

# Trabalho de Conclusão de Curso

## MODELOS NÃO LINEARES PARA ESTIMAR O CONSUMO DE ÁGUA E A PRODUÇÃO DE DEJETOS EM GRANJAS COMERCIAIS SUINÍCOLAS NO SUL DO BRASIL

Diogo da Silva

Orientador: Eng<sup>o</sup> Jorge Manuel Rodrigues Tavares, MSc.  
Coorientador: Dr. Paulo Armando Victória de Oliveira

2015/2



Diogo da Silva

**MODELOS NÃO LINEARES PARA ESTIMAR O CONSUMO DE  
ÁGUA E A PRODUÇÃO DE DEJETOS EM GRANJAS  
COMERCIAIS SUINÍCOLAS NO SUL DO BRASIL**

Trabalho submetido à Banca  
Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso  
de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental – TCC II.  
Orientador: Eng<sup>o</sup> Jorge M. R.  
Tavares, MSc  
Coorientador: Paulo Armando V.  
de Oliveira, Dr.

FLORIANÓPOLIS (SC)  
Dezembro de 2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva , Diogo da

Modelos não lineares para estimar o consumo de água e a produção de dejetos em granjas comerciais suinícolas no sul do Brasil / Diogo da Silva ; orientador, Jorge Manuel Rodrigues Tavares ; coorientador, Paulo Armando Victória de Oliveira. - Florianópolis, SC, 2015.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

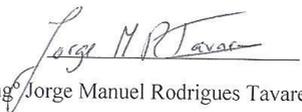
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Suinocultura .  
3. consumo de água . 4. Produção de dejetos . 5. Funções não  
lineares. I. Tavares , Jorge Manuel Rodrigues . II.  
Oliveira, Paulo Armando Victória de . III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Diogo da Silva

**MODELOS NÃO LINEARES PARA ESTIMAR O CONSUMO DE  
ÁGUA E A PRODUÇÃO DE DEJETOS EM GRANJAS  
COMERCIAIS SUINÍCOLAS NO SUL DO BRASIL**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

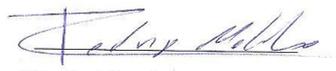
Florianópolis, 03 de dezembro de 2015.

  
Eng.<sup>o</sup> Jorge Manuel Rodrigues Tavares, MSc.

Orientador

**Banca Examinadora:**

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nádya Bernardi Bonumá  
Membro da banca

  
Prof. Dr. Rodrigo de Almeida Mohedano  
Membro da banca



Aos meus pais, irmãos e namorada e todos meus familiares amigos que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente às empresas que contribuíram para a realização deste trabalho, à FAPESC pelo apoio financeiro, à EMBRAPA pela disposição de sua infraestrutura, à AINCADESC –SC, à empresa BRF e ao ENS/UFSC pelo conhecimento adquirido.

Aos professores pelo compartilhamento do conhecimento, além da dedicação para passar seus ensinamentos. Aos colaboradores da Universidade que de alguma forma contribuíram nessa minha caminhada durante a longa jornada de graduação.

Aos meus colegas de graduação que de alguma forma contribuindo para a minha formação, através de estudos e trabalhos realizados em grupo, em especial ao Leonardo Virissimo, à Bruna Magnus e à Thaianna Cardoso..., me desculpem se esqueci alguém.

Aos meus amigos de Garopaba “a terrinha” pelo apoio moral através de palavras de incentivos para que continuasse nessa caminhada, assim como os momentos de festas que aconteciam nos finais de semana quando retornava a cidade para recarregar as energias para mais uma semana de aula.

À família LABLEFLU pelo acolhimento e hospitalidade durante esse ano que compareci no laboratório para a realização do trabalho de conclusão de curso, em especial ao Wanderli Leite, pessoa bacana que sempre me esclareceu dúvidas quando necessitei sem hesitar.

À EMBRAPA, em nome do meu Coorientador Dr. Paulo Armando Victória de Oliveira pelo acolhimento em Concórdia e conhecimento e experiência compartilhada no período de estágio. Gostaria de agradecer também ao Dr. Arlei Coladebella pela paciência e dedicação em relação aos estudos estatísticos referentes aos meus resultados do TCC.

Ao meu orientador Jorge Manuel Rodrigues Tavares, pelo comprometimento e dedicação para a realização desse trabalho, no qual sem seus conselhos e direcionamento da pesquisa não teria sido possível a realização deste trabalho, você foi além de um orientador foi um irmão mais velho, meu sincero obrigado.

Agradeço à minha segunda mãe “de Florianópolis” dona Inisilda Ferreira Ventura pelo acolhimento da minha pessoa em sua casa e restaurante ainda em 2008, o início de tudo, pelos seus conselhos durante as jantas em sua casa e a paciência quando necessitei estudar de madrugada atrapalhando seu sono.

À minha namorada Vanessa dos Santos Crispim agradeço pela paciência e compreensão durante as épocas de prova, no qual tive que estar ausente, porém você sempre me incentivou e apoiou...te amo viu.

Um agradecimento mais que especial para meu tio Laercio da Silva, um exemplo de ser humano que foi o primeiro da família Silva a atravessar a ponte e não partiu sozinho, voltou para me ajudar a atravessar a ponte e certamente com minha chegada voltará de novo para a travessia de mais alguém, pois a generosidade vem de seu coração, meu sincero agradecimento tio, pois sem seus conselhos e incentivo moral e financeiro não poderia estar alcançando esta fase da minha vida.

Por fim gostaria de agradecer a todos os meus familiares, em especial meu pai Luiz da Silva, minha mãe Rosicléia da Silva e meus irmãos Dione, Micaela, Rafaela e João Vitor pelo orgulho de serem minha família, o meu porto seguro e que nas horas difíceis me deram aconchego e carinho. Amo vocês. Hellen, o dindo não esqueceu de você não gata, te amo viu.

## RESUMO

O trabalho desenvolvido visou determinar a função matemática não linear que melhor estima o consumo de água e a produção de dejetos por suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função do período de alojamento, peso vivo e idade do animal. Os objetivos específicos foram: selecionar cinco funções não lineares passíveis de aplicação para avaliar o consumo de água e comparar entre as funções matemáticas estudadas aquela que melhor estima o consumo de água e a produção de dejetos. Para cumprir os objetivos estipulados, dados primários de 33 ciclos de produção de suínos na fase de crescimento-terminação foram analisados tendo-se aplicado o procedimento GENMOD e NLMIXED do *Statistical Analysis System* para ajuste das funções. A função não linear logística foi aquela que apresentou melhor resultados para a estimativa tanto do consumo de água como da produção de dejetos para as três variáveis analisadas [peso-vivo (x), tempo de alojamento (t) e idade dos animais (i)]. Os valores obtidos no ajuste do consumo de água foram: [peso-vivo (AIC= -10,38; R<sup>2</sup>= 0,989; erro de predição= 1,30%); tempo de alojamento (AIC= -14,16; R<sup>2</sup>= 0,992; erro de predição= 1,11%); idade dos animais (AIC= -10,00; R<sup>2</sup>= 0,989; erro de predição= 1,32%)]. Em relação ao ajuste da produção de dejetos, os valores obtidos foram: [peso-vivo (AIC= -36,44; R<sup>2</sup>= 0,995; erro de predição= 0,93%); tempo de alojamento (AIC= -37,83; R<sup>2</sup>= 0,996; erro de predição= 1,07%); idade dos animais (AIC= -36,35; R<sup>2</sup>= 0,995; erro de predição= 0,96%)]. As funções não lineares determinadas tanto para o consumo de água como para a produção de dejetos na fase fisiológica de crescimento-terminação apresentaram resultados muito satisfatórios, permitindo estimar ambos os parâmetros de acordo com as variáveis apresentadas. Futuramente, as funções poderão ser utilizadas em *software* de gestão ambiental para a suinocultura catarinense.

**Palavras-Chave:** Suinocultura; Consumo de água; produção de dejetos; Funções não lineares.



## ABSTRACT

The work developed aimed to determine the mathematical nonlinear function that best estimates the water consumption and the waste production by swine in their physiological phase of growing-finishing, according to the accommodation period, live weight and age of the animal. The specific goals were: to select five nonlinear applicable functions to evaluate the consumption of water and compare among the previously studied mathematical functions the one that best estimates the water consumption and the waste production. To attain the stipulated goals, primary data of 33 cycles of swine production in the growing-finishing phase were analyzed, with the GENMOD and NLMIXED procedure from the Statistical Analysis System having been applied for adjustment of the functions. The nonlinear logistics function was the one that presented better results for the estimate of the water consumption, as well as of the waste production for the three variables analyzed [live-weight (x), time of accommodation (t) and age of the animals (i)]. The values obtained with the adjustment of the water consumption were: [live-weight (AIC= -10,38; R<sup>2</sup>= 0,989; prediction error= 1,30%); period of accommodation (AIC= -14,16; R<sup>2</sup>= 0,992; prediction error= 1,11%); age of the animals (AIC= -10,00; R<sup>2</sup>= 0,989; prediction error= 1,32%0]. In regard to the adjustment of the waste production, the values obtained were: [live-weight (AIC= -36,44; R<sup>2</sup>= 0,995; prediction error= 0,93%); period of accommodation (AIC= -37,83; R<sup>2</sup>= 0,996; prediction error= 1,07%); age of the animals (AIC= -36,35; R<sup>2</sup>= 0,995; prediction error= 0,96%)]. The nonlinear functions determined for both the water consumption and the waste production in the physiological phase of growing-finishing presented very satisfactory results that allowed estimating both parameters according to the variables presented. Hereafter, the functions can be used in environmental management software for the swine production in the state of Santa Catarina.

**Keywords:** Swine production; Water consumption; Waste production; Nonlinear functions.



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> DISTRIBUIÇÃO EM PORCENTAGEM DO EFETIVO MUNDIAL DE SUÍNOS PARA O ANO DE 2014. ....	26
<b>FIGURA 2:</b> DISTRIBUIÇÃO DO EFETIVO CATARINENSE DE SUÍNOS POR REGIÕES NO ANO DE 2012. ....	28
<b>FIGURA 3:</b> LOCALIZAÇÃO DAS GRANJAS SUINÍCOLAS UTILIZADAS NO PROJETO. ....	47
<b>FIGURA 4:</b> CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO PESO VIVO, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LOGÍSTICA. ....	55
<b>FIGURA 5:</b> PRODUÇÃO DE DEJETOS EM FUNÇÃO DO PESO VIVO, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LOGÍSTICA. ....	56
<b>FIGURA 6:</b> CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ALOJAMENTO, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LOGÍSTICA. ....	60
<b>FIGURA 7:</b> PRODUÇÃO DE DEJETOS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ALOJAMENTO, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LOGÍSTICA. ....	61
<b>FIGURA 8:</b> CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA IDADE DOS ANIMAIS, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LOGÍSTICA. ....	64
<b>FIGURA 9:</b> PRODUÇÃO DE DEJETOS EM FUNÇÃO DA IDADE DOS ANIMAIS, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LOGÍSTICA. ....	65
<b>FIGURA 10:</b> CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO PESO VIVO DOS ANIMAIS, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LINEAR QUADRÁTICA. EM DESTAQUE O DECAIMENTO DA CURVA APÓS O PONTO DE INFLEXÃO. ....	67
<b>FIGURA 11:</b> PRODUÇÃO DE DEJETOS EM FUNÇÃO DO PESO VIVO, AJUSTADO SEGUNDO A FUNÇÃO LINEAR QUADRÁTICA. EM DESTAQUE O DECAIMENTO DA CURVA APÓS O PONTO DE INFLEXÃO. ....	67



## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> EFETIVO BRASILEIRO POR REGIÃO NO ANO DE 2013. ....	27
<b>TABELA 2:</b> PRINCIPAIS RISCOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO MANEJO INADEQUADO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	30
<b>TABELA 3:</b> CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO PESO VIVO DOS ANIMAIS NA FASE DE CRESCIMENTO /TERMINAÇÃO. ....	34
<b>TABELA 4:</b> PROPORÇÃO DA QUANTIDADE DE DEJETOS PRODUZIDOS POR UM SUÍNO.....	37
<b>TABELA 5:</b> VOLUME DE DEJETOS PRODUZIDOS POR SISTEMA DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS. ....	39
<b>TABELA 6:</b> FUNÇÕES NÃO LINEARES ESTUDADAS PARA ESTIMAR O CONSUMO DE ÁGUA E A PRODUÇÃO DE DEJETOS. ....	41
<b>TABELA 7:</b> RESUMO DO ESTUDO DAS FUNÇÕES NÃO LINEARES, APRESENTANDO SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.....	44
<b>TABELA 8:</b> MODELOS DE PREDIÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO PESO VIVO DOS ANIMAIS, COM ESTIMATIVA DOS SEUS PRINCIPAIS PARÂMETROS. ....	53
<b>TABELA 9:</b> MODELOS DE PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE DEJETOS EM FUNÇÃO DO PESO VIVO DOS ANIMAIS, COM ESTIMATIVA DOS SEUS PRINCIPAIS PARÂMETROS.....	54
<b>TABELA 10:</b> MODELOS PARA PREVER O CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ALOJAMENTO, COM ESTIMATIVA DOS SEUS PRINCIPAIS PARÂMETROS.....	58
<b>TABELA 11:</b> MODELOS PARA PREVER A PRODUÇÃO MÉDIA DE DEJETOS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE ALOJAMENTO, COM ESTIMATIVAS DE SEUS PRINCIPAIS PARÂMETROS. ....	59
<b>TABELA 12:</b> MODELOS PARA PREVER O CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA IDADE DOS ANIMAIS, COM ESTIMATIVAS DE SEUS PRINCIPAIS PARÂMETROS.....	62
<b>TABELA 13:</b> MODELOS PARA PREVER A PRODUÇÃO DE DEJETOS EM FUNÇÃO DA IDADE DOS ANIMAIS, COM ESTIMATIVAS DE SEUS PRINCIPAIS PARÂMETROS.....	63



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AIC** – Índice de Critério Akaike  
**AICANDESC** – Associação das Indústrias de Carne e Derivados do Estado de Santa Catarina  
**ANZECC** – Australian and New Zealand Environment  
**BIC** – Critério de Informação Bayesiano  
**BRF** – Empresa Brasil Foods  
**CBHs** – Comitê de Bacias Hidrográficas  
**CCME** – Canadian Council of Ministries of Environment  
**CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
**EU-27** – União Europeia (27 países)  
**FAPESC** - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina.  
**FATMA** – Fundação do Meio Ambiente  
**IN** – Instrução Normativa  
**NRC** – National Research Council  
**PIB** – Produto Interno Bruto  
**PLD** – Programa de Limpeza e Desinfecção  
**PPGEA** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
**PPM** – Produção Pecuária Municipal  
**R<sup>2</sup>** – Coeficiente de Determinação  
**SAS** – Statistical Analysis System  
**SPAC** – Sistema de produção de animais confinados  
**SQR** – Soma dos Quadrados dos Resíduos  
**UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	20
1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESES .....	22
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	22
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES .....	22
1.3 JUSTIFICATIVA.....	23
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>26</b>
2.1 SUINOCULTURA.....	26
2.1.1 SUINOCULTURA MUNDIAL.....	26
2.1.2 SUINOCULTURA BRASILEIRA .....	27
2.1.3 SUINOCULTURA CATARINENSE.....	28
2.1.4 OS PROBLEMAS AMBIENTAIS NA SUINOCULTURA.....	29
2.2 CONSUMO DE ÁGUA NA SUINOCULTURA .....	32
2.2.1 NECESSIDADES DE ÁGUA DO SUÍNO .....	32
2.3 PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA.....	36
2.3.1 VOLUME DE DEJETO PRODUZIDO.....	36
2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA NA SUINOCULTURA.....	40
2.4.1 FUNÇÕES MATEMÁTICAS NÃO LINEARES SELECIONADAS .....	42
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
3.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO .....	46
3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS PRIMÁRIOS .....	47
3.2.1 CONSUMO DE ÁGUA.....	47
3.2.2 PRODUÇÃO DE DEJETOS.....	48
3.3 MODELAGEM DAS FUNÇÕES NÃO LINEARES (CURVAS ESTIMADAS) .....	48
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	49
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
4.1 FUNÇÕES NÃO LINEARES SELECIONADAS NA MODELAGEM MATEMÁTICA.....	52

4.2 MODELAGEM DO CONSUMO DE ÁGUA E PRODUÇÃO DE DEJETOS .....	52
4.2.1 FUNÇÃO DO PESO-VIVO.....	52
4.2.2 FUNÇÃO DO TEMPO DE ALOJAMENTO .....	57
4.2.3 FUNÇÃO DA IDADE DOS ANIMAIS .....	61
4.3 O MODELO LINEAR QUADRÁTICO.....	66
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>70</b>
<b>6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE 1: PAÍSES COM MAIOR EFETIVO MUNDIAL DE SUÍNOS NO PERÍODO DE 2009 A 2015.....</b>	<b>81</b>
<b>APÊNDICE 2: PRODUÇÃO MUNDIAL DE CARNE SUÍNA NO ANO DE 2009 A 2015.....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE 3: EXPORTAÇÃO MUNDIAL DE CARNE SUÍNA NO ANO DE 2009 A 2015.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE 4: ESTADOS E MUNICÍPIOS DA FEDERAÇÃO COM MAIORES EFETIVOS NO ANO DE 2013.....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE 5: MUNICÍPIOS CATARINENSES COM MAIORES EFETIVOS NO ANO DE 2013.....</b>	<b>85</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Brasil enquadra-se, atualmente, como um dos países com elevado potencial para a produção de proteína animal no mundo, sendo o quarto maior produtor e exportador de carne suína (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2014). Com o aumento da renda *per capita* em vários países em desenvolvimento, observa-se um aumento pela busca de proteína de origem animal e, dentre elas, a carne suína. Em face ao aumento de consumo, o sistema de produção familiar foi substituído gradualmente (extensivo e intensivo com efetivos baixos), por sistemas de produção de animais confinados (SPAC), apresentando uma densidade elevada de suínos em igual área disponível (TAVARES, 2012). Segundo o autor, a pressão ambiental nessas áreas produtivas vem aumentando uma vez que os novos sistemas de produção demandam um elevado consumo de água e geram, como consequência, volumes de dejetos que precisam atender à lei vigente e ser destinados de forma correta.

A falta de água em algumas regiões do Brasil e do mundo, é um problema real, sendo por isso necessário planejar de forma eficiente e sustentável a gestão desse recurso natural na suinocultura, de modo a não comprometer o meio ambiente e as gerações futuras (FERREIRA et al., 2007). Por meio de uma mudança de mentalidade e de uma gestão responsável em relação ao consumo de água na cadeia produtiva, podem-se minimizar os possíveis impactos de degradação do meio ambiente nessas regiões, em virtude tanto da redução do volume de dejetos produzidos como da melhoria do desempenho ambiental (minimização da utilização de recursos naturais como água, gerando menor produção de dejetos e conseqüentemente lançando menores volumes destes para o solo e ar através dos gases do efeito estufa) (SANTANA, 2009).

Segundo dados apresentados para 2014, o efetivo médio mundial de suínos é de aproximadamente 798,51 milhões de cabeças, dos quais 38,84 milhões de animais encontram-se no Brasil (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2014). O estado de Santa Catarina possui o segundo maior efetivo médio do país com aproximadamente 6,27 milhões de suínos, tendo a mesorregião do Oeste Catarinense a maior concentração de animais (BRASIL, 2013).

O elevado consumo de água e de outros insumos na suinocultura

tem forte impacto ambiental, quer pelo seu uso enquanto recurso natural, quer pelo impacto do volume de dejetos gerados em todas as fases fisiológicas da cadeia produtiva de suínos, com especial destaque para a fase de crescimento/terminação (FERREIRA et al., 2007). Com a evolução científica, técnica e tecnológica registrada nos últimos anos nas atividades pecuárias torna-se evidente a demanda por uma produção de precisão (zootecnia sustentável), associada com meio ambiente envolvente aos grandes centros produtivos. Assim, fica imprescindível a busca por mecanismos e ferramentas que possibilitem ao produtor a otimização do consumo de água na sua granja bem como a estimação efetiva do volume de dejetos produzidos.

O uso da modelagem inserida em *software* de gestão ambiental para a suinocultura aparece, atualmente, como uma solução ainda incipiente, mas cujo desenvolvimento futuro visará a simplificação do processo de avaliação de desempenho ambiental a baixo custo. Neste contexto, o presente trabalho visa dar continuidade a pesquisa desenvolvida por Tavares et al. (2014). Nessa pesquisa, os autores apresentam a estimativa preliminar do consumo de água e da produção de dejetos dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação por meio de uma função não linear (função de Gompertz) em função do tempo de alojamento dos suínos. Convém realçar que a utilização das funções não lineares é possível pela representação gráfica exponencial crescente, mostrando de forma apropriada o crescimento e desenvolvimento de alguns parâmetros biológicos dos suínos, bem como, parâmetros influentes para a produção dos tecidos dos animais (FITZHUGH Jr., 1976).

O presente trabalho encontra-se englobado em uma pesquisa que está a ser desenvolvida por entidades referenciadas neste campo científico, entre elas a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Suínos e Aves (EMBRAPA) e a Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (UFSC/PPGEA), com o apoio financeiro da Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC), da Associação Catarinense de Carnes e Derivados (AICANDESC) e da empresa BRF.

## 1.2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral determinar a função matemática não linear que melhor estima o consumo de água e a produção de dejetos por suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função do período de alojamento, peso vivo e idade do animal.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E HIPÓTESES

- Avaliar funções matemáticas não lineares passíveis de aplicação na avaliação do consumo de água e da produção de dejetos na suinocultura.

**Hipótese:** existe outra função não linear, além da função de Gompertz, que pode ser utilizada na estimativa do consumo de água e produção de dejetos.

- Comparar entre as funções matemáticas estudadas aquela que melhor estima o consumo de água e a produção de dejetos na fase fisiológica estudada.

**Hipótese:** a função de Gompertz é aquela que melhor estima o consumo de água e a produção de dejetos na fase fisiológica de crescimento-terminação da cadeia produtiva de suínos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

#### **Científica**

A Universidade Federal de Santa Catarina por meio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Suínos e Aves e a Associação Catarinense de Carne e Derivados (AICANDESC-SINDICARNES-SC) vem desenvolvendo pesquisas na linha da sustentabilidade da suinocultura (TAVARES, 2012). Os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas nesta atividade pecuária conduziram à implementação dos sistemas de produção de animais confinados (SPAC), cujo manejo diário dos produtores, associado aos procedimentos de limpeza e desinfecção das granjas, resulta no elevado consumo de água e, conseqüente produção de dejetos. Estes, quando liberados sem controle no meio receptor natural (água e solo) são indicados como a principal causa dos problemas ambientais associada à produção (TAVARES et al., 2013). De acordo com os mesmos autores, a intensificação da cadeia produtiva incrementa a dificuldade dos produtores em enquadrar as suas granjas com as leis em vigência no estado de Santa Catarina. Sem plano de manejo definido para a coleta, armazenamento, tratamento e distribuição dos dejetos, o risco ambiental associado à suinocultura aumenta, tornando necessário o aparecimento de novas ferramentas e mecanismos (por exemplo: softwares de gestão ambiental) de auxílio ao produtor.

#### **Ambiental**

Tal como referido anteriormente, com a evolução dos modelos e sistemas da suinocultura, os animais passaram a ser criados em maior número na mesma área disponível, originando elevadas quantidades de dejetos através do uso ineficiente da água (OLIVEIRA, 1997; TAVARES, 2012; TAVARES et al., 2013; TAVARES et al., 2014). Segundo Perdomo e Lima (2001), problemas semelhantes observados no continente Europeu fizeram com que os maiores produtores adotassem parâmetros cada vez mais rigorosos para a redução da produção de dejetos, por conta da saturação do solo em áreas de disposição agrônômica, para reduzir o risco de contaminação dos recursos naturais. No Brasil, o problema enfrentado pelos produtores é mais grave, devido à concentração da produção em regiões onde a topografia do solo é desfavorável para a utilização dos efluentes produzidos como fertilizantes na agricultura. Tal como na Europa, os grandes centros produtores de suínos já enfrentam dificuldades para manter os seus

atuais rebanhos, em decorrência do elevado volume de dejetos produzidos, da saturação das áreas disponíveis para disposição agrônômica, da contaminação dos recursos naturais e dos altos investimentos para o tratamento dos efluentes (PERDOMO; LIMA; NONES, 1995). Nesse sentido, a agricultura moderna tem o compromisso de trabalhar a sustentabilidade das propriedades e buscar tecnologias de produção que auxiliem os produtores e que não ofereçam riscos ao meio ambiente (SEHNEM; GARRIDO, 2013).

### **Social**

A suinocultura é uma atividade muito importante pois é praticada em milhares de estabelecimentos rurais no Brasil, sendo que aproximadamente 30 mil se enquadram na chamada suinocultura industrial, tecnificada, inserida nos principais canais de distribuição ou integração. Estes estabelecimentos representavam em 2005, 60% no alojamento de matrizes e mais de 80% dos abates e da produção de carne suína, chegando a mais de 90% nos estados da região Sul. Santa Catarina representava um terço destes produtores tecnificados e 42% das exportações brasileiras, sendo a região Oeste do estado o berço da suinocultura (MIELE; MACHADO, 2006). A suinocultura constitui o principal pilar da economia na região, empregando de forma direta em torno de 65 mil e, indireta, mais de 140 mil pessoas (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE SUINOS, 2013). Atualmente, o estado de Santa Catarina possui um plantel de 6,2 milhões de animais (BRASIL, 2013), e aproximadamente oito mil suinocultores com produção em escala comercial, sendo o maior produtor de suínos e também o maior exportador de carne suína do país (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS, 2012). Ainda considerando o estado, na região denominada por mesorregião Oeste Catarinense, que apesar de ocupar apenas 26% da área total do estado (27.288 km<sup>2</sup>), concentra 75% do rebanho suínico (BRASIL, 2010, 2103). Esta região possui uma população em torno de 1.152.766 habitantes espalhados em 98 municípios. Por possuir um relevo bastante acidentado, apenas 20% do solo do Estado pode ser usado para agricultura, o que faz da suinocultura uma de suas principais atividades (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE SUINOS, 2013).

Atualmente, a falta de controle do consumo de água por parte dos produtores em granjas suícolas, é um problema recorrente nesta atividade, ocasionando a maximização do volume de dejetos produzidos na suinocultura. A medição do consumo de água e do volume de dejetos

produzidos “*in situ*”, em unidades comerciais a operar no seu regime normal de funcionamento, é essencial tanto para reduzir a água gasta diariamente na atividade suinícola, quanto para o dimensionamento correto das estruturas de coleta, armazenamento e tratamento (TAVARES, 2012).

Segundo Perdomo (1999), a seleção das melhores técnicas específicas para o manejo, tratamento e distribuição dos dejetos produzidos depende, fundamentalmente, do conhecimento do volume e do grau de diluição dos mesmos. Com os avanços científicos e tecnológicos na atividade suinícola, os valores de referência de 7,00 L/Suínos/dia (OLIVEIRA, 1993), começam a ser questionados quando observada a realidade atual no estado de Santa Catarina através dos valores de 4,46 L.suíno.d<sup>-1</sup> para 15 semanas de alojamento (TAVARES et al., 2014).

Uma das dificuldades do tratamento e do aproveitamento dos dejetos de suínos é devido à variação das características físico-químicas do efluente gerado nas unidades de produção. A composição do dejetos de suíno varia em função da quantidade de água utilizada nas instalações, do tipo de alimento e da idade dos animais (EMBRAPA, 2006). Os desperdícios nos bebedouros e o manejo de higienização, também influenciam nas características do efluente, pois aumentam a diluição do dejetos suíno, acarretando na elevação dos custos de coleta, armazenagem, tratamento, transporte e distribuição.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

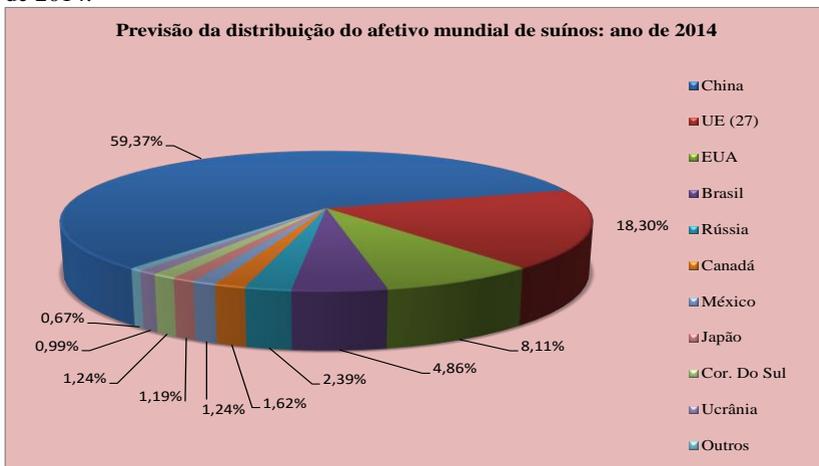
### 2.1 SUINOCULTURA

#### 2.1.1 SUINOCULTURA MUNDIAL

A carne suína é uma das fontes de proteínas de origem animal mais consumida no mundo, representando aproximadamente 40% do total, colocando a atividade como a principal fonte produtora (FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION, 2012). Mundialmente, a suinocultura contabilizou em 2014 um efetivo médio aproximado de 798,51 milhões de cabeças, (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2014). A China aparece como o maior produtor mundial, com um efetivo de 474,11 milhões de animais, seguido da União Europeia (27 países) com um efetivo de 146,13 milhões e pelos Estados Unidos (64,78 milhões de suínos). O Brasil aparece na lista dos maiores produtores com o quarto maior efetivo do mundo, contabilizando um total de 38,84 milhões de suínos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2014). No Apêndice 1 exibe-se a tabela dos países com maiores efetivos, no período compreendido entre 2009 a 2015.

A Figura 1 mostra a distribuição em porcentagem do efetivo médio mundial de suínos para o ano de 2014.

**Figura 1:** Distribuição em porcentagem do efetivo mundial de suínos para o ano de 2014.



**Fonte:** Adaptado de United States Department of Agriculture (2014).

Atualmente, o Brasil produz aproximadamente 3,34 milhões de toneladas de carne por ano (Apêndice 2), sendo o quarto maior exportador mundial de carne suína, com um total de 585 mil toneladas, (Apêndice 3), superado somente por Estados Unidos, União Europeia (EU-27) e Canadá (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2014).

### 2.1.2 SUINOCULTURA BRASILEIRA

De acordo com a Tabela 1, no Brasil, a região sul apresenta o maior efetivo, com aproximadamente 48,75% do efetivo nacional, seguido pela região sudeste com 18,79% e a região nordeste com 15,13% (BRASIL, 2013). Ainda segundo os mesmos autores (Apêndice 4), o estado do Rio Grande do Sul apresentou o maior efetivo de suínos do país (6,32 milhões de animais: 17,20% do efetivo nacional), seguido do estado de Santa Catarina (6,27 milhões de suínos: 17,07%) e do estado do Paraná (5,32 milhões de suínos: 14,49%).

**Tabela 1:** Efetivo brasileiro por região no ano de 2013.

Região	Efetivo de suíno no Brasil x (10 <sup>6</sup> cabeças)					
	2009	2010	2011	2012	2013	% Região
Norte	1,63	1,61	1,57	1,49	1,26	3,43
Nordeste	6,29	6,20	6,08	5,86	5,56	15,13
Sudeste	6,69	7,13	7,02	7,13	6,90	18,79
Sul	18,44	18,64	19,09	19,21	17,91	48,75
Centro-Oeste	5,00	5,38	5,54	5,11	5,10	13,89
<b>Total</b>	<b>38,05</b>	<b>38,96</b>	<b>39,31</b>	<b>38,80</b>	<b>36,74</b>	<b>100,00</b>

**FONTE:** adaptado de Brasil (2009; 2010; 2011; 2012; 2013).

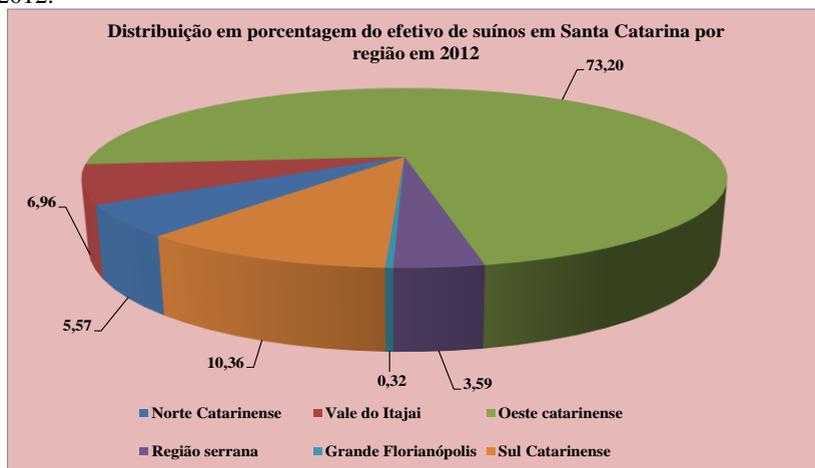
Os municípios brasileiros que apresentam o maior efetivo de suínos são (Apêndice 4): Uberlândia (MG), Rio Verde (GO), Toledo (PR), Tapurah (MT), Concórdia (SC), Sorriso (MT), Urucânia (MG), Seara (SC) e Braço do Norte (SC), (BRASIL, 2013).

### 2.1.3 SUINOCULTURA CATARINENSE

O estado de Santa Catarina possui um território de 95.733,93 km<sup>2</sup> (BRASIL, 2010), representando apenas 1,3% de todo o território nacional. Segundo dados de 2012, o estado apresenta o segundo maior efetivo do país com 6,27 milhões de suínos, (BRASIL, 2013) (Apêndice 4). Dividindo-se o estado catarinense em seis mesorregiões, verifica-se que a do Oeste Catarinense é a que representa um maior contingente do rebanho com aproximadamente 5.475.274 suínos.

A Figura 2 apresenta a distribuição em porcentagem do rebanho catarinense por região.

**Figura 2:** Distribuição do efetivo catarinense de suínos por regiões no ano de 2012.



**FONTE:** Adaptado de Brasil (2013).

Na mesorregião do Oeste Catarinense destaca-se a microrregião de Concórdia com (22,29%), Joaçaba (20,51%) e Chapecó (13,26%) (BRASIL, 2013). O município de Concórdia com 367.775 mil suínos (5,86%) apresenta o maior número de suínos, seguido de Seara (3,59%) e Braço do Norte (3,23%) (BRASIL, 2013), tal como se pode observar no Apêndice 5.

Convém ressaltar que o estado compete internacionalmente com outros países, apresentando índices de produtividade semelhantes e mesmo superiores aos dos países europeus e americanos. Atualmente, é responsável por 30% da produção nacional, correspondendo a 2,7

milhões de ton/ano e 0,7 % da produção mundial. Participa ainda com 36% das exportações brasileiras e 21,43% do total no PIB estadual (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS, 2013).

#### 2.1.4 OS PROBLEMAS AMBIENTAIS NA SUINOCULTURA

Os impactos das atividades produtivas sobre o meio ambiente vêm sendo discutidos nas últimas décadas, tendo-se acentuado a partir do final do Séc. XX. Esses problemas possuem diferentes fontes, e são originários de vários setores da economia, que geram resíduos líquidos, químicos, sólidos entre outros. O setor suinícola não difere, gerando em seu processo produtivo, efluentes que podem impactar diretamente o meio ambiente, principalmente quando descartados de forma incorreta (CAMPOS et al., 2015). Ainda neste contexto, os impactos ambientais decorrentes da suinocultura têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, principalmente com a adoção dos SPAC, na década de 1980. Este tipo de produção tem como principal característica o aumento da concentração de animais na mesma área, visando atender o consumo interno e externo de carne, produtos e derivado. Em contrapartida, a adoção deste sistema agravou a questão ambiental ligado à atividade, principalmente em decorrência do aumento de consumo de água e do volume de dejetos produzidos pelos suínos, causando o incremento da poluição dos solos e dos mananciais de água (DA SILVA; BASSI, 2012).

Entre os impactos ambientais que os SPAC provocam, destacam-se: o elevado consumo de recursos (terra, água e energia); contaminação das fontes de água (superficiais e subterrâneas), através da disposição de forma inadequada dos dejetos gerados na atividade; emissão de gases poluentes como o dióxido de carbono, metano, e amônia, elementos que estão associados com o aquecimento global; diminuição da camada de ozônio; e a chuva ácida (SPIES, 2003; KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005). A Tabela 2 mostra, os principais riscos ambientais associados ao manejo inadequado dos dejetos suínos.

A Tabela 2 mostra os principais riscos ambientais associados ao manejo inadequado dos resíduos e subprodutos da produção de suínos.

**Tabela 2:** Principais riscos ambientais associados ao manejo inadequado dos resíduos e subprodutos da produção de suínos.

<b>Fonte</b>	<b>Riscos</b>	<b>Fatores Fundamentais</b>
<b>Solo</b>	Níveis tóxicos de nutrientes no solo Poluição do solo com metais pesados (Cu, Zn, Cd); Destruição da vegetação por chuva ácida;	Manejo inadequado dos dejetos; Manejo inadequado das rações e dos dejetos; Emissão de amônia;
<b>Água</b>	Poluição da água superficial e subterrânea; Redução do recurso água;	Manejo inadequado dos dejetos; Aumento do uso das fontes de água;
<b>Ar</b>	Aquecimento global: emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso;	Aumento da emissão de gás responsável pelo efeito estufa;
<b>Biodiversidade</b>	Redução da diversidade genética; Aumento da suscetibilidade a doenças;	Perda de raças nativas; Redução da redução das doenças;

**Fonte:** De Haan e Blackburn (2003) *apud* Miranda (2005).

Outro aspecto de risco para o meio ambiente e população ao redor dos grandes centros produtivos são os elevados níveis de matéria orgânica, fósforo, sais e patógenos que se encontram nos dejetos, podendo considerar-se que a carga poluente diária gerada por um suíno equivale a um número superior a três pessoas (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; HENN, 2005).

Segundo Brasil (2010), a suinocultura catarinense ao totalizar um rebanho médio de 7.817.536 suínos, produz diariamente 67.231m<sup>3</sup> de dejetos, considerando um volume diário de 8,6 L.suíno.d<sup>-1</sup>

(OLIVEIRA, 1993). A carga poluente equivale a uma população residente de 27.361 milhões de habitantes.

## 2.2 CONSUMO DE ÁGUA NA SUINOCULTURA

### 2.2.1 NECESSIDADES DE ÁGUA DO SUÍNO

A preocupação com a qualidade da água e seu reflexo no desempenho animal fez com que vários países adotassem guias de qualidade da água para animais de produção: Canadá (*Canadian Council of Ministries of Environment – CCME*); Austrália e Nova Zelândia (*Australian and New Zealand Environment and Conservation Council – ANZECC*) (DIAS, 2006). No Brasil, existem diversos parâmetros de qualidade da água a serem respeitados. Na resolução normativa N° 357 do (CONAMA, 2005), complementada e alterada pela resolução normativa N° 430 (CONAMA, 2011), vem estabelecida a classificação das águas, segundo a sua utilização, definidos parâmetros de qualidade a serem atendido para cada classe. Por ser um recurso finito e ser necessário para todos os seres vivos ela deve ser preservada e uma forma de reduzir o consumo é cobrar pelo seu uso.

A água sendo um recurso natural fundamental para a produção animal deve estar disponível em quantidade e qualidade. Ela é utilizada tanto na dessedentação dos animais, na higienização e aclimatação das instalações, bem como veículo para retirada dos dejetos (PEREIRA; PARTENIANI; DEMARCHI, 2011). Segundo Tavares, Oliveira e Belli Filho (2012) com a acentuada intensificação da produção, ou seja, o aumento do número de animais na mesma área disponível, tem-se observado uma maior pressão ao nível da utilização da água, o que, em caso de má gestão do recurso, poderá afetar a sua qualidade tornando-a um bem essencial cada vez mais escasso colocando em risco a sustentabilidade da cadeia produtiva de suínos.

Para Roubicek (1969) *apud* Jackson, (2007), Brooks (1998) e Almond (2007), a água é o nutriente que os suínos necessitam em melhor qualidade, pois cumpre uma série de funções fisiológicas necessária para a vida, como por exemplo:

- Desempenha papel fundamental nas reações químicas que ocorrem no organismo (hidratação e hidrólise);
- Essencial para o movimento de nutrientes para as células do tecido do corpo;

- Elemento estrutural que dá forma ao corpo através de turgidez celular;
- Desempenha papel crucial na regulação da temperatura;
- Remove os produtos residuais das células;
- Importante na lubrificação das articulações (fluido sinovial) e no fornecimento de amortecimento protetor para o sistema nervoso (fluido cerebrospinal).

A água é um componente essencial para a sobrevivência humana e animal, sendo um recurso limitado, pelo que o uso deve ser realizado de forma racional. O elevado consumo de água nas regiões de produção intensiva, sem a gestão adequada, vem reduzindo a disponibilidade de água potável principalmente nas fontes mais superficiais (BELLAVAR; OLIVEIRA, 2009). Embora a água seja um nutriente essencial para os suínos, o conhecimento dos requisitos ainda está longe de ser adequado, pois a água é geralmente abundante, e possui baixo custo. Além disso, o estabelecimento da demanda de água (qualidade e quantidade) é muito mais complexo do que em relação aos outros nutrientes, uma vez que os suínos precisam de água não só para sua manutenção e crescimento, mas também para a manutenção das suas funções fisiológicas, tal como indicado anteriormente. Segundo Nannoni et al. (2013), existem duas razões principais pelas quais é difícil estabelecer as necessidades de água: 1) as necessidades podem variar consideravelmente dependendo do estado fisiológico do animal, que depende do ambiente e da dieta, e 2) uma abordagem baseada no consumo de água pelos suínos pode não ser precisa devido ao desperdício associado ao equipamento de dessedentação.

Convém salientar que as atividades de consumo realizadas podem ainda depender de uma variedade de fatores, incluindo: a palatabilidade da água (ROURA; SOLA-ORIOLO; TORRALLARDONA, 2005), o tipo de bebedouro (TORREY; TOTH TAMMINGA; WIDOWSKY, 2008; BABOT et al., 2011; TAVARES et al., 2014), fatores ambientais exógenos (BRUMM, 2006), consumo de ração/quantidade (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; THACKER, 2001) e da saúde e estado fisiológico dos suínos (MCGLONE; POND, 2003).

De acordo com National Research Council (1998) os suínos podem obter água a partir de três fontes: 1) consumo no bebedouro (água potável ou com característica adequada para a sua ingestão); 2) dieta fornecida; e 3) água produzida metabolicamente a partir da decomposição química de carboidratos, gorduras e proteínas contidas

em ingredientes para rações. As necessidades de água dos suínos não são bem entendidas como os de outros nutrientes pela menor importância dada (THACKER, 2001). Durante a fase fisiológica de crescimento-terminação, a ingestão de água pode variar de 1,9-6,8 L/d dentro da zona de termo neutralidade (BROOKS et al., 1989; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000).

A Tabela 3 mostra o consumo de água em função do peso-vivo dos animais na fase fisiológica de crescimento/terminação segundo alguns autores.

**Tabela 3:** Consumo de água em função do peso vivo dos animais na fase de crescimento /terminação.

Autores	Ano	Fase crescimento-terminação	
		Peso-Vivo (kg)	Consumo de água (L.suíno.d <sup>-1</sup> )
Mamede <sup>1</sup>	1980	36-97	5,50
Nagae et al. <sup>2</sup>	2005	25-110	8,30
Brumm et al. <sup>1</sup>	2000	-	4,49
Vermeer et al. <sup>1</sup>	2009	-	4,72

<sup>1</sup>Sala Controlada; <sup>2</sup> Unidade comercial

Fonte: Adaptado Tavares, 2012.

O consumo de água pelos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação tem frequência variável ao longo do dia, apresentando pico no início e no final do período de alimentação. O pico de consumo ocorre duas horas após a alimentação matinal e uma hora após a alimentação da tarde (OLSSON; ANDERSSON, 1985; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000).

O parecer da *European Food Safety Authority* (2007) sobre o bem-estar de suínos em terminação indica que a disponibilidade de água potável é de elevada importância, particularmente para os suínos alimentados com dieta seca. Teoricamente, os animais alimentados com dieta líquida não devem exigir qualquer fonte adicional de água dado que as suas necessidades são satisfeitas através da ingestão da dieta, na tradicional proporção de água para matéria de 3:1 (água em relação a matéria seca) (MAVROMICHÁLIS, 2006). Para o *National Research Council* (1998), a proporção de água para alimentos para os animais é de 2:1. No entanto, existem muitas circunstâncias imprevisíveis em que as necessidades de água aumentam e nestas situações os suínos podem beneficiar de água potável adicional. Além disso, demonstrou-se que mesmo que a ingestão voluntária de água diminua em animais

alimentados com alimentos líquidos, estes são motivados a ingerir água adicional, dependendo do sistema de alimentação utilizado (VERMEER; KUIJKEN; SPOOLDER, 2009).

O abastecimento de água nos bebedouros para os suínos pode ser na prática: *ad libitum* (disponível durante 24 horas) ou limitado (em proporções definidas de ração consumida). No entanto, os subsídios recomendados de água para determinadas categorias de suínos diferem acentuadamente (CENTRAAL VEEVOEDERBUREAU, 1993).

Poucas são as pesquisas realizadas para avaliar com precisão o tipo de equipamento que deve ser utilizado em cada fase fisiológica da produção de suínos. Para leitões é recomendado utilizar bebedouros do tipo concha porque as chupetas convencionais podem incrementar o desperdício de água (PHILLIPS; FRASER, 1990). Tavares et al. (2014) mostraram na sua pesquisa sobre consumo de água na fase de crescimento-terminação em função do bebedouro instalado (Chupeta Bite Ball, Chupeta Convencional e Taça/Concha Horizontal), que a chupeta convencional é o mais eficiente. É importante salientar que o desempenho dos suínos não é afetado pelo tipo de equipamento instalado (GILL; BARBER, 1990) desde que os mesmos forneçam a quantidade de água que os suínos necessitam.

## 2.3 PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA

A suinocultura no Brasil tem evoluído sensivelmente nas últimas décadas, como comprovam os altos índices de produtividade alcançados. A crescente difusão do confinamento de todas as fases da criação de suíno, trouxe como consequência o acúmulo dos dejetos por unidade de área e tempo (KONZEN, 1980). A concentração de animais em pequenas áreas de produção classificou a atividade como potencialmente degradadora, devido à produção de grandes volumes de dejetos com altas cargas de nutrientes (fósforo e nitrogênio) causando ônus ambientais pela poluição dos recursos naturais como água, solo e ar (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Os dejetos produzidos na cadeia produtiva de suínos são compostos por fezes e urina dos animais, água desperdiçada nos bebedouros, água proveniente da lavagem das baias, água da aclimatação, bem como de restos de ração não consumidos, pelos e poeiras (BABOT et al., 2011; TAVARES, 2012).

Segundo Silva (1996), a cadeia produtiva de suínos tecnificada, na forma de confinamento gera como dejetos um efluente com elevada concentração orgânica, resultante das fezes e urina, que somados à água utilizada na lavagem das instalações e demais impurezas, com cor escura e odor desagradável. A composição dos dejetos está associada ao sistema de manejo adotado pelo produtor, podendo apresentar grandes variações na concentração de seus componentes, dependendo da diluição e do modo como são manuseados e armazenados (OLIVEIRA, 1994 *apud* DAGA et al., 2008). Assim, o conhecimento do volume e da composição química dos dejetos é fundamental para o estabelecimento de um programa de manejo, armazenagem, tratamento, distribuição e utilização visando o controle da poluição e a valorização agronômica (PERDOMO; LIMA; 2001), com o intuito de trazer benefícios econômicos para o produtor e tornar a cadeia produtiva de suínos, mais equilibrada e sustentável.

### 2.3.1 VOLUME DE DEJETO PRODUZIDO

Um entrave importante para o dimensionamento correto de sistemas de armazenamento, transporte e tratamento de dejetos de suínos, reside no desconhecimento por parte dos atores associados ao processo produtivo, do volume de efluentes e a carga de poluentes

gerado pela atividade (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003; BABOT et al., 2011).

Para Oliveira (1993) o volume de dejetos de um sistema de criação depende da qualidade da água desperdiçada pelos bebedouros e do volume de água utilizado na higienização das edificações dos animais. Desta forma, o entendimento da qualidade total de dejetos produzidos por um suíno em determinada fase de seu desenvolvimento, é uma informação importante para o planejamento das instalações de coleta e estocagem (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998).

A Tabela 4 mostra a relação indicada por vários autores entre a proporção de dejetos produzidos por dia pelos animais.

**Tabela 4:** Proporção da quantidade de dejetos produzidos por um suíno.

Autores	Ano	Fase crescimento-terminação	
		Peso-Vivo (kg)	Peso-Vivo (kg)
<b>Konzen</b>	1980	-	7,0
<b>Medri</b>	1997	-	10
<b>Perdomo et al.</b>	1999	-	11,2
<b>Nagae et al.</b>	2005	-	10,8
<b>Sinotti</b>	2005	-	9,73

**Fonte:** Adaptado Tavares (2012).

Um aspecto relevante no volume total de dejetos é a produção de urina pelos animais (a qual é diretamente proporcional à quantidade de água ingerida), do volume de água desperdiçada pelos bebedouros e da água utilizada na higienização das baias (MEDRI, 1997). Segundo os trabalhos publicados por (LOEHR, 1974 *apud* MEDRI, 1997) nos Estados Unidos, indica que a quantidade de urina é da ordem de 30% do peso total dos excrementos. Para Oliveira (1993), um dos fatores que influenciam diretamente na quantidade de dejetos líquidos é a produção de urina que depende diretamente da ingestão de água. Para o mesmo autor, em geral, cada litro de água consumido por um suíno resulta em 0,6 L de dejetos líquidos.

Outro fator que influencia a quantidade de dejetos na produção de suínos é o volume de água utilizada na limpeza das instalações, que

segundo Palhares (2010), representa em média 3,5% do total de água utilizada na suinocultura. Para Froese (2003), a quantidade de água utilizada na atividade pode ser reduzida em até 25% na fase de crescimento-terminação com o uso racional deste recurso natural, o que consequentemente resultará em uma redução do volume de dejetos produzidos.

Ainda vale ressaltar a quantidade de dejetos produzidos na suinocultura através da precipitação, quando as canaletas se encontram externamente ao prédio de produção e expostas ao ar livre, o que facilita a entrada da água da chuva aumentando a produção e diluindo a concentração desse dejetos.

A alimentação fornecida aos animais também influencia no volume total de dejetos produzidos. Várias pesquisas na área de nutrição animal têm sido realizadas com o objetivo de redução do poder poluente causado pelos dejetos suínos (LENIS, 1989; HENRY; DOURMAD, 1992; QUINOU; NOBLET; DOURMAD, 1994). Segundo Perdomo (1996), o aumento da digestibilidade da matéria seca da dieta de 85% para 90%, tem promovido uma queda de aproximadamente 30%, na excreção de matéria seca nas fezes. A excreção de nitrogênio pode ser minimizada em até 35% quando os suínos são alimentados com dieta contendo 15% de proteína bruta suplementada com aminoácidos, em comparação com animais alimentados com dietas contendo 18% de proteína bruta, sem suplementação de aminoácidos (CROMWELL; CARTER; LINDERMANN, 1996). Assim, uma vez que a restrição alimentar dos suínos pode melhorar a sua eficiência, poderá haver a simultânea redução da quantidade de dejetos e de nutrientes excretados (MARCATO; LIMA, 2005).

O tipo de bebedouro, aliado à falta de manutenção e regulação, e o programa de limpeza e desinfecção são os principais fatores do aumento do volume de dejetos produzidos (TAVARES et al., 2014). Para Oliveira (1993), o manejo, o tipo de bebedouro, alimentação e o sistema de higienização adotado pelo produtor (frequência e volume de água utilizada), assim como o número e a fase fisiológica dos animais influenciam o volume de dejetos produzido. A Tabela 5 mostra o volume de dejetos produzidos segundo a Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA, 2014).

**Tabela 5:** Volume de dejetos produzidos por sistema de produção de suínos.

<b>Sistema de Produção de suínos</b>	<b>Massa (kg)</b>	<b>Dejetos (L/animal/dia)</b>
<b>Ciclo Completo</b>	-	47,1
<b>Unidade produtora de leitões</b>	-	22,8
<b>Unidade Produtora de desmamados</b>	-	16,2
<b>Crechários</b>	6-28	2,3
<b>Unidade de terminação</b>	23-120	4,5

**Fonte:** Adaptado Fundação Meio Ambiente (2014).

## 2.4 MODELAGEM MATEMÁTICA NA SUINOCULTURA

O processo de crescimento dos animais é um fenômeno complexo e de grande importância para a área de zootecnia. O peso-vivo dos animais é uma das características usadas para mensurar o processo de crescimento, sendo muito importante nos programas de seleção e melhoramento genético (AFONSO; QUIRINO; COSTA, 2007).

Relações matemáticas entre o animal e o tempo (curvas de crescimento) têm sido propostas por diversos pesquisadores (FITZHUGH Jr., 1976, McMANUS et. al., 2003). A construção de curvas de crescimento é feita usando uma medida, como o peso-vivo, o comprimento ou altura, e a idade em determinada escala de tempo. Quando um conjunto completo de medidas está disponível para cada indivíduo e para cada idade, deve-se proceder de acordo com a técnica apropriada para análise de dados do tipo longitudinal (FITZHUGH Jr., 1976). Ainda segundo o mesmo autor, estudou-se curvas de crescimento através de ajustes de funções não lineares, pois assim é possível sintetizar informações de todo o período da vida dos animais, ou seja, pode-se trabalhar com um conjunto de informações em série de peso por idade, que serão quantificados num conjunto de parâmetros interpretáveis biologicamente, facilitando assim, o entendimento do fenômeno de crescimento.

Segundo Fialho (1999), a função não linear de Gompertz tem propriedades desejáveis numa curva de crescimento, pois o peso zero (inicial) é sempre superior a zero (o animal nasce com algum peso). A abordagem utilizada através do ajuste pela função de Gompertz, embora utilizada em outras pesquisas para explicar as tendências de crescimento de diversos parâmetros zootécnicos, especialmente de tecidos (FIALHO, 1999), não foi anteriormente utilizada, aparentemente, para estimar o consumo de água e produção de dejetos na suinocultura (TAVARES, 2012; TAVARES et al., 2014).

Segundo Tavares et al., (2014) os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos para as equações das curvas ajustadas pela função não linear de Gompertz em relação ao consumo de água e produção de dejetos dos suínos (em função do tempo de alojamento) foram, respectivamente, 0,996 e 0,997. Para o referido autor estes resultados são muito importantes, pois indicam que a função permite explicar razoavelmente bem, tanto o consumo médio de água como a produção de dejetos.

Na realização do presente trabalho além da modelagem da função de Gompertz optou-se por estudar outras funções matemáticas não

lineares passíveis de serem utilizadas para estimar o consumo de água e a produção de dejetos em função do peso vivo, tempo de alojamento e idade dos animais na fase fisiológica de crescimento/terminação da cadeia produtiva de suínos.

A Tabela 6 apresenta as equações selecionadas no desenvolvimento do trabalho como objetivo estimar o consumo de água e a produção de dejetos utilizando funções não lineares em função do tempo de alojamento (t), peso vivo (x) e idade (i) dos animais. Por questão de facilidade de demonstração é apresentado apenas as funções não lineares em relação ao tempo de alojamento (t).

**Tabela 6:** Funções não lineares estudadas para estimar o consumo de água e a produção de dejetos.

Funções	Equação	Nº de Parâmetros
<b>Brody</b>	$y(t) = a(1 - be^{(-ct)})$	3
<b>Von Bertalanffy</b>	$y(t) = a(1 - be^{(-ct)})^3$	3
<b>Logístico</b>	$y(t) = a/(1 + be^{(-ct)})$	3
<b>Gompertz</b>	$y(t) = ae^{(-be^{(-ct)})}$	3
<b>Richards</b>	$y(t) = a(1 - be^{(-ct)})^m$	4

A notação adotada é a seguinte:

y = consumo de água e produção de dejetos ao longo do tempo t (L/suínos/dia);

a = valor assintótico para o consumo de água e produção de dejetos, ou seja, é interpretado como o consumo de água e produção de dejetos na idade adulta (L);

b = representa o aumento variável do ponto de inflexão ( $L \cdot d^{-1}/L$ );

c = representa o parâmetro de decaimento, isto é, no ponto de inflexão da curva (d);

t = tempo de alojamento dos animais (d);

x = peso vivo dos animais (kg);

i = idade dos animais (d);

m = é o parâmetro que forma a curva. Sua fixação determina a forma da curva e conseqüentemente o ponto de inflexão.

## 2.4.1 FUNÇÕES MATEMÁTICAS NÃO LINEARES SELECIONADAS

### 2.4.1.1 FUNÇÃO DE GOMPERTZ

A função não linear de Gompertz foi desenvolvida em 1825 por Benjamin Gompertz para estudar as leis de natalidade e mortalidade humanas (LAIRD, 1966). No seu fundamento, o autor indicou que a taxa de crescimento relativo descreve de forma exponencial, sendo a curva assimétrica em relação ao seu ponto de inflexão e o ritmo de desenvolvimento mais lento depois de alcançado esse ponto. Neste contexto, a função de Gompertz foi desenvolvida sob a suposição de que a taxa de crescimento específico caía exponencialmente com o tempo.

$$y(t) = ae^{(-be^{-ct})}$$

### 2.4.1.2 FUNÇÃO DE BRODY

A função não linear de Brody (1945) considera a velocidade do crescimento proporcional ao crescimento que fica por efetuar, pelo que as taxas de crescimento diminuem à medida que aumenta o peso e a idade. Esse modelo foi proposto para descrever o crescimento após o ponto de inflexão. Neste modelo o parâmetro  $m$  assume valor igual a 1. A maioria dos trabalhos que utilizam esse modelo considera o nascimento como ponto de inflexão, podendo assim ser utilizado para descrever o crescimento pós-natal (PAZ, 2002).

$$y(t) = a(1 - be^{-ct})$$

### 2.4.1.3 FUNÇÃO DE VON BERTALANFFY

A função não linear de Von Bertalanffy (1949, 1957) foi derivada pelo autor a partir de taxas de anabolismo e catabolismo do animal, baseando-se na suposição de que o crescimento é a diferença entre as mesmas. Nesse modelo o ponto de inflexão  $m$  é fixo em  $\approx 0,3$  do valor de  $a$  (PAZ, 2002).

$$y(t) = a(1 - be^{(-ct)})^3$$

#### 2.4.1.4 FUNÇÃO LOGÍSTICA

Proposta por Verhulst em 1838 para expressar a lei do crescimento de populações humanas (LAIRD, 1966), a função apresenta uma curva assimétrica em relação ao ponto de inflexão, podendo-se alcançar 50% do valor assintótico. Aproxima-se em seu segundo trecho à Função de Brody, porém, em seu primeiro trecho, aproxima-se a uma função exponencial de taxa relativa de crescimento constante. Em outras palavras, esse modelo considera a velocidade de crescimento proporcional ao crescimento efetuado e ao crescimento que fica por efetuar.

$$y(t) = a(1 + be^{(-ct)})^{-1}$$

#### 2.4.1.5 FUNÇÃO DE RICHARDS

Considerada por muitos pesquisadores como a função mais completa para estudo do crescimento, a função de Richards possui quatro parâmetros, porém com um ponto de inflexão, dependente do parâmetro  $m$ , que deve ser estimado para cada análise, para que se consiga uma melhor interpretação biológica. No entanto, existe dificuldades em se ajustar esse modelo, em função da não convergência do processo iterativo, causado principalmente pela alta correlação negativa entre  $b$  e  $m$  (PAZ, 2002).

$$y(t) = a(1 - be^{(-ct)})^m$$

A Tabela 7 mostra o resumo do estudo realizado das funções não lineares, apresentando: a sua forma integral, o valor na origem, o ponto de inflexão, as assíntotas, assim como as restrições dos parâmetros biológicos de cada função.

**Tabela 7:** Resumo do estudo das funções não lineares, apresentando suas principais características.

Função	Forma Integral <sup>1</sup>	Restrição de Parâmetros	Valor na Origem	Ponto Inflexão	Assíntota
<b>Brody</b>	$y=a(1-be^{(-ct)})$	$a > 0$ $c > 0$ $b > 1$	$t=0;$ $y=a(1-b)$ $t \rightarrow \infty; y=a$	$y= \ln b/c$	$t \rightarrow \infty;$ $y=a$
<b>Von Bertalanffy</b>	$y=a(1-be^{(-ct)})^3$	$a > 0$ $c > 0$ $1/3 < b < 1$	$t=0;$ $y=a(1-b)^3$ $t \rightarrow \infty; y=a$	$y= \ln (3b)/c$	$t \rightarrow \infty;$ $y=a$
<b>Logística</b>	$y=a/(1+be^{(-ct)})$	$a > 0$ $c > 0$ $b > 1$	$t=0;$ $y=a/(1+b)$ $t \rightarrow \infty; y=a$	$y= \ln b/c$	$t \rightarrow \infty;$ $y=a$
<b>Gompertz</b>	$y=ae^{(-be^{(-ct)})}$	$a > 0$ $c > 0$ $b > 1$	$t=0;$ $y=ae^{(-b)}$ $t \rightarrow \infty; y=a$	$y= \ln b/c$	$t \rightarrow \infty;$ $y=a$
<b>Richards</b>	$y=a(1-be^{(-ct)})^m$	$a > 0$ $c > 0$ $b < 1$ e $mb > 1$	$t=0;$ $y=a(1-b)^m$ $t \rightarrow \infty; y=a$	$y= \ln (mb)/c$	$t \rightarrow \infty;$ $y=a$

<sup>1</sup> -  $y$ = Consumo de água e produção de dejetos ao longo do tempo de alojamento ( $t$ ), peso-vivo ( $x$ ) e idade dos animais ( $i$ ) (L/suíno/dia);

$a$ = Consumo de água e produção de dejetos na fase adulta (L);

$b$ = Aumento variável do ponto de inflexão (L.d<sup>-1</sup>/dia);

$c$ =Representa o parâmetro de decaimento, isto é, no ponto de inflexão da curva ( $d$ );

$m$ = Parâmetro que da forma a curva. Sua fixação determina a forma da curva e consequentemente o ponto de inflexão.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

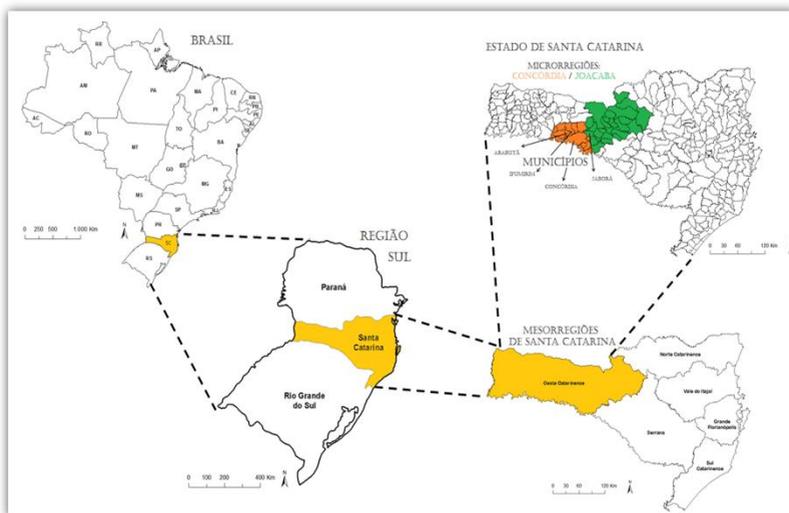
O presente trabalho foi realizado a partir da análise de dados primários de consumo de água e produção de dejetos de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (projeto desenvolvido entre outubro de 2010 e março de 2013). Os dados foram coletados no decorrer do projeto de parceria técnica desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias com apoio da Empresa Brasil Foods, pela Associação das Indústrias de Carnes e Derivados de Santa Catarina e pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Os dados primários foram obtidos a partir de quatro etapas de trabalho apresentadas por Tavares (2012) e Tavares et al. (2014), e que se resumem a seguir:

1. Visita exploratória a diversas granjas, na fase fisiológica de crescimento/terminação;
2. Seleção das 15 granjas nas quais foram desenvolvidas as atividades em campo e pesquisa;
3. Desenvolvimento do estudo piloto em três granjas para adequação, validação e definição da metodologia para a medição do consumo de água e a produção de dejetos;
4. Avaliação nas 15 granjas selecionadas, perfazendo um total de 33 ciclos de produção na fase fisiológica indicada (totalizando aproximadamente 13.300 suínos).

**Descrição do local do estudo:** as 15 granjas selecionadas localizavam-se na Mesorregião do Oeste Catarinense, no Alto Uruguai, distribuídas pela Microrregião de Concórdia (município de Arabutã (n=1), Concórdia (n=11) e Ipumirim (n=2)) e Microrregião de Joaçaba (município de Jaborá (n=1)), como pode ser vista na Figura 3. A parte da análise dos dados primários coletados no decorrer da pesquisa por Tavares et al. (2014) foi realizada na Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária, Centro de Suínos e Aves, em Concórdia, Santa Catarina.

**Figura 3:** Localização das granjas suínícolas utilizadas no projeto.



**Fonte:** Tavares, 2012.

### 3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS PRIMÁRIOS

Os dados utilizados na elaboração deste trabalho foram obtidos a partir de coletas diárias do consumo de água (ingestão animal + desperdício) e da produção de efluentes (Tavares et al., 2014). Em seguida apresentam-se os principais procedimentos para a aquisição dos dados relativos ao consumo de água e da produção de dejetos.

#### 3.2.1 CONSUMO DE ÁGUA

O consumo total de água nas 15 granjas selecionadas foi medido e avaliado considerando o consumo de água dos animais (ingestão + desperdício), o umedecimento da ração, a nebulização e água gasta na limpeza de equipamentos e instalações. As leituras do consumo de água em cada granja foram realizadas e registradas pelos produtores em planilhas individuais específicas por meio da anotação diária dos valores dos hidrômetros instalados nas redes de abastecimento de água dos bebedouros e nas redes de limpeza e nebulização, em intervalos de 24 horas.

Os hidrômetros instalados para medição do consumo de água eram da marca ACTARIS e ITRON, do tipo turbina Unimag TU III HV

e turbina Unimag CYBLE PN 10, com raio médio de (3/4'') de polegada.

Para a realização do presente trabalho foram considerados somente os gastos de água registrados nos hidrômetros do consumo animal (ingestão + desperdício).

### 3.2.2 PRODUÇÃO DE DEJETOS

A medição do volume de dejetos produzido diariamente pelos suínos foi realizada através da instalação de caixas de fibra de vidro com volume de 5m<sup>3</sup>, nas 15 granjas, entre o edifício de produção e o sistema de tratamento (esterqueiras e biodigestor). A aferição do volume foi feita pelo produtor através do auxílio de régua graduada introduzida no interior das caixas de fibra de vidro para medição da altura da lâmina de água do dejetos armazenado a cada 24 horas. Tais valores foram também registrados em planilhas individuais.

### 3.3 MODELAGEM DAS FUNÇÕES NÃO LINEARES (CURVAS ESTIMADAS)

Os dados obtidos para a modelagem do consumo de água e produção de dejetos em função do peso-vivo, tempo de alojamento e idade dos animais eram compostos por 32 lotes de produção de suínos (foi desconsiderado um lote de produção por erros de medição do produtor), correspondendo a aproximadamente 13.300 animais na fase fisiológica de crescimento-terminação.

Para obtenção da curva estimada do consumo de água e produção de dejetos foi realizado um estudo matemático das funções não lineares (primeira e segunda derivada) obtendo os intervalos aproximados da restrição dos parâmetros a, b e c de cada função. Após obter os intervalos aproximados, utilizou-se um procedimento estatístico com a finalidade de se obter o melhor ajuste dos valores de cada parâmetro das funções, em função da curva obtida pelos dados observados.

**Peso-vivo:** para modelar as funções não lineares dos 32 ciclos de produção observadas em função do peso-vivo, foram consideradas quatro pesagens dos animais avaliados; a primeira na saída da fase fisiológica de creche antes do transporte para as unidades de crescimento-terminação (≈9ª semana de vida), duas pesagens ao longo das 15 semanas de alojamento, e a última pesagem no momento do

abate ( $\approx 24^{\text{a}}$  semana de vida). Dessa forma, por meio de uma regressão linear dos pesos determinados considerando a idade dos animais em cada lote, foi possível obter os valores médios semanais dos pesos-vivos dos animais ao longo das 15 semanas de alojamento.

**Tempo de alojamento:** para esta análise foram utilizados dados referentes aos animais alojados durante quinze semanas, o que corresponde em média ao período de alojamento dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação. Dado que em média, os animais entram com 63 dias, as primeiras 15 semanas de alojamento corresponderam ao período compreendido entre a 9<sup>a</sup> e a 24<sup>a</sup> semana de idade (63 a 168 dias de idade).

**Idade do suíno:** para modelar as funções não lineares dos 32 ciclos de produção observadas em função da idade do suíno realizou-se uma análise da idade média com que os suínos foram alojados na fase fisiológica de crescimento-terminação. Dessa análise percebeu-se que embora tenham existido animais a serem alojados com menos de 63 dias (média dos 13.300 animais avaliados) a maioria dos dados coletados correspondiam aos animais a partir dessa idade. Assim foram considerados os dados coletados para os animais com idade entre 67 e 172 dias (105 dias no total).

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O estudo estatístico foi realizado ajustando 8 modelos matemáticos (Intercepto, Linear, Quadrático, Gompertz, Brody, Von Bertalanffy, Logística e Richards), entre lineares (Intercepto, Linear e quadrático) e não-lineares (Gompertz, Brody, Von Bertalanffy, Logística e Richards), visando estimar o consumo de água e a produção de dejetos em função do peso vivo, tempo de alojamento e idade dos animais. Os modelos lineares foram utilizados como base de comparação para os demais. As análises foram realizadas por meio dos procedimentos GENMOD e NLMIXED do software *Statistical Analysis System* (SAS, 2012), para ajustar os parâmetros dos modelos não lineares (a, b e c) e comparar os modelos através do melhor ajuste dos dados estimados pelas equações não lineares em relação aos dados observados. A escolha dos melhores modelos para prever o consumo de água e a produção de dejetos foi baseada no Critério de Informação de Akaike (quanto menor o valor, melhor) (AIC). Também foram

calculados os coeficientes de determinação (quanto mais próximo o valor de 1 melhor) ( $R^2$ ) e os erros de predição (absoluto e em %, sendo quanto mais próximos de zero melhor) para cada modelo.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 FUNÇÕES NÃO LINEARES SELECIONADAS NA MODELAGEM MATEMÁTICA

Os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho são apresentados segundo os objetivos específicos propostos inicialmente. Primeiramente foram pré-selecionadas após estudos as funções não lineares passíveis de aplicação na avaliação do desempenho animal. Desse estudo, foi possível verificar que além da função não linear de Gompertz, outras poderiam ser utilizadas no desenvolvimento do trabalho. De forma a tornar possível a apresentação e o estudo foram selecionadas quatro funções adicionais, para que no final do estudo fossem comparadas cinco funções não lineares. Assim, escolheram-se as seguintes funções não lineares: *Brody*, *Von Bertalanffy*, *Logística* e *Richards*. Ainda para efeito de comparação, e de modo a sairmos da família das funções não lineares, utilizaram-se três funções lineares *Intercepto*, *Linear* e *Quadrática*. De modo a relembrar as funções não lineares selecionadas, estas podem ser observadas na Tabela 4 do presente documento.

### 4.2 MODELAGEM DO CONSUMO DE ÁGUA E PRODUÇÃO DE DEJETOS

#### 4.2.1 FUNÇÃO DO PESO-VIVO

A Tabela 8 e Tabela 9 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos na estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para predição do consumo de água e da produção de dejetos, em função do peso-vivo ( $x$ ) dos animais, assim como os seus respectivos Índices de Critério Akaike (AIC), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros de predição.

**Tabela 8:** Modelos de predição do consumo de água em função do peso vivo dos animais, com estimativa dos seus principais parâmetros.

Função	AIC	R <sup>2</sup>	Erro de predição (L/suíno/dia)	Erro de predição (%)
1. $y = 8,392$	53,87	-	1,06	14,16
2. $y = 5,336 + 0,0441x$	29,06	0,833	0,45	5,69
3. $y = 1,885 + 0,1605x - 0,0008x^2$	-23,86	0,996	0,07	0,87
4. $y = 9,751e^{-0,0436 \cdot (x-14,181)}$	-7,88	0,988	0,12	1,42
5. $y = 9,860(1 - 1,1577e^{(-0,0354x)})$	-4,87	0,985	0,13	1,59
6. $y = 9,782(1 - 0,5272e^{-0,0408 \cdot x})^3$	-6,92	0,987	0,12	1,48
7. $y = 9,751(1 - 0,0019e^{-0,0436 \cdot x})^{1000}$	-7,88	0,988	0,12	1,42
8. $y = 9,676(1 + 3,0314e^{(-0,0519x)})^{-1}$	-10,38	0,989	0,11	1,30

y = Valor estimado do consumo de água (L/suíno/dia) e x = função do peso-vivo (kg).

1-Intercepto; 2- Linear; 3- Quadrática; 4- Gompertz; 5- Brody; 6- Von Bertalanffy; 7- Richards; 8- Logística.

**Tabela 9:** Modelos de predição da produção de dejetos em função do peso vivo dos animais, com estimativa dos seus principais parâmetros.

Função	AIC	R <sup>2</sup>	Erro de predição (L/suíno/dia)	Erro de predição (%)
1. $y = 4,5419$	39,92	-	0,65	16,97
2. $y = 2,6549 + 0,0272x$	17,45	0,804	0,31	7,61
3. $y = 0,3905 + 0,1036x - 0,0006x^2$	-16,62	0,982	0,09	2,15
4. $y = 5,2709e^{-0,0540 \cdot (x-20,2792)}$	-35,81	0,995	0,04	1,04
5. $y = 5,3319(1 - 1,6258e^{-0,0428x})$	-31,40	0,993	0,05	1,29
6. $y = 5,2884(1 - 0,8104e^{-0,0529x})^3$	-34,71	0,995	0,05	1,11
7. $y = 5,2709(1 - 0,0030e^{-0,0540x})^{1000}$	-35,81	0,995	0,04	1,04
8. $y = 5,2304(1 + 5,6750e^{-0,065x})^{-1}$	-36,44	0,995	0,04	0,93

$y$  = Valor estimado da produção de dejetos (L/suíno/dia) e  $x$  = função do peso-vivo (kg).

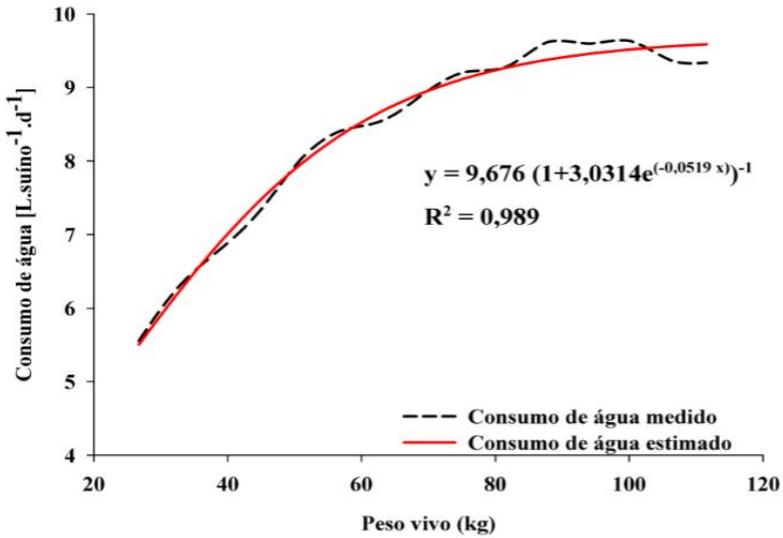
1-Intercepto; 2- Linear; 3- Quadrática; 4- Gompertz; 5- Brody; 6- Von Bertalanffy; 7- Richards; 8- Logística.

Da Tabela 8 é possível observar que dentre as funções não lineares, a Logística (8) foi a que melhor modelou a estimativa do consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, apresentando um índice de Critério Akaike (AIC) de -10,38 e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,989. Convém referir que apesar da função linear quadrática ter apresentado melhores resultados no ajustamento aos dados do consumo de água, a mesma não possui significado biológico para os parâmetros analisados, uma vez que a medida que o peso dos animais cresce na fase adulta a curva tende a decair a partir do ponto de inflexão como pode ser visto na figura 9 e 10. Posteriormente estes resultados obtidos serão analisados especificamente.

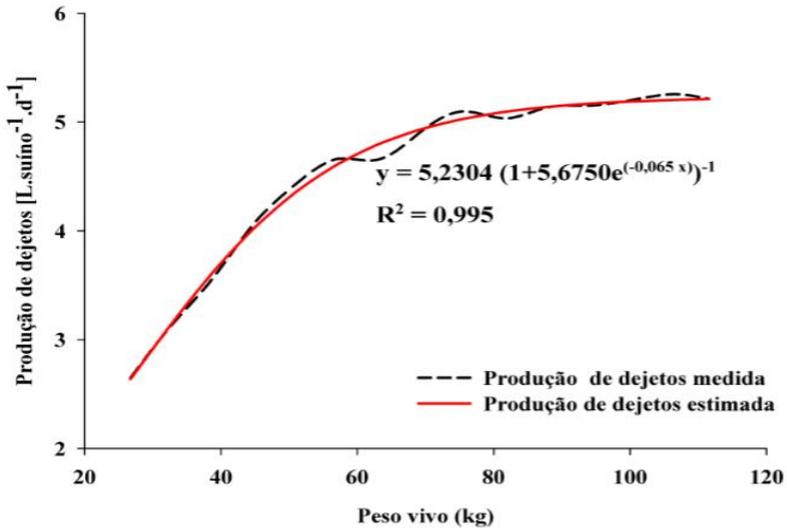
No que respeita à Tabela 9, a função não linear logística (8) foi de todas as funções utilizadas no estudo a que se ajustou melhor aos dados da produção de dejetos. Esta apresentou o menor valor do Índice de Critério Akaike (AIC) sendo igual a -36,44, e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,995.

A Figura 4 e a Figura 5 mostram, respectivamente, as curvas do consumo de água dos suínos e da produção de dejetos após modelagem dos dados médios semanais em função do peso-vivo ( $x$ ) dos animais, ajustado segundo a função não linear logística.

**Figura 4:** Consumo de água em função do peso vivo, ajustado segundo a função logística.



**Figura 5:** Produção de dejetos em função do peso vivo, ajustado segundo a função logística.



Com base na análise da Tabela 8 e Tabela 9 e na observação das Figura 4 e Figura 5 é possível verificar que o modelo Logístico é aquele que melhor se ajusta para estimar o consumo de água e a produção de dejetos para suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função do peso-vivo dos animais. Os coeficientes de determinação obtidos tanto para a curva do consumo de água estimada como para a produção de dejetos permitem predizer com elevado grau de segurança o que se observa diariamente nas granjas produtoras de suínos.

#### 4.2.2 FUNÇÃO DO TEMPO DE ALOJAMENTO

A Tabela 10 e Tabela 11 mostram, respectivamente, os resultados obtidos na estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para predição do consumo de água e da produção de dejetos, em função do tempo de alojamento (t) dos animais, assim como os seus respectivos Índices de Critério Akaike (AIC), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros de predição.

**Tabela 10:** Modelos para prever o consumo médio de água em função do tempo de alojamento, com estimativa dos seus principais parâmetros.

Função	AIC	R <sup>2</sup>	Erro de predição (L/suíno/dias)	Erro de predição (%)
1. $y = 8,3100$	55,01	-	1,12	15,13
2. $y = 6,1575 + 0,0406t$	27,59	0,859	0,45	5,65
3. $y = 5,0199 + 0,1043t - 0,0006t^2$	-20,49	0,995	0,07	0,93
4. $y = 9,8335e^{-0,0350(t+10,0114)}$	-10,24	0,990	0,10	1,28
5. $y = 9,9879(1 - 0,5242e^{-0,0277t})$	-6,04	0,987	0,12	1,55
6. $y = 9,8780(1 - 0,2123e^{-0,0326t})^3$	-8,85	0,989	0,11	1,36
7. $y = 9,8337(1 - 0,0007e^{-0,0350t})^{1000}$	-10,24	0,813	0,52	6,64
8. $y = 9,730(1 + 0,9633e^{-0,0426t})^{-1}$	-14,16	0,992	0,09	1,11

y = Valor estimado do consumo de água (L/suíno/dias) e t = tempo de alojamento (dias).

1-Intercepto; 2- Linear; 3- Quadrática; 4- Gompertz; 5- Brody; 6- Von Bertalanffy; 7- Richards; 8- Logística.

**Tabela 11:** Modelos para prever a produção média de dejetos em função do tempo de alojamento, com estimativas de seus principais parâmetros.

Função	AIC	R <sup>2</sup>	Erro de predição (L/suíno/dias)	Erro de predição (%)
1. $y = 4,4867$	40,36	-	0,68	17,80
2. $y = 3,1968 + 0,02434t$	16,66	0,820	0,31	7,53
3. $y = 2,4120 + 0,06825t - 0,0004t^2$	-26,61	0,991	0,07	1,55
4. $y = 5,2826e^{-0,04309(t+3,5255)}$	-31,53	0,994	0,05	1,26
5. $y = 5,3608(1 - 0,6018e^{-0,03346t})$	-24,36	0,990	0,06	1,64
6. $y = 5,3048(1 - 0,2535e^{-0,03948t})^3$	-29,15	0,992	0,05	1,37
7. $y = 5,2827(1 - 0,00086e^{-0,04308t})^{1000}$	-31,52	0,994	0,05	1,26
8. $y = 5,2321(1 + 1,2579e^{(-0,05303t)})^{-1}$	-37,83	0,996	0,04	1,07

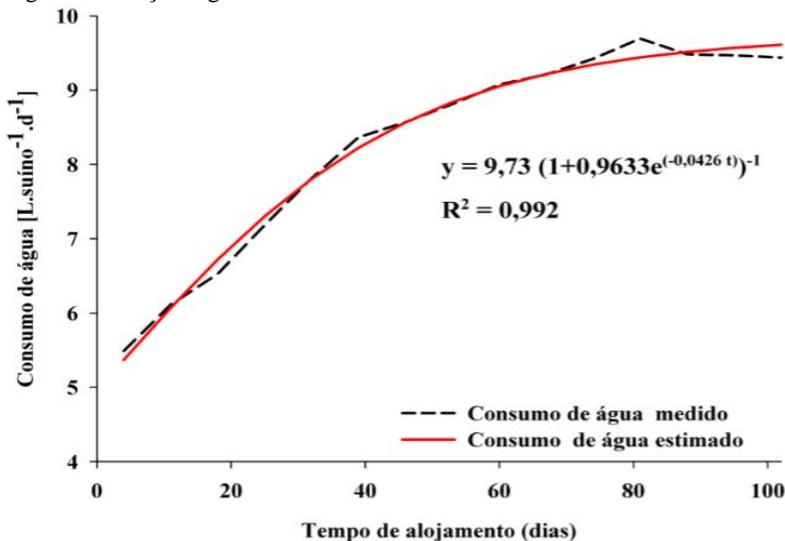
$y$  = Valor estimado de produção de dejetos (L/suíno/semanas) e  $t$  = tempo de alojamento (dias).

1-Intercepto; 2- Linear; 3- Quadrática; 4- Gompertz; 5- Brody; 6- Von Bertalanffy; 7- Richards; 8- Logística.

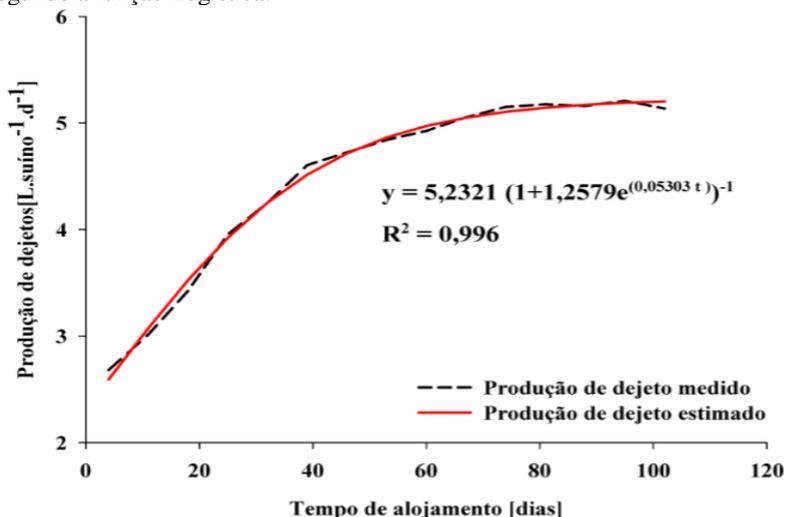
A visualização da Tabela 10 permite indicar que das funções não lineares, novamente a função Logística (8) foi a que melhor modelou a estimativa do consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, apresentando um índice de Critério Akaike (AIC) de  $-14,16$  e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a  $0,992$ . Tal como referido para o estudo feito em função do peso-vivo dos suínos, a função linear quadrática apresentou os melhores resultados no ajustamento aos dados do consumo de água. Em relação à Tabela 11, a função não linear logística (8) foi de todas as funções utilizadas no estudo a que se ajustou melhor aos dados da produção de dejetos. Esta apresentou o menor valor do Índice de Critério Akaike (AIC) sendo igual a  $-37,83$ , e o maior Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a  $0,996$ .

A Figura 6 e a Figura 7 mostram, respectivamente, as curvas do consumo de água dos suínos e da produção de dejetos após modelagem dos dados médios semanais em função do tempo de alojamento ( $t$ ) dos animais, ajustado segundo a função não linear logística.

**Figura 6:** Consumo de água em função do tempo de alojamento, ajustado segundo a função logística.



**Figura 7:** Produção de dejetos em função do tempo de alojamento, ajustado segundo a função Logística.



A análise da Tabela 10 e Tabela 11 e a observação da Figura 6 e Figura 7 é possível afirmar que também aqui, o modelo Logístico é aquele que melhor se ajusta para estimar o consumo de água e a produção de dejetos para suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função do tempo de alojamento dos animais. Os coeficientes de determinação obtidos tanto para a curva do consumo de água estimada como para a produção de dejetos permitem prever com elevado grau de segurança o que se ocorre diariamente nas granjas produtoras de suínos.

#### 4.2.3 FUNÇÃO DA IDADE DOS ANIMAIS

A Tabela 12 e Tabela 13 exibem, respectivamente, os resultados obtidos na estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para prever o consumo de água e da produção de dejetos, em função da idade ( $i$ ) dos animais, assim como os seus respectivos Índices de Critério Akaike (AIC), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros de predição.

**Tabela 12:** Modelos para prever o consumo médio de água em função da idade dos animais, com estimativas de seus principais parâmetros.

Função	AIC	R <sup>2</sup>	Erro de predição (L/suíno/dia)	Erro de predição (%)
1. $y = 8,3920$	53,87	-	1,06	14,16
2. $y = 3,9279 + 0,0385i$	29,06	0,833	0,45	5,67
3. $y = -4,0218 + 0,1855x - 0,0006i^2$	-23,83	0,996	0,07	0,85
4. $y = 9,7592e^{-0,0377(i-52,5988)}$	-7,41	0,987	0,12	1,45
5. $y = 9,8713(1 - 3,4865e^{-0,0305i})$	-4,33	0,984	0,13	1,61
6. $y = 9,7919(1 - 0,0004e^{-0,0377i})^3$	-6,42	0,986	0,13	1,50
7. $y = 9,7593(1 - 0,0072e^{-0,0377i})^{1000}$	-7,40	0,987	0,12	1,45
8. $y = 9,6819(1 + 15,4343e^{-0,0449i})^{-1}$	-10,00	0,989	0,11	1,32

$y$  = Valor estimado do consumo de água (L/suíno/dia) e  $i$  = idade do animal (dias).

1-Intercepto; 2- Linear; 3- Quadrática; 4- Gompertz; 5- Brody; 6- Von Bertalanffy; 7- Richards; 8- Logística

**Tabela 13:** Modelos para prever a produção de dejetos em função da idade dos animais, com estimativas de seus principais parâmetros.

Função	AIC	R <sup>2</sup>	Erro de predição (L/suíno/dia)	Erro de predição (%)
1. $y = 4,5419$	39,92	-	0,65	16,97
2. $y = 1,7837 + 0,0238i$	17,38	0,805	0,31	7,58
3. $y = -3,4260 + 0,1201i - 0,0004i^2$	-17,00	0,983	0,09	2,12
4. $y = 5,2757e^{-0,0466(i-59,6112)}$	-35,26	0,995	0,05	1,08
5. $y = 5,3389(1 - 6,1154e^{-0,0368i})$	-30,54	0,993	0,05	1,34
6. $y = 5,2938(1 - 3,8602e^{-0,0433i})^3$	-34,03	0,994	0,05	1,16
7. $y = 5,2757(1 - 0,0160e^{-0,0466i})^{1000}$	-35,26	0,995	0,05	1,08
8. $y = 5,2338(1 + 44,0327e^{-0,0567i})^{-1}$	-36,35	0,995	0,04	0,96

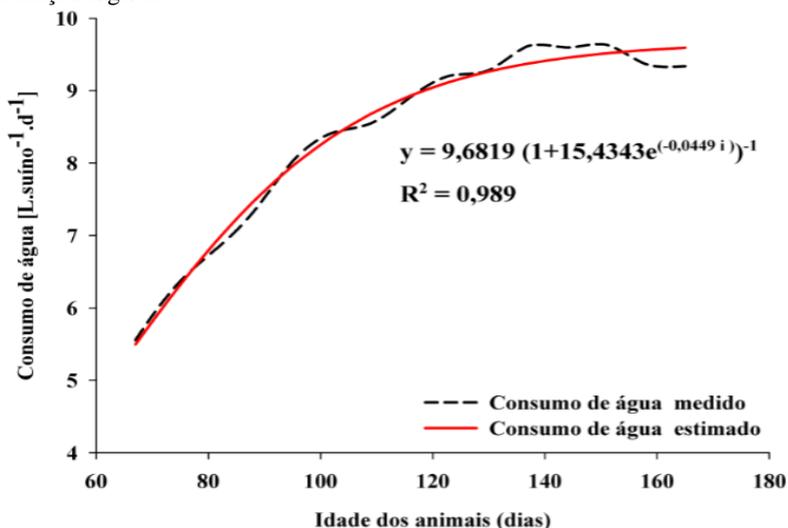
$y$  = Valor estimado da produção média de dejetos diário (L/suíno/dia) e  $i$  = idade do animal (dias).

1-Intercepto; 2- Linear; 3- Quadrática; 4- Gompertz; 5- Brody; 6- Von Bertalanffy; 7- Richards; 8- Logística.

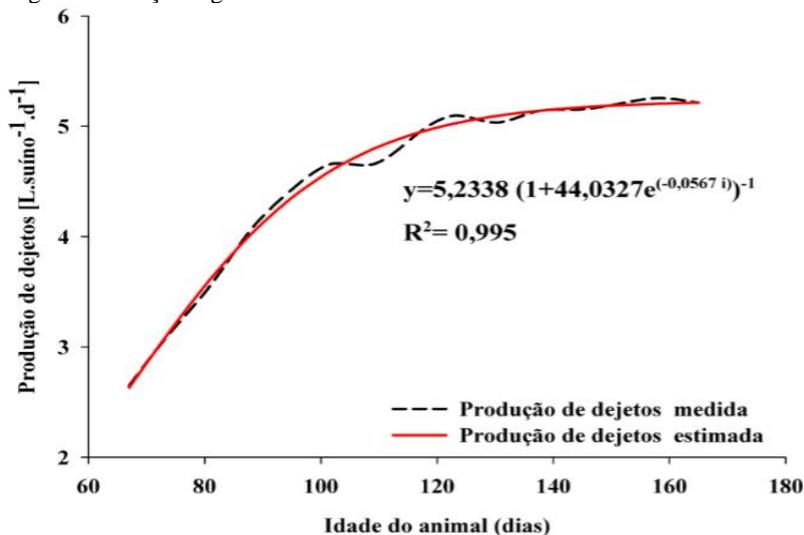
A Tabela 12 mostra que dentre as funções não lineares, a logística (8) foi a que melhor modelou a estimativa do consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, apresentando um índice de Critério Akaike (AIC) de  $-10,00$  e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a  $0,989$ . No que respeita à Tabela 13, a função não linear logística (8) foi de todas as funções utilizadas no estudo a que se ajustou melhor aos dados da produção de dejetos. Esta apresentou o menor valor do Índice de Critério Akaike (AIC) sendo igual a  $-36,35$  e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a  $0,995$ .

A Figura 8 e a Figura 9 mostram, respectivamente, as curvas do consumo de água dos suínos e da produção de dejetos após modelagem dos dados médios semanais em função da idade ( $i$ ) dos animais, ajustado segundo a função não linear logística.

**Figura 8:** Consumo de água em função da idade dos animais, ajustado segundo a função logística.



**Figura 9:** Produção de dejetos em função da idade dos animais, ajustado segundo a função logística.



Das análises das Tabela 12 e Tabela 13 e das observações da Figura 8 e Figura 9 é possível afirmar que o modelo Logístico é aquele que melhor se ajusta para estimar o consumo de água e a produção de dejetos para suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação em função da idade dos animais. Os coeficientes de determinação obtidos tanto para a curva do consumo de água estimada como para a produção de dejetos permitem prever com elevado grau de segurança o que se observa diariamente nas granjas produtoras de suínos.

Pesquisas preliminares realizadas por Tavares (2012) e Tavares et al., (2014), apresentaram a Função de Gompertz como modelo matemático para estimar o consumo de água e a produção de dejetos em função do tempo de alojamento ( $t=15$  e  $t=18$  semanas, respectivamente). O presente trabalho vai de encontro com as pesquisas dos referidos autores visto que a Função de Gompertz foi a função que melhor estimou o consumo de água e produção de dejetos em função do tempo de alojamento ( $t=15$  semanas), logo seguida da logística, apresentando valores de AIC,  $R^2$  e erros de predição iguais a -10,24, 0,990 e 1,28% para água e -31,53, 0,994 e 1,26% para dejetos respectivamente. Tais valores só foram inferiores em relação a Função logística que se obteve os seguintes valores de modelagem AIC= -14,16,  $R^2 = 0,992$  e erro =

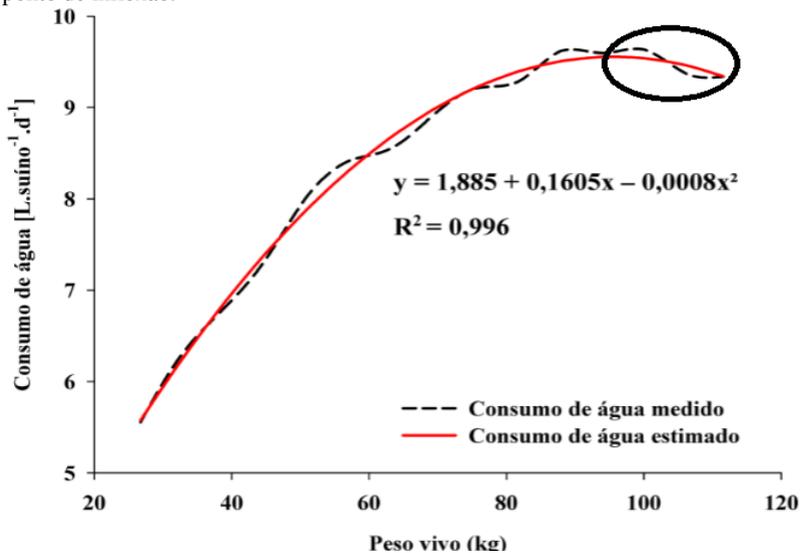
1,11% para água e  $AIC = -37,83$ ,  $R^2 = 0,996$  e erro = 1,07%, caracterizando o melhor ajuste como pode ser visto nas Tabelas 10 e 11.

### 4.3 O MODELO LINEAR QUADRÁTICO

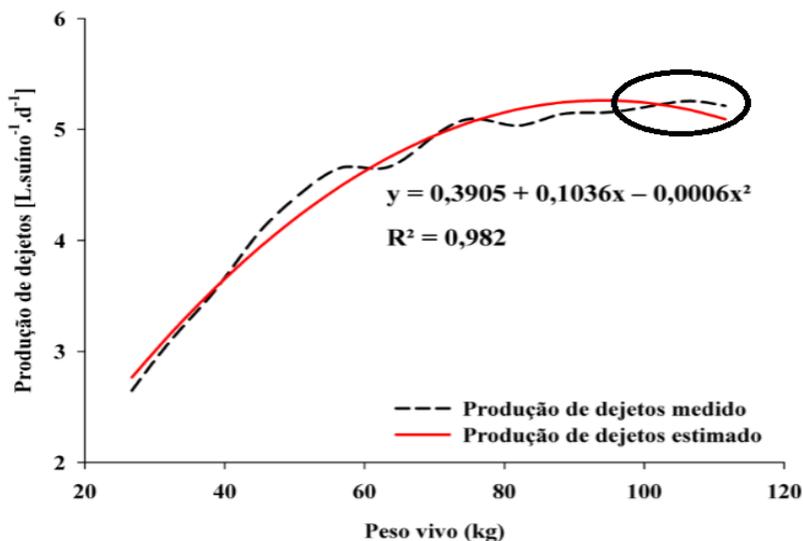
Tal como referido anteriormente, para efeito de comparação com as funções não lineares, utilizaram-se três funções lineares: Intercepto (1), Linear (2) e quadrática (3). Após modelagem das mesmas, observou-se que para a estimativa do consumo de água nas três situações estudadas [função do peso-vivo ( $x$ ), do tempo de alojamento ( $t$ ) e da idade dos animais ( $i$ )], a função linear quadrática era aquela que apresentava o melhor ajuste no modelo de acordo com o Critério de Akaike (-23,86, -20,49 e -23,83). No entanto, como também indicado, este ajuste não pode ser considerado na modelagem dado que a função quadrática não possui sentido biológico para os parâmetros estudados, isto é, à medida que o peso do animal na idade adulta cresce o consumo de água e a produção de dejetos tendem a cair a partir do ponto de inflexão das curvas, conforme indicado em destaque na figura 9 e 10.

A Figura 10 e a Figura 11 apresentam, respectivamente, as curvas do consumo de água dos suínos e da produção de dejetos após modelagem dos dados médios semanais em função do peso-vivo ( $x$ ) dos animais, ajustado segundo a função linear quadrática.

**Figura 10:** Consumo de água em função do peso vivo dos animais, ajustado segundo a função linear Quadrática. Em destaque o decaimento da curva após o ponto de inflexão.



**Figura 11:** Produção de dejetos em função do peso vivo, ajustado segundo a função linear Quadrática. Em destaque o decaimento da curva após o ponto de inflexão.



É possível observar das duas figuras anteriores, que na medida em que o peso do animal na idade adulta aumenta, com o ajuste da função linear quadrática, tanto o consumo de água como a produção de dejetos tendem a decair a partir do ponto de inflexão das curvas. Tal fenômeno não acontece na realidade pelo que os resultados obtidos para o consumo de água não foram considerados para este tipo de função.



## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a evolução da suinocultura, é imprescindível a busca por mecanismos e ferramentas que possibilitem ao produtor a otimização do consumo de água e insumos e conseqüentemente a produção do volume de dejetos para que os produtores possam se adequar as leis ambientais vigentes no estado e torna essa atividade mais equilibrada e sustentável, principalmente nos grandes centros.

Assim, o presente trabalho, verificou que as funções não lineares (*Brody, Von Bertalanffy, Richards e Logística*) selecionadas tal como a função de *Gompertz*, modelam satisfatoriamente o consumo de água e a produção de dejetos, devido às suas representações gráficas exponenciais crescentes, representando os parâmetros biológicos dos suínos, assim como o crescimento dos seus tecidos.

Embora na modelagem do consumo de água em função do peso-vivo, semana de alojamento e idade dos animais, a função que melhor se ajustou tenha sido a linear quadrática, esta não possui sentido biológico, sendo por isso, selecionada a função não linear logística.

Diferentemente da modelagem do consumo de água, o ajuste para a produção de dejetos em função do peso-vivo, tempo de alojamento e idade dos animais, obteve-se como melhor ajuste a função não linear logística.

Assim, verificou-se a possibilidade por meio deste primeiro passo, o desenvolvimento de um software por meio do uso dessa função não linear com a finalidade de auxiliar os produtores a minimizar o consumo de água e a produção de dejetos em suas granjas, enquadrando-se as leis ambientais vigentes no estado de Santa Catarina.

### Recomendações

Pela observação dos resultados deste trabalho, verifica-se a necessidade da inclusão de outros parâmetros ambientais na modelagem (por exemplo, temperatura e umidade relativa do ar) para que o software represente de forma mais precisa o consumo de água e a produção de dejetos real, no dia a dia das granjas suícolas.



## 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

AFONSO, V. A. C; QUIRIO, C. R; COSTA, R. L. D. Utilização de funções não lineares para descrição de curvas de crescimento em ovinos. Pesquisa e Tecnologia, vol. 4, n.2 Jul-Dez 2007.

ALMOND, G. W. How much water do pigs need? North Carolina Healthy Hogs Seminar 2007.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS. **Relatório Anual de 2012**. Concórdia, ACCS, 29p, 2012.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS. **Relatório Anual de 2013**. Concórdia, ACCS, 28p, 2013.

BABOT, D. G. et al. Farm technological innovations on swine manure in Southern Europe. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 40, p. 334-343, 2011.

BELLAVER, C; OLIVEIRA, P. A. V. de. Balanço da água nas cadeias de aves e suínos. Revista Suinocultura Industrial. v. 10, p. 39-44, 2009.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2009**. Rio de Janeiro, v. 37, 2009. p. 1-55. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009/ppm2009.pdf>>. Acesso em 9 maio de 2015.

\_\_\_\_\_.Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em 9 de maio de 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2010a**. Rio de Janeiro, v. 38, 2010a. p. 1-65. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em 9 de maio de 2015.

\_\_\_\_\_.Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal**

**2011.** Rio de Janeiro, v. 39, 2011. p. 1-60. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/ppm2011.pdf>>. Acesso em 9 de maio de 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2012.** Rio de Janeiro, v. 40, p. 1-71, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2012/ppm2012.pdf>>. Acesso em 9 de maio de 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2013.** Rio de Janeiro, v. 41, p.1-108, 2013 Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2013\\_v41\\_br.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2013_v41_br.pdf)>. Acesso em 9 de maio de 2015.

BROOKS, P. H et al. Production and welfare problems relating to the supply of water to growing-finishing pigs. *Pig Vet. J.* 23:51–66, 1989.

BROOKS, P. H. Water Forgotten nutrient and novel delivery system. Pages 211–234 in *Nutrient Requirements of Swine*. 10<sup>th</sup> rev. ed. Subcommittee on Swine Nutrition, Committee for Animal Nutrition, NRC, Natl. Acad. Sci., Washington, DC 1998.

BRUMM, M. C.; DAHLQUIST, J. M.; HEEMSTRA, J. M. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use, and manure volume. *Swine Health Prod.* 8:51–57, 2000.

BRUMM, M. Patterns of drinking water use in pork production facilities. *Nebraska Swine Report*: 10–13, 2006.

CAMPOS, G. et al. A produção mais limpa na suinocultura do distrito federal. In: 53<sup>o</sup> Congresso da sociedade brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER 2015. João Pessoa – PB, BRASIL, **Anais...**, João Pessoa – PB, 16p, 2015.

CENTRAAL VEEVOEDERBUREAU [Standards.] In *Handboek voor de varkenshouderu*, pp. 27-300. The Netherlands: Voeding, 1993.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. - CONAMA In: Ministério do Meio Ambiente. Resoluções Conama, 357. Brasília. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. - CONAMA In: Ministério do Meio Ambiente. Resoluções Conama, 430. Brasília. 2011.

CROMWELL, G.L.; CARTER, S.D.; LINDERMANN, M.D. Reducing the excretion of nitrogen and phosphorus in growing and finishing pigs by dietary manipulation. In: **INTERNATIONAL CONGRESS PIG VETERINARY SOCIETY**, 14.,1996, Bologna. Proceeding.... Bologna: IPVS, p.418, 1996.

DAGA, J. et al. Análise da adequação ambiental e manejo dos dejetos de instalações para suinocultura em propriedades na região oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 1-11, 2008.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. Manejo de dejetos de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves e EMATER-RS, Boletim Informativo, 11.32p, 1998.

DA SILVA, C. L; BASSI, N. S. S. Análise dos Impactos Ambientais no Oeste Catarinense e das Tecnologias Desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves. **Revista Gepec**, v. 85903, p. 000, 2012.

DIAS, M. Qualidade da água e desempenho de bovinos. Informe técnico – Macal Nutrição Animal. 5p, 2006. Disponível em: <http://www.macal.com.br/uploads/1550915838.pdf>. Acesso em 2015.

DIESEL, R; MIRANDA, C. R; PERDOMO, C. C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Emater/RS, 2002. Boletim informativo de pesquisa e extensão, 14. 30p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Produção de suínos: proteção ambiental. Disponível em: <<http://www.embrapa.gov.br>>. Acesso em: 7 de dezembro de 2015.

European Food Safety Authority. Scientific report on animal health and welfare in fattening pigs in relation to housing and husbandry. EFSA J. 564, 1–14, 2007.

FERREIRA, L. et al. A importância da gestão integrada da água – Novos desafios para a gestão ambiental no sector suinícola. In:

CONGRESO IBÉRICO, 1, y CONGRESO NACIONAL DE AGROINGENIERÍA, 4, 2007, Albacete. Anais do I Congresso Ibérico y IV Congreso Nacional de AgroIngeniería, Albacete, Espanha, p. 104-106, 2007.

FIALHO, F. B. Interpretação da curva de crescimento de Gompertz. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999. Comunicado Técnico, 237. 4p.

FITZHUGH Jr. Análise de curva de crescimento e estratégias para alterar a sua forma. **Journal of animal Science**, Champaing, v. 42, n.4, p. 1036-1051, Ap.1976.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of food and agriculture. Livestock in balance**. Rome: FAO, 2012. 164p.

FROESE, C. Water usage and manure production rates in today's pig industry. In: BANFF PORK SEMINAR, 2003, Edmonton. Proceedings. Edmonton, p. 215- 223, 2003.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n.º 11, de 2014. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acesso: 29 de setembro de 2015.

GILL, B. P.; BARBER. J. Water delivery systems for growing pigs. Pp 381- 398 in Swine Nutrition. A. J. Lewis, and L. L. Southern, 2nd ed. CRC Press, New York, 1990.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos**: condição de partida. 2005, 157p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

HENRY, Y.; DOURMAND, J.Y. Protein nutrition and nitrogen pollution. Feed mix: **The international journal on feed, nutrition and technology**, v.1, n.1, p.25-28, 1992.

JACKSON, C. J. Drinking behavior in nursery aged pigs. ProQuest retrospective theses and dissertations. Paper 14664, 2007.

KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida.** 1980. 56p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1980.

KUNZ, A; HIGARASHI, M. M; OLIVEIRA, P. A. V. de. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Caderno de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 22, n.3, p. 651-665, 2005.

LAIRD A. K. **Postnatal growth of birth and mammals.** Growth 30, p.349-363, 1966.

LENIS, N. P. Lower nitrogen excretion in pig husbandry by feeding: current and future possibilities. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.37, p.61-70, 1989.

MARCATO, S. M; LIMA, G. J. M. M. Efeito da restrição alimentar como redutor do poder poluente dos dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 855-863, 2005.

MAVROMICHALIS, I., Water nutrition, Applied Nutrition For Young Pigs CABI Wallingford, UK, pp. 269–291, 2006.

MCGLONE, J. J.; POND. W. Management of growing pigs. Pages 294–295 in Pig Production: Biological Principles and Applications. J. J. McGlone and W. Pond, ed. Delmar Learning, New York, NY, 2003.

MCMANUS, C. et al. Curvas de crescimento de Ovinos Bergamácia Criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.5, p.1207- 1212, 2003.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos.** 1997.164p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MIELE, M.; MACHADO, J. S. Levantamento Sistemático da Produção e Abate de Suínos – LSPS: metodologia Abipecs-Embrapa de previsão e

acompanhamento da suinocultura brasileira. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 25 p, 2006.

MIRANDA, C. R. Avaliação de estratégias para a sustentabilidade da suinocultura em Santa Catarina. 2005. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

NANNONI, E. et al .Water requirements of liquid-fed heavy pigs: effect of water restriction on growth traits, animal welfare and meat and ham quality *Livest. Prod. Sci.*, 151, pp. 21–28, 2013.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.A). Nutrient Requirements of Swine, 10th ed. **Natl. Acad. Press**, Washington, DC, 1998.

OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. Documento, 27. 188p,1993.

OLIVEIRA, P. A. V. Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos. In: Instalações e manejo para suinocultura empresarial. São Paulo: Ícone, p. 63-83, 1997.

OLSSON, O.; ANDERSSON, T. Biometric considerations when designing value drinking systems for growing-finishing pigs, *Acta Agric. Scand.*, 35:55, 1985.

PALHARES, J. C. P. Quantidade e qualidade da água na produção de suínos. Simpósio Produção Animal e Recursos Hídricos, p. 33, 2010.

PAZ, C. C. P. Associação entre polimorfismos genéticos e parâmetros da curva de crescimento em bovinos de corte. Tese (Doutorado). ESALQ, Piracicaba. 107p, 2002.

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J.M.M.; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 1995, Gramado, RS. **Anais ...** Gramado, RS. p. 8-22, 1995.

PERDOMO, C.C. Uso racional dos dejetos de suínos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 1.,1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo, p.269,1996.

PERDOMO, C. C. et al.. Dimensionamento de sistemas de tratamento (decantador de lagoas) e utilização de dejetos de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999. Comunicado Técnico, 234. 5p.

PERDOMO, C. C; LIMA, G. J. M. M. de. Produção de Suínos e Meio Ambiente. 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura 25 a 27 de abril de 2001/ Gramado, RS. **Anais...** 17/17 2001.

PERDOMO, C. C; OLIVEIRA, P. A. V; KUNZ, A. Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos. **Comunicado Técnico 332**.Concórdia-SC. Outubro/2003.

PEREIRA, E. R; PATERNIANI, J. E. S; DEMARCHI, J. J. A. A. A importância da qualidade da água de dessedentação animal/the importance of water quality of animal watering. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 3, n. 3, p. 227-235, 2011.

PHILLIPS, P. A.; FRASER, D. Water bowl size for newborn pigs. **Am. Soc. Agric. Eng.** 6: 79 – 81, 1990.

QUINIOU, N.; NOBLET, J.; DOURMAD, J.Y. Influence et d'une réduction du taux proteique du régime sur les réjets d'azote et de phosphore chez le porc. **Journal Recherche Porcine en France**, v.25, p.287-294, 1994.

ROURA, E.; SOLA-ORIOU, D.; TORRALLARDONA, D. A strawberry flavor in drinking water and feed improves water intake and growth of pigs at weaning. **J. Anim. Sci.** 83(Suppl. 1):28. (Abstr.), 2005.

SANTANA, J. G. F. Água, Educação ambiental e ensino agrícola: reflexão e ação para a sustentabilidade no IF Baiano – Campus Guanambi/Bahia. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Educação Agrícola, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

SAS INSTITUTE INC. System for Microsoft Windows, Release 9.4, Cary, NC, USA, 2002-2012. (cd-rom).

SEHNEM, S; GARRIDO, L. R. A suinocultura e o meio ambiente: estudo de casos no oeste de Santa Catarina. **Revista de Administração**, v. 3, n. 4, p. 157-176, 2013.

SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos de suínos utilizando lagoas de alta taxa de degradação em batelada**. 1996. 115p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

SPIES, A. The sustainability of the pig and poultry industries in Santa Catarina, Brazil: A framework for change. 370f. Theis (PhD) – School of Natural and Rural Systems Management, The University of Queensland. Australia, 2003.

TAVARES, J. M. R. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura**. 2012. 230p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

TAVARES, J. M. R; OLIVEIRA, P. A. V; BELLI FILHO, P. Sustentabilidade da suinocultura – Reduções de consumo de água e de dejetos na produção animal. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15., 2012, Belo Horizonte, MG. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro 2012 10p.

TAVARES, J. M. R. et al. A produção de dejetos na suinocultura em Santa Catarina: Estudo de campo para a fase de crescimento/terminação In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 1, 2013, São Paulo, SP. **Anais eletrônicos...**, 2013. São Paulo, 2013.

TAVARES, J. M. R. et al. The water disappearance and Manure production at commercial growing-finishing pig farms. **Livestock Science**, v. 169, p. 146-154, 2014.

THACKER, P. A. Water in Swine Nutrition., A. J. Lewis, and L. L. Southern, ed. CRC Press, New York. Pages 381–398 in Swine Nutrition 2001.

TORREY, S; TOTH TAMMINGA, E; WIDOWSKI, T. Effect of drinker type on water intake and waste in newly weaned piglets. **Journal of Animal Science**, v.86, n. 6, p.1439-1445, 2008.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign agricultural service. Livestock and poultry: world markets and trade. Modest Expansion for Global Beef, Pork and Broiler Meat Trade in 2015. Disponível, <[http://www.fas.usda.gov/dlp/circular/2014/livestock\\_poultry\\_10-2014.pdf](http://www.fas.usda.gov/dlp/circular/2014/livestock_poultry_10-2014.pdf)>. Acesso em 10 maio 2015.

VERMEER, H.M.; KUIJKEN, N.; SPOOLDER, H.A.M. Motivation for additional water use of growing-finishing pigs. **Livest. Sci.** 124, 112–118, 2009.

## APÊNDICES

**Apêndice 1:** Países com maior efetivo mundial de suínos no período de 2009 a 2015.

<b>Efetivo de suínos (x 10<sup>6</sup> Cabeças)</b>							
<b>País</b>	<b>Ano</b>						
	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>*2014</b>	<b>**2015</b>
<b>China</b>	462,91	469,96	464,60	468,63	475,92	474,11	475,00
<b>UE (27)</b>	153,71	152,78	152,36	149,81	146,98	146,13	145,50
<b>EUA</b>	67,15	64,89	64,73	66,26	66,22	64,78	65,40
<b>Brasil</b>	33,89	35,12	36,65	38,34	38,58	38,84	39,04
<b>Rússia</b>	16,17	17,24	17,23	17,26	18,82	19,08	19,00
<b>Canadá</b>	12,70	12,47	12,62	12,63	12,61	12,96	13,28
<b>México</b>	9,31	8,98	9,01	9,28	9,51	9,88	9,63
<b>Japão</b>	9,90	10,00	9,77	9,74	9,69	9,54	9,40
<b>Cor. do Sul</b>	8,22	8,72	8,45	8,17	9,92	9,91	9,18
<b>Ucrânia</b>	6,53	7,58	7,96	7,37	7,58	7,92	7,65
<b>Outros</b>	6,08	6,08	6,18	6,27	6,38	5,37	4,99
<b>Total</b>	<b>786,56</b>	<b>793,81</b>	<b>789,54</b>	<b>793,74</b>	<b>802,20</b>	<b>798,51</b>	<b>798,06</b>

\* 2014 - Preliminares; \*\*2015 – Previsões

**FONTE:** Adaptado de United States Department of Agriculture (2011; 2012; 2013; 2014).

**Apêndice 2: Produção mundial de carne suína no ano de 2009 a 2015.**

**Produção mundial de carne suína (x 10<sup>6</sup> ton. Carcaça).**

País	Ano						
	2009	2010	2011	2012	2013	*2014	**2015
<b>China</b>	48,91	50,71	50,60	53,43	54,93	56,50	57,35
<b>UE (27)</b>	22,01	22,63	22,95	22,53	22,34	22,40	22,37
<b>EUA</b>	10,44	10,19	10,33	10,55	10,52	10,33	10,86
<b>Brasil</b>	3,13	3,20	3,23	3,33	3,28	3,34	3,49
<b>Rússia</b>	1,84	1,98	2,06	2,18	2,40	2,65	2,82
<b>Vietnam</b>	2,09	2,22	2,26	2,31	2,35	2,43	2,45
<b>Canadá</b>	1,79	1,78	1,81	1,84	1,82	1,83	1,86
<b>Filipinas</b>	1,25	1,26	1,29	1,31	1,34	1,37	1,39
<b>México</b>	1,16	1,18	1,20	1,24	1,28	1,28	1,29
<b>Japão</b>	1,31	1,29	1,27	1,30	1,31	1,27	1,28
<b>Outros</b>	6,40	6,61	6,62	7,01	7,29	7,10	6,58
<b>Total</b>	<b>100,32</b>	<b>103,03</b>	<b>103,63</b>	<b>107,02</b>	<b>108,86</b>	<b>110,61</b>	<b>111,85</b>

\* 2014 - Preliminares; \*\*2015- Previsão.

**FONTE:** adaptado de United States Department Of Agriculture (2011; 2012; 2013; 2014; 2015).

**Apêndice 3: Exportação mundial de carne suína no ano de 2009 a 2015.**

**Exportação mundial de carne suína (x 1000 ton. Carcaça).**

País	Ano						
	2009	2010	2011	2012	2013	*2014	**2015
<b>Estados Unidos</b>	1857	1915	2356	2440	2264	2321	2381
<b>EU (27)</b>	1366	1706	2150	2165	2232	2150	2200
<b>Canadá</b>	1123	1159	1197	1243	1245	1180	1180
<b>Brasil</b>	707	619	584	661	585	585	700
<b>China</b>	232	278	244	235	244	275	300
<b>Chile</b>	152	130	139	180	164	165	160
<b>México</b>	70	78	86	95	111	120	125
<b>Vietnam</b>	21	19	32	36	40	40	40
<b>Austrália</b>	40	41	41	36	36	37	37
<b>Belarus</b>	31	62	85	104	74	22	30
<b>Outros</b>	33	25	43	76	41	41	43
<b>Total</b>	<b>5632</b>	<b>6032</b>	<b>6957</b>	<b>7271</b>	<b>7036</b>	<b>6936</b>	<b>7196</b>

\*2014 - Preliminares; \*\*2015 - Previsão.

**FONTE:** adaptado de United States Department Of Agriculture (2011; 2012; 2013; 2014).

**Apêndice 4:** Estados e municípios da federação com maiores efetivos no ano de 2013.

Estados	Efetivo Suíno (x 1000 cabeças)		Municípios	Efetivo Suíno (x 1000 cabeças)	
	Animais	% Estado		Animais	% Município
<b>Rio Grande do Sul</b>	6321	17,20	<b>Uberlândia - MG</b>	928	2,52
<b>Santa Catarina</b>	6271	17,07	<b>Rio Verde - GO</b>	780	2,12
<b>Paraná</b>	5323	14,49	<b>Toledo - PR</b>	439	1,19
<b>Minas Gerais</b>	5074	13,81	<b>Tapurah - MT</b>	398	1,08
<b>Goiás</b>	2060	5,61	<b>Concórdia - SC</b>	368	1,00
<b>Mato Grosso</b>	1783	4,85	<b>Três Arroios - RS</b>	277	0,75
<b>São Paulo</b>	1431	3,89	<b>Sorriso - MT</b>	249	0,68
<b>Bahia</b>	1389	3,78	<b>Urucânia - MG</b>	232	0,63
<b>Maranhão</b>	1233	3,36	<b>Seara - SC</b>	225	0,61
<b>Mato Grosso do Sul</b>	1160	3,16	<b>Braço do Norte - SC</b>	203	0,55
<b>Brasil Total</b>	<b>36744</b>	<b>87,21</b>	<b>Total</b>	<b>36744</b>	<b>11,15</b>

**FONTE:** Adaptado de BRASIL (2013).

**Apêndice 5:** Municípios catarinenses com maiores efetivos no ano de 2013.

<b>Municípios Catarinenses com maior efetivo do Estado</b>				
<b>Municípios</b>	<b>Mesorregião</b>	<b>Microrregião</b>	<b>Efetivo de suínos em 2013</b>	<b>%</b>
<b>Concórdia</b>	Oeste Catarinense	Concórdia	367775	5,86
<b>Seara</b>	Oeste Catarinense	Concórdia	225081	3,59
<b>Braço do Norte</b>	Sul Catarinense	Tubarão	202583	3,23
<b>Xavantina</b>	Oeste Catarinense	Concórdia	193683	3,09
<b>Armazém</b>	Sul Catarinense	Tubarão	164966	2,63
<b>Total</b>			<b>6270797</b>	<b>100</b>
<b>FONTE:</b> Adaptado de Brasil (2013).				