

## MODELOS NÃO LINEARES PARA ESTIMAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA E PRODUÇÃO DE DEJETO EM GRANJAS COMERCIAIS DE SUÍNOS

JORGE M. R. TAVARES<sup>1</sup>, DIOGO SILVA<sup>2</sup>, ARLEI COLDEBELLA<sup>3</sup>, PAULO BELLI FILHO<sup>4</sup>, PAULO A. V. OLIVEIRA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eng. Zootécnico, Doutorando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC – Centro Tecnológico, Campus Universitário, Florianópolis, (48) 3721-7743, jorge.tavares@posgrad.ufsc.br;

<sup>2</sup> Eng. Sanit. Ambiental, ENS, Florianópolis;

<sup>3</sup> Médico Veterinário, Doutor, Pesquisador Embrapa Suínos e Aves, Concórdia;

<sup>4</sup> Eng. Sanit. Ambiental, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis;

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Doutor, Pesquisador Embrapa Suínos e Aves, Concórdia.

Apresentado no  
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016  
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

**RESUMO:** modelos de gestão ambiental associados à agropecuária são ferramentas importantes de simulação para tomada de decisão. O objetivo do estudo foi ajustar as curvas do consumo de água e produção de dejetos em granjas comerciais de suínos (crescimento-terminação), comparando aquela que melhor descreve a evolução dos parâmetros, em função da idade, período de alojamento e peso vivo. O estudo foi desenvolvido durante 13 meses no Oeste Catarinense, em 15 granjas onde foram monitorados 13.276 suínos (idade: 63 dias; peso vivo: 24,5kg) repartidos por 32 ciclos de produção. A variável idade, período de alojamento e peso vivo foram utilizadas para ajustar as curvas do consumo de água e produção de dejetos e estimar os seus parâmetros pelos procedimentos GENMOD e NLMIXED do SAS. Os modelos matemáticos utilizados foram: Intercepto, Linear, Quadrática, Brody, Gompertz, Logística, Richards e Von Bertalanffy. A função logística foi a que melhor descreveu os parâmetros estudados, exibindo um bom ajustamento e estimativas próximas da realidade [por exemplo, idade dos suínos (água:  $R^2=0,989$ ; erro=1,32%; dejetos:  $R^2=0,995$ ; erro de predição=0,96%]. Foi ainda desenvolvido um dispositivo de medição instantâneo onde o modelo embarcado no software permitirá ao produtor visualizar o consumo de água dos suínos pela plotagem de pontos diários e compará-los com a curva estimada.

**PALAVRAS-CHAVE:** suínos, crescimento-terminação, modelos não lineares, software de gestão ambiental.

## NONLINEAR MODELS TO ESTIMATE THE WATER CONSUMPTION AND MANURE PRODUCTION AT COMMERCIAL PIG FARMS

**ABSTRACT:** environmental management models associated with precision animal husbandry are important simulation tools for decision making. The aim of this study was to adjust at commercial pig farms the water consumption and manure production curves (growing-finishing), comparing the curve that best describes the evolution of parameters, depending on age, housing period, and body weight. The study was conducted during 13 months in West of Santa Catarina, at 15 farms where 13,276 pigs were monitored (age: 63 days, body weight: 24,5kg) spread over 32 production cycles. The variable age, housing, and body weight were used to adjust the water consumption and manure production curves and

estimate its parameters by GENMOD and NLMIXED SAS procedures. The mathematical models used were: Intercept, Linear, Quadratic, Brody, Gompertz, Logistic, Richards, and von Bertalanffy. The logistic function was the one that best described the studied parameters, displaying a good adjustment and estimates closer to reality [e.g. pigs age (water:  $R^2=0.989$ ; error=1.32%; manure:  $R^2=0.995$ ; error prediction=0.96%]. It was also developed an instant measuring device where the model embedded in the software will allow the producer to view the pig water consumption by plotting the daily points and compare them with the estimated curve.

**KEYWORDS:** pigs, growing-finishing, nonlinear models, environmental management software.

## INTRODUÇÃO

A água é considerada um recurso natural finito, essencial para a vida dos organismos vivos e o principal nutriente dos animais. Apesar de ser um dos fatores primordiais na produção suína, no planejamento dos sistemas de produção, a água enquanto nutriente acaba muitas vezes por ser negligenciada (OLIVEIRA, 2004). Não obstante esse esquecimento, o consumo elevado de água nas granjas comerciais de suínos e o aumento da demanda em regiões de pecuária intensiva vêm reduzindo a qualidade e disponibilidade das reservas naturais, levando, conseqüentemente, a um incremento na pressão do uso da água como insumo na produção (FERREIRA et al., 2007; LANA, 2009). Em situações de má gestão, a água poderá tornar-se um insumo cada vez mais escasso, pelo que o seu uso eficiente torna-se, assim, obrigatório. Por outro lado, a produção de dejetos na atividade suinícola e a sua qualidade não pode ser dissociada do uso excessivo de água nas granjas (BABOT et al., 2011; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; LI et al., 2005) em função do desperdício de água nos equipamentos de dessedentação e dos programas de limpeza e desinfecção dos edifícios de alojamento.

Nos últimos anos, as reservas e a qualidade da água disponível para a dessedentação dos suínos vêm-se apresentando como tema central de estudo e análise no decorrer dos últimos anos. A crescente degradação e conseqüente aumento da poluição das águas superficiais e subterrâneas têm pressionado o meio acadêmico e científico, a realizar pesquisas com o objetivo de minimizar os impactos associados à produção. Neste contexto, como base para uma ferramenta inovadora de controle e apoio à tomada de decisão do produtor, no que concerne à gestão ambiental da granja (água e dejetos), oito modelos matemáticos (três lineares e cinco não lineares) foram ajustados às curvas do consumo de água e produção de dejetos em granjas comerciais de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação. Os modelos não lineares possuem na sua equação três parâmetros (a, b, c) com significado biológico e a interpretação dos mesmos disponibiliza informação sobre outras variáveis, tais como o consumo de água e a produção de dejetos, usando uma medida, como por exemplo, o peso vivo, o comprimento, a altura ou a idade em determinada escala de tempo (TAVARES et al., 2014). Embora comumente usado em pesquisas para explicar as tendências de crescimento de diversos parâmetros zootécnicos, especialmente em tecidos (FIALHO, 1999), os modelos não lineares não foram utilizados anteriormente para estimar o consumo de água e a produção de dejetos na atividade suinícola (TAVARES et al., 2014).

O presente estudo visou ajustar as curvas do consumo de água e produção de dejetos em granjas comerciais de suínos (crescimento-terminação), comparando aquela que melhor descreve a evolução desses parâmetros, em função da idade, período de alojamento e peso vivo dos animais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em 15 granjas comerciais de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, localizadas no Estado de Santa Catarina, Brasil. Um total de 13.276 suínos (idade: 63 dias; peso vivo: 24,5kg), repartidos por 32 ciclos de produção (considerando 105 dias de alojamento), foram monitorados entre abril de 2011 e maio de 2012 (13 meses).

Os dados diários de consumo de água e produção de dejetos foram obtidos segundo metodologia descrita por TAVARES et al. (2014). Os principais itens desta metodologia são descritos de seguida:

Consumo de água: os valores de água ingerida + desperdiçada pelo suíno no bebedouro foram coletados desde o primeiro dia de alojamento dos animais até à sua saída para o frigorífico. Foram instalados 55 hidrômetros no total (Unimag Cyble PN 10, ITRÓN Inc., Liberty Lake, Washington), um em cada linha de água que abastecia os edifícios de produção. As leituras dos hidrômetros em cada granja foram realizadas e registradas pelos produtores, em intervalos de 24 horas, sendo coletadas posteriormente pela equipe de campo, para análise e correção/eliminação de erros.

Produção de dejetos: o volume de dejetos foi determinado com o apoio de caixas de fibra de vidro com volume total de 5,0 m<sup>3</sup> [Fibratec PRFV 819 (diâmetro menor: 1,70 m; diâmetro maior: 2,13 m; altura: 1,76 m) e Fortlev (diâmetro menor: 1,86 m; diâmetro maior: 2,21 m; altura: 1,64 m), Araquari, SC, Brasil], instaladas entre o edifício de alojamento e o sistema de armazenamento/tratamento de cada granja de suínos (esterqueira e/ou digestor). Diariamente, os dejetos produzidos e armazenados nas canaletas externas aos edifícios de produção foram transferidos para as caixas de fibra de vidro por gravidade. A medição da altura da lâmina de água do dejetos no interior das caixas foi realizada pelo produtor a cada 24 horas.

Os dados diários obtidos foram organizados e usados para determinar os parâmetros (a, b e c) dos modelos matemáticos utilizados e para avaliar o comportamento do consumo de água e da produção de dejetos a partir do cálculo dos seus valores médios semanais em função de três variáveis: a idade (entre 63 e 168 dias), o tempo de alojamento (105 dias) e o peso vivo dos suínos (inicial: 24,5kg). O ajuste das curvas em função do peso vivo foi realizado após processo de regressão linear simples entre o peso e a idade dos animais em cada ciclo avaliado. Para determinação dos pesos médios semanais, foram consideradas quatro pesagens, a primeira no momento da saída da creche, que antecede o alojamento dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (63 dias de idade), duas no decorrer ciclo de produção (93-98 dias e 133-138 dias) e a última no momento do abate dos animais (168 dias de idade).

Oito modelos matemáticos, entre lineares (1: Intercepto; 2: Linear; 3: Quadrática) e não lineares (4: Brody; 5: Gompertz; 6: Logística; 7: Richards; 8: Von Bertalanffy) foram utilizados para estimar o consumo de água e a produção de dejetos em função da idade (i), do tempo de alojamento (t) e do peso vivo dos animais (p). Os modelos lineares foram usados como base de comparação para os demais. As análises dos dados foram realizadas por meio dos procedimentos GENMOD e NLMIXED do Statistical Analysis System® (SAS Inst. Inc., Cary, NC). A escolha dos melhores modelos para prever o consumo de água e a produção de dejetos foi baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC - quanto menor o valor, melhor). Para cada modelo foram também determinados os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e os erros de predição (absoluto e em %).

A Tabela 1 apresenta a equação e o número de parâmetros determinados para cada um dos oito modelos matemáticos utilizados no estudo, para prever o consumo de água e a produção de dejetos, em função de uma variável aleatória (x).

TABELA 1. Equação e número de parâmetros determinados para cada um dos oito modelos matemáticos utilizados no estudo. **Equation and number of parameters determined for each of the eight mathematical models used in the study.**

| Tipo       | Função             | Equação                                             | Nº de Parâmetros |
|------------|--------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| Linear     | 1: Intercepto      | $E[x] = a$                                          | 1                |
|            | 2: Linear          | $E[x] = ax + b$                                     | 2                |
|            | 3: Quadrática      | $E[x] = ax^2 + bx + c$                              | 3                |
| Não Linear | 4: Brody           | $E[x] = a [1 - b \times \exp(-c \times x)]$         | 3                |
|            | 5: Gompertz        | $E[x] = a \times \exp[-b \times \exp(-c \times x)]$ | 3                |
|            | 6: Logística       | $E[x] = a [1 + b \times \exp(-c \times x)]^{-1}$    | 3                |
|            | 7: Richards        | $E[x] = a [1 - b \times \exp(-c \times x)]^m$       | 4                |
|            | 8: Von Bertalanffy | $E[x] = a [1 - b \times \exp(-c \times x)]^3$       | 3                |

$E[x]$  - consumo de água ou produção de dejetos diário em função da variável analisada ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ );  $a$  - consumo de água ou produção de dejetos na maturidade ( $L$ );  $b$  - aumento da variável no ponto de inflexão ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} / \text{unidade de } x$ );  $c$  - parâmetro de decaimento no ponto de inflexão da curva (unidade de  $x$ );  $x$  - variável (unidade de  $x$ );  $m$  - parâmetro fixo que determina a forma da curva e consequentemente o ponto de inflexão na equação de Richards.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 exibe os valores do Critério de Informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro de predição absoluto ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ ) para os modelos matemáticos ajustados no estudo para estimar o consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função da idade (i), tempo de alojamento (t) e peso vivo dos suínos (p).

TABELA 2. Valores do Critério de Informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro de estimacão absoluto ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ ) dos modelos ajustados para estimar o consumo de água dos suínos. **Values of the Akaike Information Criterion (AIC), coefficient of determination ( $R^2$ ), and absolute prediction error ( $L \cdot \text{pig}^{-1} \cdot d^{-1}$ ) to the models adjusted to predict the water consumption of pigs.**

| Função <sup>‡</sup> | Idade (i)     |       |                   | Tempo alojamento (t) |       |                   | Peso vivo (p) |       |                   |
|---------------------|---------------|-------|-------------------|----------------------|-------|-------------------|---------------|-------|-------------------|
|                     | AIC           | $R^2$ | Erro <sup>†</sup> | AIC                  | $R^2$ | Erro <sup>†</sup> | AIC           | $R^2$ | Erro <sup>†</sup> |
| 1                   | 53,87         | -     | 1,06              | 55,01                | -     | 1,12              | 53,87         | -     | 1,06              |
| 2                   | 29,06         | 0,833 | 0,45              | 27,59                | 0,859 | 0,45              | 29,06         | 0,833 | 0,45              |
| 3                   | -23,83        | 0,996 | 0,07              | -20,49               | 0,995 | 0,07              | -23,86        | 0,996 | 0,07              |
| 4                   | -4,33         | 0,984 | 0,13              | -6,04                | 0,987 | 0,12              | -4,87         | 0,985 | 0,13              |
| 5                   | -7,41         | 0,987 | 0,12              | -10,24               | 0,990 | 0,10              | -7,88         | 0,988 | 0,12              |
| 6                   | <b>-10,00</b> | 0,989 | 0,11              | <b>-14,16</b>        | 0,992 | 0,09              | <b>-10,38</b> | 0,989 | 0,11              |
| 7                   | -7,40         | 0,987 | 0,12              | -10,24               | 0,813 | 0,52              | -7,88         | 0,988 | 0,12              |
| 8                   | -6,42         | 0,986 | 0,13              | -8,86                | 0,989 | 0,11              | -6,92         | 0,987 | 0,12              |

<sup>‡</sup>1: Intercepto; 2: Linear; 3: Quadrática; 4: Brody; 5: Gompertz; 6: Logística; 7: Richards ( $m = 1000$ ); 8: Von Bertalanffy;

<sup>†</sup> Erro de estimacão absoluto ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ )

A observação da Tabela 2 permite indicar que o modelo linear Quadrático (função n.º 3) foi o que apresentou o melhor ajuste para o consumo de água dos suínos, tendo apresentado o menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC) para as três variáveis estudadas (idade, tempo de alojamento e peso vivo dos suínos). No entanto, dado que esse modelo não apresenta sentido biológico, foi selecionado o segundo melhor modelo, o Logístico (função n.º 6). Os resultados estatísticos do ajuste do modelo não linear Logístico demonstram que o mesmo apresenta robustez e viabilidade para prever o consumo médio de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função das variáveis estudadas. Estes resultados, quando comparados com os exibidos por TAVARES et al. (2014) para o modelo não linear de Gompertz (função n.º 5), permitem registrar um incremento na acuracidade do modelo (redução do erro de predição) para estimar o consumo real dos animais ao longo do seu ciclo de produção.

A Tabela 3 mostra os valores do Critério de Informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro de predição absoluto ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ ) para os modelos matemáticos ajustados no estudo para prever a produção de dejetos dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função da idade (i), tempo de alojamento (t) e peso vivo dos suínos (p).

TABELA 3. Valores do Critério de Informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro de predição absoluto ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ ) dos modelos ajustados para prever a produção de dejetos dos suínos. Values of **Akaike Information Criterion (AIC)**, **coefficient of determination ( $R^2$ )**, and **absolute prediction error ( $L \cdot \text{pig}^{-1} \cdot d^{-1}$ )** to the models adjusted to predict the manure production of pigs.

| Função <sup>‡</sup> | Idade (i)     |       |                   | Tempo alojamento (t) |       |                   | Peso vivo (p) |       |                   |
|---------------------|---------------|-------|-------------------|----------------------|-------|-------------------|---------------|-------|-------------------|
|                     | AIC           | $R^2$ | Erro <sup>†</sup> | AIC                  | $R^2$ | Erro <sup>†</sup> | AIC           | $R^2$ | Erro <sup>†</sup> |
| 1                   | 39,92         | -     | 0,65              | 40,36                | -     | 0,68              | 39,92         | -     | 0,65              |
| 2                   | 17,38         | 0,805 | 0,31              | 16,66                | 0,820 | 0,31              | 17,45         | 0,804 | 0,31              |
| 3                   | -17,00        | 0,983 | 0,09              | -26,61               | 0,991 | 0,07              | -16,62        | 0,982 | 0,09              |
| 4                   | -30,54        | 0,993 | 0,05              | -24,36               | 0,990 | 0,06              | -31,40        | 0,993 | 0,05              |
| 5                   | -35,26        | 0,995 | 0,05              | -31,53               | 0,994 | 0,05              | -35,81        | 0,995 | 0,04              |
| 6                   | <b>-36,35</b> | 0,995 | 0,04              | <b>-37,83</b>        | 0,996 | 0,04              | <b>-36,44</b> | 0,995 | 0,04              |
| 7                   | -35,26        | 0,995 | 0,05              | -31,52               | 0,994 | 0,05              | -35,81        | 0,995 | 0,04              |
| 8                   | -34,03        | 0,994 | 0,05              | -29,15               | 0,993 | 0,05              | -34,71        | 0,995 | 0,05              |

<sup>‡</sup>1: Intercepto; 2: Linear; 3: Quadrática; 4: Brody; 5: Gompertz; 6: Logística; 7: Richards (m = 1000); 8: Von Bertalanffy;

<sup>†</sup> Erro de predição absoluto ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ )

A visualização da Tabela 3 permite afirmar que o modelo não linear Logístico (função n.º 6) apresentou o melhor ajuste para a produção de dejetos dos suínos, tendo obtido o menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC) para as três variáveis estudadas. Embora a determinação diária do dejetos produzido nas granjas comerciais apresente dificuldades acrescidas para o produtor, os resultados do ajuste de modelos não lineares demonstram viabilidade para a sua estimação em função das três variáveis estudadas (idade, tempo de

alojamento e peso vivo dos suínos). Tal como referido anteriormente para o consumo de água, também o ajuste da produção de dejetos pelo modelo não linear Logístico permite incrementar a acuracidade do modelo de estimação quando comparado com o modelo não linear de Gompertz (função n.º 5) apresentado por TAVARES et al. (2014).

A FIGURA 1 exhibe, como exemplo, o ajuste do modelo não linear logístico (função n.º 6) ao consumo de água e da produção de dejetos, em função do tempo de alojamento (t) dos suínos.

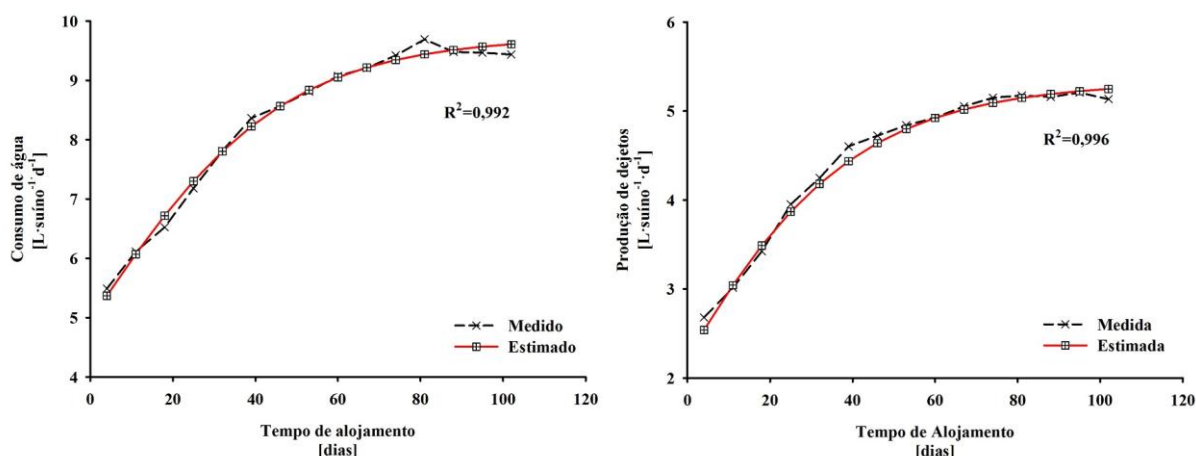


FIGURA 1. Ajuste do modelo não linear Logístico ao consumo de água e produção de dejetos em função do tempo de alojamento (t) dos suínos. **Water disappearance and manure production according to the housing time adjusted to the Logistic nonlinear function.**

Os resultados apresentados neste estudo, com incidência particular nas curvas estimadas para o consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, estão na base do desenvolvimento de um software inovador voltado para a gestão do nutriente água nas granjas comerciais de suínos. As opções a serem disponibilizadas pelo software permitirão, tanto a produtores como a outros atores ligados à produção, o controle de forma efetiva e em tempo real dos consumos de água dos animais (a partir de um dispositivo de medição instantâneo). Assim, com a liberação de avisos automáticos e identificação de possíveis problemas associados ao consumo irregular de água (baixo ou alto), o produtor terá em sua posse um ferramentas importante de simulação para tomada de decisão.

## CONCLUSÕES

O modelo não linear Logístico foi o que melhor ajustou os dados do consumo de água e da produção de dejetos de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação. As equações obtidas para estimação dos parâmetros em avaliação, embarcadas no software permitirão ao produtor visualizar tanto o consumo de água como a produção de dejetos dos suínos pela plotagem de pontos diários e compará-los com as duas curvas estimadas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste estudo agradecem o apoio das seguintes entidades: FAPESC, BRF, AINCADESC/SINDICARNE\_SC, EMBRAPA, PPGEA/UFSC e PROJETO TSGA.

## REFERÊNCIAS

- BABOT, D.; HERMIDA, B.; BALCELLS, J.; CALVET, S.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, J.. Farm technological innovations on swine manure in Southern Europe. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 40, p. 334-343, 2011.
- BRUMM, M.; DAHLQUIST, J.; HEEMSTRA, J.. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use and manure volume. **Swine Health and Production**, v. 8, n. 2, p. 51-57, 2000.
- FERREIRA, L. J. M.; DUARTE, E.; TAVARES, J. M. R.; ALMEIDA, R.. A importância da gestão integrada da água: novos desafios para a gestão ambiental no sector suinícola. In: CONGRESO IBERICO, 1., Y CONGRESO NACIONAL DE AGROINGENIERÍA, 4., Albacete, 2007. **Anais...** Albacete, Espanha, 2007. P. 104-106.
- FIALHO, F. B.. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 1999. Comunicado Técnico, 237. 4p.
- LANA, R. de P.. Uso racional de recursos naturais não-renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 38, p. 330-340, 2009.
- LI, Y.; CHÉNARD, L.; LEMAY, S.P.; GONYOU, H.. Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 6, p. 1413-1422, 2005.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2004. 109p.
- SAS INSTITUTE INC (2012). System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2002-2012. (cd-rom).
- TAVARES, J. M. R.; BELLI FILHO, P.; COLDEBELLA, A.; OLIVEIRA, P. A. V. de. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. **Livestock Science**, v. 169, p. 146-154, 2014.