
Descrição e aplicação de um modelo matemático para estimar o fluxo global de nutrientes na suinocultura

Vladimir de Oliveira, Marcos Speroni Ceron, Bruno Neutzling Fraga, Daniela Regina Klein

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-19-0.c7>

Resumo

A primeira parte deste capítulo descreve um modelo matemático desenvolvido para estimar o fluxo global de nutrientes na suinocultura. O modelo gera a estrutura do rebanho e calcula a utilização de nutrientes nas categorias projetadas. A partir de dados de composição da dieta e consumo, a ingestão de nutrientes é determinada. As exigências de manutenção, crescimento de conceptos e produção de leite tem prioridade pelos nutrientes na gestação e lactação. No crescimento, o potencial de deposição de proteína é usado para estimar a capacidade de acúmulo de massa pelos animais. A energia ingerida é usada para manutenção, deposição e proteína e lipídeos. Na segunda parte do capítulo, o modelo foi usado para estimar a demanda de milho na suinocultura gaúcha. A suinocultura tem importância econômica e social no estado, enquanto o milho é o alimento com maior participação na dieta dos suínos, embora o estado dependa do milho (ou substituto) produzido em outras regiões, o que prejudica a competitividade da atividade. Uma das vantagens dessa abordagem é permitir a integração de vários fatores avaliando-os individual ou conjuntamente sobre respostas de interesse. O modelo gerou estimativas realistas da demanda de milho total e por categoria. Vou possível quantificar a influência de alguns fatores, como a produtividade da fêmea e incremento da energia metabolizável do milho, sobre a demanda do cereal. Apesar de o modelo necessitar de alguns ajustes, acredita-se essa abordagem tenha grande potencial para contribuir com uma visão global do fluxo de nutrientes e ingredientes na suinocultura.

1. Introdução

A modelagem matemática tem como objetivo descrever sistemas por meio de parâmetros, variáveis e equações diferenciais. Esta abordagem pode ser aplicada em diversas situações e permite a análise do comportamento de sistemas considerando diferentes fatores isolados ou conjuntamente.

O primeiro objetivo deste capítulo é descrever um modelo matemático determinístico que está sendo desenvolvido no Laboratório de Suinocultura da UFSM e cujos resultados de CERON et al. (2013); FRAGA et al. (2015); CAMARGO, (2017), FELIN, (2017), CHIMANSKI et al. (2018) e MUNIZ et al. (2019) contêm, direta ou indiretamente, elementos usados na sua estruturação. Em vários aspectos, os princípios teóricos usado nesse trabalho seguem os mesmos de outros autores, entre os quais mencionam-se: DOURMAD et al. (2008); VAN MILGEN et al. (2008); BERGSMA et al. (2009); RIGOLOT et al. (2010); HANSEN et al. (2014).

Após definir o sistema de produção e inserir variáveis necessárias para iniciar os cálculos, o modelo estima a dinâmica do rebanho. A composição da dieta e variáveis de conversão são usadas para calcular o fluxo de nutrientes (ingestão e excreção) de acordo com o sistema de produção pré-selecionado. É possível simular as saídas alterando-se as variáveis de interesse e obter os resultados médios desejados.

O segundo objetivo é apresentar uma aplicação do modelo visando demonstrar algumas de suas funcionalidades. Entre as diversas possibilidades que o modelo oferece, optou-se por estimar a demanda anual de milho da suinocultura gaúcha. A escolha se baseou nos seguintes princípios: a produção de suínos tem enorme relevância social e econômica no estado; o milho é o componente de maior participação na dieta da maior parte das categorias de suínos e, por fim, o estado tem um déficit histórico de milho que prejudica a competitividade da suinocultura. Acredita-se que um olhar sistêmico, que integre diferentes fatores conjuntamente, possibilite gerar cenários e contribuir com a identificação de gargalos e facilite a apresentação de propostas que impactem significativamente no uso do milho pela suinocultura gaúcha.

2. Descrição do modelo

2.1. Dinâmica do rebanho: o modelo gera a estrutura do rebanho (proporção animais por categoria) considerando um determinado número de animais e sistema de produção específicos (ciclo completo, unidade de produção de leitões, etc.). A partir de informações como duração da gestação e lactação, dias não produtivos, taxa de reposição anual e remoção entre partos, por exemplo, é gerada a distribuição de animais por categoria do rebanho de reprodução. A estrutura do rebanho de crescimento (desmame ao abate) é gerada pelos dados da curva de crescimento dos animais, indicação do sistema de criação, mortalidade e a duração das fases.

2.2. Fluxo de nutrientes: *Gestação* - a utilização dos nutrientes segue a lógica apresentada, simplificada, na figura 1 (DOURMAD et al., 2008). A energia metabolizável (EM) e aminoácidos digestíveis no íleo (AAdig) são as unidades utilizadas para expressar os nutrientes que entram no sistema. A manutenção e o desenvolvimento fetal têm prioridade na utilização dos nutrientes, sendo o excedente destinado ao crescimento materno (deposição de proteína e deposição de lipídeos). A quantidade diária de EM para manutenção foi definida como $106 \text{ kcal/kg PV}^{0,75}$, sendo considerada constante durante toda o período gestacional. O ganho de peso fetal não é uniforme, sendo relativamente pequeno no início e aumentando ao final da gestação. Para contemplar essa variação foram utilizadas as equações de Hansen et al. (2014), apresentada na tabela 1. O ganho de peso materno é estimado pela energia ingerida acima da manutenção e desenvolvimento fetal, considerando as eficiências de proteína (k_p) e lipídeos (k_l) como sendo de 0,60 e 0,80, respectivamente. A quantia diária de nitrogênio retida pela porca é estimada pela equação proposta por DOURMAD et al. (2008) e apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Equações e constantes usadas para modelar o fluxo de nutrientes nas porcas

Item	Equação
EM manutenção, kcal/d	$EM_{\text{man}} = 106 \cdot PV^{0,75}$
Eficiência de utilização da EM para PD, %	$K_p = 0,60$
Eficiência de utilização da EM para LD, %	$K_l = 0,80$
Eficiência de utilização da EM para conceptos, %	$K_c = 0,50$
Peso do feto	
0 – 45 d	$P_{\text{feto}} = 0,474 \cdot t$
46 – 115 d	$P_{\text{feto}} = -62,922 + 0,00108 t^2$
Fluídos e membranas	
Peso	$P_{f+m} = PV_{\text{feto}} \cdot 48,677 \cdot \exp(-0,0415t)$
Proteína	$PB_{f+m} = P_{f+m} \cdot 0,0087 \exp(-0,00146t)$
Composição corporal	
Peso corporal vazio da porca, kg	$PCV = 0,96 \times PV$
Conteúdo de proteína corporal, kg	$P_c = 2,28 + 0,178 \cdot PCV - 0,333 P^2$
Conteúdo de gordura corporal, kg	$G_c = -26,4 + 0,22 \cdot PCV + 1,331 P^2$
Retenção total de nitrogênio	$NR = 0,85 (d(RNc)/dt - 0,4 + 45,9 (t/100) - 105,3 (t/100)^2 + 64,4 (t/100)^3 + a(EM - EM_{MM})$

Adaptado de Dourmad et al. (2008) e Hansen et al. (2014).

Lactação - Durante a lactação a utilização dos nutrientes é dividida em seguintes componentes: manutenção e produção de leite. A energia obtida pelo catabolismo das reservas corporais (lipídeos e proteína) é considerada para o cálculo do suprimento energético. Assumiu-se que energia de manutenção é constante durante toda a lactação e que o valor diário é de 106 kcal de EM/kgPV^{0,75}. O ganho de peso da leitegada serviu para estimar a quantidade de leite produzida e os nutrientes necessários para atender essa demanda (NOBLET et al., 1990). No caso de déficit de EM, ou seja, ingestão inferior as exigências de manutenção e produção de leite, o modelo prevê que haverá mobilização das reservas energéticas de gordura e proteína. As exigências de aminoácidos na lactação contemplam a manutenção e a produção de leite.

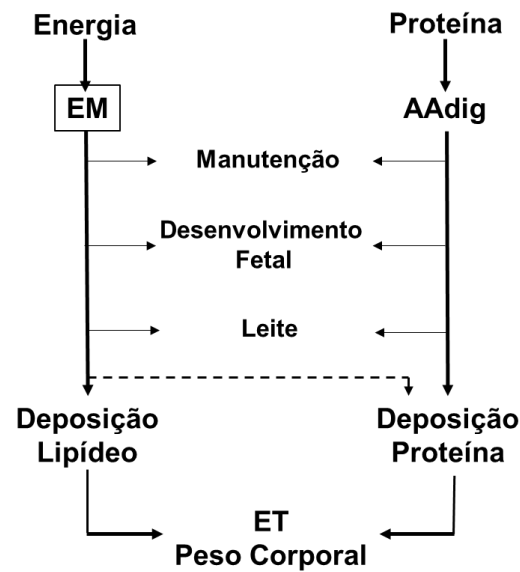


Figura 1. Esquema da utilização de nutrientes do modelo de porcas (Dourmad et al., 2008)

Crescimento - A descrição do fluxo de nutrientes durante o crescimento seguiu os princípios sugeridos por de LANGE et al. (1995). O modelo necessita que seja informada a composição corporal inicial do leitão (desmame) para que a massa de proteína seja determinada e, a partir de relações com outras variáveis, as quantias de lipídeos, água e cinzas sejam estimadas. O potencial de crescimento do suíno é descrito usando a lógica de Gompertz, sendo necessário informar os parâmetros A (peso a maturidade), b (taxa de crescimento relativo) e a idade em que ocorre o ponto de inflexão. Relações alométricas entre a deposição de proteína e lipídeos, água e cinzas são empregadas para obter o peso total. A demanda de EM para manutenção foi fixada em $106 \text{ kcal/kgPV}^{0,75}$ ao dia. A EM ingerida acima da manutenção é usada para deposição simultânea de proteína e lipídeos a uma taxa constante (definida pelo usuário) até o ponto em que a deposição de proteína é limitada (pelo potencial genético, ingestão de aminoácidos e ou energia), quando então toda EM é destinada a deposição lipídica (LUITING & KNAP, 2006). A eficiência de utilização da proteína (k_p) e lipídeo (k_f) foi de 0,6 e 0,8, respectivamente. Os aminoácidos são utilizados com a eficiência descrita na tabela 3, e aqueles não

aproveitados para manutenção e deposição de proteína são desaminados e a cadeia carbonada usada para fins energéticos (VAN MILGEN et al., 2008).

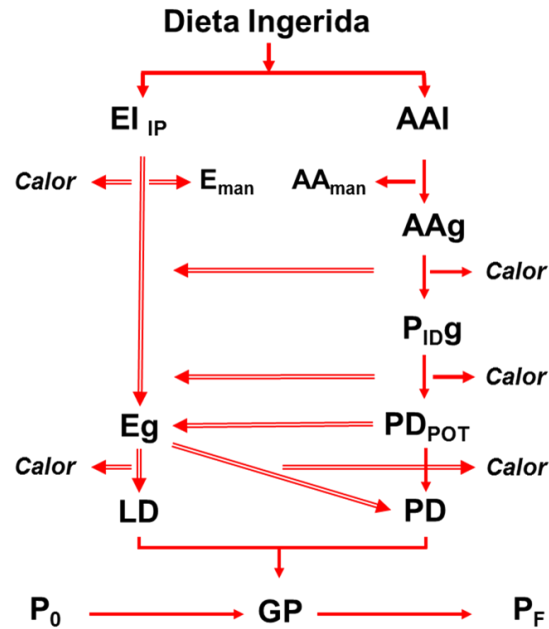


Figura 2. Representação geral da utilização de energia e proteína (PB) no modelo de crescimento. EILP = energia ingerida, isenta de PB; Eg = energia para ganho; LD = taxa de deposição de lipídios; AAI = aminoácido ingerido; AAG = aminoácido para ganho; PIDg = proteína ideal para ganho; PDPOT = potencial de deposição de PB; PD = taxa de deposição de PB; P0 = peso inicial; GP = ganho de peso; PF = peso final. Adaptado de de Lange et al. (1995).

2.3. Dieta: o número de dietas, período de fornecimento, quantia e composição dos ingredientes de cada uma deve ser estabelecido pelo usuário. O modelo calcula a composição em energia e nutrientes. A ingestão diária de nutrientes é obtida multiplicando-se a composição pelo consumo informado.

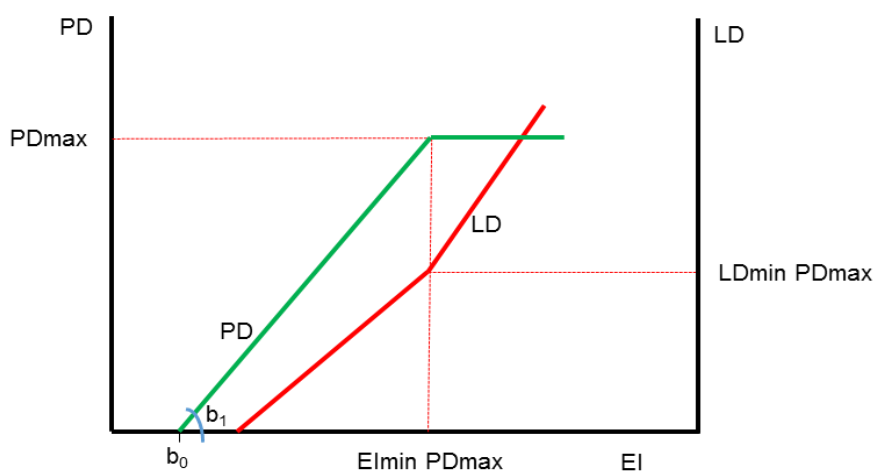


Figura 4. Deposição de proteína (PD) e deposição de lipídios (LD) em relação ao consumo de energia metabolizável (EM). Para $PD < PD_{max}$, $PD = f(MEI) = b_1 \times (EMI - b_0)$. Adaptado de Luiting & Knap (2006).

Tabela 2. Perfil ideal de aminoácidos, aminoácidos para manutenção, composição corporal de aminoácidos e eficiência de deposição de aminoácidos para suínos

Aminoácido	Proteína ideal %	Perdas de Integumentos mg/kg $PV^{0,75}/d$	Perdas devido turnover basal mg/kg $PV^{0,75}/d$	Perdas basais endógenas g/kg MSI	Composição corporal %	Máxima eficiência %
Lisina	100	4,5	23,9	0,313	6,96	72
Metionina	30	1,0	7,0	0,087	1,88	64
Cistina	n.a.	4,7	4,7	0,140	1,03	n.a.
Met+Cist	60	5,7	11,7	0,227	2,91	51
Treonina	65	3,3	13,8	0,330	3,70	61
Triptofano	18	0,9	3,5	0,117	0,95	57
Isoleucina	60	2,5	12,4	0,257	3,46	60
Leucina	100	5,3	27,1	0,427	7,17	76
Valina	70	3,8	16,4	0,357	4,67	71
Fenilalanina	50	3,0	13,7	0,273	3,78	82
Tirosina	n.a.	1,9	9,0	0,223	2,86	n.a.
Fen+Tiro	95	4,9	22,7	0,497	6,64	75
Histidina	32	1,3	10,2	0,130	2,79	93
Arginina	42	0,0	0,0	0,280	6,26	154

FONTE: Adaptado de Van Milgen et al. (2008).

3. Demanda de milho da suinocultura gaúcha

Os dados usados para realizar as estimativas foram: número de suínos abatidos (11.150 mil cabeças), mortalidade na maternidade, creche, crescimento e terminação (8,5, 1,5, 2,0 e 2,0%, respectivamente), proporção de milho das dietas de gestação, lactação, pré 1 e 2, inicial, crescimento 1 e 2 e terminação 1 e 2 (60, 65, 40, 50, 60, 65, 65, 60 e 55%, respectivamente), número de ordem parto máximo (7) e taxa de remoção entre partos (10%).

É possível visualizar na figura 4 que a distribuição das matrizes por ordem de parto. Como era esperado a maior proporção de fêmeas encontra-se nas ordens de parto iniciais.

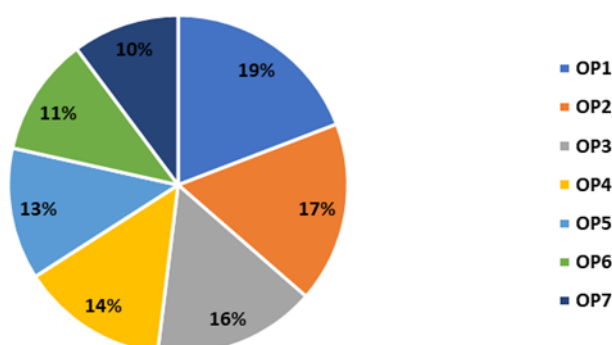


Figura 4. Distribuição das matrizes comerciais por ordem de parto

Na tabela 3 encontram-se os dados de demanda de milho, estimados pelo modelo, para atender as necessidades do rebanho. Consta-se que a demanda de milho da suinocultura gaúcha é ao redor de 2 milhões de toneladas, o que está dentro de estimativas divulgadas pelas entidades governamentais e representantes dos suinocultores. É importante mencionar que nas fases de crescimento e terminação ocorrem os maiores gastos de milho, 35,6 e 40,9% do total, respectivamente. Os dados demonstram o potencial dessas fases de criação para medidas que reduzam a demanda de milho.

Tabela 3. Demanda anual de milho por categoria animal

Categoria	Milho (t)	%
Matrizes	339.165,8	16,8
Creche	135.631,6	6,7
Crescimento	720.954,7	35,6
Terminação	828.363,3	40,9
Total	2.024.115,4	100,0

Foi simulado o efeito do aumento da produtividade das matrizes, expresso em número de leitões desmamados por fêmea ao ano, na demanda anual de milho pelas matrizes (Tabela 4). Percebe-se que há uma relação inversa entre a produtividade das fêmeas e a demanda de milho, reforçando que medidas de aumento da eficiência reprodutiva do plantel tem impacto na quantidade de milho necessária na suinocultura.

Tabela 4. Demanda anual de milho de acordo produtividade porca

DFA	Milho (t)	%
31,22	339.165,8	100,0
32,22	328.639,2	96,9
33,22	318.746,4	94,0
34,22	309.431,8	91,2
35,22	300.646,1	88,6

DFA = Desmamados por fêmea/ano.

A figura 5 mostra o efeito que um virtual incremento na energia metabolizável do milho teria sobre o número de suínos terminados para o abate. Fica evidente que medidas que visem obter melhorias nos valores energéticos do milho, como por exemplo, as relacionadas ao processamento, uso de enzimas e outros aditivos, empregos de grãos com maior densidade energética, entre outras, podem contribuir para reduzir a demanda ou uso mais eficiente do volume utilizado.

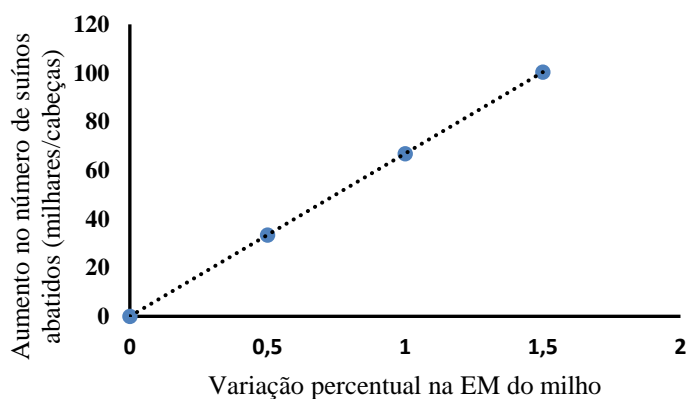


Figura 5. Influência da variação na EM do milho sobre o incremento de suínos abatidos

Os processos de avaliação de resultados e tomada de decisão demandam indicadores quantitativos. Na tabela 5 são apresentados alguns indicadores de conversão do milho que foram gerados pelo modelo e que podem contribuir com as finalidades mencionadas.

Tabela 5. Indicadores selecionados de conversão do milho

Item	Milho, kg
Matriz alojada, kg/kg	5470,4
Suíno abatido, kg/cab.	181,5
Carcaça, kg/kg	2,0

4. Considerações finais

O modelo matemático apresentado nesse capítulo demonstra potencial para a descrição da dinâmica do rebanho e fluxo de nutrientes ingeridos pelos suínos das diferentes categorias. Com relação as estimativas de demanda de milho pela suinocultura gaúcha, é possível afirmar que os dados estão dentro da margem esperada. Além disso, acredita-se que essa abordagem metodológica

possa ser implementada não só para quantificar a necessidade do cereal, mas principalmente simular o impacto de diferentes fatores na demanda de milho.

5. Referências bibliográficas

- BERGSMA, R. et al. Lactation efficiency as a result of body composition dynamics and feed intake in sows. **Livestock Science**. v. 125, p. 208-222, 2009.
- CAMARGO, C. A. S. **Simulação do impacto de diferentes programas de dietas para suínos em crescimento e terminação**. 2017. 43f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria.
- CERON, M. S. et al. Maintenance requirement and deposition efficiency of lysine in pigs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 48(9), p. 1269–1274, 2013.
- CHIMAINSKI, M. et al. Water disappearance dynamics in growing-finishing pig production. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 48, 2019.
- DOURMAD, J. Y. et al. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. **Animal Feed Science Technology**. v. 143, p. 372-386, 2008.
- FELIN, F. P. **Eficiência lactacional de porcas com diferentes ordens de parto**. 2017. 41f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria.
- FRAGA B. N. et al. Modeling performance and nutritional requirements of pigs lots during growth and finishing. **Ciência Rural**. v. 45, p. 1841-1847, 2015.
- HANSEN, A. et al. Energy and nutrient deposition and excretion in the reproducing sow: Model development and evaluation. **Journal of Animal Science**. v. 92, p. 2458-2472, 2014.
- DE LANGE, C. F. M. et al. Framework for a simplified model to demonstrate principles of nutrient partitioning for growth in the pig. **Modelling growth in the pig**. p. 71-85, 1995.
- LUITING, P.; KNAP, P. W. Comparison of pig growth models – the genetic point of view, London, UK, 2006. In: MECHANISTIC MODELLING IN PIG & POULTRY PRODUCTION, 2006, London, UK. **Anais...** CAB International, London (UK), 2006. p. 260-281.
- MUNIZ, H. C. M. et al. Evaluation of factorial methods to estimate lysinerequirements for barrows and immunocastrated pigs. **Livestock Science**, v. 227, p. 68-74, 2019.
- NOBLET, J. et al. Energy utilization in pregnant and lactating sows: Modeling of energy requirements. **Journal of Animal Science**. v. 68, p. 562–572, 1990.

RIGOLOTT, Cyrille et al. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. **Animal**. v. 4, n. 8, p. 1413-1424, 2010.

VAN MILGEN, J. et al. InraPorc: a model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 143, p. 387-405, 2008.

Autores

Vladimir de Oliveira¹, Marcos Speroni Ceron², Bruno Neutzling Fraga³, Daniela Regina Klein⁴

1. Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
2. Escola de Veterinária e Zootecnia - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil.
3. Universidade Federal do Pampa - Unipampa, Campus Itaqui, Brasil.
4. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.