraes, E., Kiefer, C., Silva, I.S., 2010. Ractopamina em dietas para suínos machos
427 imunocastrados, castrados e fêmeas. *Ciência Rural.* 40, 409-414.
- 428
- 429 Morales, J.I., Serrano, M.P., Câmara, L., Berrocoso, J.D., López, J.P., Mateos, G.G., 2013.
430 Growth performance and carcass quality of immunocastrated and surgically castrated pigs from
431 crossbreds from Duroc and Pietrain sires. *Journal of Animal Science.* 91, 3955-3964.
- 432
- 433 Nascimento, C.A.M.S., Ribeiro, M.N., Rocha, L.L., Lucena, L.R.R., 2017. Avaliação de curvas
434 de crescimento em suínos. *Archivos de Zootecnia.* 66, 317-323.
- 435
- 436 National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements of swine. 11th Rev ed.
437 Washington (DC): National Academies Press, National Research Council.
- 438
- 439 Noblet, J., Karege, C., Dubois, S., and van Milgen, J., 1999. Metabolic Utilization of Energy
440 and Maintenance Requirements in Growing Pigs: Effects of Sex and Genotype. *Journal of*
441 *Animal Science.* 77, 1208-1216.
- 442
- 443 Pauly, C., Spring, P., O'Doherty, J.V., Kragten, S.A., Bee, G., 2009. Growth performance,
444 carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated
445 (Improvac_R) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal.* 3, 1057-
446 1066.
- 447
- 448 Pomar, C., Kyriazakis, I., Emmans, G.C., Knap, P.W., 2003. Modeling stochasticity: Dealing
449 with populations rather than individual pigs. *Journal of Animal Science.* 81, 178-186.
- 450
- 451 Pomar, C., Hauschild, L., Zhang, G-H., Pomar, J., Lovatto, P.A., 2009. Applying precision
452 feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 38,
453 226-237.
- 454
- 455 Rossi, C.A.R., Lovatto, P.A., Lehnen, C.R., Fraga, B.N., Lovato, G.D., Ceron, M.S., 2013.
456 Dietas ajustadas para suínos através do modelo InraPorc®: desempenho, características de
457 carcaça e impacto econômico. *Ciência Rural.* 43, 689-695.
- 458
- 459 Rostagno, H.S., Albino, L.F.T., Hannas, M.I., Donzele, J.L., Sakomura, N.K., Perazzo, F.G.,
460 Saraiva, A., de Abreu, M.L.T., Rodrigues, P.B., de Oliveira, R.F., Barreto, S.L.T., Brito, C.O.,
461 2017. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: Composição de Alimentos e Exigências
462 Nutricionais. Viçosa (MG): Universidade Federal de Viçosa impresso.
- 463

- 464 Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. Tablas de composición y de valor nutritivo de las
465 materias primas destinadas a los animales de interés ganadero: cerdos, aves, bovinos, ovinos,
466 caprinos, conejos, caballos, peces. Mundi-Prensa, Madrid.
- 467
- 468 Schiavon, S., Gallo, L., Carnier, P., Tagliapietra, F., Ceolin, C., Prandini, A., Piva, A., 2007.
469 Use of simple body measurements and allometry to predict the chemical growth and feed intake
470 in pigs. *Italian Journal of Animal Science.* 6, 27-44.
- 471
- 472 Schwarzenberger, F., Toole, G.S., Christie, H.L., Raeside, J.I., 1993. Plasma levels of several
473 androgens and estrogens from birth to puberty in male domestic pigs. *Acta Endocrinologica.*
474 128, 173-177.
- 475
- 476 Susenbeth, A., 1995. Factors affecting lysine utilization in growing pigs: an analysis of
477 literature data. *Livestock Production Science.* 43, 193-204.
- 478
- 479 van den Broeke, A., Leen, F., Aluwé, M., Ampe, B., van Meensel, J., Millet, S., 2016. The
480 effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation
481 in boars, barrows, and gilts. *Journal of Animal Science.* 94, 2811–2820.
- 482
- 483 van Milgen, J., Noblet, J., 2003. Partitioning of energy intake to heat, protein and fat in growing
484 pigs. *Journal of Animal Science.* 81, 86-93.
- 485
- 486 van Milgen, J., Valancogne, A., Dubois, S., Dourmad, J.Y., Sèvre, B., Noblet, J., 2008. InraPorc:
487 a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. *Animal Feed Science and*
488 *Technology.* 143, 387–405.
- 489
- 490 van Milgen, J., Dourmad, J.Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal*
491 *of Animal Science and Biotechnology.* 6, 15-26.
- 492
- 493 Wang, T.C., Fuller, M.F., 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs: I.
494 experiments by amino acid deletion. *British Journal of Nutrition.* 62, 77-89.
- 495
- 496 Weiler, U., Gotz, M., Schmidt, A., Otto, M., Muller, S., 2013. Influence of sex and
497 immunocastration on feed intake behavior, skatole and indole concentrations in adipose tissue
498 of pigs. *Animal.* 7, 300-308.
- 499
- 500
- 501
- 502
- 503
- 504
- 505
- 506
- 507
- 508

4 ARTIGO - EVALUATION OF CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY, WITH CONSUMER SENSORIAL ANALYSIS OF MEAT FROM SURGICALLY CASTRATED AND IMMUNOCASTRATED MALE PIGS

Esta sessão é apresentada de acordo com as normas para publicação na revista **MEAT SCIENCE** (ISSN: 0309-1740).

1 **Evaluation of carcass characteristics and meat quality, with consumer sensorial analysis**
2 **of meat from surgically castrated and immunocastrated male pigs**

3

4 **Abstract**

5 The aim of this study was to evaluate carcass traits, meat quality, and the weight of the main
6 cuts, and to conduct a consumer sensorial evaluation to compare the acceptability of products
7 from immunocastrated and surgically castrated pigs. Forty-eight male pigs were assigned
8 equally to two experimental groups: surgically castrated males (MC) and immunocastrated
9 males (MI). Pigs were slaughtered at an average of 177 days old. Average slaughter weight
10 (SW) of MC was 127.8 (\pm 6.5) and of MI 135.1 (\pm 7.8) kg. We evaluated, carcass and meat
11 quality characteristics, water holding capacity and consumer acceptability. MI had higher
12 slaughter weight, lower carcass yield, lower water-holding capacity, lighter and less reddish
13 meat than surgically castrated males, however, the shear force was similar. The carcass bonus
14 index and the weight of pig cuts (of highest importance to the meat industry) were higher for
15 immunocastrated males. Sensorial analysis of consumers showed there was no difference in
16 acceptability of "salsichão" and cured coppa.

17

18 **Keywords:** Barrows - Carcass – Immunocastration - Meat quality - Sensory quality - Swine.

19

20 **Introduction**

21 Gonadectomy, performed in male pigs intended for slaughter, aims to reduce sexual
22 odor in the carcasses of animals. However, surgical castration without anesthesia or analgesia
23 has been questioned, as it causes stress and compromises the welfare of the piglets. Therefore,
24 technological alternatives, such as immunocastration, have gained popularity in the pig-rearing
25 industry (Martins, Albuquerque, Machado, & Mesquita 2013).

26 Immunocastration is performed via a vaccine that induces the formation of specific
27 antibodies that bind to and neutralize GnRH, reducing activity in the hypothalamic-pituitary-
28 gonadal axis (Thun, Gajewski, & Janett, 2006). This vaccine causes a reduction of the gonads
29 and decreases the levels of skatole and androstenone in the adipose tissue, minimizing the
30 sexual odors of the carcass (Dunshea et al., 2013).

31 Skatole and androstenone are the main precursors of porcine sexual odor. Skatole is
32 caused by bacterial degradation of tryptophan in the large intestine and has a feces-like odor;
33 androstenone is a testicular steroid with a urine-like odor (Zamaratskaia & Squires 2009). In
34 addition to removing these odors from the carcass, immunocastration improves animal welfare
35 and weight gain during fattening periods (Weiler, Gotz, Schimidt, Otto, & Muller, 2013; van
36 den Broeke, Leen, Aluwé, Ampe, van Meensel, & Millet, 2016).

37 According to Batorek, Candek-Potokar, Bonneau, & van Milgen (2012),
38 immunocastration often results in inconsistencies in meat quality and carcass characteristics,
39 and other variables of interest to the pork industry are usually not evaluated. Therefore, the aim
40 of this study was to evaluate carcass traits and bonus indexes, meat quality, and weight of the
41 main cuts, and to conduct a consumer sensorial evaluation to test the acceptability of products
42 from pigs immunocastrated and surgically castrated.

43

44 **Material and methods**

45 *Animals and data collection*

46 The procedures adopted in the study are in accordance with Federal Law no. 11,794,
47 dated October 08, 2008 and Decree-Law no. 6.899, of July 15, 2009, and approved by the Ethics
48 Committee on the Use of Animals (CEUA), Universidade Federal de Santa Maria, no.
49 2874110618.

50 Data were collected from 24 surgically castrated pigs, on the third day of life, and 24
51 immunocastrated male entire submitted pigs, receiving isonutritive diets and were housed in the
52 same experimental shed, slaughtered at 177 days old, with a slaughter weight (SW) of 127.8 (\pm
53 6.5) and 135.1 (\pm 7.8) kg, respectively. The animals received a diet plan consisting of four diets
54 balanced according to National Research Council (2012; Table 1). Twenty-four entire males
55 received the Vivax® immunocastration vaccine (Zoetis, Brazil), subcutaneously, which has 200
56 μ g of GnRH conjugated to protein per milliliter. The first and second doses were performed
57 eight and four weeks before slaughter, respectively.

58 The animals were fasted before the transport. At the slaughterhouse, pigs were housed
59 in collective pens with free access to water. The time between transport and slaughter was
60 approximately twelve hours. Using standard handling pre-slaughter to minimize stress, the pigs
61 were stunned with electrical system, followed immediately by bleeding, scalding, mechanical
62 depilation and evisceration. The carcass were weighed and divided lengthwise.

63 The following data were collected from the carcasses: hot carcass weight (HCW) and
64 cold carcass (CCW) (without head and feet); pH 45 minutes post-slaughter (pH-45) and pH 24
65 hours post-slaughter (pH-24), measured in the ham using the Text-205® portable pH meter,
66 this device compensates the temperature simultaneously due to an integrated sensor that allows
67 accurate pH measurement.

68 The pH meter calibration was carried out by immersing his sensor in solutions with pH
69 4 and 7, according to the device manual. The gradient and displacement values were greater
70 than 50 mV / pH and less than 60 mV, respectively, demonstrating that the electrode is
71 functioning properly. Among the readings performed, the pH meter was packed in its cap, filled
72 with KCl-based gel, to prevent disbalances.

73 The average backfat thickness (BF) was obtained from measurements made by digital
74 calipers at the last lumbar vertebra, and at the first and last rib. In the region of the first rib, a

75 cross section was performed, where the muscle depth (MD) of *Longissimus lumborum* and
76 backfat thickness in P2 (BF-P2) were measured; the entire area was drawn on butter paper for
77 the calculation of loin eye area (LEA) and loin fat area (LFA).

78 For the analysis of color, drip loss, thawing loss, cooking loss and shear force, samples
79 of *Longissimus lumborum* muscle were collected from the left half-carcass. We used the cuts
80 of shoulder and loin to make cured coppa and “salsichão”, respectively, besides weighing the
81 main cuts of the swine carcass (Table 3). The carcass yield (CY), carcass lean meat (CLM), and
82 carcass bonus index were estimated through equations described by Guidoni (2000).

83

84 *Post-slaughter analysis*

85 The water-holding capacity was measured according to the methodology of Honikel
86 (1987). Drip loss was determined using a 150g meat sample, suspended and wrapped with a
87 plastic bag, without contact, in a cold chamber. Similar samples were submitted to freezing for
88 thawing loss determination (frozen weight - *in natura* weight). The samples were then cooked
89 until the internal temperature reached 70 °C for cooking loss quantification. The Shear force
90 was determined, with a Warner-Bratzler Shear machine, in six cores 12.5 x 25.0 mm diameter
91 and width, respectively, were removed parallel to the longitudinal orientation of the muscle
92 fibers, per meat sample. A boxplot was used to identify and exclude outliers, results within
93 normality were used to obtain the mean of each sample.

94 The color intensities (L, a* and b*) were evaluated with 2.5 cm thick samples. Three
95 measurements were taken at different sample points, using the Minolta Sensing
96 Spectrophotometer CR-400, with 10 grade of standard observer, D65 illuminant and 11-mm
97 aperture, calibrated with a background white.

98

99 *Sensorial analysis*

100 The “salsichão” from each castration group were produced separately using equal
101 proportions of ingredients in the mixtures. The cured coppa of castrated and immunocastrated
102 pigs were matured in the same location and for the same time period. Different consumers
103 evaluated 53 “salsichão” samples and 65 cured coppa samples; each consumer evaluated two
104 samples, one of each castration group.

105 The evaluators were instructed to first smell the sample and then evaluate the color of
106 the product and, on chewing, qualify texture and flavor. Before and after the tasting was
107 conducted, the evaluators consumed a cracker and rinsed their mouth with water. Samples were
108 offered at random and identified by three Arabic numerals.

109 The Likert scale was used for the acceptability test, which asked the evaluators to
110 classify the samples on the following scale: 1- dislike extremely; 2- dislike very much; 3- dislike
111 moderately; 4- dislike slightly; 5- neither like nor dislike; 6- like slightly; 7- like moderately;
112 8- like very much; 9- like extremely.

113

114 *Statistical analyses*

115 All statistical analyzes were performed in Minitab® 2018 statistical software. The
116 qualitative and quantitative data of carcasses, main pig cuts and bonus indexes, were submitted
117 to analysis of variance by the General Linear Model procedure. Were analysed with sexual
118 categories as fixed factor and carcass weight as co-variable for carcass quantitative variables.
119 A chi-square test was, conducted to validate the preference of each product between man and
120 woman. The equation proposed by Castro et al. (2007), was should be applied to calculate the
121 product acceptability index “IA= (Average score obtained by the product ÷ Highest score of
122 product) × 100”. The sensorial analysis data were submitted to analysis of variance trough a
123 mixed effect model using random effect of evaluator and fixed effect of treatment. The

124 differences between means were compared by the Fisher test and considered significant if P
125 <0.05 .

126

127 **Results**

128 The carcass traits differed ($P<0.05$) among the sex categories, where HCW, CCW,
129 CLM, LEA and MD showed superiority for IM while CY, LFA, BF-P2 and BF were higher for
130 SC (Table 2). The pH45, pH24 and shear force did not differ ($P >0.05$) between the castration
131 groups. However, for meat coloration, only the variable b* (yellowness) did not differ
132 statistically; L (luminosity) and a* (redness) were significantly different ($P <0.05$), indicating
133 higher values for IM and SC, respectively.

134 For the water-holding capacity variables, IM obtained higher values for drip, thawing
135 and cooking loss ($P <0.05$). The cut weights and the carcass bonus index are shown in Table 3.
136 There was no difference ($P >0.05$) between the cuts analyzed. Both castration groups obtained
137 a bonus index higher than 1, however, the mean obtained by IM is higher than SC.

138 The data for the color, aroma, flavor and texture, from the sensorial analysis, did not
139 show statistical differences for the sausages produced from the meat of SC or IM (Table 4). The
140 scores obtained by these four variables resulted in a mean of 7.32 and 7.35 for cured coppa, and
141 7.24 and 7.29 for "salsichão", for SC and IM, respectively, demonstrating that evaluators
142 moderately liked the products. The acceptability indexes were higher than 70%, and the gender
143 of the evaluators did not interfere in the preference ($P >0.05$).

144

145 **Discussion**

146 Quantitative and qualitative characteristics of pig carcasses are highly influenced by
147 body weight, castration method and genetics (Trefan, Wilson, Rooke, Terlow, & Bünger, 2014).
148 According to Pauly, Spring, O'Doherty, Kragten, & Bee, (2009), the IM have higher intestine,

149 kidney and liver weights. In addition, the total weight of the reproductive organs of the IM is
150 greater, due to the presence of the testicles and attached glands of the reproductive system,
151 which have not yet reduced to the same proportion as in SC (Skrlep et al., 2010; Batorek et al.,
152 2012); this accounts for the differences in slaughter weight and hot carcass weight in this
153 castration group, as well as explaining the higher carcass yield for SC.

154 Due to the greater anabolic potential of IM, a result of the presence of gonadal hormones
155 during most of the fattening period, there is higher protein deposition in the carcass, resulting
156 in higher CLM in relation to SC (Pauly et al., 2009; Boler, Killefer, Meeuwse, King, McKeith,
157 & Dilger, 2015). According to our results, IM were superior to MC for CLM, MD and LEA
158 measurements, variables with positive correlation (Rehfeldt & Kuhn, 2006).

159 The amount of fat in pig carcasses is strongly influenced by the castration method, due
160 to changes in the animal's lipid metabolism (Kouba & Sellier, 2011). Both forms of castration,
161 surgical or vaccine-induced, reduce steroid hormones levels in the blood, resulting in increased
162 lipid deposition (Schreurs et al., 2008). IM increases the rate of lipid deposition after the second
163 dose of the vaccine (Lealiifano et al., 2011), however, SC have fatter carcasses, probably
164 because the animal is effectively castrated 142 days earlier.

165 Color is a subjective indication of meat quality for the consumer, although the color
166 indicators described in the literature are inconsistent (Aluwé et al., 2013). The IM obtained a
167 higher rate of decline in post-mortem pH and lower pH₂₄, which may be one of the reasons for
168 a lighter coloration, since the pH drop results in a distance between myofibrils in the analyzed
169 sample, causing light to scatter (Swatland, 2004). For variable a*, the difference obtained can
170 be explained by the slaughter weight: according to Tikk Lindahl, Karlsson, & Andersen (2008)
171 the meat of heavier carcasses tend to have a lower intensity of red.

172 According to Bonneau & Lebrat (2010), in pig production, entire males have the highest
173 shear force values of the castration categories, however, when they undergo immunocastration,

174 this variable equals that of SC. The compensatory growth that occurs after the second dose of
175 the vaccine produces a higher *in vivo* protein turnover, increasing post-mortem proteolysis
176 which makes the meat softer (Therkildsen et al., 2004; Lametsch, Kristensen, Larsen,
177 Therkildsen, Oksbjerg, & Ertbjerg, 2006). Another possible explanation may be the higher
178 amount of intramuscular fat in this castration group, making the meat juicy and tender (van
179 Laack, Stevens, & Stalder, 2001).

180 Unlike Boler et al. (2014), who state that immunocastration does not affect water-
181 holding in the carcass, our study found differences in water-loss between the two groups. The
182 result may be explained by the higher CLM observed in IM, because water retention increases
183 as a function of protein deposition in the carcass (Schiavon & Emmans, 2000). In addition to
184 high temperatures, low pH promotes denaturation of myofibrillar proteins, aiding water loss by
185 cooking (Caldara et al., 2012). Because SC have higher pH24, lower pH drops, and greater fat
186 coverage, they had higher water-holding capacity.

187 Many pig slaughterhouses use the carcass bonus index to reward or penalize producers
188 for the fatness degree of their animals. Generally, each industry has a fixed value for buying
189 pigs; if the bonus index is less than 1 the producer is penalized, if is greater than 1 he is
190 subsidized (Guidoni, 2000). In our study, both castration groups obtained a bonus index
191 superior to 1, however, the IM were superior to the SC.

192 The IM had a greater weight of pig cuts than SC, proving to be more profitable for the
193 industry (Guidoni, 2000). However, when live weight was used as a covariate, no differences
194 were observed. The cuts of both groups were very juicy and tender, which are the most
195 appreciated characteristics by the consumer (Rehfeldt, Tuchscherer, Hartung, & Kuhn, 2008).

196 The water-holding capacity may affect the meat juiciness, altering human perception
197 and interfering negatively in sensorial analysis (van Oeckel, Warnants, & Boucqué, 1999).
198 However, this type of interference was not observed in this study, because IM had higher water

199 losses and an acceptance index higher than SC. According to Castro et al. (2007), any product
200 that has an acceptability index greater than 70% is considered sensorially accepted, so the cured
201 coppa and "salsichão" of the two groups had high acceptability.

202 In addition to having a high acceptability, the product should possess characteristics like
203 good flavor, texture and appearance (Cunha, Castro, Pires, Pires, Halboth, & Miranda, 2009) to
204 encourage purchase by consumers. The results obtained through sensorial analysis are similar
205 to those obtained by Font-i-Furnols et al. (2009) and Pauly et al. (2010), who demonstrated that
206 there is no difference between sausages produced from castrated or immunocastrated pigs.

207

208 Conclusion

209 Immunocastrated male pigs have a 5.7% higher slaughter weight and 2.1% lower
210 carcass yield, lower water-holding capacity, and lighter and less reddish meat than, and a shear
211 force similar to, surgically castrated males.

212 The carcass bonus index and the weight of pig cuts of interest to the meat industry, were
213 higher for immunocastrated males. The sensorial analysis showed there was no difference in
214 the acceptability by the consumer for "salsichão" and cured coppa, produced from cuts of
215 castrated or immunocastrated pigs.

216

217 Acknowledgements

218 This study was carried out with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento
219 de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 and the financial support of
220 the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, process
221 425055/2016-7).

222

223

224 Table 4. Composition and calculated nutritional values of the diets fed to pigs in the growing
 225 and finishing phases

Ingredients	Diets, %			
	G1	G2	F1	F2
Corn	64.48	68.13	69.74	75.14
Soyabean meal (46% CP)	30.41	27.03	25.46	21.83
Soya oil	1.94	1.79	1.73	0.40
L-Lysine	0.32	0.31	0.29	0.27
DL-Methionine	0.14	0.11	0.13	0.07
L-Threonine	0.11	0.09	0.10	0.07
Limestone	0.74	0.77	0.78	0.76
Dicalcium phosphate	1.33	1.20	1.19	0.92
Salt	0.43	0.48	0.48	0.45
Mineral premix ¹	0.05	0.05	0.05	0.05
Vitamin premix ²	0.05	0.05	0.05	0.05
Composition nutritional and energy	G1	G2	F1	F2
Crude Protein, %	18.85	17.61	16.77	15.81
Metabolizable energy (ME), MJ·kg ⁻¹	13.82	13.82	13.82	13.60
SID lysine (Lys), %	1.00	0.92	0.88	0.79
Lys: ME, (g·MJ ⁻¹)	0.73	0.66	0.64	0.57
Calcium, %	0.70	0.67	0.64	0.59
Standardized phosphorus, %	0.35	0.33	0.32	0.28
Sodium, %	0.17	0.19	0.19	0.18

226 G1– 24 days (30-50kg); G2– 28 days (50-80kg); F1– 25 days (80-105kg); F2– 26 days (105-
 227 130kg); ¹Composition per kg of product: calcium: 98.800mg; cobalt: 185mg; copper:
 228 15.750mg; iron: 26.250mg; iodine: 1.470mg; manganese: 41.850mg; zinc: 77.999mg;
 229 selenium: 105mg; ² Composition per kg of product: folic acid: 116.55mg; pantothenic acid:
 230 2.333mg; biotin: 5.28mg; niacin: 5.600mg; pyridoxine: 175mg; riboflavin: 933.3mg; thiamine:
 231 175mg; Vit. A: 1.225.000 U.I.; Vit. D3: 315.000 U.I.; Vit. E: 1.400mg; Vit. K3: 700mg; Vit.
 232 B12: 6.825mg.

233 Table 2. Carcass characteristics and meat quality determined in the *longissimus lumborum*
 234 muscle from swine male surgically castrated and immunocastrated

	SC	IM	SEM	p-value
Carcass Characteristics (n)	24	24		
Slaughter weight, Kg	127.80 ^b	135.10 ^a	1.475	0.001
Hot carcass weight, Kg	93.11 ^b	96.45 ^a	1.095	0.037
Cold carcass weight, Kg	88.51 ^b	92.01 ^a	1.065	0.025
Carcass yield, % ^{sw*}	72.88 ^a	71.38 ^b	0.240	0.001
Carcass lean meat, % ^{sw*}	57.88 ^b	59.93 ^a	0.413	0.001
Loin fat area, cm ² ^{sw*}	24.13 ^a	20.23 ^b	0.792	0.001
Backfat thickness P2, mm ^{sw*}	16.18 ^a	12.89 ^b	0.651	0.001
Backfat thickness, mm ^{sw*}	31.17 ^a	27.79 ^b	0.846	0.007
Loin eye area, cm ² ^{sw*}	56.52 ^b	60.63 ^a	1.190	0.019
Muscle depth, mm ^{sw*}	71.83 ^b	74.84 ^a	0.748	0.007
Meat Quality	24	24		
pH-45	6.49	6.54	0.053	0.493
pH-24	6.02	5.95	0.044	0.270
L	52.86 ^b	55.65 ^a	0.619	0.004
a*	7.75 ^a	6.72 ^b	0.352	0.049
b*	12.94	12.64	0.309	0.496
Shear Force (N)	33.94	36.07	2.460	0.547
Water holding capacity	24	24		
Drip Loss (%)	2.21 ^b	2.92 ^a	0.203	0.019
Thawing loss (%)	5.06 ^b	7.28 ^a	0.544	0.008
Cooking loss (%)	23.22 ^b	25.91 ^a	0.903	0.044

235 SC: Male surgically castrated, IM: Male submitted to immunocastration; SEM: Standard error
 236 mean; ^{a-b}: Average on a line with superscript differs ($P < 0.05$); Backfat thickness: Average of
 237 three measurements on the carcass, the first and last rib and in the last vertebra. L*: Luminosity,
 238 a*: redness, b*: yellowness; pH-45: forty-five minutes after slaughter; pH-24: twenty-four
 239 hours after slaughter. ^{sw*}: Variables in which the slaughter weight, was utilized with co-variable
 240 for analysis of variance.

241

242

243

244 Table 3. Bonus index of the swine carcass and weights of the primary cuts of the left half of
 245 castrated and immunocastrated male pigs

	Castration Group		SEM	p-value
	SC	IM		
Bonus index	1.08 ^b	1.11 ^a	0.005	< 0.001
Ham, kg	25.85	26.01	0.287	0.713
Shoulder, kg	24.73	24.88	0.274	0.712
Rack, kg	17.93	18.01	0.287	0.741
Loin, kg	6.49	6.52	0.067	0.748
Belly, kg	20.95	21.09 ^a	0.247	0.699

246 SC: Male surgically castrated, IM: Male submitted to immunocastration; SEM: Standard error
 247 mean; ^{a-b}: Means followed by distinct letters in the lines differ significantly by the Fisher test
 248 ($P < 0.05$).

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260 Table 4. Mean values of the hedonic acceptance test scores and acceptability index for cured
 261 coppa and “salsichão” products, formulated from surgically castrated and immunocastrated
 262 male pigs.

Cured coppa								
	Acceptance test			Acceptability index				
Traits	SC	IM	SEM.	p-value	SC	IM		
Color	7,600	7.692	0.140	0.501	75.3	79.5		
Flavor	7.431	7.231	0.167	0.236	78.6	79.9		
Taste	7.124	7.292	0.193	0.410	84.1	82.2		
Texture	7.122	7.184	0.197	0.745	81.8	82.6		
Preference								
	SC		IM		p-value			
Total	49.2		51.8		NS			
Woman	45.9		54.1		NS			
Men	53.6		46.4		NS			
“Salsichão”								
	Acceptance test			Acceptability index				
Traits	SC	IM	SEM	p-value	SC	IM		
Color	6,963	7.151	0.159	0.268	84.4	85.5		
Flavor	7.076	7.189	0.188	0.609	82.6	80.3		
Taste	7.566	7.396	0.169	0.398	79.1	81.0		
Texture	7.359	7.434	0.190	0.764	79.1	79.8		
Preference								
	SC		IM		p-value			
Total	52.8		47.2		NS			
Woman	52.0		48.0		NS			
Men	53.6		46.4		NS			

263 SC: Male surgically castrated, IM: Male submitted to immunocastration; SEM: Standard error
 264 mean; ^{a,b}: Average on a line with superscript differs significantly by the Fisher test ($P < 0.05$);
 265 In p-value of preference: * ($P < 0.05$), NS ($P > 0.05$).
 266

267 References

- 268 Aluwé, M., Langendries, K. C. M., Bekaert, K. M., Tuyttens, F. A.M., De Brabander, D. L., De
 269 Smet, S., & Millet, S. (2013). Effect of surgical castration, immunocastration and chicory-
 270 diet on the meat quality and palatability of boars. *Meat Science*, 94, 402-407.
 271
 272 Batorek, N., Candek-Potokar, M., Bonneau, M., & van Milgen, J. 2012. Meta-analysis of the
 273 effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar
 274 taint compounds in pigs. *Animal*. 6(8):1330-1338.
 275

- 276 Boler, D. D., Puls, C. L., Clark, D. L., Ellis, M., Schroeder, A. L., Matzat, P. D., Killefer, J.,
 277 McKeith, F. K., & Dilger, A. C. (2014). Effects of immunological castration (Improvest)
 278 on changes in dressing percentage and carcass characteristics of finishing pigs. *Journal
 279 of Animal Science*, 91, 359-368.
- 280
- 281 Boler, D. D., Killefer, J., Meeuwse, D. M., King, V. L., McKeith, F. K., & Dilger, A. C. (2015).
 282 Effects of slaughter time post-second injection on carcass cutting yields and bacon
 283 characteristics of immunologically castrated male pigs. *Journal of Animal Science*, 90,
 284 334-344.
- 285
- 286 Bonneau, M., & Lebret, B. (2010). Production systems and influence on eating quality of pork.
 287 *Meat Science*, 84, 293-300.
- 288
- 289 Caldara, F. R., Santos, V. M. O., Santiago, J. C., Almeida Paz, I. C. L., Garcia, R. G., Vargas
 290 Junior, F. M., Santos, L. S., & Nääs, I. A. (2012). Propriedades físicas e sensoriais da
 291 carne suína PSE. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 13(3), 815-824.
- 292
- 293 Castro, L. I. A., Vila Real, C. M., Pires, I. S. C., Pinto, N. A. V. D., Miranda, L. S., Rosa, B.
 294 C., & Dias, P. A. (2007). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild): digestibilidade *in vitro*,
 295 desenvolvimento e análise sensorial de preparações destinadas a pacientes celíacos.
 296 *Alimentos e Nutrição*, 18(4), 413-419.
- 297
- 298 Cunha, C. S., Castro, C. F., Pires, C. V., Pires, I. S. C., Halboth, N.V., & Miranda, L.S. (2009).
 299 Influência da textura e do sabor na aceitação de cremes de aveia por indivíduos de
 300 diferentes faixas etárias. *Alimentos e Nutrição*, 20(4), 573:580.
- 301
- 302 Dunshea, F. R., Allison, J. R. D., Bertram, M., Boler, D. D., Brossard, L., Campbell, R., Crane,
 303 J. P., Hennessy, D. P., Huber, L., de Lange, C., Ferguson, N., Matzat, P., McKeith, F.,
 304 Moraes, P. J. U., Mullan, B. P., Noblet, J., Quiniou, N., & Tokach, M. (2013). The effect
 305 of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: A review. *Animal*,
 306 7(11), 1769-1778.
- 307
- 308 Font-i-Furnols, M., González, J., Gispert, M., Oliver, M. A., Hortós, M., Pérez, J., Suárez, P.,
 309 & Guerrero, L. (2009). Sensory characterization of meat from pigs vaccinated against
 310 gonadotropin releasing factor compared to meat from surgically castrated, entire male
 311 and female pigs. *Meat Science*, 83, 438-442.
- 312
- 313 Guidoni, A. L. (2000). Melhoria de processos para a tipificação e valorização de carcaças suínas
 314 no Brasil. Conferência internacional virtual sobre qualidade de carne suína. *Concórdia:
 315 EMBRAPA*, 14.
- 316
- 317 Honikel (1987). How to measure the water-holding capacity of meat? Recommendation of
 318 standardized methods. In P. V. Tarrant, G. Eikelenboom, & G. Monin (Eds.), *Evaluation
 319 and control of meat quality in pigs* (pp. 129–142). Dordrecht, The Netherlands: Martinus
 320 Nijhof.
- 321
- 322 Kouba, M., & Sellier, P. (2011). A review of the factors influencing the development of
 323 intermuscular adipose tissue in the growing pig. *Meat Science*, 88, 213-220.
- 324

- 325 Lametsch, R., Kristensen, L., Larsen, M. R., Therkildsen, M., Oksbjerg, N., & Ertbjerg, P.
 326 (2006). Changes in the muscle proteome after compensatory growth in pigs. *Journal of*
 327 *Animal Science*, 84, 918-924.
- 328
- 329 Lealiifano, A. K., Pluske, J. R., Nicholls, R. R., Dunshea, F. R., Campbell, R. G., Hennessy, D.
 330 P., Miller, D. W., Hansen, C. F., & Mullan, B. P. (2011). Reducing the length of time
 331 between harvest and the secondary gonadotropin-releasing factor immunization improves
 332 growth performance and clears boar taint compounds in male finishing pigs. *Journal of*
 333 *Animal Science*, 89, 2782-2792.
- 334
- 335 Martins, P. C., Albuquerque, M. P. de, Machado, I. P., & Mesquita, A. A. (2013). Implicações
 336 da imunocastração na nutrição de suínos e nas características de carcaça. *Archivos de*
 337 *Zootecnia*, 62, 105-118.
- 338
- 339 NRC. (2012). Nutrient requirements of swine. 11th Rev ed. National Academies Press,
 340 Washington, DC.
- 341
- 342 Pauly, C., Spring, P., O'Doherty, J. V., Kragten, S. A., & Bee, G. (2009). Growth performance,
 343 carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated,
 344 immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire male
 345 pigs. *Animal*, 3(7), 1057-1066.
- 346
- 347 Pauly, C., Spring-Staehli, P., O'Doherty, J., Kragten, S. A., Dubois, S., Messadène, J., & Bee,
 348 G. (2010). The effects of method of castration, rearing condition and diet on sensory
 349 quality of pork assessed by a trained panel. *Meat Science*, 86, 498-504.
- 350
- 351 Rehfeldt, C., & Kuhn, G. (2006). Consequences of birth weight for postnatal growth
 352 performance and carcass quality in pigs as related to myogenesis. *Journal of Animal*
 353 *Science*, 84, 113-123.
- 354
- 355 Rehfeldt, C., Tuchscherer, A., Hartung, M., & Kuhn, G. (2008). A second look at the influence
 356 of birth weight on carcass and meat quality in pigs. *Meat Science*, 78:170-175.
- 357
- 358 Schiavon, S., & Emmans, G.C. (2000). A model to predict water intake of a pig growing in a
 359 known environment on a known diet. *British Journal of Nutrition*, 84, 873-883.
- 360
- 361 Schreurs, N. M., Garcia, F., Jurie, C., Agabriel, J., Micol, D., Bauchart, D., Listrat, A., & Picard,
 362 B. (2008). Meta-analysis of the effect of animal maturity on muscle characteristics in
 363 different muscles, breeds, and sexes of cattle. *Journal of Animal Science*, 86, 2872-2887.
- 364
- 365 Skrlep, M., Segula, B., Zajec, M., Kastelic, M., Kosorok, S., Fazarinc, G., & Candek-Potokar,
 366 M. (2010). Effect of immunocastration (Improvac ®) in fattening pigs I: growth
 367 performance, reproductive organs and malodorous com pounds. *Slovenian Veterinary*
 368 *Research*, 47(2), 57-64.
- 369
- 370 Swatland, H. J. (2004). Progress in understanding the paleness of meat with a low pH. *South*
 371 *Africa Journal of Animal Science*, 34 (Supplement 2),1-7.
- 372
- 373 Therkildsen, M., Vestergaard, M., Busk, H., Jensen, M. T., Riis, B., Karlsson, A. H., Kristensen,
 374 L., Ertbjerg, P., & Oksbjerg, N. (2004). Compensatory growth in slaughter pigs – in vitro

- 375 muscle protein turnover at slaughter, circulating IGF-1, performance and carcass quality.
376 *Livestock Production Science*, 88, 63-75.
- 377
- 378 Thun, R., Gajewski, G., & Janett, F. F. (2006). Castration in male pigs: techniques and animal
379 welfare issues. *Journal Physiology Pharmacology*, 57, 189-194.
- 380
- 381 Tikk, K., Lindahl, G., Karlsson, A. H., & Andersen, H. J. (2008). The significance of diet,
382 slaughter weight and aging time on pork color and color stability. *Meat Science*, 79, 806-
383 816.
- 384
- 385 Trefan, L., Wilson, A. D., Rooke, J. A., Terlow, C., & Bünger, L. (2014). Meta-analysis of
386 effects of gender in combination with carcass weight and breed on pork quality. *Journal
387 of Animal Science*, 91, 1480-1492.
- 388
- 389 van den Broeke, A., Leen, F., Aluwé, M., Ampe, B., van Meensel, J., & Millet, S. (2016). The
390 effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal
391 regulation in boars, barrows, and gilts. *Journal of Animal Science*, 94, 2811-2820.
- 392
- 393 van Laack, R. J. M., Stevens, S. G., & Stalder, K. J. (2001). The influence of ultimate pH and
394 intramuscular fat content on pork tenderness and tenderization. *Journal of Animal
395 Science*, 79, 392-397.
- 396
- 397 van Oeckel, M. J., Warnants, N., & Boucqué, C. V. (1999). Pork tenderness estimation by taste
398 panel, Warner Bratzler shear force and on-line methods. *Meat Science*, 53, 259-267.
- 399
- 400 Weiler, U., Gotz, M., Schimidt, A., Otto, M., & Muller, S. (2013). Influence of sex and
401 immunocastration on feed intake behavior, skatole and indole concentrations in adipose
402 tissue of pigs. *Animal*, 7(2), 300-308.
- 403
- 404 Zamaratskaia, G., & Squires, E. J. (2009). Biochemical, nutritional and genetic effects on boar
405 taint in entire male pigs. *Animal*, 3(11), 1508-1521.

**5 ARTIGO – DESAPARECIMENTO DE ÁGUA NO PERÍODO DE CRESCIMENTO E
TERMINAÇÃO EM SUÍNOS MACHOS CIRURGICAMENTE CASTRADOS E
IMUNOCASTRADOS**

Esta sessão é apresentada de acordo com as normas para publicação na revista
ANIMAL PRODUCTION SCIENCE (ISSN: 1836- 5787).

1 Desaparecimento de água no período de crescimento e terminação em suínos
2 machos cirurgicamente castrados e imunocastrados

3

4 **Resumo**

5 O objetivo desse estudo é comparar o desaparecimento hídrico, o desperdício
6 de água e o comportamento ingestivo de água, entre suínos machos imunocastrados
7 e castrados cirurgicamente. Foram utilizados 24 suínos machos castrados
8 cirurgicamente e 24 machos inteiros submetidos à imunocastração, sendo
9 provenientes do cruzamento comercial (Agroceres x Topigs) com peso médio inicial
10 de 29.3 kg (± 1.9) e idade de 75 dias. Os suínos foram alojados em galpão de
11 crescimento e terminação com 24 baías, 2 animais por baia, sendo equipada com um
12 comedouro semiautomático e um bebedouro acoplado a um hidrômetro de precisão.
13 O desaparecimento de água foi registrado diariamente em dois horários, às 06:00h e
14 às 18:00h, semanalmente era realizado coleta horária. Para realizar comparação de
15 desperdício da água entre categorias sexuais, foram utilizadas equações já validadas,
16 por outros estudos. Em conclusão, suínos machos imunocastrados possuem menor
17 desaparecimento e desperdício de água durante a fase de crescimento terminação
18 em relação aos castrados. Não houve diferença no comportamento diário do
19 desaparecimento de água, as duas categorias sexuais apresentam perfil circadiano
20 com maior desaparecimento de água no período da tarde.

21

22 **Palavras-chaves:** Desperdício de água – Perfil circadiano – Suíno.

23

24 **Introdução**

25 O aumento da escassez de água potável, as alterações climáticas e o
26 crescimento da população mundial exigem uma nova postura quanto ao uso desse
27 recurso (UN, 2017; FAO, 2018). A atividade suinícola é caracterizada por demandar
28 um grande aporte de água em seus processos produtivos (principalmente na limpeza,
29 arrefecimento das instalações e na dessedentação dos animais), sendo considerada
30 uma das atividades que mais produz efluentes.

31 Apesar da ingestão de água ao nível do bebedouro representar a maior parcela
32 dos “inputs” do animal, os suínos também obtém de outras vias, como aquela contida
33 nos alimentos ingeridos e às oriundas dos processos de oxidação metabólica de
34 nutrientes (Legesse et al., 2017). Dentre as funções que ela exerce no organismo

35 animal, destacam-se sua participação nos tecidos (atuando como elemento
36 estrutural), meio de transporte e termorregulação (Alemayehu et al., 2012; Meunier-
37 Salün et al., 2017).

38 Os esforços em racionalizar o uso da água e reduzir a pegada hídrica na
39 suinocultura são grandes, englobando o total que é consumido durante todas as fases
40 da cadeia produtiva (Hoekstra et al., 2012). Apesar da dessedentação representar
41 apenas uma pequena parcela do total da pegada hídrica, é fundamental considerar as
42 informações de desaparecimento de água através da ingestão e do desperdício nos
43 bebedouros para melhorar a gestão da demanda deste recurso (Chimainski et al.
44 2019).

45 Neste sentido, a gestão adequada do uso da água no sistema de produção é
46 imprescindível para tornar a atividade mais sustentável. Apesar de existir muitas
47 informações sobre as exigências nutricionais e do comportamento ingestivo, existem
48 poucas informações sobre as necessidades hídricas dos suínos, principalmente em
49 relação aos animais imunocastrados, tecnologia amplamente empregada pela
50 indústria (Batorek et al., 2012; van den Broeke et al., 2016). Sendo assim, o objetivo
51 desse estudo é comparar o desaparecimento hídrico, o desperdício de água e o
52 comportamento ingestivo de água, entre suínos machos imunocastrados e castrados
53 cirurgicamente.

54

55 **Material e métodos**

56 Os procedimentos adotados neste experimento estão de acordo com a
57 legislação em bem-estar animal, protocolados com o nº 2874110618 no Comitê de
58 Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Santa Maria.

59 No estudo foram utilizados 24 suínos machos castrados cirurgicamente e 24
60 machos inteiros submetidos à imunocastração, sendo provenientes do cruzamento
61 comercial (Agroceres x Topigs) com peso médio inicial de 29.3 kg (± 1.9) e idade de
62 75 dias. Os suínos foram alojados em galpão de crescimento e terminação com 24
63 baias, dois animais por baia, sendo cada uma equipada com um comedouro
64 semiautomático e um bebedouro.

65 O programa alimentar foi constituído de quatro dietas fareladas e formuladas
66 de acordo com NRC (2012): crescimento 1 (C1) fornecida dos 75 aos 98 dias de idade;
67 crescimento 2 (C2) dos 99 aos 126 dias; terminação 1 (T1) dos 127 aos 151 dias; e
68 terminação 2 (T2) dos 152 aos 177 dias (Tabela 1). Cada baia possuía um bebedouro

69 tipo bite-ball, acoplado a um hidrômetro de precisão para mensuração do volume de
70 água utilizado. Os ajustes de altura dos bebedouros eram feitos conforme as
71 recomendações de Li et al. (2005), permitindo o acesso dos dois animais da baia e
72 reduzindo desperdícios, e a vazão foi verificada semanalmente seguindo o
73 recomendado por Piva and Gonçalves (2014).

74 O procedimento de gonadectomia nos suínos selecionados para compor a
75 categoria sexual de macho castrado, foi realizado ao terceiro dia de vida dos animais,
76 conforme técnica menos prejudicial ao bem-estar, prescrita por Lima et al. (2014). Já
77 o procedimento de imunocastração foi realizado através da administração de duas
78 doses da vacina Vivax® (Zoetis, Brasil), a primeira dose aos 121 dias de idade (16
79 semanas) e a segunda dose aos 149 dias de idade (20 semanas) dos suínos machos
80 inteiros.

81 O desaparecimento de água foi registrado diariamente em dois horários, às
82 06:00h e às 18:00h. Para calcular o desaparecimento médio por suíno subtraiu-se o
83 valor obtido nas 06:00h do valor das 06:00h do dia anterior dividindo pelo número de
84 animais por baia. Para a observação do comportamento ingestivo de água foram
85 coletados semanalmente os valores dos hidrômetros de hora em hora, no período das
86 06:00h às 18:00h, a partir da 11^a semana, com uma semana de adaptação dos
87 animais as condições experimentais. Os dados de peso vivo e da quantidade de ração
88 consumida foram coletados duas vezes na semana, através de pesagem dos animais
89 e da ração dos comedouros.

90 O termo desaparecimento de água, deve ser compreendido como a soma de
91 água ingerida e a desperdiçada pelo animal, no momento da preensão do palato duro
92 com o bebedouro. Para realizar comparação entre categorias sexuais, referentes ao
93 desperdício da água, foram mensurados o consumo hídrico (input) e a quantidade de
94 água retida, ou excretada, pelo animal (output).

95 Os inputs foram obtidos pela soma da quantidade de água desaparecida no
96 bebedouro, água retida no alimento (10% da matéria natural) e água obtida pela
97 oxidação metabólica dos nutrientes (Rigolot et al., 2010). Os outputs, pela quantidade
98 de água utilizada para o crescimento, que é excretado na forma de urina e fezes, e a
99 eliminada em decorrência dos processos de evaporação corporal e trato respiratório
100 (Schiavon et al., 2009; Rigolot et al., 2010). O desperdício foi calculado subtraindo o
101 valor obtido de input pelo output.

102 Foi utilizado um datalogger para coletar informações referentes às variáveis
103 ambientais como a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, tais informações
104 eram registradas a cada minuto. Os valores encontrados foram utilizados para calcular
105 o ITU (índice de temperatura e umidade) de acordo com Hahn et al. (2009).

106 O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. O banco
107 de dados foi pré-analisado avaliando a distribuição dos dados de desaparecimento de
108 água por meio do método de Tukey (1977), construindo um gráfico boxplot para
109 identificar e excluir os valores de outliers. Após, com os dados apresentando
110 distribuição normal, foi realizada análise descritiva dos dados e aplicado teste de
111 médias de t de Student com 5% de significância nas médias semanais e horárias,
112 utilizando o software R (R Core Team, 2016).

113

114 **Resultados**

115 Na Figura 1 encontram-se os valores do desaparecimento semanal médio de
116 água, consumo de ração e o peso vivo dos suínos castrados e imunocastrados ao
117 longo do período experimental. O desaparecimento de água para suínos machos
118 castrados cirurgicamente e submetidos à imunocastração nas fases de crescimento e
119 terminação, foram em média $8.40 \pm 3.46 \text{ L d}^{-1}$ e $7.28 \pm 3.45 \text{ L d}^{-1}$ de água,
120 respectivamente.

121 Durante o período de crescimento e terminação, o desaparecimento de água
122 registrado para imunocastrados foi, 13.89% (ou 1.17 L) menor ($P < 0.05$), em relação
123 aos castrados (Figura 1A). Após da 23^a semana de idade, foi constatado aumento no
124 desaparecimento para esta categoria sexual, o que foi associado ao aumento de
125 17,75% no consumo de ração (Figura 1B).

126 O peso vivo entre as duas categorias apresentou mudanças a partir da 21^a
127 semana de idade, ou seja, uma semana após receber a segunda dose da vacina
128 (Figura 1C). Os animais imunocastrados tiveram um aumento médio de 3.05%, em
129 seu peso vivo, ocorrendo aumento na relação de desaparecimento de água (ml) pelo
130 peso vivo (kg).

131 O desaparecimento estimado de água foi maior nos castrados até a 22^a semana
132 ($P < 0.05$), a partir desse período não houve diferença entre as categorias sexuais (P
133 > 0.05). Após a segunda dose da vacina de imunocastração, os suínos agora
134 imunocastrados apresentaram um aumento dos valores de output de água ($P < 0.05$;

135 Figura 2). Considerando todo o período experimental, os animais imunocastrados
136 desperdiçaram em média 25% menos água em relação aos castrados cirurgicamente.

137 Não houve diferença ($P > 0.05$) no perfil circadiano referente ao
138 desaparecimento de água das categorias sexuais avaliadas (Figura 3A). A maior parte
139 do desaparecimento diário de água ocorreu no período da tarde (12:00 às 18:00 h),
140 representando 67.27% e 69.43% do desaparecimento diário médio para suínos
141 castrados e imunocastrados, respectivamente. Pode-se observar que suínos
142 castrados cirurgicamente e imunocastrados, apresentam dois pontos em que ocorre
143 maior desaparecimento de água, o primeiro às 07:00 horas (7.91% e 7.49% do
144 desaparecimento diário, respectivamente) e o segundo às 16:00 h (16.12% e 16.94%
145 do desaparecimento diário, respectivamente), com uma queda entre às 11:00 e 12:00
146 horas (2.92% e 3.29% do total desaparecido no dia, respectivamente).

147 Na 11ª semana (Figura 3B) de idade dos suínos o desaparecimento diário de
148 água está bem distribuído ao longo do dia, com um pequeno aumento da quantidade
149 desaparecida no período da tarde (13:00 às 16:00). As 23 semanas (Figura 3C), o
150 padrão de desaparecimento de água tem um comportamento bimodal, sendo às 10:00
151 (11.55% e 8.47% do desaparecimento diário para suínos castrados cirurgicamente e
152 imunocastrados, respectivamente), um período praticamente sem desaparecimento
153 de água das 11:00 às 12:00, com aumento do desaparecimento de água no período
154 da tarde às 16:00 (20.81% e 19.10% do desaparecimento diário dos suínos castrados
155 cirurgicamente e imunocastrados, respectivamente).

156 Considerando as variações no período das 6:00 às 18:00 (Figura 4) quando foi
157 avaliado o perfil circadiano do desaparecimento de água, a temperatura média foi de
158 $24.41^{\circ}\text{C} \pm 2.61$ (máximo de 32.29°C e mínimo de 16.20°C), umidade relativa do ar
159 média de $73.89\% \pm 7.40$ (máximo de 88.17% e mínimo de 43.13%) e ITU horário
160 médio de 72.90 ± 3.35 (máximo de 83.57 e mínimo de 60.93).

161

162 Discussão

163 Os resultados de desaparecimento hídrico (DH) deste estudo estão próximos
164 dos encontrados por Tavares et al. (2014) e Chimainski et al. (2019), os quais
165 obtiveram DH de 8.83 L d^{-1} e 7.98 L d^{-1} para suínos castrados e imunocastrados,
166 respectivamente.

167 Durante o período de engorda o DH tende a aumentar de maneira linear em
168 relação ao peso vivo do suíno, assim como, a ingestão de ração que é correlacionada

169 positivamente. Apesar de ser maior para os castrados, o padrão de variação do DH,
170 ao longo do tempo, foi semelhante para as duas categorias até a 22^º semana. A partir
171 dessa idade, o DH se inverteu, com os suínos submetidos à imunocastração
172 superando os castrados. Esse resultado possivelmente esteja relacionado com as
173 alterações hormonais provocadas pela segunda dose da vacina de imunocastração
174 (van den Broeke et al., 2016).

175 A suspensão do GnRH pela ação vacinal limita a produção de esteroides
176 testiculares causando aumento do apetite (Lanthier et al., 2006). Diversos autores têm
177 demonstrado que há associação direta entre ingestão de matéria seca e DH (Li et al.,
178 2005; Chiminski et al., 2019). É esperado que quanto maior o consumo de ração,
179 maior será o metabolismo anabólico e catabólico e, com isso, maior é a quantidade
180 de água necessária para manutenção da homeostase.

181 Na 18^a semana os valores de input não apresentaram diferenças entre as
182 categorias sexuais, devido ao aumento no consumo de água observado em suínos
183 imunocastrados. A provável explicação para isso, pode ser em relação ao aumento
184 da temperatura corporal, que ocorre após aplicação de cada dose da vacina de
185 imunocastração (Pauly et al., 2009), fazendo com que esses animais consumam maior
186 quantidade de água, para diminuir e estabilizar, sua temperatura corporal em um
187 primeiro momento, e na sequência o consumo se relaciona aos processos fisiológicos
188 e imunológicos, que a vacina desencadeia.

189 O comportamento característico dos animais inteiros, pode ter influenciado no
190 menor desaparecimento e desperdício de água desta categoria sexual até a 22^a
191 semana de idade. Os suínos castrados passam grande parte do tempo descansando,
192 ou se alimentando, em contrapartida, os inteiros despendem maior parte do seu dia
193 dormindo, brigando e realizando comportamento de monta, deixando o consumo de
194 alimento em um segundo plano (Pauly et al., 2009; Weiler et al., 2013).

195 Após a 22^a semana, os valores de input e desperdício calculados de água foram
196 semelhantes entre as categorias sexuais, provavelmente pelo fato de se tornarem
197 fisiologicamente idênticas e possuírem comportamento de ingestão de alimentos
198 semelhantes (Rydhmer et al. 2010; Dunshea et al., 2013). O aumento no
199 desaparecimento de água encontrado nos suínos inteiros após serem submetidos a
200 imunocastração, pode ser justificado pelo fato do animal apresentar crescimento
201 compensatório (Kristensen et al., 2002), realizando maior consumo de ração.

202 Porém, neste período que antecede o abate ocorre superioridade nos valores
203 de output pelos suínos imunocastrados, devido ao seu maior crescimento, peso
204 corporal e relação proteína: gordura (Dunshea et al., 2013; van den Broeke et al.,
205 2016). Em média, 66 % do valor obtido no output, é excretado através de urina e fezes,
206 11 % retido pelo corpo do suíno e 23% perdidos pelo processo de transpiração (Figura
207 3).

208 Durante o crescimento dos suínos ocorrem mudanças no padrão de deposição
209 tecidual, como aumento de retenção de gordura em relação a proteína. No entanto, o
210 tecido proteico, contém aproximadamente 75% de água, já o tecido adiposo possui
211 entre 10 a 15% de água, isso talvez influencie a quantidade hídrica ingerida e retida
212 por ambas categorias sexuais estudadas (Schiavon and Emmans, 2000).

213 O comportamento ingestivo encontrado no nosso estudo foi semelhante ao
214 obtido por Madsen et al. (2005), no qual o DH possui comportamento bimodal, onde
215 aumenta no início do período da manhã, reduz com o passar do dia e volta a aumentar
216 no final do período da tarde. Observa-se que os momentos de maior DH possuem
217 semelhança ao comportamento ingestivo de ração encontrado por Weiler et al. (2013)
218 e Andretta et al. (2015), reforçando a ideia que suínos possuem os horários de
219 consumo da dieta (ração + água) e descanso, bem definidos no decorrer do dia.

220 O perfil circadiano de desaparecimento de água é importante não apenas da
221 perspectiva fisiológica e comportamental dos suínos, mas também para o
222 desenvolvimento de modelos matemáticos de consumo que permitam melhorar a
223 distribuição e economia do uso da água (Mroz et al., 1995). O desaparecimento da
224 água é de fácil obtenção e pode ser utilizado como ferramenta no monitoramento de
225 enfermidades, ou na qualidade do bem-estar obtido pelo rebanho (Andersen et al.,
226 2014; Maselyne et al., 2016; Vranken and Berckmans, 2017).

227 A temperatura e a umidade relativa do ar, se mantiveram dentro das zonas de
228 termoneutralidade para a idade dos animais (Sampaio, 2004), e por essa razão é
229 pouco provável que tenham influenciado no DH. Durante o período experimental, o
230 índice de temperatura e umidade relativa do ar (ITU) manteve-se dentro da faixa de
231 conforto térmico para suínos (Thom, 1959). Apesar do presente estudo ter apontado
232 índices de ITU um pouco acima do considerado de conforto térmico (ITU até 75),
233 supõe-se que esse valor não foi suficiente para impactar de modo significativo a
234 ingestão de água dos suínos, por não ultrapassar o valor de 84, considerado crítico
235 (Hahn et al., 2009).

236 Em conclusão, suínos machos imunocastrados possuem menor
237 desaparecimento de água por unidade de peso vivo, e também desperdiçam menos
238 água durante a fase de crescimento terminação, reduzindo assim a pegada hídrica
239 em relação aos castrados. Não há diferença estatística no comportamento diário do
240 desaparecimento de água entre suínos machos castrados cirurgicamente e
241 submetidos a imunocastração, ambas, apresentaram perfil circadiano com maior
242 desaparecimento de água no período da tarde.

243

244 Referências

- 245 Alemayehu M, Amede T, Böhme M, Peters KJ. (2012). Increasing livestock water
246 productivity under rain fed mixed crop/livestock farming scenarios of sub-Saharan
247 Africa: A review. *International Journal of Sustainable Development* 5(7), 1-10.
248 doi.org/10.5539/jsd.v5n7p1
- 249
- 250 Andersen HL, Dybkjaer L, Herskin MS. (2014). Growing pigs' drinking behavior:
251 number of visits, duration, water intake and diurnal variation. *Animal*, 8(11), 1881-1888.
252 doi.org/10.1017/S175173111400192X
- 253
- 254 Andretta I, Pomar C, Rivest J, Pomar J, Hauschild L, Kipper M, Neto JR. (2015). Impact
255 de l'alimentation de précision sur le comportement alimentaire du porc charcutier.
256 *Journées Recherche Porcine* 47, 63-68.
- 257
- 258 Batorek N, Čandek-Potokar M, Bonneau M, Van Milgen J. (2012). Meta-analysis of the
259 effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar
260 taint compounds in pigs. *Animal*, 6(8), 1330-1338. [doi:10.1017/S1751731112000146](https://doi.org/10.1017/S1751731112000146)
- 261
- 262 Bellaver C, Oliveira PA. (2009). Balanço da água nas cadeias de aves e suínos.
263 *Avicultura Industrial*, 101(1183), 39-44.
- 264
- 265 Carabús A, Sainz RD, Oltjen JW, Gispert M, Font-i-Furnols M. (2017). Growth of total
266 fat and lean and of primal cuts is affected by the sex type. *Animal*, 11(8), 1321-1329.
267 [doi:10.1017/S1751731117000039](https://doi.org/10.1017/S1751731117000039)
- 268

- 269 Chimainski M, Ceron MS, Kuhn MF, Muniz HCM, Rocha LT, Pacheco PS, Kesller AM,
270 Oliveira V. (2019). Water disappearance dynamics in growing-finishing pig production.
271 *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48. doi.org/10.1590/rbz4820180258
- 272
273 de Lange CFM, Morel PCH, Birkett SH. (2003). Modeling chemical and physical body
274 composition of the growing pig. *Journal of Animal Science*, 81(E. Suppl. 2), 159-165.
275 doi.org/10.2527/2003.8114_suppl_2E159x
- 276
277 Dunshea FR, Allison JRD, Bertram M, Boler DD, Brossard L, Campbell R, Crane JP,
278 Hennessy DP, Huber L, de Lange CFM, Ferguson N, Matzat P, McKeith F, Moraes
279 PJU, Mullan BP, Noblet J, Quiniou N, Tokach M. (2013). The effect of immunization
280 against GnRF on nutrient requirements of male pigs: a review. *Animal*, 7(11), 1769-
281 1778. doi:10.1017/S1751731113001407
- 282
283 FAO. 2018. Water use of livestock production systems and supply chains – Guidelines
284 for assessment (Draft for public review). Livestock Environmental Assessment and
285 Performance (LEAP) Partnership. FAO, Rome, Italy.
- 286
287 Hahn GL, Gaugthan JB, Mader TL, Eigenberg RA. (2009). Chapter 5: Thermal Indices
288 and their applications for livestock environments. In Livestock energetics and thermal
289 environmental management (ed. JA DeShazer), 113-130. ASABE Publishing. St.
290 Joseph, MI, USA.
- 291
292 Hoekstra AY, Mekonnen MM, Chapagain AK, Mathews RE, Richter BD. (2012). Global
293 Monthly Water Scarcity : Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS
294 ONE*, 7(2). doi:10.1371/journal.pone.0032688
- 295
296 Kristensen L, Therkildsen M, Riis BM, Sorensen MT, Oksbjerg N, Purslow P, Ertbjerg
297 P. (2002). Dietary induced changes of muscle growth rate in pigs: effects on in vivo
298 and post-mortem muscle proteolysis and meat quality. *Journal of Animal Science*, 80,
299 2862-287. doi:10.2527/2002.80112862x
- 300
301 Lanthier F, Lou Y, Terner MA, Squires EJ. (2006). Characterizing developmental
302 changes in plasma and tissue skatole concentrations in the prepubescent intact male
303 pig. *Journal of Animal Science*, 84, 1699-1708. doi:10.2527/jas.2005-633
- 304
305 Legesse G, Ominski KH, Beauchemin KA, Pfister S, Martel M, McGeough EJ, Hoekstra
306 AY, Kroebel R, Cordeiro MRC, McAllister TA. (2017). Board-invited review: Quantifying
307 water use in ruminant production. *Journal of animal science*, 95(5), 2001-2018.
308 doi:10.2527/jas2017.1439
- 309
310 Lima MPA, Gehrcke MI, Laskoski F, Cristani J, Oleskovicz N. (2014). Desempenho de
311 ganho de peso de leitões após diferentes protocolos de castração. *Revista Brasileira
312 de Medicina Veterinária*, 36(2), 209-214.
- 313
314 Li YZ, Chénard L, Lemay SP, Gonyou HW. (2005). Water intake and wastage at nipple
315 drinkers by growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 83, 1413-1422.
316 doi:10.2527/2005.8361413x

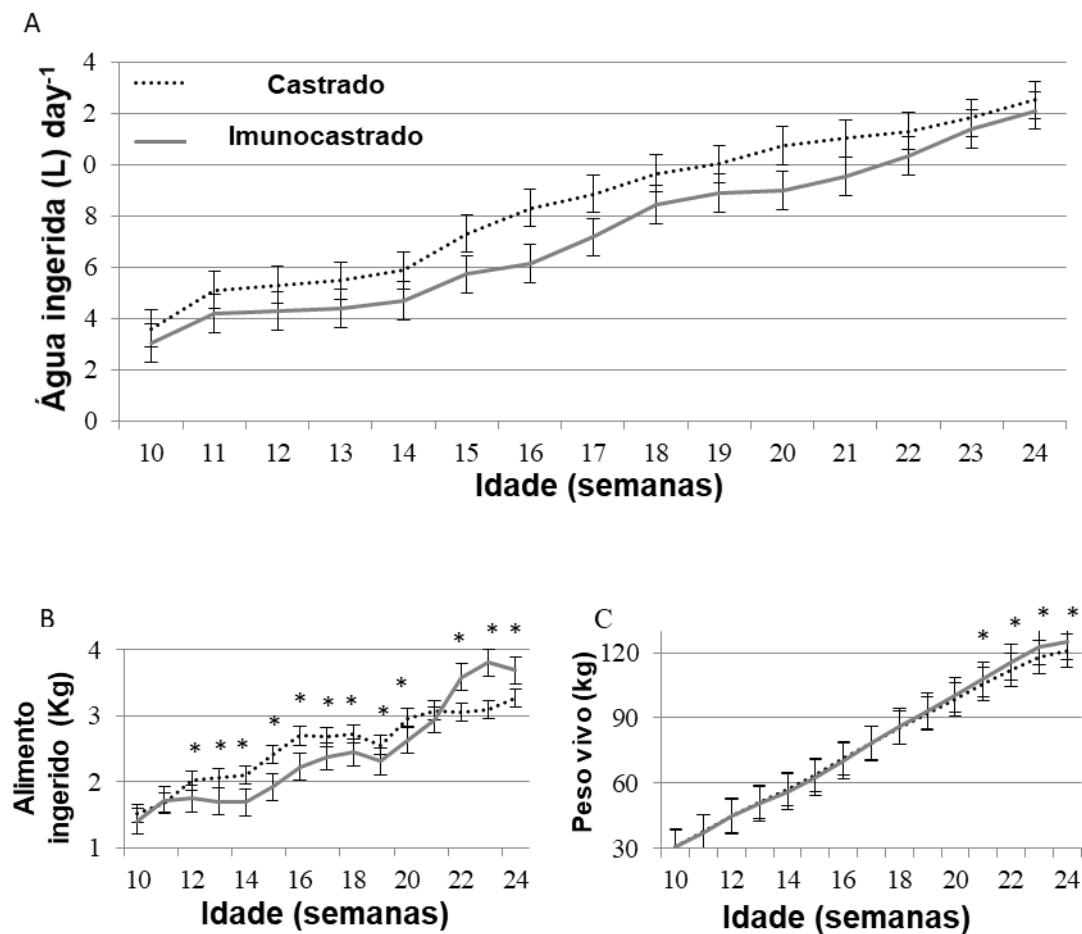
- 317 Madsen TN, Andersen S, Kristensen AR. (2005). Modelling the drinking patterns of
318 young pigs using a state space model. *Computers and Electronics in Agriculture*, 48(1),
319 39-61. doi.org/10.1016/j.compag.2005.01.001
- 320
- 321 Maselyne J, Adriaens I, Huybrechts T, De Ketelaere B, Millet S, Vangeyte J, Van Nuffel
322 A, Saeys W. (2016). Measuring the drinking behaviour of individual pigs housed in
323 group using radio frequency identification (RFID). *Animal*, 10(9), 1557-1566.
324 doi.org/10.1017/S1751731115000774
- 325
- 326 Meunier-Salaün MC, Chiron J, Etore F, Fabre A, Laval A, Pol F, Prunier A, Ramonet
327 Y, Nielsen BL. (2017). Drinking water for liquid-fed pigs. *Animal*, 11(5), 836-844.
328 doi.org/10.1017/S1751731116002202
- 329
- 330 Mroz Z, Jongbloed AW, Lenis NP, Vreman K. (1995). Water in pig nutrition: physiology,
331 allowances and environmental implications. *Nutrition Research Reviews*, 8, 137-164.
332 doi.org/10.1079/NRR19950010
- 333
- 334 NRC - National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th ed.
335 National Academy Press, Washington, DC.
- 336
- 337 UN - United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division
338 (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance
339 Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248.
- 340
- 341 Pauly C, Spring P, O'Doherty JV, Kragten SA, Bee G. (2009). Growth performance,
342 carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated,
343 immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire
344 male pigs. *Animal*, 3(7), 1057-1066. doi.org/10.1017/S1751731109004418
- 345
- 346 Piva JH, Gonçalves MD. (2014). O Sistema wean-to-finish. In Produção de suínos:
347 teoria e prática (ed. Associação Brasileira de Criadores de Suínos), 111–120. ABCS
348 Publishing, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- 349
- 350 Rigolot C, Espagnol S, Pomar C, Dourmad JY. (2010). Modelling of manure production
351 by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄,
352 effect of feeding and performance. *Animal*, 8, 1401-1412.
353 doi.org/10.1017/S1751731110000492
- 354
- 355 Rydhmer L, Lundström K, Andersson K. (2010). Immunocastration reduces aggressive
356 and sexual behaviour in male pigs. *Animal*, 4, 965-972.
357 doi.org/10.1017/S175173111000011X
- 358
- 359 Sampaio CAP. (2004). Caracterização dos sistemas térmicos e acústicos em sistemas
360 de suínos na fase de creche e terminação. Thesis (D.Sc.). Universidade Estadual de
361 Campinas, Campinas, SP, Brazil.
- 362
- 363 Schiavon S, Emmans GC. (2000) A model to predict water intake of a pig growing in a
364 known environment on a known diet. *British Journal of Nutrition*, 84, 873-883.
365 doi.org/10.1017/S000711450000249X
- 366

- 367 Schiavon S, Dal Maso M, Cattani M, Tagliapietra F. (2009). A simplified approach to
368 calculate slurry production of growing pigs at farm level. *Italian Journal of Animal*
369 *Science*, 8(3), 431-455. doi.org/10.4081/ijas.2009.431
- 370
- 371 Tavares JMR, Belli Filho P, Coldebella A, Oliveira PAV. (2014). The water
372 disappearance and munure production at commercial growing-finishing pig farms.
373 *Livestock Science* 169, 146-154. doi.org/10.1016/j.livsci.2014.09.006
- 374
- 375 Thom EC. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*. 12, 57-61.
376 doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960
- 377
- 378 Tukey JW. (1977). Exploratory data analysis. Addison-Wesely.
- 379
- 380 van den Broeke A, Leen F, Aluwé M, Ampe B, van Meensel J, Millet S. (2016). The
381 effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal
382 regulation in boars, barrows, and gilts. *Journal of Animal Science*, 94, 2811-2820.
383 doi.org/10.2527/jas.2015-0173
- 384
- 385 Vranken E, Berckmans D. (2017). Precision livestock farming for pigs. *Animal*
386 *Frontiers*, 7(1), 32-37. doi:10.2527/af.2017.0106
- 387
- 388 Weiler U, Götz M, Schmidt A, Otto M, Müller S. (2013). Influence of sex and
389 immunocastration on feed intake behavior, skatole and indole concentrations in
390 adipose tissue of pigs. *Animal*, 7(2), 300-308. doi:10.1017/s175173111200167x
- 391
- 392
- 393
- 394
- 395
- 396
- 397
- 398
- 399
- 400
- 401
- 402
- 403
- 404

405 Tabela 1 Composição e valor nutricional calculado em dietas de suínos nas fases de
 406 crescimento e terminação

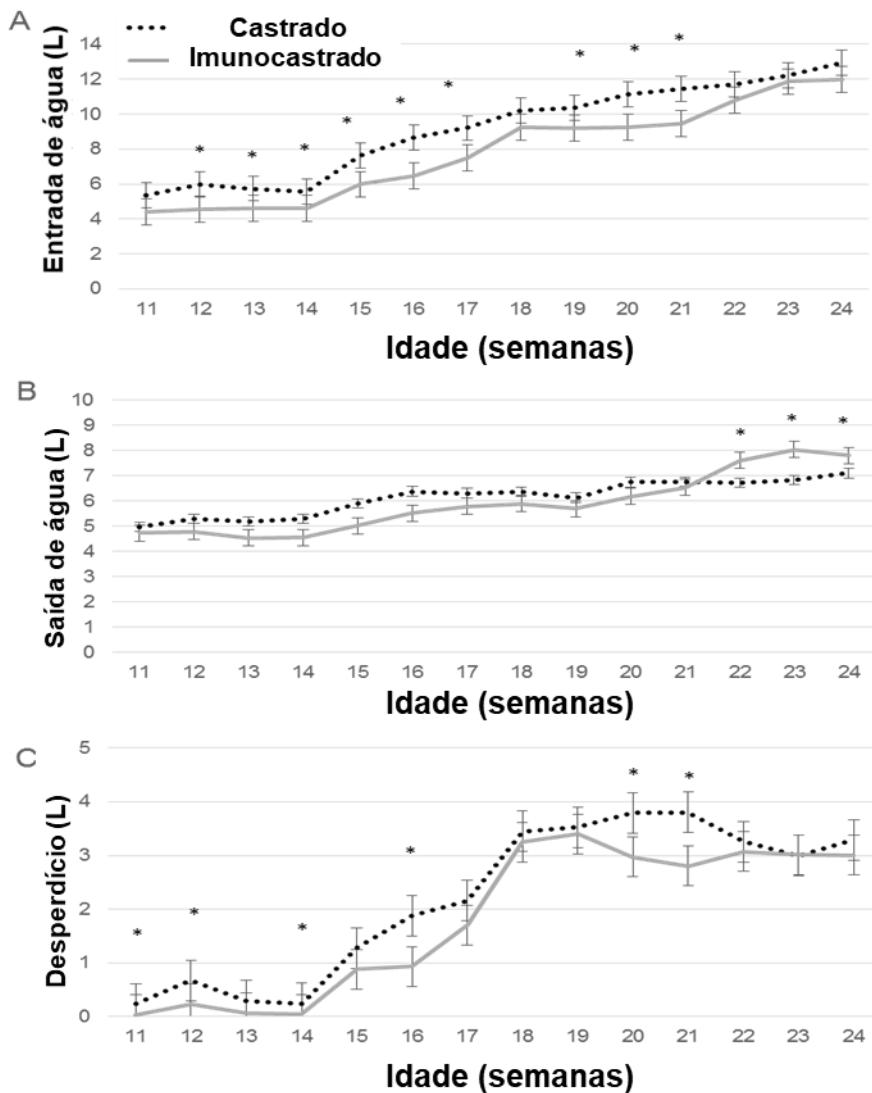
Ingredientes	Dieta, %			
	C1	C2	T1	T2
Milho	64.48	68.13	69.74	75.14
Farelo de soja (46%)	30.41	27.03	25.46	21.83
Óleo de soja	1.94	1.79	1.73	0.40
L-Lisina	0.32	0.31	0.29	0.27
DL-Metionina	0.14	0.11	0.13	0.07
L-Treonina	0.11	0.09	0.10	0.07
Calcário calcítico	0.74	0.77	0.78	0.76
Fosfato bicálcico	1.33	1.20	1.19	0.92
Sal	0.43	0.48	0.48	0.45
Premix mineral ¹	0.05	0.05	0.05	0.05
Premix vitamínico ²	0.05	0.05	0.05	0.05
Composição nutricional	C1	C2	T1	T2
Proteína bruta, %	18.85	17.61	16.77	15.81
Energia metabolizável (EM), MJ·kg ⁻¹	13.82	13.82	13.82	13.60
Lisina (Lys), %	1.14	1.05	1.00	0.90
Lis: EM, (g·MJ ⁻¹)	0.83	0.76	0.72	0.66
Cálcio, %	0.70	0.67	0.64	0.59
Fósforo, %	0.35	0.33	0.32	0.28
Sódio, %	0.17	0.19	0.19	0.18

407 C1– 24 days (30-50kg); C2– 28 days (50-80kg); T1– 25 days (80-105kg); T2– 26 days (105-
 408 130kg); ¹Composição por quilograma de produto: cálcio: 98.800mg; cobalto: 185mg; cobre:
 409 15.750mg; ferro: 26.250mg; iodo: 1.470mg; manganês: 41.850mg; zinco: 77.999mg; selênio:
 410 105mg; ² Composição por quilograma de produto: ácido fólico: 116.55mg; ácido pantotênico:
 411 2.333mg; biotina: 5.28mg; niacina: 5.600mg; piridoxina: 175mg; riboflavina: 933.3mg;
 412 tiamina: 175mg; Vit. A: 1.225.000 U.I.; Vit. D3: 315.000 U.I.; Vit. E: 1.400mg; Vit. K3:
 413 700mg; Vit. B12: 6.825mg.



414

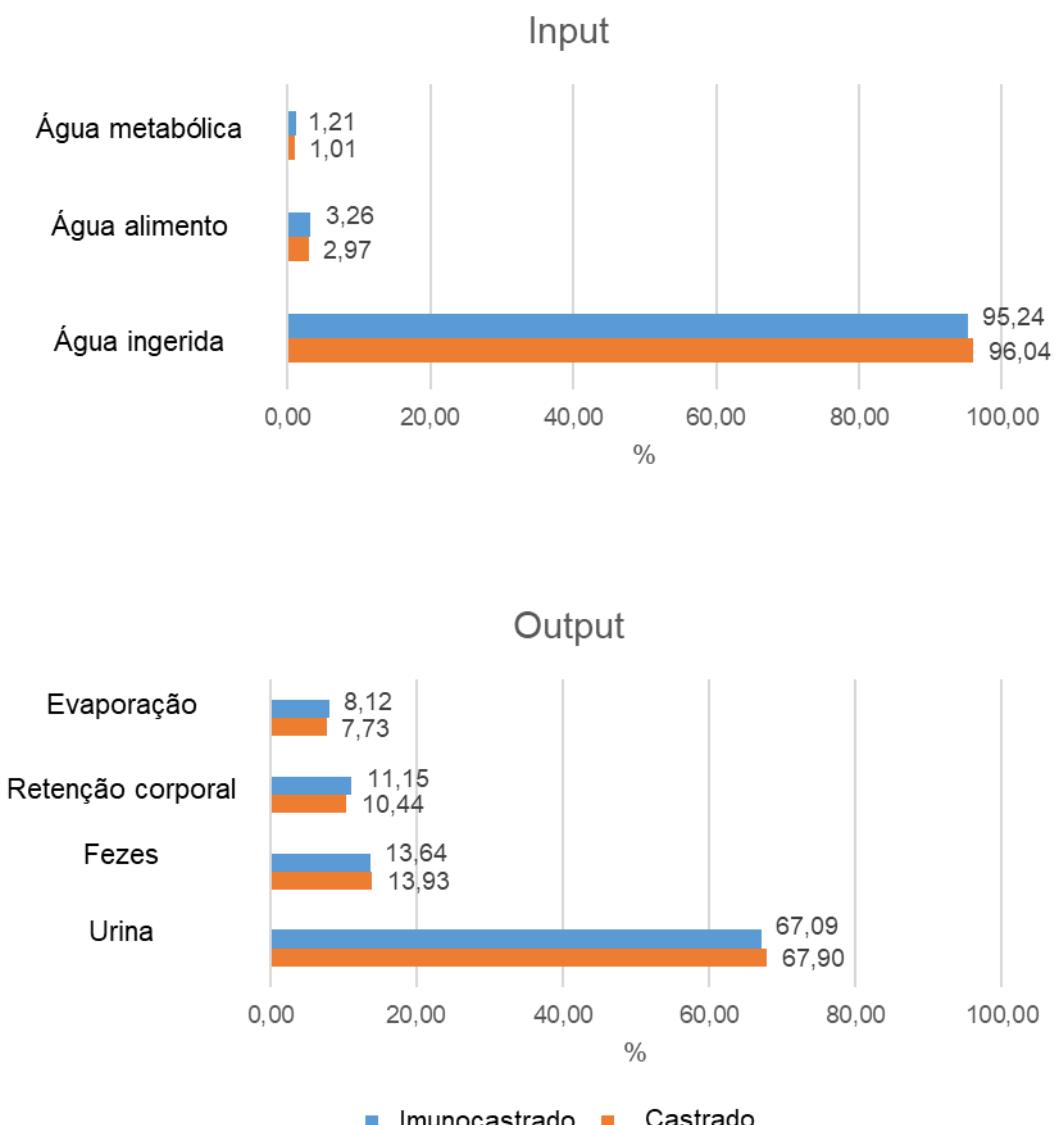
Figura 1 A: Consumo semanal médio de água ($L\ dia^{-1}$); B: Consumo semanal médio de ração (kg); C: Peso corporal (kg) de porcos cirurgicamente castrados e imunocastrados; * indica diferença significativa ($P < 0,05$) pelo teste t de Student para as médias da semana.



415

Figura 2: Comparação entre os valores de A: input (L), B: output (L) e C: água desperdiçada (L), de suínos machos cirurgicamente castrados e imunocastrados no período de crescimento e terminação; * indica diferença significativa ($P < 0,05$) pelo teste t de Student para a média da semana.

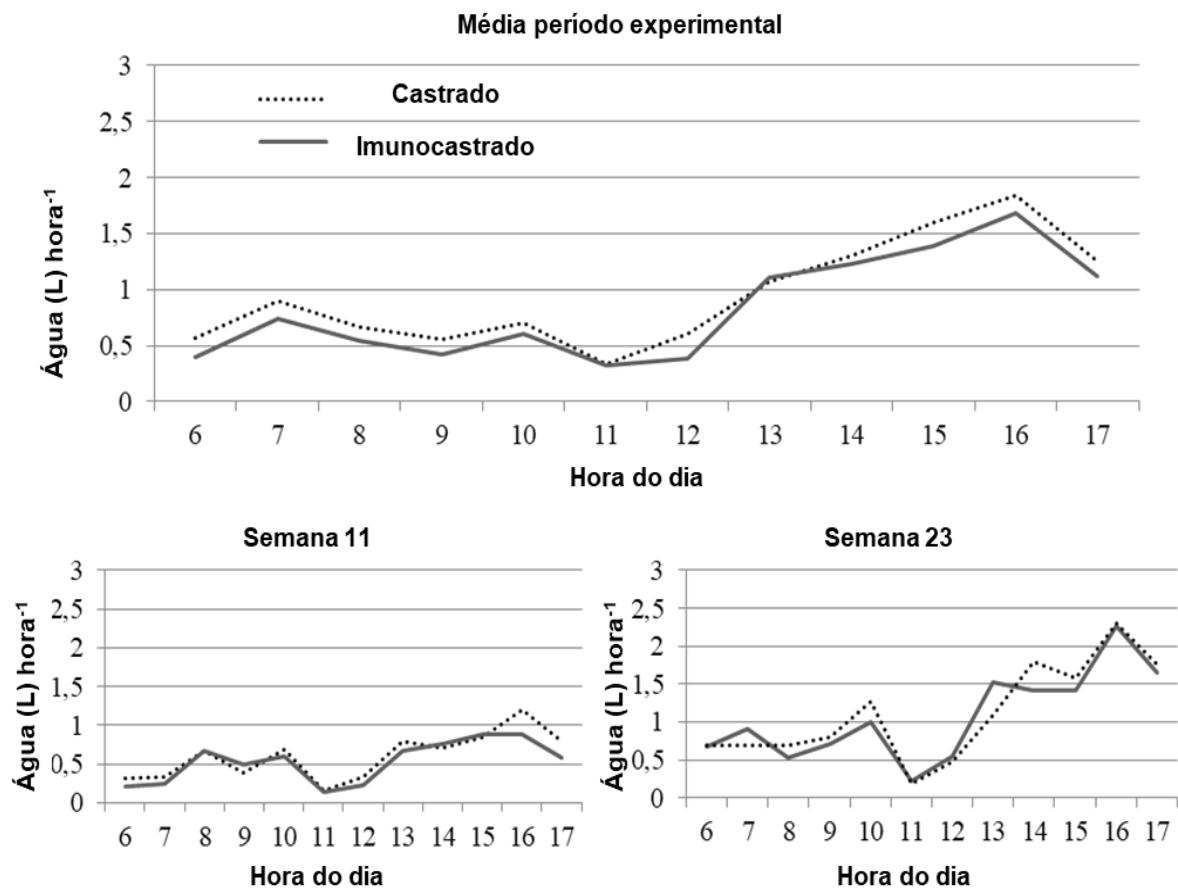
416



417

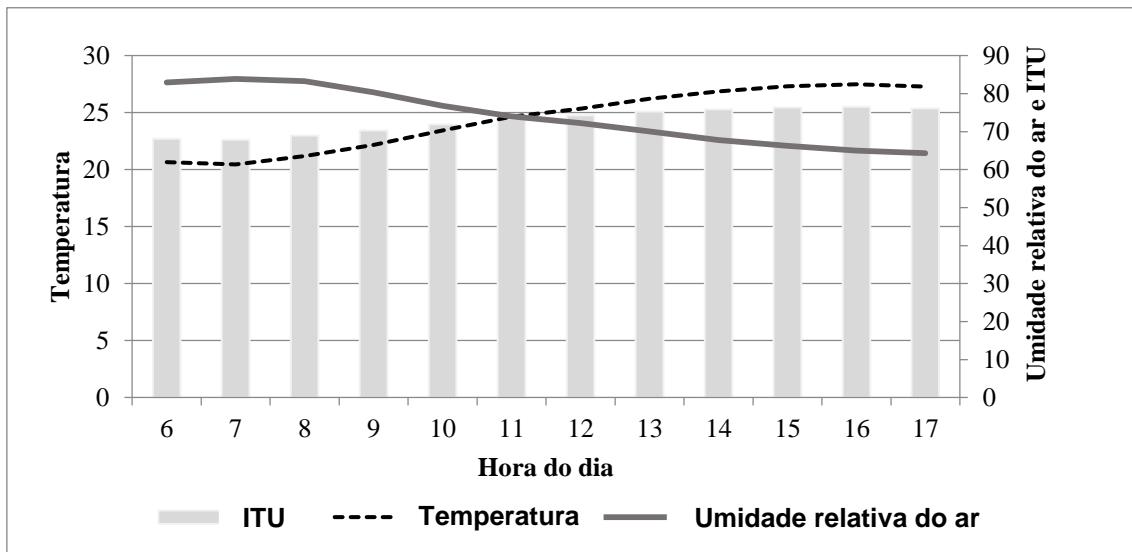
Figura 3 - Composição da entrada (*input*) e saída de água (*output*), em suínos machos castrados cirurgicamente e imunocastrados.

418



419

Figura 4 - Perfil circadiano do consumo diário de água das 6:00 às 18:00 horas, de suínos cirurgicamente castrados e imunocastrados, durante os períodos de crescimento e terminação.



420

421 Figura 5 - Média diária das variáveis ambientais (temperatura e umidade relativa
422 do ar) e índice de temperatura e umidade (ITU), no período das 6:00 às 18:00 horas.

6 DISCUSSÃO GERAL

Os resultados encontrados no presente estudo, demonstraram que suínos machos inteiros submetidos a imunocastração e machos castrados cirurgicamente, possuem diferentes curvas de crescimento, condizendo com estudo feito por Carabús et al. (2017). Utilizando a técnica de modelagem, nota-se que cada categoria sexual expressa diferentes exigências nutricionais (Fraga et al., 2015), e caso não seja atendida limita a performance dos animais, resultando suínos abatidos fora dos padrões almejados pela indústria e pelo consumidor.

No desempenho foi diagnosticado que suínos inteiros até serem submetidos a imunocastração, consomem menor quantidade de dieta e realizam maior deposição de proteína, ocasionando maior ganho de peso (Dunshea et al. 2013), obtendo melhor conversão alimentar, que suínos machos castrados, sendo semelhante aos resultados encontrados por van den Broeke et al. (2016).

No período após segunda dose da vacina, esses animais consomem mais ração que suínos castrados cirurgicamente, existem estudos como de Pauly et al. (2009), que citam a testosterona como fator limitante do consumo, após redução de sua produção, pelas gônadas, os suínos passam a consumir mais, demonstrando conformidade com os resultados encontrados por Batorek et al. (2012).

Segundo Trefan et al. (2014), as características qualitativas e quantitativas da carcaça suína, possuem grande interferência da categoria sexual, peso corporal e genética do animal. Neste estudo foi utilizado animais com mesma procedência genética e o peso de abate foi utilizado como covariável nas análises de variância, obtendo um resultado que possui interferência apenas da categoria sexual. Suínos castrados cirurgicamente apresentaram maior rendimento de carcaça, espessura média de toucinho, área de gordura e espessura na P2, este último é o local em que estudos, utilizam para estimar gordura corporal do animal (DE LANGE

et al., 2003). Já os machos imunocastrados, possuem maior peso de carcaça, profundidade do músculo, rendimento de carne magra e área de olho do lombo.

No quesito qualidade de carne, suínos imunocastrados perdem mais água, possuem carne mais clara e menos avermelhada que machos castrados cirurgicamente. No modelo para estimar o índice de bonificação do frigorífico, previsto por Guidoni (2000), ambas categorias sexuais foram superiores a “1” (um), valor que demonstra bom acabamento da carcaça. A análise sensorial, realizada em nosso estudo corrobora com estudos realizados por Font-i-founols et al. (2008) e Pauly et al. (2009), demonstrando não haver diferença na aceitabilidade da carne de suínos submetidos a imunocastração em relação aos cirurgicamente castrados.

Na literatura atual, há poucos estudos como de Chimański et al. (2019), que descrevem o comportamento hídrico de suínos imunocastrados. Ao comparar o desparecimento hídrico dos suínos castrados e imunocastrados, observou-se que esses animais possuem o perfil circadiano médio de consumo semelhantes, com grande consumo pela manhã (07:00) e pela tarde (16:00). Os consumos encontrados assemelham-se aos de Weiler et al. (2013), no entanto, estes autores estudaram o comportamento ingestivo de ração. Suínos castrados cirurgicamente, possuem um consumo hídrico total, 25% superior aos suínos imunocastrados, provavelmente seja obtido pelo fato destes animais realizarem maior consumo de ração, e esta variável estar correlacionada positivamente com o consumo hídrico (NRC, 2012; CHIMAŃSKI et al., 2019).

Ao utilizar modelos proposto por Rigolot et al. (2010), observou-se que suínos castrados possuem *input* maior ($P < 0,05$), até a 23^a semana. Já os valores de *output* não apresentaram diferença até a 22^a semana. Estes resultados encontrados nas semanas finais de experimento provavelmente ocorrem devido a vacina de imunocastração e ao peso corporal, respectivamente, o primeiro por aumentar o consumo de ração dos animais e o segundo por considerar o peso corporal metabólico do animal no modelo, como animais imunocastrados são mais pesados, possuem maior área corporal e perdem mais água.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando todo o período de crescimento e terminação, suínos inteiros submetidos a imunocastração possuem menor ingestão de alimento, maior ganho de peso e melhor conversão alimentar, em relação aos suínos cirurgicamente castrados.

Pelo fato de necessitar elevada quantidade de lisina e apresentar menor consumo de ração, a dieta de machos inteiros submetidos a imunocastração, deve possuir níveis superiores deste aminoácido, em relação a dieta para machos cirurgicamente castrados.

Suínos machos castrados cirurgicamente, apresentam menor peso de abate e maior rendimento de carcaça. A capacidade de retenção da água é superior, sua carne é mais escura e avermelhada e os valores de força ao cisalhamento são similares aos de machos imunocastrados.

Não há diferença na aceitabilidade pelo consumidor de produtos manufaturados, a partir de cortes de suínos castrados e imunocastrados. O índice de bonificação da carcaça de ambas categorias sexuais foi superior a “1”, e os principais cortes comerciais, não diferiram quando utilizado o peso de abate como covariável.

Em relação ao período total de engorda, suínos castrados cirurgicamente consomem e desperdiçam mais água em relação aos suínos imunocastrados, porém ambas categorias sexuais possuem perfil circadiano semelhante.

REFERÊNCIAS

- ALUWÉ, M. et al. **Effect of surgical castration, immunocastration and chicory-diet on the meat quality and palatability of boars.** Meat Science, v. 94, p. 402-407, 2013.
- BATOREK, N. et al. **Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs.** Animal, v. 6, n. 8, p.1330-1338, 2012.
- BELLAVER, C.; OLIVEIRA, P. A. **Balanço da água nas cadeias de aves e suínos.** Avicultura Industrial, v. 101, n. 1183, p. 39-44, 2009.
- BERTECHINI, A. G. **Nutrição de Monogástricos.** Lavras: Editora UFLA, p. 53-66, 2012.
- BOLER, D.D. et al. **Effects of immunological castration (Improvast) on changes in dressing percentage and carcass characteristics of finishing pigs.** Journal of Animal Science, v. 91, p. 359-368, 2014.
- BRIDI, A.M. **Crescimento e desenvolvimento do tecido muscular.** Universidade Estadual de Londrina. Disponível em: <www.uel.br/pessoal/ambridi/Carnesecarcacas_arquivos/Crescimentoedesenvolvimentomuscular.pdf> Acesso: 12 abr, 2019.
- BROSSARD, L. et al. **Modeling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy.** Animal, v. 3, n. 08, p. 1114-1123, 2009.
- BRUNIUS, C. **Early Immunocastration of Male Pigs - Effects on Physiology, Performance and Behaviour.** 2011. 79 p. Tese de Doutorado. Swedish University of Agricultural Sciences. Disponível em: <http://pub.epsilon.slu.se/8347/1/brunius_c_111003.pdf>. Acesso em: 19 abr, 2019.
- CASAS, G. A. et al. **Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos.** Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, v. 23, p. 349-358, 2010.
- CERON, M.S. et al. **Maintenance requirement and deposition efficiency of lysine in pigs.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. 48:1269-1274, 2013.
- CHIMAINSKI, M. et al. **Water disappearance dynamics in growing-finishing pig production.** Revista Brasileira de Zootecnia, 48, 2019.
- CUMBY, T. R. **Design requirements of liquid feeding systems for pigs: A review.** Journal of Agricultural Engineering and Resources, v. 34 p. 153-172, 1986.
- DUNSHEA, F.R. et al. **Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance.** Journal of Animal Science, v.79 p. 2524-2535, 2001.

- DUNSHEA, F.R. et al. **Immunisation against gonadotrophin-releasing hormone (GnRH) increases growth and reduces variability in group-housed boars.** Animal Production Science, v. 51 p. 695-701, 2011.
- DUNSHEA, F.R. et al. **The effect of immunization against GnRF on nutrient requirements of male pigs: a review.** Animal, v. 7 n. 11 p. 1769-1778, 2013.
- EFSA Scientific Panel. **Opinion of the scientific panel on animal health and welfare on a request from the commission related to welfare aspects of the castration of piglets.** EFSA Journal, v. 91 p. 1-18, 2004.
- EMMANS, G.C. et al. **Growth and body composition.** In: A Quantitative Biology of the Pig (ed. I. Kyriazakis). CAB International, Wallingford, Oxon, 181-197, 1999.
- FERGUSON, N.S. e THEERUTH, B.K. **Protein and lipid deposition rates in growing pigs following a period of excess fattening.** South African Journal of Animal Science, v. 32 p. 97-105, 2002.
- FRAGA, B.N. et al. **Modeling performance and nutritional requirements of pigs lots during growth and finishing.** Ciência Rural. 45(10):1841-1847, 2015.
- FREITAS, A.R. **Curvas de crescimento na produção animal.** Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 786-795, 2005.
- GISPERT, M. et al. **Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs.** Meat Science, v. 85, p. 664-670, 2010.
- HAUSCHILD, L. et al. **Development of sustainable precision farming systems for swine: Estimating real-time individual energy and nutrient requirements in growing-finishing pigs.** Journal of Animal Science, 2012.
- KOHN, F. et al. **Modeling the growth of the goettingen mini pig.** Journal Animal Science, v. 85, p. 84-92, 2007.
- LAMETSCH, R. et al. **Changes in the muscle proteome after compensatory growth in pigs.** Journal of Animal Science, v. 84, p. 918-924, 2006.
- LUO, J. et al. **Estimation of growth curves and suitable Slaughter weight of the Liangshan pig.** Asian Australasian Journal Animal Science, v. 28, p. 1252-1258, 2015.
- MACEDO, L.R.; et al. **Modelagem hierárquica bayesiana na avaliação de curvas de crescimento de suínos genotipados para gene halotano.** Revista Ciência Rural, v. 44, p. 1853-1859, 2014.
- NASCIMENTO, C.A.M.S. et al. **Avaliação de curvas de crescimento em suínos.** Archivos de Zootecnia, v. 66, p. 317-323, 2017.
- NOBLET, J. et al. **Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: Effects of sex and genotype.** Journal of Animal Science, v. 77, p. 1208-1216,

1999.

NRC (National Research Council). Water. In: **Nutrient requirements of swine**: Eleventh Revised Edition. The National Academy Press. Washington, DC, USA, p. 66-73, 2012.

OLIVEIRA, L.A.J.V.B. e BASSANEZI, R.C. Modelo de Von Bertalanffy generalizado aplicado ao crescimento de suínos de corte. Biomatemática, v. 17, p. 101-109, 2007.

OLIVEIRA, V. e FRAGA, B. N. Modelos de simulação de crescimento suíno. Ciências agrárias: tecnologias e perspectivas / organizado por Odair José Kuhn et al. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 304-319, 2015.

PADILHA, A. C. M. et al. Análise do uso de água tratada na produção de suínos. Revista Agropecuária Técnica. v. 34, p. 50-60, 2013

PAULY, C. et al. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. Animal, v.3, n.7, p. 1057-1066, 2009.

POMAR, C. et al. Computer-simulation model of swine production systems. 1. Modeling the growth of young-pigs. Journal of Animal Science, v. 69 p.1468-1488, 1991.

POMAR, C. et al. Modeling stochasticity: Dealing with populations rather than individual pigs. Journal of Animal Science, v. 81, p. 178-186, 2003.

POMAR, C. et al. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, p. 226-237, 2009.

POMAR, C. The utilization of mathematical model to improve swine production. In: VI Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal, São Pedro, SP, Colégio Brasileiro de Nutrição Animal – CBNA, 2015.

RYDHMER, L. et al. Immunocastration reduces aggressive and sexual behaviour in male pigs. Animal, v. 4, n. 6, p. 965-972, 2010.

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

SCHIAVON, S. et al. Use of simple body measurements and allometry to predict the chemical growth and feed intake in pigs. Italian Journal of Animal Science, v. 27-44, 2007.

SCHIAVON, S., and G. C. EMMANS. A model to predict water intake of a pig growing in a known environment on a known diet. British Journal of Nutrition, v. 84, p. 873–883, 2000.

SILVA, F.F. et al. Genomic growth curves of an outbred pig population. Genetics and Molecular Biology, v. 36, p. 520-527, 2013.

- TAVARES, M.A. et al. **Effects of immunological castration and distiller's dried grains with solubles on carcass cutability and commercial bacon slicing yields of barrows slaughtered at two time points.** Journal of Animal Science, v. 92, p. 3149-3160, 2014.
- THERKILDSEN, M. et al. **Compensatory growth in slaughter pigs – in vitro muscle protein turnover at slaughter, circulating IGF-1, performance and carcass quality.** Livestock Production Science, v. 88, p. 63-75, 2004.
- THUN, R., et al. **Castration in male pigs: techniques and animal welfare issues.** Journal Physiology and Pharmacology, v.57 p. 189-194, 2006.
- TREFAN, L. et al. **Meta-analysis of effects of gender in combination with carcass weight and breed on pork quality.** Journal of Animal Science, v. 91, p. 1480-1492, 2014.
- VAN DEN BROEKE A. et al. **The effect of GnRH vaccination on performance, carcass, and meat quality and hormonal regulation in boars, barrows, and gilts.** Journal of Animal Science, v. 94, p. 2811–2820, 2016.
- VAN LAACK, R.J.M. et al. **The influence of ultimate pH and intramuscular fat content on pork tenderness and tenderization.** Journal of Animal Science, v. 79, p. 392-397, 2001.
- VAN MILGEN, J. et al **Modelling the relation between energy intake and protein and lipid deposition in growing pigs.** Animal Science, v.71 p. 119-130, 2000.
- VAN MILGEN, J. e DOURMAD, J.Y. **Concept and application of ideal protein for pigs.** Journal of Animal Science and Biotechnology, v. 6, p. 15-26, 2015.
- VAN MILGEN, J. e NOBLET, J. **Partitioning of energy intake to heat, protein and fat in growing pigs.** Journal of Animal Science, v. 81, p. 86-93, 2003
- WEILER, U. et al. 2013. **Influence of sex and immunocastration on feed intake behavior, skatole and indole concentrations in adipose tissue of pigs.** Animal, v. 7, n. 2, p. 300-308, 2013.
- WELLOCK, I. J., et al. **Modeling the effects of stressors on the performance of populations of pigs.** Journal of Animal Science, v. 82 p. 2442-2450, 2004.
- WHITTEMORE, C. T, et al. **Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein.** Animal Science, v. 73, p. 363-373, 2001.
- WHITTEMORE, C. T. **Requirements for water, minerals and vitamins.** In: **Whittemore's Science and Practice of Pig Production.** Eds: KYRIAZAKIS, I.; WHITTEMORE, C. T. 3ed. Blackwell Publishing, 2006. cap. 12, p. 404-416.
- ZAMARATSKAIA, G. e SQUIRES, E. J. **Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs.** Animal, v. 3, n.11, p. 1508-1521, 2009.
- ZUIDHOF, M. J. **Mathematical characterization of broiler carcass yield dynamics.** Poultry Science, Champaign, v. 84, n. 7, p. 1108-1122, 2005.