

Jorge Manuel Rodrigues Tavares

**MODELAGEM DO CONSUMO DE ÁGUA, PRODUÇÃO DE  
DEJETOS E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E  
AMÔNIA NA SUINOCULTURA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho,  
Coorientadores: Dr. Paulo Armando V. de Oliveira e Dr. Arlei Coldebella.

Florianópolis  
2016

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

Tavares, Jorge Manuel Rodrigues

Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e  
emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura  
/ Jorge Manuel Rodrigues Tavares ; orientador, Paulo  
Belli Filho ; coorientador, Paulo Armando Victória de  
Oliveira, coorientador, Arlei Coldebella. - Florianópolis,  
SC, 216.

229 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Produção de suínos. 3.  
Modelagem. 4. Água e dejetos. 5. Emissão de GEE e amônia.  
I. Belli Filho, Paulo . II. Oliveira, Paulo Armando  
Victória de . III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.



## TERMO DE APROVAÇÃO

**“Modelagem do Consumo de Água, Produção de Dejetos e Emissão de Gases de Efeito Estufa e Amônia na Suinocultura”**

**Jorge Manuel Rodrigues Tavares**

A Tese foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

### DOUTOR EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Aprovado por:

Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
(Orientador)

Paulo Armando Victoria de Oliveira, Dr.  
(Coorientador)

Arlei Coldebella, Dr.  
(Coorientador)

Prof. Armando Borges de Castilhos Júnior, Dr.

Prof. Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.

Prof. Lucélia Hauptli, Dr.

Prof. Elizabeth Costa N. F. D'Almeida Duarte, Dr.

Paul Robin, Dr.

Prof. William Gerson Matias, Dr.  
(Coordenador)



Para os meus anjos da guarda...  
PAI e MÃE...



## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa, no nome do Prof. Willian Gerson Matias.

Ao CNPq e CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e demais apoios financeiros.

À FAPESC pelo financiamento dos projetos de pesquisa e ao Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água (patrocinado pela Petrobras, através do Programa Petrobras Socioambiental) pelos ajustes finais nos orçamentos “enclachados”.

À BRF e demais agroindustrias do Estado de Santa Catarina. Existem muitos projetos, mas estes dois sem dúvida tiveram algo de especial...! A todos os produtores e famílias que se prontificaram a caminhar lado a lado conosco e a colaborar com tanto afinco na coleta dos dados diários de campo. Finalmente podemos dizer..., os projetos terminaram... obrigado!

À AINCADESC e ao SINDICARNE\_SC, no nome do seu diretor executivo Ricardo de Gouvêa e à coordenadora de projetos, mas também amiga Cinthya Zanussi!

À Embrapa, em nome de todos os pesquisadores, técnicos de campo e laboratório pelo apoio diário e disponibilidade demonstrada no desenvolvimento dos projetos. Deixo neste parágrafo um agradecimento muito especial a uma pessoa com um coração enorme e que sempre nos apoiou nos momentos mais delicados dos projetos, em relação ao seu grafismo..., Marina Schmitt..., ainda não acabou!

Ao Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, sempre a minha casa acadêmica! Um obrigado muito especial à Profa. Dra. Elizabeth d’Almeida Duarte pela sua orientação e ajuda no curto período de estágio em Portugal. Mais do que isso, o seu apoio, amizade e conselhos foram fundamentais para o término desta difícil etapa.

Ao *Institut National de la Recherche Agronomique* - UMR SAS e em especial ao Dr. Paul Robin pela disponibilidade demonstrada em me receber em Rennes – França, bem como à Dra. Mélynda Hassouna e ao Dr. Jean-Yves Dourmad pela constante partilha de informações e conhecimento..., *merci beaucoup pour votre aide précieuse!*

Ao Prof. Paulo Belli, meu orientador, e à Profa. Rejane pela abertura e confiança demonstrada às ideias apresentadas, criadas e desenvolvidas, bem como aos ensinamentos e paciência em me ouvir durante estes 48 meses. Agora é hora de jogarmos o segundo tempo...

Ao meu coorientador e segundo “pai” Paulo Armando, à Neiva e ao Nathan..., o que escrever sobre esta família maravilhosa. Sempre me receberam de braços abertos, prontos a ouvirem, aconselharem e partilharem as suas experiências de vida! Sentirei muitas saudades dos nossos cafés da manhã e lanches da tarde. Aquela mesa da cozinha ouviu muitas histórias, estórias, piadas e lamentos! Passado tantos meses..., não me posso sentir mais lisonjeado por todo o afeto e confiança.

Ao Arlei..., também coorientador, foram períodos incansáveis, momentos alucinantes e por vezes foste tu que me ajudaste a acreditar que seria possível chegar ao término desta etapa... (quantas horas no total?!), apesar disso..., sabes o quanto eu estou agradecido e como me sinto preparado para as próximas batalhas!

A todos os bolsistas e voluntários envolvidos nos projetos..., Lívia, Maria Ana, José, Diogo, Flávia..., obrigado!

Às equipas de Hand da UFSC e a todos os atletas e amigos que fui fazendo ao longo dos anos. Um agradeciemento ao Cassiano, ao Alexandre, Danilo e Marco por este último ano tão difícil...

Amig@s e colegas do PPGEA..., o que dizer de todos os momentos partilhados..., festas..., festas..., festas..., e mais festas...! Sem dúvida..., tudo está e será guardado em um lugar especial: Beda, Ká, Mini, Ju, Maria Pilar, Nai, Iça, Edi, Henrique, Gui, Cris, Maiara, Catiane, Tiago Belli, Rayra..., *merci!*

A todos os integrantes do LABEFLU, minha família LABEFLU pelos seres especiais que foram ao longo destes quatro anos... espero não quero esquecer ninguém, mas aqui vai... Rodrigo, Cláudia, Gérson, Lorena, Jamile, Viviane, Heloísa, Daniele, Rafael, Willian, Matias, Eduardo, Magnun, Cássio, Tiago Vitor, Murilo, Hugo “o papai”, Jéssica, Blanka, Natália, Katiaaaani, Bruna, Maria Joana, Gustavo, Camila e seus bolsistas...

Wanderli... irmão que não tive..., um amigo de todos os momentos que se podem imaginar...! Durante quatro anos muitas coisas acontecem, sonhos que vêm, sonhos que vão..., planos que se fazem e planos que se desfazem...! Ter tido um ser humano com tamanho coração do meu lado é algo que quando se sai de casa, dificilmente pensamos que podemos encontrar. A vida continua..., mais perto ou mais longe, mas tudo o que foi criado, formado, estruturado..., jamais será esquecido! Tu..., meu caro..., é para toda a vida! Obrigado!

Na vida passam por nós seres especiais...! Assim, contigo passei cinco anos e meio de sorrisos, choros, alegrias e tristezas. Contigo aprendi que por vezes amar não basta! Precisamos ser fortes, corajosos e



ir atrás daquilo que nos pode fazer feliz..., ainda mais feliz! Sei que os momentos da nossa vida deviam ficar sempre recordados em papel e não só em memórias..., "memórias leva-as o vento"! Por isso que fique aqui registrado, Marina (minha batatinha bogodó), tudo quanto eu aprendi contigo (em todos os sentidos) e o quanto fui feliz ao teu lado! Infelizmente..., ou não..., só o futuro me trará as respostas...!

Aos meus avós..., *in memorium*...! And to...

*The Least but not the Last*... o pilar de todos os pilares... a minha FAMÍLIA! Faz seis anos que o meu coração anda partido em mil pedacinhos..., sempre que vou e regresso..., sinto aquela sensação de impotência...! Mãe, Pai, maninhas (Gaby, Sandra e Tense), e riquezas da minha vida... os meus sobrinhos... (Tiago, Catarina, Daniela e Dinis, Rodrigo, Laura e Vicente)... como vocês cresceram! O nome de cada um de vocês está no meu sangue, nas lágrimas que diariamente abandonam o meu corpo em busca da saudade que nunca cessa! Como escrevi à quatro anos... eu sou um Tavarinho de sangue... e a este nome... só eu darei seguimento! **Mãezinha... Paizinho...** obrigado...! Vocês são seres especiais e únicos no mundo! A vossa força, dedicação, companheirismo..., são apenas simples palavras que aqui vos deixo de uma lista interminável de qualidades! Se o mundo fosse como vocês dois..., como tudo seria diferente!

Bruna..., tu partiste cedo demais...!

Imagine there's no heaven  
It's easy if you try  
No hell below us  
Above us only sky  
Imagine all the people  
Living for today  
Imagine there's no countries  
It isn't hard to do  
Nothing to kill or die for  
And no religion too  
Imagine all the people  
Living life in peace  
You may say, I'm a dreamer

But I'm not the only one  
I hope someday you'll join us  
And the world will be as one  
Imagine no possessions  
I wonder if you can  
No need for greed or hunger  
A Brotherhood of man  
Imagine all the people  
Sharing all the world  
You may say, I'm a dreamer  
But I'm not the only one  
I hope someday you'll join us  
And the world will live as one.

Até sempre Amiga!



“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende!”

(Leonardo da Vinci)



## RESUMO

Os problemas ambientais associados à produção de suínos surgem como o motivo principal para o desenvolvimento de sistemas produtivos equilibrados e sustentáveis. Assim, os modelos de gestão ambiental associados à agropecuária aparecem como ferramentas fundamentais de simulação para a tomada de decisão. A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver um modelo matemático integrando a estimativa do consumo de água, a produção de dejetos e a emissão de gases de efeito estufa e amônia em granjas comerciais de suínos. Para tal, foram selecionadas 4 granjas na fase fisiológica de creche e 15 granjas na fase de crescimento-terminação, onde diariamente foram medidos os consumos de água e os volumes de dejetos produzidos pelos animais. Semanalmente, os dejetos produzidos e as diferentes rações consumidas foram amostrados para análise físico-química. As concentrações dos gases no ar interno e externo das granjas na fase de creche foram obtidas a partir do uso de uma metodologia simplificada. Os resultados obtidos para a estimativa do consumo de água mostraram que o modelo não linear Logístico foi o que melhor se ajustou aos dados médios semanais, tanto na fase de crescimento-terminação ( $R^2=0,989$ ; erro de estimação:  $0,11 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}$ ) quanto nos sistemas de produção “*wean-to-finish*” ( $R^2=0,997$ ; erro de estimação:  $0,12 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ), considerando a idade dos animais. O modelo para estimativa do volume de dejetos produzidos apresentou robustez e precisão na fase de creche ( $R^2=0,931$ ; erro de estimação:  $0,13 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). No entanto, na fase de crescimento-terminação foi necessário desenvolver um novo termo para a equação do balanço de água nos suínos ( $R^2=0,740$ ; erro de estimação absoluto:  $0,38\pm 0,32 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Os valores estimados para a composição dos dejetos apresentaram correlações moderadas a fortes, sendo os erros de estimação variáveis entre as fases fisiológicas [Creche: nitrogênio (9,4%); fósforo: (14,9%); Crescimento-terminação: nitrogênio (20,9%); fósforo: (15,3%)]. As emissões dos gases de efeito estufa e  $\text{NH}_3$  determinadas para granjas na fase fisiológica de creche foram de  $0,42 \text{ kg CO}_2\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ,  $1,07 \text{ g CH}_4\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ;  $0,07 \text{ g N}_2\text{O}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  e  $0,42 \text{ g NH}_3\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ . De forma geral, o modelo desenvolvido mostrou-se eficiente como ferramenta de gestão ambiental para a estimativa do consumo de água, da produção de dejetos e da emissão de gases de efeito estufa e  $\text{NH}_3$ , assumindo um erro máximo de estimação de  $\pm 20\%$ .

**Palavras-chave:** Produção de suínos, Modelagem, Consumo de água, Produção de dejetos, Emissão de gases de efeito estufa e amônia.



## ABSTRACT

The environmental problems associated with pig's production emerge as the main reason for the development of balanced and sustainable production systems. In this context, environmental management models associated with precision animal husbandry are important simulation tools for decision-making. This research aimed to develop a mathematical model integrating the estimation of water disappearance, manure production and the emissions of greenhouse gases and ammonia at commercial pig farms. For this, four post-weaning farms and fifteen growing-finishing were selected where daily water disappearance and the volume of manure produced by the animals were measured. Each week, the manure produced and the different feeds consumed by the pigs were sampled for physical-chemical analysis. Gas concentrations both indoor and outdoor air for post-weaning phase was obtained using the simplified methodology. The results obtained for water disappearance estimation showed that the nonlinear Logistic model was the best adjusted for the average weekly data for both growing-finishing phase ( $R^2=0.989$ ; prediction error:  $0.11 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}$ ) and weaning-to-finishing production systems ( $R^2=0.997$ ; prediction error:  $0.12 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ), considering the age of the animals. The estimating model for the volume of manure produced presented robustness and accuracy in post-weaning phase ( $R^2=0.931$ ; prediction error:  $0.13 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). However, for growing-finishing phase it was necessary to develop a new term to the equation of water balance in pigs ( $R^2=0.740$ ; prediction error:  $0.38\pm 0.32 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). The estimated values for the composition of the manure showed moderate to strong correlations being the predictions error variable between physiological phases [post-weaning nitrogen (9.4%); phosphorus: (14.9%); growing-finishing: nitrogen (20.9%); phosphorus: (15.3%)]. The GHG emissions and  $\text{NH}_3$  measured at post-weaning farms were  $0.42 \text{ kg CO}_2\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ,  $1.07 \text{ g CH}_4\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ;  $0.07 \text{ g N}_2\text{O}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  and  $0.42 \text{ g NH}_3\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ . Overall, the model developed has demonstrated effectiveness as an environmental management tool for the estimation of water disappearance, manure production and the emissions of greenhouse gases and ammonia, assuming a maximum prediction error of  $\pm 20\%$ .

**Keywords:** Pig farms, Modelling, Water disappearance, Manure production, Greenhouse gases and ammonia.





## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Risco potencial associado à poluição da água, do solo e do ar em função do volume de dejetos produzidos. 40
- Figura 2:** Principais fontes de emissão de gases de efeito estufa e amônia na atividade suinícola. 42
- Figura 3:** Usos da água na produção de suínos, independentemente da fase fisiológica de produção. 47
- Figura 4:** Principais bebedouros utilizados na produção de suínos: (A) Chupeta Bite-Ball; (B) Chupeta Convencional; (C) Taça/Concha Horizontal; (D) Taça/Concha Vertical; (E) Calha/Vaso comunicante. 52
- Figura 5:** Instalação incorreta versus correta do bebedouro tipo chupeta. 54
- Figura 6:** Mecanismos de resfriamento evaporativo: (A) Gotejamento; (B) Nebulização por aspersão; (C) Ventilador mecânico. 56
- Figura 7:** Limpeza por via úmida tendo como recurso a bomba de alta pressão/baixa vazão. 57
- Figura 8:** Aspeto visual dos dejetos produzidos nas granjas de suínos. 58
- Figura 9:** Transformações químicas do nitrogênio nos dejetos e sua liberação para a atmosfera. 68
- Figura 10:** Proporção de amônia livre no nitrogênio amoniacal, em função do pH e da temperatura. 69
- Figura 11:** Proporção de amônia gasosa e íon amônio em função do pH do meio (temperatura: 25 °C; pKa=9,25). 69
- Figura 12:** Pressões ambientais associadas à produção de suínos. 82
- Figura 13:** Regiões e municípios das granjas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa. 87
- Figura 14:** “Layout” de duas baias adjacentes para as fases fisiológicas de creche (a) e de crescimento-terminação (b). 90
- Figura 15:** Fluxograma com a metodologia empregada no desenvolvimento da pesquisa, levando em consideração os objetivos definidos. 91
- Figura 16:** Hidrômetro e a sua instalação nas linhas de abastecimento de água. 92

- Figura 17:** Representação esquemática de uma granja de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação exibindo as linhas de abastecimento de água, os hidrômetros instalados e os comedouros. 94
- Figura 18:** Instalação da linha de abastecimento de água do mecanismo de resfriamento evaporativo, bem como o funcionamento de um nebulizador. 95
- Figura 19:** Representação esquemática de uma granja de suínos da fase fisiológica de crescimento-terminação exibindo as linhas de descarga, as canaletas externas e a caixa de fibra de vidro instalada para medição do volume de dejetos produzidos. 96
- Figura 20:** Caixas de fibra de vidro para determinação do volume total de dejetos produzidos. 97
- Figura 21:** Procedimento de leitura da altura da lâmina de água dos dejetos produzidos e o acúmulo de sólidos observados no fundo das caixas. 98
- Figura 22:** Procedimento de amostragem dos dejetos em uma canaleta interna. 99
- Figura 23:** Equipamentos e procedimento utilizado na amostragem de ar. 103
- Figura 24:** Representação esquemática do “Modus operandi” da amostragem do ar interno e externo em uma granja de suínos na fase fisiológica de creche. 103
- Figura 25:** Análise das amostras de ar através de um analisador de gás infravermelho fotoacústico marca INNOVA<sup>®</sup>, modelo 1412. 104
- Figura 26:** "Data-logger", marca Testo<sup>®</sup>, modelo 174H, instalado no interior de um edifício de alojamento para mensuração contínua das características do ambiente. 106
- Figura 27:** Equipamento multifunção, marca Testo<sup>®</sup>, modelo 435 para procedimento de medição pontual das características do ambiente (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar). 107
- Figura 28:** Esquema do balanço geral da água dos suínos. 111
- Figura 29:** Esquema do balanço de nitrogênio em suínos. 119
- Figura 30:** Consumo de água por tipo de bebedouro para o período integral da pesquisa. 137
- Figura 31:** Produção de dejetos por tipos de bebedouro para o período integral da pesquisa. 142

- Figura 32:** Ajuste do modelo de Gompertz ao consumo de água dos suínos na fase fisiológica de  $C_T$ , em função do período de alojamento ( $t=105$  dias). 150
- Figura 33:** Ajuste do modelo não linear Logístico ao consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da sua idade. 152
- Figura 34:** Ajuste do modelo não linear Logístico ao consumo de água dos suínos em sistema de produção “*wean-to-finish*”, em função da sua idade. 154
- Figura 35:** Relação entre o volume de dejetos estimado pelo modelo e o medido nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche ( $n=15$  ciclos). 156
- Figura 36:** Relação entre o volume de dejetos estimado pelo modelo e o medido nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação ( $n=32$  ciclos). 157
- Figura 37:** Balanço da água dos suínos considerando a água evaporada a partir de várias superfícies dos edifícios de alojamento dos animais. 159
- Figura 38:** Relação entre o volume de dejetos estimado e o medido nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, considerando um único fator de evaporação para o período integral da pesquisa ( $n=32$  ciclos). 161
- Figura 39:** Relação entre a quantidade de nitrogênio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche ( $n=12$  ciclos). 163
- Figura 40:** Relação entre a quantidade de nitrogênio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação ( $n=27$  ciclos). 164
- Figura 41:** Relação entre a quantidade de potássio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche ( $n=12$  ciclos). 165
- Figura 42:** Relação entre a quantidade de potássio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação ( $n=27$  ciclos). 166
- Figura 43:** Relação entre a quantidade de fósforo estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche ( $n=12$  ciclos). 167

- Figura 44:** Relação entre a quantidade de fósforo estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (n=27 ciclos). 168
- Figura 45:** Balanço do carbono para as granjas na fase fisiológica de creche. 174
- Figura 46:** Balanço do nitrogênio para as granjas de suínos na fase fisiológica de creche. 176

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Características dos animais alojados nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação. 88
- Tabela 2:** Principais características dos edifícios de alojamento das granjas selecionadas nas diferentes fases fisiológicas. 89
- Tabela 3:** Número de amostras coletadas por ciclo de produção em função do período de alojamento e da fase fisiológica dos suínos. 99
- Tabela 4:** Consumo de água nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para o período integral da pesquisa. 135
- Tabela 5:** Consumo de água nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para os dois períodos do ano avaliados: frio e quente. 136
- Tabela 6:** Consumo de água em função do tipo de bebedouro e do período de alojamento dos suínos. 136
- Tabela 7:** Volumes de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para o período integral da pesquisa. 140
- Tabela 8:** Volumes de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para os dois períodos do ano avaliados: frio e quente. 140
- Tabela 9:** Produção de dejetos em função do tipo de bebedouro e do período de alojamento dos suínos. 141
- Tabela 10:** Caracterização físico-química dos dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação 144
- Tabela 11:** Desempenho zootécnico, consumo de água, produção de dejetos e quantidade de ração ingerida pelos suínos. 145
- Tabela 12:** Concentrações médias dos gases no ar interno e externo das granjas de suínos na fase fisiológica de creche. 146
- Tabela 13:** Características médias do ambiente nas granjas comerciais de suínos na fase fisiológica de creche. 147
- Tabela 14:** Caracterização físico-química da ração ingerida pelos suínos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para os ciclos de produção avaliados. 148
- Tabela 15:** Estimativa dos parâmetros, valor do critério de informação de akaike (AIC), do coeficiente de determinação e do erro absoluto dos modelos ajustados para estimativa do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$ , em função da idade dos suínos. 151

<b>Tabela 16:</b> Estimativa dos parâmetros, valor do critério de informação de akaike (AIC), do coeficiente de determinação e do erro absoluto dos modelos ajustados para estimativa do consumo de água em função da idade dos suínos para o sistema “ <i>wean-to-finish</i> ”.	153
<b>Tabela 17:</b> Balanço geral da água nas granjas de suínos nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação.	158
<b>Tabela 18:</b> Balanço geral da água nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação após cálculo da evaporação da água que ocorreu em função das condições ambientais nos edifícios de alojamento, do piso das baias, do tipo de bebedouro e desperdícios associados.	162
<b>Tabela 19:</b> Médias e desvios padrão dos erros de predição das variáveis estimadas no modelo nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação.	169
<b>Tabela 20:</b> Balanço de massa da água, carbono e nitrogênio na fase fisiológica de creche.	170
<b>Tabela 21:</b> Balanço de massa do fósforo e o potássio na fase fisiológica de creche.	171
<b>Tabela 22:</b> Emissão de gases de efeito estufa e amônia em granjas de suínos na fase fisiológica de creche.	173

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Contribuições específicas das principais espécies pecuárias na emissão total de gases de efeito estufa.	41
<b>Quadro 2:</b> Necessidade de água dos suínos em função da sua fase fisiológica.	49
<b>Quadro 3:</b> Resultados para a relação água:ração ingerida na fase fisiológica de crescimento-terminação.	50
<b>Quadro 4:</b> Recomendações de instalação para os bebedouros tipo chupeta segundo a fase fisiológica de produção.	53
<b>Quadro 5:</b> Valores de referência da IN-11 da Fundação do Meio Ambiente para a produção de dejetos de acordo com o sistema produtivo.	60
<b>Quadro 6:</b> Influência de fatores físicos e químico na produção e na emissão de amônia.	70
<b>Quadro 7:</b> Emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso em edifícios de alojamento com piso vazado, para a fase fisiológica de creche e crescimento-terminação.	71
<b>Quadro 8:</b> Emissões de amônia em edifícios de alojamento com piso vazado, para a fase fisiológica de creche e crescimento-terminação.	72
<b>Quadro 9:</b> Sistema de piso vazado e semivazado: efeito do tipo de piso nas emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O e NH <sub>3</sub> .	75
<b>Quadro 10:</b> Sistema de piso vazado e sistema de cama: efeito nas emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O e NH <sub>3</sub> na fase fisiológica de creche e crescimento-terminação.	77
<b>Quadro 11:</b> Descrição sumária das etapas realizadas e do seu período de execução em cada projeto.	86
<b>Quadro 12:</b> Variáveis físico-químicas, métodos e seus princípios analíticos.	100





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AINCADESC</b>	Associação das Indústrias de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina
<b>BB</b>	Chupeta Bite Ball
<b>BO<sub>H</sub></b>	Taça/concha horizontal
<b>BO<sub>V</sub></b>	Taça/concha vertical
<b>BRF</b>	Empresa Brasil Foods
<b>CA</b>	Conversão alimentar
<b>CAPES</b>	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
<b>CIRAM</b>	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
<b>CNPq</b>	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
<b>COT</b>	Carbono orgânico total
<b>C<sub>R</sub></b>	Creche
<b>C<sub>T</sub></b>	Crescimento-Terminação
<b>DQO</b>	Demanda química de oxigênio
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>EPAGRI</b>	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
<b>FAO</b>	<i>Food and Agriculture Organization of United Nations</i>
<b>FAPESC</b>	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina
<b>FATMA</b>	Fundação Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GMD</b>	Ganho médio diário de peso
<b>IN</b>	Instrução Normativa
<b>INRA</b>	<i>Institut National de la Recherche Agronomique</i>
<b>IPCC</b>	<i>Intergovernmental Panel On Climate Change</i>
<b>ISA</b>	Instituto Superior de Agronomia
<b>LABEFLU</b>	Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos
<b>MM</b>	Matéria mineral
<b>MS</b>	Matéria seca
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Nitrogênio Amoniacal
<b>NI</b>	Chupeta convencional
<b>NRC</b>	<i>National Research Council</i>
<b>NTK</b>	Nitrogênio total Kjeldahl

<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>ppb</b>	Partes por bilhão
<b>PPGEA</b>	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
<b>ppm</b>	Partes por milhão
<b>PT</b>	Fósforo total
<b>σ:</b>	Desvio padrão
<b>SINDICARNE_SC</b>	Sindicato da Indústria de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina
<b>SF</b>	Sólidos fixos
<b>ST</b>	Sólidos totais
<b>SV</b>	Sólidos voláteis
<b>TSGA</b>	Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água
<b>UA</b>	Unidade animal
<b>UFSC</b>	Universidade Federal de Santa Catarina
<b>UMR SAS</b>	<i>Unité Mixte de Recherche Sol Agro et Hydrosystème Spatialization</i>
<b>UPD</b>	Unidade Produtora de Desmamados
<b>VC</b>	Calha/Vaso comunicante

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Água nos processos de limpeza e desinfecção:

$A_L$ : água de limpeza e desinfecção ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ );

$L_I$ : leitura do hidrômetro antes do alojamento dos suínos ( $m^3$ );

$L_F$ : leitura do hidrômetro no final do procedimento de limpeza e desinfecção após saída dos suínos ( $m^3$ );

$A_{Méd.}$ : número médio de suínos alojados no ciclo de produção (suínos);

$N_{Obs.}$ : número de observações no ciclo de produção (dias).

### Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos:

$E[x]$ : consumo de água dos suínos em função do tempo ou da massa corporal ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} d^{-1}$  ou  $L \cdot \text{suíno}^{-1} kg^{-1}$ );

$a$ : consumo de água na maturidade;

$b$ : constante que relaciona o consumo de água em função do tempo ou da massa corporal;

$c$ : parâmetro de decaimento no ponto de inflexão da curva;

$x$ : tempo ou massa corporal (dia ou kg);

$v$ : parâmetro fixo que determina a forma da curva e, conseqüentemente, o ponto de inflexão no modelo de Richards.

### Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos:

$\Phi_{CO_2}$ : produção de dióxido de carbono pelo suíno ( $L \cdot h^{-1}$ )

$\Phi_l$ : produção de calor latente ( $W \cdot \text{suíno}^{-1}$ )

$\Phi_s$ : produção de calor sensível ( $W \cdot \text{suíno}^{-1}$ )

$\Phi_{tot}$ : produção de calor total a 20 °C ( $W \cdot \text{suíno}^{-1}$ )

$\Phi_{tot,t}$ : produção de calor total à temperatura  $t$  ( $W \cdot \text{suíno}^{-1}$ )

$\rho_{Dej.}$ : densidade do dejetos ( $kg \cdot L^{-1}$ );

$C_{Deg.}$ : coeficiente de degradação da matéria orgânica

$C_{DMO}$ : coef. de digestibilidade da matéria orgânica na ração

$C_{DMS}$ : coef. de digestibilidade da matéria seca na ração

$C_{DN}$ : coef. de digestibilidade do nitrogênio na ração

$C_{Volat.}$ : coeficiente de volatilização

$d_d$ : duração do ciclo de produção da fase fisiológica avaliada

$e$ : base de algoritmo neperiano (2,7182)

**ea:** pressão atual do vapor de água (Pa)  
**E<sub>D</sub>:** energia digestível na ração (MJ·kg<sup>-1</sup>)  
**Ef<sub>Dil.Dej.</sub>:** efeito de diluição do dejetos  
**Ef<sub>Freq.Desc.</sub>:** efeito da frequência de descarga do dejetos  
**Ef<sub>Piso</sub>:** efeito do piso  
**Ef<sub>Ren.Ar</sub>:** efeito da renovação do ar  
**Ef<sub>Temp.Dej.</sub>:** efeito da temperatura do dejetos  
**es:** pressão de saturação do vapor de água no ar atmosférico (Pa)  
**F<sub>Evap.</sub>:** fator de evaporação  
**FDN:** fibra em detergente neutro na ração (g·kg<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Bal.</sub>:** água no balanço dos suínos (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Beb.</sub>:** água ingerida no bebedouro (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Cor.</sub>:** água no corpo do suíno (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Dej.</sub>:** água nos dejetos suínos (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Desp.</sub>:** desperdício potencial de água (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Evap.</sub>:** água evaporada pelo suíno (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>IPEvap.</sub>:** intensidade potencial de evaporação (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Limp.</sub>:** água para limpeza (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Met.</sub>:** água de produção metabólica (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>PSEvap.</sub>:** água evaporada do piso das baias e da superfície dos dejetos (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Raç.</sub>:** água ingerida na ração (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**H<sub>2</sub>O<sub>Ret.</sub>:** água retida no corpo (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**I<sub>Arm.</sub>:** Intervalo de armazenamento do dejetos na canaleta (dia)  
**K<sub>Corpo</sub>:** potássio retido no corpo (g·suíno<sup>-1</sup>)  
**log<sub>10</sub>:** logaritmo em base 10  
**L<sub>vap.</sub>:** calor latente de vaporização (kg H<sub>2</sub>O·h<sup>-1</sup>)  
**m:** massa corporal do suíno (kg)  
**MM<sub>Raç.</sub>:** matéria mineral na ração (g·kg<sup>-1</sup>)  
**MO<sub>Raç.</sub>:** matéria orgânica na ração (g·kg<sup>-1</sup>)  
**MS<sub>Dej.</sub>:** matéria seca no dejetos (%) (g·kg<sup>-1</sup>)  
**MS<sub>Raç.</sub>:** matéria seca na ração (%) ou (g·kg<sup>-1</sup>)  
**N<sub>Am.</sub>:** concentração de amônia no dejetos (mol·kg<sup>-1</sup>)  
**MUS:** taxa de músculo (%)  
**N<sub>Ar</sub>:** quantidade de nitrogênio no ar (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**n:** ingestão diária de energia, expressa pelo número de ingestões que o suíno necessita para a sua manutenção  
**N<sub>CorI</sub>:** nitrogênio inicial retido no corpo (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**N<sub>CorF</sub>:** nitrogênio final retido no corpo (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**N<sub>Dej.</sub>:** nitrogênio total no dejetos (kg·suíno<sup>-1</sup>)  
**N<sub>Exc.</sub>:** nitrogênio excretado (kg·suíno<sup>-1</sup>)

$N_{\text{Fezes}}$ : nitrogênio excretado nas fezes ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ );  
 $N_{\text{Ing.}}$ : nitrogênio ingerido na ração ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $N_{\text{NH}_3}$ : quantidade de amônia ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $N_{[\text{NH}_3]}$ : concentração de amônia no dejetos ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
 $N_{\text{Ret.}}$ : nitrogênio retido no corpo ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $N_{[\text{T}]}$ : concentração total de nitrogênio ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
 $N_{\text{Urina}}$ : nitrogênio excretado na urina ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $N_{\text{Volat.}}$ : nitrogênio volatilizado na forma amônia ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NH}_3_{\text{Ar}}$ : quantidade de amônia no ar ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NH}_3_{[\text{Ar}]}$ : concentração de amônia no ar (ppm)  
 $\text{NUT}_{\text{Cor.}}$ : mineral retido no corpo ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NUT}_{\text{CorpoF}}$ : mineral final retido no corpo ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NUT}_{\text{CorpoI}}$ : mineral inicial retido no corpo ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NUT}_{\text{Dej.}}$ : mineral excretado ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NUT}_{\text{Ing.}}$ : mineral ingerido na ração ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{NUT}_{\text{Ret.}}$ : mineral retido no corpo ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $P_{\text{B.}}$ : proteína bruta na ração ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
 $P_{\text{Corpo}}$ : fósforo retido no corpo ( $\text{g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $P_{\text{Ret.}}$ : proteína retida no corpo ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $Q_{\text{Dej.}}$ : dejetos produzidos pelos suínos ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{QMO}_{\text{Biogas}}$ : matéria orgânica degradada em biogás ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{QMO}_{\text{Dej.}}$ : matéria orgânica excretada ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{QMO}_{\text{Fezes}}$ : matéria orgânica excretada nas fezes ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{QMS}_{\text{Dej.}}$ : matéria seca excretada ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\text{QMS}_{\text{Fezes}}$ : matéria seca excretada nas fezes ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
**Ração**: ração ingerida ( $\text{kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )  
 $\rho_{\text{Dej.}}$ : densidade do dejetos ( $\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$ );  
**t**: temperatura do bulbo seco no interior do edifício ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{\text{d}}$ : taxa de diluição  
 $T_{\text{Dej.}}$ : temperatura do dejetos ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\text{Tx}_{\text{Ren.}}$ : taxa de renovação do ar ( $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )  
**UR**: umidade relativa no interior do edifício (%)  
 $V_{\text{Dej.}}$ : volume de dejetos produzidos ( $\text{L}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )

### **Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e amônia:**

$C_{\text{Dej.}}$ : carbono no dejetos ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )  
 $C_{\text{Exc.}}$ : carbono excretado nos dejetos (kg)  
 $C_{\text{Ing.}}$ : carbono ingerido na ração (kg)  
 $C_{\text{Raç.}}$ : carbono na ração ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$C_{Ret.}$ : carbono retido no corpo (kg)  
 $C_{Gás}^{m}$ : concentração mássica do gás ( $mg \text{ gás} \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $C_{Gás}^v$ : concentração volumétrica do gás ( $ppm-v$  ;  $mL \text{ gás} \cdot m^{-3}$ )  
 $Emissão_{C-CH_4}$ : emissão de carbono na forma  $CH_4$  (kg)  
 $Emissão_{C-CO_2}$ : emissão de carbono na forma  $CO_2$  (kg)  
 $Emissão_{H_2O}$ : emissão de vapor de água (kg)  
 $Emissão_{N-N_2O}$ : emissão de nitrogênio na forma  $N_2O$  (g)  
 $Emissão_{N-NH_3}$ : emissão de nitrogênio na forma  $NH_3$  (g)  
 $\bar{G}_{CH_4}$ : grad. médio de carbono na forma  $CH_4$  ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $\bar{G}_{CO_2}$ : grad. médio de carbono na forma  $CO_2$  ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $G_{Gás}$ : gradiente do gás ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $G_{Gás,n}$ : gradiente do gás na amostra  $y$  ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $G_{Gás,n+1}$ : gradiente do gás na amostra  $y+1$  ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $\bar{G}_{Gás}$ : gradiente médio do gás ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $\bar{G}_{H_2O}$ : grad. médio de vapor de água ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $\bar{G}_{N_2O}$ : grad. médio de nitrogênio na forma  $N_2O$  ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $\bar{G}_{NH_3}$ : grad. médio de nitrogênio na forma  $NH_3$  ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $H_2O_{Beb.}$ : água ingerida no bebedouro (kg)  
 $H_2O_{Dej.}$ : água nos dejetos suínos (kg)  
 $H_2O_{Met.}$ : água de produção metabólica (kg)  
 $H_2O_{Raç.}$ : água ingerida na ração (kg)  
 $H_2O_{Ret.}$ : água retida no corpo (kg)  
 $Inp_C$ : entradas de carbono (kg)  
 $Inp_{H_2O}$ : entradas de água (kg)  
 $Inp_K$ : entradas de potássio (kg)  
 $Inp_N$ : entradas de nitrogênio (kg)  
 $Inp_P$ : entradas de fósforo (kg)  
 $K_{Dej.}$ : potássio no dejetos ( $g \cdot L^{-1}$ )  
 $K_{Exc.}$ : potássio excretado nos dejetos (kg)  
 $K_{Ing.}$ : potássio ingerido na ração (kg)  
 $K_{Ret.}$ : potássio retido no corpo (kg)  
 $m$ : massa corporal do suíno (kg)  
 $M_{[Gás,ext]}$ : mediana da concentração externa ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $M_{[Gás,int]}$ : mediana da concentração interna ( $mg \cdot kg^{-1} \text{ ar seco}$ )  
 $MM_{Gás}$ : massa molecular do gás ( $g \cdot mol^{-1}$ ), em que:  
 $MM_{CH_4}$ :  $16,04 \text{ g} \cdot mol^{-1}$   
 $MM_{CO_2}$ :  $44,01 \text{ g} \cdot mol^{-1}$   
 $MM_{H_2O}$ :  $18,02 \text{ g} \cdot mol^{-1}$   
 $MM_{N_2O}$ :  $44,01 \text{ g} \cdot mol^{-1}$   
 $MM_{NH_3}$ :  $17,03 \text{ g} \cdot mol^{-1}$   
 $N_{Dej.}$ : nitrogênio no dejetos ( $g \cdot L^{-1}$ )

**N<sub>Exc.</sub>**: nitrogênio excretado nos dejetos (kg)  
**N<sub>Ing.</sub>**: nitrogênio ingerido na ração (kg)  
**N<sub>Raç.</sub>**: nitrogênio na ração ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
**N<sub>Ret.</sub>**: nitrogênio retido no corpo (kg)  
**Out<sub>C</sub>**: saídas de carbono (kg)  
**Out<sub>H<sub>2</sub>O</sub>**: saídas de água (kg)  
**Out<sub>K</sub>**: saídas de potássio (kg)  
**Out<sub>N</sub>**: saídas de nitrogênio (kg)  
**Out<sub>P</sub>**: saídas de fósforo (kg)  
**P<sub>Dej.</sub>**: fósforo no dejetos ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )  
**P<sub>Exc.</sub>**: fósforo excretado nos dejetos (kg)  
**P<sub>Ing.</sub>**: fósforo ingerido na ração (kg)  
**P<sub>Raç.</sub>**: fósforo na ração ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )  
**P<sub>Ret.</sub>**: fósforo retido no corpo (kg)  
**Perdas<sub>C</sub>**: perdas de carbono (kg)  
**Perdas<sub>H<sub>2</sub>O</sub>**: perdas de água (kg)  
**Perdas<sub>K</sub>**: perdas de potássio (kg)  
**Perdas<sub>N</sub>**: perdas de nitrogênio (kg)  
**Perdas<sub>P</sub>**: perdas de fósforo (kg)  
**Ração**: ração ingerida (kg)  
**V<sub>Dej.</sub>**: volume de dejetos produzidos (L)  
**V<sub>M, CNTP</sub>**: volume molar do ar em CNTP (25 °C, 1 atm) (22,45 L)





## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>37</b>
1.1. HIPÓTESES .....	45
1.2. OBJETIVOS .....	46
<b>1.2.1. Objetivo geral</b> .....	<b>46</b>
<b>1.2.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>46</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>47</b>
2.1. O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	47
<b>2.1.1. Consumo de água na produção de suínos</b> .....	<b>48</b>
<b>2.1.2. Água no controle da ambiência: nebulização</b> .....	<b>54</b>
<b>2.1.3. Água nos processos de limpeza e desinfecção</b> .....	<b>56</b>
2.2. A PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA .....	58
<b>2.2.1. Volume de dejetos produzidos</b> .....	<b>59</b>
<b>2.2.2. Caracterização físico-química</b> .....	<b>61</b>
2.3. A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E AMÔNIA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	62
<b>2.3.1. Fontes de emissão</b> .....	<b>62</b>
2.3.1.1. Dióxido de carbono .....	63
2.3.1.2. Metano .....	64
2.3.1.3. Óxido nitroso.....	66
2.3.1.4. Amônia.....	66
<b>2.3.2. Fatores de variação das emissões de GEE e NH<sub>3</sub></b> .....	<b>70</b>
2.3.2.1. Características dos suínos .....	70
2.3.2.2. Condições ambientais.....	73
2.3.2.3. Edifício de alojamento – tipo de piso.....	74
2.3.2.4. Sistema de remoção de dejetos.....	78
2.4. MODELAGEM MATEMÁTICA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	80
<b>2.4.1. Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos</b> .....	<b>80</b>
<b>2.4.2. Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos.</b>	<b>81</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>85</b>
3.1. O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	92
<b>3.1.1. Consumo total de água dos suínos</b> .....	<b>93</b>
<b>3.1.2. Água no controle da ambiência: nebulização</b> .....	<b>94</b>
<b>3.1.3. Água nos processos de limpeza e desinfecção</b> .....	<b>95</b>

3.2.	A PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA .....	96
<b>3.2.1.</b>	<b>Volume de dejetos produzidos .....</b>	<b>96</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Caracterização físico-química dos dejetos .....</b>	<b>98</b>
3.3.	A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E AMÔNIA.....	101
3.4.	MODELAGEM MATEMÁTICA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	109
<b>3.4.1.</b>	<b>Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos .....</b>	<b>109</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos</b>	<b>111</b>
3.4.2.1.	Balanço geral da água .....	111
3.4.2.2.	Balanço de matéria seca e de matéria orgânica.....	116
3.4.2.3.	Balanço de nitrogênio .....	118
3.4.2.4.	Balanço de potássio e fósforo .....	124
<b>3.4.3.</b>	<b>Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e amônia</b>	<b>126</b>
3.4.3.1.	Princípio de cálculo dos “défauts” do balanço de água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio nos edifícios de alojamento de suínos	126
3.4.3.2.	Princípio de cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> e H <sub>2</sub> O pelo método das relações de concentração .....	130
3.5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	133
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>135</b>
4.1.	O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	135
<b>4.1.1.</b>	<b>Consumo total de água dos suínos .....</b>	<b>135</b>
4.2.	A PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA .....	140
<b>4.2.1.</b>	<b>Volume de dejetos produzidos .....</b>	<b>140</b>
4.2.1.1.	Caracterização físico-química dos dejetos produzidos .....	144
4.3.	A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E AMÔNIA.....	145
4.4.	MODELAGEM NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	149
<b>4.4.1.</b>	<b>Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos .....</b>	<b>149</b>
<b>4.4.2.</b>	<b>Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos</b>	<b>155</b>
4.4.2.1.	Balanço geral da água .....	157
4.4.2.2.	Balanço de nitrogênio .....	162
4.4.2.3.	Balanço de potássio e fósforo .....	164
<b>4.4.3.</b>	<b>Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e amônia</b>	<b>170</b>
4.4.3.1.	Princípio de cálculo dos “défauts” do balanço de água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio nos edifícios de alojamento de suínos	170

4.4.3.2. Princípio de cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> e H <sub>2</sub> O pelo método das relações de concentração.....	173
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>179</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>181</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>183</b>
<b>APÊNDICE A – Informações das granjas nas diferentes fases fisiológicas da cadeia produtiva de suínos.</b>	<b>221</b>
<b>APÊNDICE B – Sistemas de armazenamento de dejetos: (a) canaleta aberta externa; (b) canaleta fechada externa; (c) canaleta interna.</b>	<b>223</b>
<b>APÊNDICE C – Primeira página do artigo científico publicado.</b>	<b>224</b>
<b>APÊNDICE D – Concentrações médias dos gases no ar interno e externo das granjas de suínos para o turno matutino e vespertino.</b>	<b>225</b>
<b>APÊNDICE E – Resumo dos resultados para o ajuste das médias do consumo de água em função da massa corporal dos suínos.</b>	<b>226</b>
<b>APÊNDICE F – Resumo dos resultados para o ajuste das médias do consumo de água em função do período de alojamento dos suínos.</b>	<b>227</b>
<b>APÊNDICE G – Estimativa do volume de dejetos produzidos com aplicação de fator de evaporação por período do ano, tipo de bebedouro e em função de ambos.</b>	<b>228</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A tendência de crescimento populacional no mundo vem gerando preocupação na sociedade pelo aumento na procura e consequente demanda por proteína animal de elevada qualidade, mas a baixo custo, considerada fundamental para a sobrevivência do ser humano (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2009). Algumas previsões publicadas indicam um incremento de cerca de 40% no consumo de carne suína no mundo até 2050, sendo que parte substancial desse aumento ocorrerá em função da mudança dos hábitos alimentares e do melhor acesso a alimentos por parte da população nos países em desenvolvimento (ROBINSON et al., 2011). Diante do exposto, é necessário encontrar um ponto de equilíbrio entre a atividade pecuária e o meio ambiente de forma a responder aos desafios que se aproximam em busca da proteína animal (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2009).

A produção de suínos incorporada na pecuária e inserida nas atividades antrópicas vem-se exibindo como uma das principais fontes produtivas. Em 2010, de todas as atividades pecuárias, a produção de suínos foi a que mais contribuiu para o aumento da disponibilidade de proteína animal no mundo, tendo sido responsável por 37% das 296 x 10<sup>6</sup> toneladas de carcaça produzidas (MACLEOD et al., 2013). No entanto, nas últimas décadas vêm-se observando um aumento dos impactos sobre o meio ambiente, afetando a biodiversidade nos ecossistemas e, especificamente, os recursos naturais (água, solo e ar) em regiões próximas aos grandes centros produtivos (JONGBLOED; LENIS, 1998; BASSET-MENS; van der WERF, 2005; STEINFELD; WASSENAAR, 2007; JONGBLOED, 2008; RIGOLOT et al., 2010a; SUTTON et al., 2011b). Neste contexto, conhecer os impactos associados à produção, quantificá-los e saber como mitigá-los nestas regiões é essencial para garantir a proteção dos recursos naturais, bem como a sustentabilidade da produção (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). Alguns impactos resultantes da atividade sobre o meio ambiente incluem a contaminação das águas superficiais (eutrofização) e subterrâneas, as alterações das características físicas, químicas e biológicas dos solos (contaminação, perda de matéria orgânica, erosão e esgotamento) e a poluição visual e atmosférica através de poeiras, odores e gases [dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e amônia (NH<sub>3</sub>)] (OLIVEIRA, 1993; JONGBLOED; LENIS, 1998;

DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; DINUCCIO; BERG; BALSARI, 2008; JONGBLOED, 2008; FLOTATS et al., 2009).

Segundo os últimos dados mundiais, o Brasil totalizou em 2015 um rebanho médio de cerca de 39,395 milhões de suínos, sendo considerado o quarto maior produtor [(rebanho: 39,050 milhões de cabeças); (carne em carcaça:  $3,52 \times 10^6$  ton·ano<sup>-1</sup>)] e exportador mundial (carne em carcaça:  $627 \times 10^3$  ton·ano<sup>-1</sup>) (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2016). O Estado de Santa Catarina destaca-se no cenário suinícola brasileiro com o segundo maior rebanho de animais (6.792.724 suínos:  $\approx 16,8\%$  do efetivo), concentrado principalmente na Mesorregião do Oeste Catarinense (cerca de 70%) (BRASIL, 2015).

Nas regiões de maior concentração dos sistemas produtivos de animais confinados, a pressão sobre as reservas de água é cada vez mais uma questão central para a sustentabilidade da produção. O homem vem enfrentando um desafio crítico na solução da crise hídrica, definida tanto pela escassez de água quanto pela degradação observada nos ecossistemas adjacentes (KIJNE; BARKER; MOLDEN, 2003). Valores publicados em 2012 mostram que aproximadamente 92% da água doce foram consumidas em atividades agropecuárias (HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012). No Brasil, por exemplo, estas atividades foram responsáveis por 83% do consumo de água, sendo que 11% do volume consumido foi destinado à dessedentação dos animais (BRASIL, 2012). Atualmente, o elevado consumo e a crescente demanda de água na produção pecuária vêm reduzindo a qualidade e a disponibilidade das reservas naturais (tanto as superficiais como as subterrâneas) que suprem as necessidades primárias dos animais (OLIVEIRA, 2002; TAVARES, 2012); a intensificação observada, associada aos constrangimentos ambientais implícitos pela redução drástica de água com qualidade tem incrementado a pressão para o seu uso eficiente (FERREIRA et al., 2007; LANA, 2009). Neste contexto, o desconhecimento do consumo real de água nas granjas de suínos, nas diversas fases fisiológicas de produção, apresenta-se como uma grande lacuna para a possível implementação do conceito do uso eficiente da água. Face ao vazio de informação, pesquisas têm sido desenvolvidas desde 2010 pelos acadêmicos do Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves (EMBRAPA) com o objetivo de atualizar os valores de referência para a produção (TAVARES, 2012; TAVARES

et al., 2014; SOUZA-VILAS BOAS et al., 2016). Na sequência das pesquisas desenvolvidas e após a apresentação dos primeiros resultados foi desenvolvido um modelo matemático inovador para a estimativa do consumo de água dos suínos segundo as fases fisiológicas da cadeia produtiva (TAVARES et al., 2014; TAVARES et al., 2016).

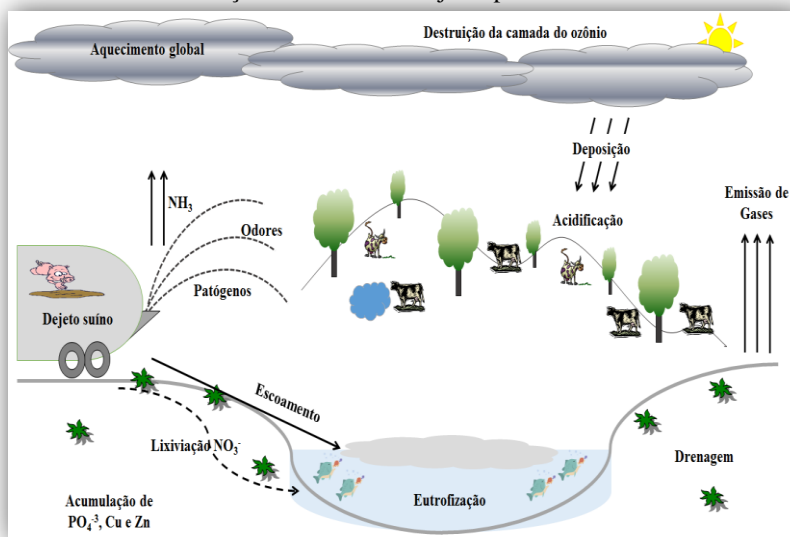
O aumento do número de granjas do tipo “intensivo” (decorrentes do modelo integrado agroindustrial), em detrimento de granjas de menor capacidade produtiva, do tipo “familiar” (extensiva) gerou um aumento no volume total de dejetos produzidos na atividade. Conseqüentemente, foi sendo observado o agravamento dos impactos decorrentes do seu aumento de produção e da sua destinação final (TAVARES, 2008). A quantidade e a qualidade dos dejetos produzidos nas granjas estão associadas ao manejo diário do produtor. O volume total e as características físicas, químicas e biológicas dependem de inúmeros fatores, tais como: tipo de edificação, fase fisiológica do ciclo de produção, tipo de bebedouro (consumo e desperdício associado), programa de limpeza e desinfecção (uso ou não de lâmina de água), desvio das águas pluviais, ração (tipo de ração, composição e comedouro), suínos (número, genética, peso vivo e idade), condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) e sistema de armazenamento/tratamento dos dejetos (OLIVEIRA, 1993, 2002; DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; FERREIRA et al., 2006, 2007; GOMES et al., 2009; BABOT et al., 2011). Assim, a produção de dejetos na atividade suinícola e a sua qualidade não pode ser dissociada do uso excessivo de água nas granjas (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; LI et al., 2005; BABOT et al., 2011;), em função do desperdício nos bebedouros e dos programas de limpeza e desinfecção dos edifícios de alojamento (TAVARES et al., 2016).

A gestão dos dejetos face ao volume produzido e às quantidades de nutrientes liberadas para o meio ambiente assume, assim, uma importância significativa na atividade. No entanto, em semelhança do referido anteriormente, para o consumo de água, o desconhecimento dos volumes reais de dejetos produzidos em cada fase fisiológica, no Brasil, tem-se apresentado como um entrave para o desenvolvimento de programas de manejo e destinação dos subprodutos gerados. Atualmente, a gestão dos dejetos produzidos pode ser realizada através de amostragens e análises frequentes nas granjas de suínos, sendo esta abordagem onerosa e de difícil aplicação, particularmente quando se refere à mensuração da emissão de gases (RIGOLOT et al., 2010b). Diante do exposto, o desenvolvimento de modelos matemáticos a partir das informações disponíveis nas granjas vem ganhando força para

estimar o risco potencial associado ao volume de dejetos produzidos e à composição físico-química que apresenta (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a).

Na Figura 1 pode ser observado, como exemplo, um resumo dos riscos potenciais associados à poluição da água, do solo e do ar em função do volume de dejetos produzidos.

**Figura 1:** Risco potencial associado à poluição da água, do solo e do ar em função do volume de dejetos produzidos.



**Fonte:** adaptado de Burton e Turner (2003).

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) é uma preocupação ambiental recente na produção pecuária (HASSOUNA; EGLIN, 2015). Pesquisas relacionando os seus efeitos no meio ambiente foram iniciadas há décadas com o objetivo de fornecer informações precisas sobre a sua relevância, mas também desenvolvendo se necessário, estratégias para a sua mitigação (OGINK et al., 2013). No setor pecuário, as fontes de emissão de gases diferem significativamente e os resultados apresentados na literatura dependem das fronteiras dos sistemas utilizados na sua determinação (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). As emissões totais de GEE associadas à agropecuária correspondem a 15%, em média, (STEINFELD et al., 2006) podendo variar, no entanto, entre 10 e 35% (McMICHAEL et al., 2007). Se as emissões forem exclusivamente da



produção pecuária, o intervalo de variação pode ser alterado para valores compreendidos entre 10 e 25% (STEINFELD et al., 2006; FIALA, 2008; GILL; SMITH; WILKINSON, 2010). No Quadro 1 são exibidas as contribuições específicas das principais espécies pecuárias na emissão total de GEE. O relatório “*Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*” indica que as emissões totais de GEE, no Brasil, foram provenientes de cinco grandes setores [ano base 2010: agropecuária (35%), energia (32%), Florestas (22%), processos industriais (7,0%) e resíduos (4%); (BRASIL, 2013)]. Segundo o mesmo relatório, na agropecuária as emissões de CH<sub>4</sub> (principalmente por fermentação entérica das espécies ruminantes, em especial, gado bovino de corte) e N<sub>2</sub>O (gado bovino em pastagem) dominaram em relação às demais fontes de emissão no setor [fermentação entérica (56,4%), solos agrícolas (35,2%), manejo dos dejetos (4,9%), cultura do arroz (2,0%), e queima da cana (1,5%); (BRASIL, 2013)]. Convém salientar que atualmente não existem dados robustos sobre as contribuições da produção de suínos para as emissões de GEE. Tal fato se deve à escassez de pesquisas e de resultados que possam ser considerados referências, em função das diferentes fases fisiológicas e dos sistemas produtivos.

**Quadro 1:** Contribuições específicas das principais espécies pecuárias na emissão total de gases de efeito estufa.

Espécie pecuária	Emissões GEE <sup>†</sup> (10 <sup>3</sup> ton CO <sub>2</sub> -equiv. ano <sup>-1</sup> )		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Gado, (70%)</b>	1.166,2	2.072,8	661,6
<b>Pequenos ruminantes, (9%)</b>	69,9	244,5	202,6
<b>Suínos, (13%)</b>	338,9	237,3	131,1
<b>Aves, (8%)</b>	332,2	---	107,3
<b>Total, (100%)</b>	<b>1.907,2</b>	<b>2.554,5</b>	<b>1.102,3</b>

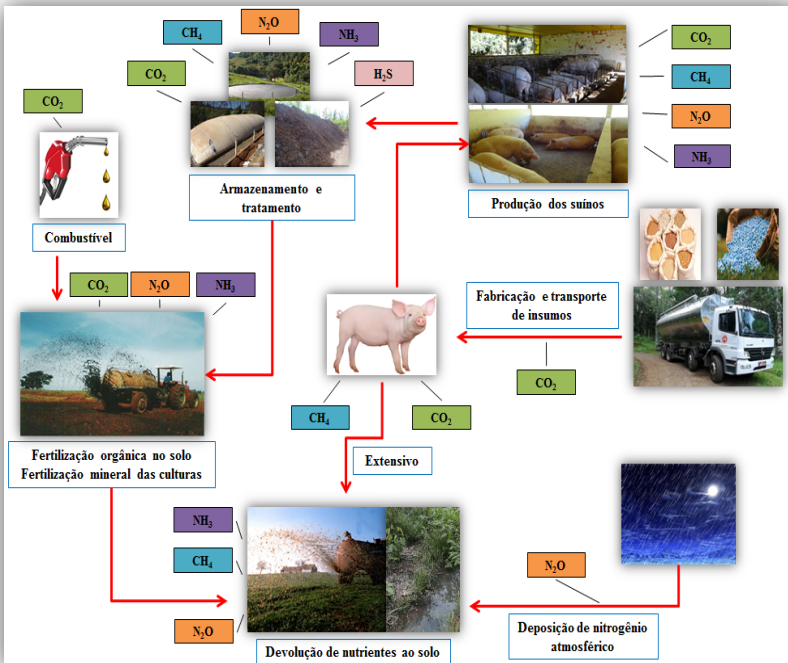
<sup>†</sup> Segundo Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O com potencial de aquecimento global de 25 e 298 para o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, respectivamente.

**Fonte:** adaptado de Steinfeld et al. (2006) e MacLeod et al. (2013).

As primeiras pesquisas realizadas em emissão de gases na produção de suínos foram centradas na NH<sub>3</sub> (BUIJSMAN; MAAS;

ASMAN, 1987; HARTUNG; PHILLIPS, 1994; AARNINK et al., 1995) e para a fase fisiológica de crescimento-terminação ( $C_T$ ) pela sua menor heterogeneidade produtiva (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011). A  $NH_3$  embora não seja considerado um GEE, não pode ser dissociada dos efeitos que promove no desempenho ambiental [efeito no ambiente, bem-estar animal e comunidade envolvente às granjas de produção (ROBIN, 2011)]. Nas granjas, as principais emissões de  $NH_3$  ocorrem no interior dos edifícios de alojamento, mas também no sistema de armazenamento/tratamento dos dejetos e no momento da sua aplicação no solo como fertilizante (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011). Na Figura 2 são apresentadas as principais fontes de emissão de GEE e  $NH_3$  na atividade suinícola, considerando o sistema de análise da produção de matéria prima para a ração do animal até à destinação final dos dejetos produzidos (aplicação como fertilizante).

**Figura 2:** Principais fontes de emissão de gases de efeito estufa e amônia na atividade suinícola.



Fonte: elaborada pelo autor (2016).

A maioria dos métodos disponíveis para medir as emissões gasosas nos edifícios de produção foi desenvolvida, principalmente, nas décadas de 80 e 90 do Séc. XX (OGINK et al., 2013). Desde então, são consensuais as dificuldades observadas na quantificação dos GEE e  $\text{NH}_3$  em edifícios ventilados naturalmente em comparação com os ventilados mecanicamente, especialmente, devido a problemas na determinação com precisão das taxas do fluxo de ar no seu interior (DONG et al., 2007; OGINK et al., 2013; HASSOUNA; EGLIN, 2015). Tal fato é utilizado como justificativa para a ausência de uma única metodologia de referência, a partir das diferentes disponíveis na literatura (OGINK et al., 2013; HASSOUNA; EGLIN, 2015).

Os principais métodos utilizados na caracterização das emissões incluem (OGINK et al., 2013): (1) o cálculo a partir do produto entre a diferença de concentrações do ar (interno e externo) e a taxa de ventilação; (2) o cálculo a partir da relação com gás traçador; (3) o cálculo direto a partir de amostradores de fluxo passivos; (4) o cálculo a partir do uso de câmaras de fluxo (estáticas e/ou dinâmicas); (5) o cálculo a partir da combinação de modelos de dispersão com as características do vento (direção).

No setor pecuário existem três estratégias para a caracterização das emissões de gases no setor pecuário (HASSOUNA; EGLIN, 2015): (1) balanço mássico de compostos voláteis como o carbono e nitrogênio [calcula as perdas sob a forma gasosa, sem conhecer a importância relativa de cada espécie química (*e.g.*,  $\text{C-CO}_2$ ,  $\text{C-CH}_4$ ,  $\text{N-N}_2\text{O}$ ,  $\text{N-N}_2$  e  $\text{N-NH}_3$ )]; (2) medição das emissões na “fonte” com recurso a métodos não intrusivos (quantificação dos fluxos e gradientes de concentração dos gases) ou métodos invasivos (câmaras estáticas ou dinâmicas); (3) estimativa indireta da emissão a uma distância da “fonte” sem perturbar o funcionamento do sistema produtivo (método não intrusivo – modelos de dispersão). Pesquisas realizadas e citadas na literatura mostram ainda a possibilidade de quantificar as emissões de GEE e  $\text{NH}_3$  em granjas de suínos utilizando a combinação das estratégias referidas, por exemplo, a (1) e (2) (PAILLAT et al., 2005; GUINGAND; QUINIOU; COURBOULAY, 2010; ROBIN et al., 2010; ROBIN, 2011).

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo geral desenvolver um modelo matemático integrando a estimativa do consumo de água, a produção de dejetos e a emissão de gases de efeito estufa e amônia em edifícios de alojamento de suínos com ventilação natural em regiões subtropicais. Os dados de entrada para os modelos desenvolvidos e adaptados foram coletados no âmbito de dois projetos

de parceria técnica da EMBRAPA com o apoio da Associação das Indústrias de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina (AINCADESC), do Sindicato da Indústria de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina (SINDICARNE\_SC), do PPGEA-UFSC e da empresa Brasil Foods (BRF):

- ✘ **Projeto A:** “Determinação do consumo de água, da geração de dejetos e da emissão dos gases de efeito estufa na produção de suínos” (outubro de 2010 a março de 2013):
- ✘ **Projeto B:** “Determinação do consumo de água, da geração de dejetos e da emissão dos gases de efeito estufa, em unidades produtoras de leitões” (novembro de 2013 a dezembro de 2015).

O suporte financeiro teve proveniência: da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água [TSGA (patrocinado pela Petrobras, através do Programa Petrobras Socioambiental)].

A análise dos resultados finais foi realizada em parceria com o Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade de Lisboa e com o “*Institut National de la Recherche Agronomique*” (INRA), na “*Unité Mixte de Recherche Sol Agro et Hydrosystème Spatialization*” (UMR SAS).

## 1.1. HIPÓTESES

O delineamento experimental da pesquisa foi realizado com base nas seguintes hipóteses:

**Hipótese 1:** é possível estimar o consumo de água em granjas comerciais de suínos, com massa corporal entre 6 e 120 kg, utilizando modelos não lineares assintóticos.

**Hipótese 2:** é possível estimar o volume e a composição de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação de acordo com a ingestão e composição nutricional da ração, o desempenho zootécnico dos suínos e as condições ambientais nos edifícios de alojamento.

**Hipótese 3:** é possível estimar a emissão de gases de efeito estufa e amônia em edifícios com ventilação natural na fase fisiológica de creche utilizando a metodologia simplificada e aplicando os princípios de cálculo dos “*défauts*” do balanço de massa e das emissões pelo método da relação de concentrações.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo geral

Desenvolver modelo matemático integrando a estimativa do consumo de água, a produção de dejetos e a emissão de gases de efeito estufa e amônia em edifícios de alojamento de suínos com ventilação natural em regiões subtropicais.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- ✘ Desenvolver e validar modelo matemático simplificado para estimativa do consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação e quando instalados em sistema de produção “*wean-to-finish*”;
- ✘ Adaptar e validar modelo matemático para estimativa do volume e da composição dos dejetos produzidos pelos suínos nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação; e,
- ✘ Validar metodologia e princípio de cálculo para estimativa das emissões de gases de efeito estufa e amônia em edifícios com ventilação natural na fase fisiológica de creche.

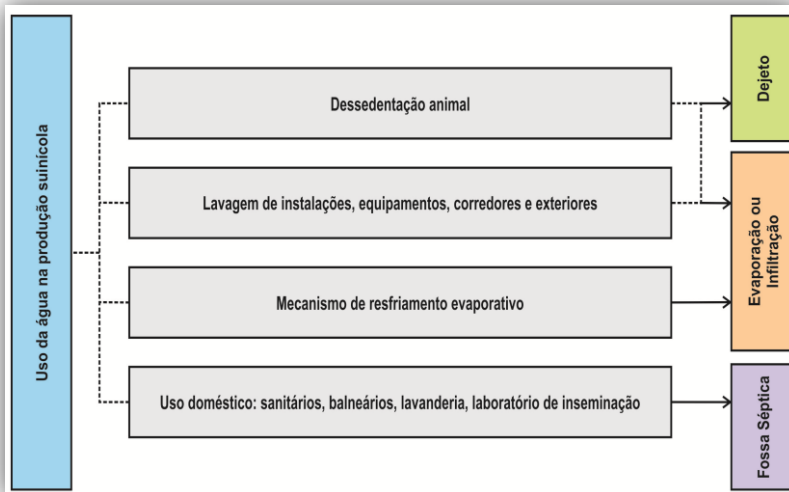
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

O elevado consumo e o aumento da demanda de água em regiões de produção pecuária intensiva vêm reduzindo a qualidade e a disponibilidade das reservas naturais de água (fontes superficiais e subterrâneas) que suprem as necessidades primárias dos animais (OLIVEIRA, 2002). A intensificação dos sistemas de produção de animais confinados, associada aos constrangimentos ambientais implícitos pela redução drástica das reservas de água disponíveis tem incrementado a pressão do uso eficiente da água na produção de suínos (FERREIRA et al., 2007; LANA, 2009).

Os usos da água que mais se destacam na produção de suínos, independentemente da fase fisiológica de produção (não inclui os usos para a produção de matéria-prima da ração dos animais) são apresentados na Figura 3.

**Figura 3:** Usos da água na produção de suínos, independentemente da fase fisiológica de produção.



**Fonte:** adaptada de Ferreira et al. (2007).

O padrão de consumo de água na criação de suínos é influenciado pelos usos atribuídos à água (conforme indicado na Figura 3). Esses usos podem sofrer influência de diversos fatores, entre eles: fase

fisiológica e sistema de produção, idade, massa corporal e genética dos animais, estado sanitário, comportamento e atividade do suíno, condições ambientais dos edifícios de alojamento (interior e exterior), práticas de limpeza e desinfecção, o tipo e a regulação dos equipamentos de alimentação e dessedentação (NIENABER; HAHN, 1984; MROZ et al., 1995; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; THACKER, 2001; OLIVEIRA, 2002; LI et al., 2005; PATIENCE et al., 2005; BRUMM, 2006; SHAW; BEAULIEU; PATIENCE, 2006; FERREIRA et al., 2007; BABOT et al., 2011; TAVARES; OLIVEIRA; BELLI FILHO, 2012).

A agroindústria e os produtores de suínos vêm procurando reduzir o desperdício de água nos edifícios de alojamento através da implementação de medidas simples de manejo, construção e instalação de equipamentos que promovam o uso eficiente dos recursos, tais como:

- ✘ Instalação de bebedouros adequados à fase fisiológica;
- ✘ Controle da pressão e vazão de água no sistema hidráulico e na saída dos bebedouros;
- ✘ Plano de limpeza a seco (raspagem diária) durante o ciclo de produção, com uma única lavagem úmida após a saída dos suínos com recurso a equipamentos de alta pressão e baixa vazão;
- ✘ Manutenção da rede de abastecimento de água e do sistema hidráulico da granja;
- ✘ Aumento dos beirais e colocação de calhas nos telhados dos edifícios para desvio e aproveitamento das águas da chuva.

### **2.1.1. Consumo de água na produção de suínos**

A água, enquanto nutriente, não tem sido considerada devidamente por produtores e nutricionistas da cadeia produtora de suínos. Os leitões recém-nascidos possuem no seu organismo uma proporção de água acima dos 70% da sua massa corporal (DELIGEORGIS; KARALIS; KANZOUROS, 2006) e superior a 60% na sua idade adulta (MROZ et al., 1995). No metabolismo diário, a água atua na dissipação do calor do suíno pelas reações metabólicas e funciona ainda como diluente e substrato para as reações bioquímicas (MROZ et al., 1995; OLIVEIRA, 2004; DELIGEORGIS; KARALIS; KANZOUROS, 2006; BELLAVER; OLIVEIRA, 2009). Os animais



necessitam de água nos processos de termorregulação, no equilíbrio homeostático mineral e na excreção tanto de resíduos resultantes da digestão como de outras substâncias (e.g., elementos antinutricionais presentes na ração) (LEITE et al., 2011). Como nutriente, além de ser fundamental na dessedentação dos suínos, a água é imprescindível na produção do tecido muscular pelo que, a qualidade da água disponível para a ingestão é fundamental para que os animais possam expressar seu potencial genético (GONYOU, 1996; VERMEER; KUIJKEN; SPOOLDER, 2009).

Uma suposição empírica é que os leitões não necessitam ingerir água nos primeiros dias de vida. No entanto, os leitões iniciam a ingestão de água nos dois primeiros dias após o parto (AUMAITRE et al., 1964; PHILLIPS; FRASER, 1989; DELIGEORGIS; KARALIS; KANZOUROS, 2006). Assim, é essencial que nas diferentes fases fisiológicas de produção os animais tenham acesso livre à água, tanto em quantidade como em qualidade. Em períodos de falta de água, os animais começam por diminuir o consumo de ração, prejudicando conseqüentemente o seu desempenho zootécnico (THACKER, 2001; BRUMM, 2006; PATIENCE; ENGELE, 2014). No Quadro 2 são apresentados valores de referência das necessidades de água dos suínos em função da fase fisiológica de produção.

**Quadro 2:** Necessidade de água dos suínos em função da sua fase fisiológica.

Fase fisiológica	Necessidade de água (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )		
	Barbari e Rossi (1992)	Bonett e Monticelli (1997) <sup>†</sup>	
Leitão: maternidade	0,1–0,5	-	-
Leitão (5 a 20 kg)	1,0–5,0	0,7–2,0	1,0–3,5
Suínos (25 a 100 kg)	5,0–10,0	4,0–10,0	10,0–18,0
Suínos (100-150 kg)	7,0–15,0	-	-
Matrizes: pré-parto	-	10,0–15,0	20,0–25,0
Matrizes: lactação	20,0–35,0	15,0+1,5 <sup>‡</sup>	25,0+1,8 <sup>‡</sup>
Matrizes: gestação	5,0–10,00	8,0–12,0	15,0–20,0
Machos	10,0–15,0	10,0–15,0	20,0–25,0

<sup>†</sup> Temperatura de 22 a 25 °C;

<sup>‡</sup> Volume de demanda: matriz + água por leitão.

O Ministério da Agricultura, Alimentos e Assuntos Rurais do Canadá indica que a necessidade dos animais é maior à medida que os suínos aumentam a sua massa corporal: 7-22 kg:  $1,0-3,2 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; 23-36 kg:  $3,2-4,5 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; 36-70 kg:  $4,5-7,3 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; 70-110 kg:  $7,3-10,0 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  (WARD; MCKAGUE, 2007). No entanto, o consumo diário dos animais é, em geral, superior às suas reais necessidades, visto que não ingerem água somente para satisfazer as suas necessidades fisiológicas, mas também para alívio da fome (PATIENCE; ENGELE, 2014) ou entretenimento.

O “*National Research Council*” (NRC) fornece como valores de referência para o consumo de água de suínos na fase fisiológica de  $C_T$  uma relação entre 2,0 e 2,5 kg de água por kg de ração ingerida, com alimentação restrita ou à vontade (“*ad libitum*”), respectivamente (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1998). Outras pesquisas citadas na literatura (Quadro 3) mostram variações significativas na relação água:ração ingerida (fase fisiológica  $C_T$ ) devido à influência de diversos fatores, entre eles: a localização do bebedouro (isolado ou acoplado no comedouro) e a quantidade e qualidade do alimento ingerido pelos suínos. Assim, com o objetivo de reduzir a ingestão de água dos animais sem prejudicar os seus índices de desempenho zootécnico, a manipulação das rações tem sido uma estratégia utilizada atualmente (SHAW; BEAULIEU; PATIENCE, 2006; BABOT et al., 2011).

**Quadro 3:** Resultados para a relação água:ração ingerida na fase fisiológica de crescimento-terminação.

Autores	Relação água:ração
Conrad e Mayrose (1971)	2,0–2,5
Mamede (1980)	2,1–2,4
Cumby (1986)	2,5–3,4
Brumm, Dahlquist e Heemstra (2000)	1,8-2,4
Vermeer et al. (2009)	2,0-2,5
Patience e Engele (2014)	2,2-2,8

O elevado consumo de água nas granjas de suínos surge, principalmente, não pelo incremento da ingestão animal, mas pelo

aumento do desperdício associado ao manejo do produtor e ao tipo de bebedouro instalado na granja. Compreender o conceito do consumo de água (ingestão animal + desperdício) associado aos diferentes tipos de bebedouros e o seu manejo (número, localização, altura e ângulo de instalação, vazão e pressão da água), é essencial para o uso da água na produção de suínos (NIENABER; LEROY, 1984; BROOKS, 1994; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; THACKER, 2001; OLIVEIRA, 2002; LI et al., 2005; BABOT et al., 2011). O acompanhamento do consumo diário dos suínos impacta na gestão da produção. Uma redução no consumo de água durante três a quatro dias seguidos ou, de aproximadamente 30% durante dois dias consecutivos, sugere a presença de problemas sanitários no efetivo alojado (BRUMM, 2006).

Independentemente do volume de água retido pelo metabolismo do animal na produção de músculo, aproximadamente 40-60% da água que sai do bebedouro gera desperdício e, conseqüentemente, dejetos animal (GONYOU, 1996). Neste contexto, o desperdício de água influencia o comportamento excretório dos suínos em áreas impróprias na baía devido ao umedecimento do piso, a quantidade e qualidade dos dejetos gerados e, conseqüentemente, os custos associados ao manejo do efluente (armazenamento, transporte, distribuição e tratamento) (GONYOU, 1996; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; OLIVEIRA, 2002; LI et al., 2005; BABOT et al., 2011).

### **Tipo de bebedouro**

A produção de suínos possui, atualmente, uma diversidade de equipamentos para o fornecimento de água aos animais. Dependendo da fase fisiológica, encontram-se disponíveis no mercado bebedouros com preços diferenciados que podem ser adquiridos pelos produtores respeitando as características do sistema hidráulico da sua granja. Os bebedouros podem variar no modelo, no tamanho e tipo de material, na pressão e no volume de água disponibilizado. Independentemente do tipo de bebedouro, este deve fornecer ao suíno, água limpa “*ad libitum*” para a sua ingestão e com desperdício mínimo.

Os bebedouros mais utilizados em granjas de suínos podem ser observados na Figura 4, dependendo da fase fisiológica de produção. Estes podem ser divididos em chupeta bite-ball (BB), chupeta convencional (NI), taça/concha horizontal (BO<sub>H</sub>), taça/concha vertical (BO<sub>V</sub>) e calha/vaso comunicante (VC).

- ✘ **Chupeta bite-ball:** a água cai diretamente na boca do suíno quando este morde o pequeno cano metálico chamado de chupeta pressionando, conseqüentemente, a bola localizada na parte superior da estrutura do equipamento, liberando a água;
- ✘ **Chupeta convencional:** de modo similar, o bebedouro é ativado no momento em que o animal, através da sua língua ou focinho, pressiona a válvula localizada na parte interna da sua estrutura;
- ✘ **Taça/concha vertical e horizontal:** em ambas as opções, o suíno pressiona uma válvula com o focinho. Posteriormente, ocorre a ingestão da água que foi liberada e permanece acumulada na sua estrutura; e,
- ✘ **Calha/vaso comunicante:** a água é disponibilizada simultaneamente a vários animais (difere dos demais tipos de bebedouro). Esta opção é comumente utilizada nas salas de gestação com alojamento individual.

**Figura 4:** Principais bebedouros utilizados na produção de suínos: (A) Chupeta Bite-Ball; (B) Chupeta Convencional; (C) Taça/Concha Horizontal; (D) Taça/Concha Vertical; (E) Calha/Vaso comunicante.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Na fase de projeto do sistema hidráulico da granja, o modelo, o número e o posicionamento dos bebedouros instalados não devem ser negligenciados pela influência que apresentam no consumo de água dos animais devendo, o mesmo, ser ajustado à pressão e à vazão de água que

abastece a granja (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; OLIVEIRA 2002). Assim, o bebedouro instalado deve ser manejado de acordo com as suas características e com a fase fisiológica do animal. No Quadro 4 são apresentadas recomendações de instalação para os bebedouros tipo chupeta, em relação a: capacidade de ingestão de água dos suínos, vazão, ângulo e altura do equipamento segundo a fase fisiológica de produção.

**Quadro 4:** Recomendações de instalação para os bebedouros tipo chupeta segundo a fase fisiológica de produção.

Fase Fisiológica	Peso (kg)	Ingestão (L·d <sup>-1</sup> )	Bebedouro Tipo Chupeta		
			Vazão (L·min <sup>-1</sup> )	Altura (m, 45°)	Altura (m, 90°)
Matriz: Gestação	-	Variável	0,5 – 1,0	0,90 (35")	0,70 (30")
Matriz: Lactação	-	12 – 20	1,0 – 2,0	0,90 (35")	0,75 (30")
Leitões: Lactação	-	Variável	0,5 – 0,7	0,15 (6")	0,10 (4")
Leitões: Creche	5	1,0 – 2,0	0,5 – 1,0	0,30 (12")	0,25 (10")
	7	1,5 – 2,5	0,5 – 1,0	0,35 (14")	0,30 (12")
Suínos: Crescimento- Terminação	15	2,5 – 3,0	0,5 – 1,0	0,45 (18")	0,35 (14")
	20	3,0 – 4,0	0,5 – 1,0	0,50 (20")	0,40 (16")
	25	3,0 – 4,0	0,5 – 1,0	0,55 (22")	0,45 (18")
	50	5,0 – 7,0	0,5 – 1,0	0,65 (26")	0,55 (22")

**Fonte:** adaptado de Patience e Engele (2014).

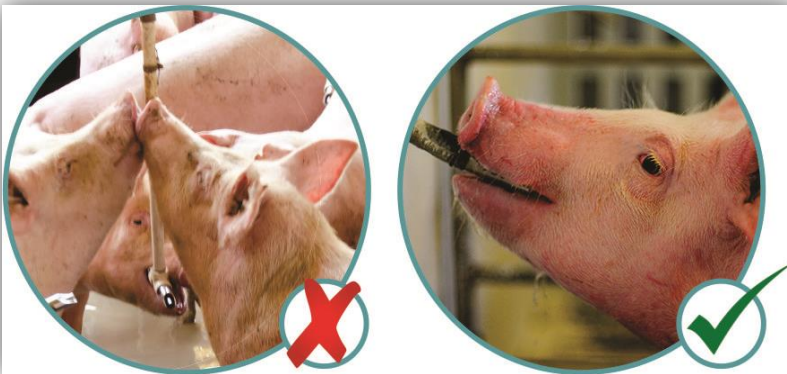
Os bebedouros quando instalados inadequadamente (*e.g.*, altura e ângulo) provocam problemas na ingestão de água pelos animais, restringindo o acesso correto dos suínos ao equipamento de dessedentação (PATIENCE; ENGELE, 2014). Nas fases fisiológicas de creche ( $C_R$ ) e  $C_T$ , os bebedouros tipo chupeta devem ser ajustados pelo menos uma vez por semana. Quando fixo na parede, o bebedouro deve ser ajustado a uma altura de cinco centímetros acima da paleta do menor suíno presente na baía, em ângulo de 45°. Em caso de equipamento pendular, a altura deve ser regulada pela boca do suíno, em ângulo reto (90°) para evitar problemas com a rede hidráulica (*e.g.*, rompimento de tubulações) (GONYOU, 1996; OLIVEIRA, 2002; LI et al., 2005). Similarmente, em granjas cujo equipamento para a dessedentação dos

suínos é o bebedouro tipo taça/concha, este deve ser instalado de modo a que a sua borda se encontre a 40% da altura do menor suíno (PEDERSEN, 1994). Um aspeto importante neste tipo de equipamento está relacionado com a sua higienização diária. A água presente nestes bebedouros, quando contaminada com ração, urina e fezes (designado por “*fouling*”) diminui a aptidão dos suínos para a sua ingestão, limitando os animais a ingerir apenas a água necessária para a sua sobrevivência (PEDERSEN, 1994; LI et al., 2005; BRUMM, 2006). Relacionando a massa corporal dos suínos com as fases fisiológicas  $C_R$  e  $C_T$ , os bebedouros devem ser manejados de formas distintas:

- ✗ **Bebedouro tipo chupeta:** 10 kg: 0,39 m; 20 kg: 0,49 m; 30 kg: 0,56 m; 40 kg: 0,61 m; 50 kg: 0,66 m; 60 kg: 0,70 m; 80 kg: 0,77 m; e 100 kg: 0,83 m.
- ✗ **Bebedouro tipo taça/concha:** 5-15 kg: 0,20 m; 15-30 kg: 0,25 m; 30-65 kg: 0,30 m; 65-100 kg: 0,40 m; e >100 kg: 0,45 m.

A título de exemplo, pode ser observado na Figura 5, a instalação incorreta *versus* instalação correta do bebedouro tipo chupeta.

**Figura 5:** Instalação incorreta versus correta do bebedouro tipo chupeta.



Fonte: Souza-Vilas Boas et al. (2016).

### 2.1.2. Água no controle da ambiência: nebulização

Os sistemas de produção de animais confinados localizam-se, na sua maioria, em regiões brasileiras cujas temperaturas do ar se mantêm acima da zona de neutralidade térmica dos suínos durante dois terços do

ano. A probabilidade dos animais entrarem em estresse térmico nestas condições aumenta, causando o aumento do consumo de água, a inibição do consumo de ração e, conseqüentemente, a redução dos índices zootécnicos e reprodutivos [e.g., a conversão alimentar (CA), o ganho médio diário de peso (GMD) e o número de leitões desmamados por matriz] (HUYNH et al., 2005b). Em condições alimentares e ambientais similares, os suínos na mesma fase fisiológica e com a mesma massa corporal tendem a apresentar um consumo de água semelhante (AARNINK; van OUWERKERK; VERSTEGEN, 1992).

O método mais utilizado para minimizar as perdas produtivas associadas ao estresse calórico é a utilização da nebulização por aspersão. Através deste mecanismo, a água liberada para o ambiente reduz a temperatura do meio e promove o conforto dos suínos nos edifícios e/ou salas de alojamento. Atualmente, existem vários mecanismos que podem ser utilizados para melhoria do conforto térmico dos suínos, dependendo também da fase fisiológica dos animais:

- ✘ **Gotejamento:** usado para melhorar o conforto térmico das matrizes em maternidade e gestação. Geralmente, consome muita água e pode elevar em demasia a umidade nas baias;
- ✘ **Nebulização por aspersão:** usada na fase fisiológica de  $C_T$ , este sistema forma uma névoa de gotículas, reduzindo a temperatura dentro dos edifícios e/ou salas de alojamento. Existem certos cuidados no uso deste mecanismo, pois pode elevar em demasia a umidade no interior das baias, sendo prejudicial tanto quanto o estresse calórico;
- ✘ **Ventilador mecânico:** usado em todas as fases fisiológicas, são os equipamentos mais comuns e buscam aumentar a circulação de ar como forma de redução da sensação térmica dos animais. Alguns ventiladores possuem aspersor de água acoplado; e,
- ✘ **“Pad cooling” com ventilação forçada e taxa mínima de renovação de ar:** usado em todas as fases fisiológicas, possui um painel evaporativo que, associado a um ventilador faz com que a massa de ar frio (temperatura inferior ao ambiente interno) circule e proporcione conforto térmico aos animais.

O funcionamento dos diferentes mecanismos de resfriamento, evaporativo, com exceção do “*pad cooling*”, é apresentado na Figura 6.

**Figura 6:** Mecanismos de resfriamento evaporativo: (A) Gotejamento; (B) Nebulização por aspersão; (C) Ventilador mecânico.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016); Fotos: Luiza Biesus | EMBRAPA.

### 2.1.3. Água nos processos de limpeza e desinfecção

A limpeza e desinfecção dos edifícios e/ou salas de alojamento é uma das práticas mais importantes no manejo diário do produtor, consistindo na remoção dos dejetos e outros resíduos acumulados nos edifícios de produção. Esta prática visa reduzir o contato do efetivo com possíveis focos de contaminação microbiana, reduzindo os riscos de transmissão de microrganismos que podem provocar problemas sanitários nos suínos (SESTI; SOBESTIANSKY; BARCELLOS, 1998).

O sistema produtivo, todos dentro-todos fora (“*all in - all out*”), possibilita o processo de limpeza e desinfecção dos edifícios e/ou salas de alojamento no decorrer e após o término dos ciclos de produção, assim como a realização do vazio sanitário (cinco dias sem animais alojados, no mínimo). No entanto, é importante ressaltar que podem ocorrer variações no volume de água consumido em função da localização geográfica (BELLAYER; OLIVEIRA, 2009). Neste contexto, o processo de limpeza e desinfecção pode ser dividido em (SESTI; SOBESTIANSKY; BARCELLOS, 1998):

- ✘ **Limpeza seca:** caracterizada pela retirada da cama (quando presente), restos de ração, dejetos secos e outros materiais que ficam retidos nos pisos e paredes; este tipo de limpeza também deve ser feito no decorrer do ciclo de produção por meio de rodo ou vassoura, entre uma e três vezes ao dia; e,



- ✘ **Limpeza úmida:** feita com equipamentos que utilizam um jato de água (fria ou quente) de alta pressão e baixa vazão (Figura 7). Este tipo de limpeza apresenta as seguintes vantagens:
- Baixo custo;
  - Redução do tempo de lavagem e da mão-de-obra
  - Acesso a lugares difíceis por meio de jato; e,
  - Permite uma desinfecção posterior eficaz.

**Figura 7:** Limpeza por via úmida tendo como recurso a bomba de alta pressão/baixa vazão.



**Fonte:** adaptada de Tavares (2012).

O processo de desinfecção é realizado sempre após a limpeza dos edifícios e consiste no controle ou eliminação dos microrganismos indesejáveis por processos físicos e/ou químicos. A eficácia deste procedimento depende da limpeza prévia, do desinfetante utilizado, da concentração, da temperatura da solução, do tempo de ação e da qualidade da água utilizada (SESTI; SOBESTIANSKY; BARCELLOS, 1998).

## 2.2. A PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA

A produção de suínos no Brasil vem utilizando sistemas produtivos de animais confinados, desde o final do Séc. XX, cujo manejo diário, associado à limpeza das granjas, resulta na geração de elevados volumes de dejetos. Neste contexto, têm surgido problemas nas etapas necessárias ao manejo dos dejetos produzidos: produção; coleta; armazenamento; tratamento; distribuição e utilização (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998; OLIVEIRA, 2002). Quando lançados de modo inadequado no meio receptor natural (água e/ou solo), os dejetos agravam o problema ambiental devido ao seu elevado impacto poluente (TAVARES, 2008).

Os dejetos produzidos nas granjas são constituídos por urina ( $\approx 60\%$ ), fezes ( $\approx 40\%$ ), resíduos de ração, cerdas, poeira e material particulado, água com origem no desperdício dos bebedouros, no programa de limpeza e desinfecção e outros materiais gerados no processo produtivo (e.g., restos de cama, sangue, restos placentários) (KONZEN, 1983; BELLI FILHO, 1995; DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; TAVARES, 2008; BABOT et al., 2011). Presencialmente, os dejetos exibem coloração escura, consistência líquida, pastosa ou sólida (Figura 8). Possuem elevadas concentrações orgânicas, odor desagradável e características físicas, químicas e biológicas muito variáveis (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; BARTHEL; OLIVEIRA; COSTA, 2008; GOMES et al., 2009).

**Figura 8:** Aspetto visual dos dejetos produzidos nas granjas de suínos.



**Fonte:** Souza-Vilas Boas et al. (2016).

Nas granjas de piso vazado, os dejetos podem ficar armazenados por longos períodos de tempo em canaletas internas que se localizam abaixo dos animais. Em granjas de piso completo em concreto, os dejetos produzidos são encaminhados e armazenados em canaletas externas, localizadas fora dos edifícios de produção. Em ambas as situações, os dejetos são conduzidos posteriormente para estruturas de armazenamento e/ou tratamento (*e.g.*, esterqueiras, biodigestores tipo lagoa coberta) (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009; TAVARES et al., 2014).

Segundo a Instrução Normativa n.º11 (IN-11) da Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA), o sistema de armazenamento deve contemplar, pelo menos, duas unidades (esterqueiras ou lagoas), sendo estas manejadas em paralelo e com alimentação intercalada. O tempo de armazenamento de cada unidade deve ser equivalente ao intervalo entre retirada para aplicação nas áreas agrícolas licenciadas para a aplicação no solo (FUNDAÇÃO MEIO AMBIENTE, 2014).

A quantidade e a qualidade dos dejetos produzidos nas granjas estão associadas ao manejo diário do produtor, em que o volume e as características físicas, químicas e biológicas dependem de vários fatores, tais como: tipo de edificação, fase fisiológica dos animais, tipo de bebedouro (desperdício associado), programa de limpeza e desinfecção, desvio das águas pluviais, ração (tipo de ração, composição e tipo de comedouro), suínos (número, genética, massa corporal e idade), condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar) e sistema de armazenamento/tratamento dos dejetos (DUARTE, 1991; OLIVEIRA, 1993; BELLI FILHO, 1995; DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998; DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; FERREIRA et al., 2006, 2007; GOMES et al., 2009; BABOT et al., 2011).

### **2.2.1. Volume de dejetos produzidos**

A implantação do conceito de uso eficiente da água na produção de suínos através da instalação de bebedouros eficientes e da introdução de melhores práticas de manejo no programa de limpeza e desinfecção contribui, significativamente, para a redução do volume total de dejetos produzidos nos sistemas de produção de animais confinados. As condições climáticas observadas nas granjas, associadas ao volume de água consumido pelos animais, influenciam a quantidade de urina

produzida diariamente pelos suínos (OLIVEIRA, 2002; BRUMM, 2006; BABOT et al., 2011). A cada litro de água ingerido pelo suíno são produzidos, em média, 0,6 litros de dejetos líquidos (OLIVEIRA, 1993), podendo, no entanto, essa relação variar de acordo com a eficiência do uso da água na produção (FERREIRA et al., 2006).

O tipo de alimentação fornecido ao suíno, no contexto da minimização dos dejetos, tem influência na produção de urina e, conseqüentemente, no volume total gerado. Por exemplo, o aumento da digestibilidade da matéria seca na ração de 85 para 90% pode reduzir, aproximadamente, 30% das fezes presentes nos dejetos (base: matéria seca) (JONGBLOED; LENIS, 1998; JONGBLOED, 2008).

O conhecimento do volume de dejetos produzido nas diferentes fases fisiológicas dos animais é fundamental para o planejamento e definição do sistema de manejo e gestão dos efluentes (OLIVEIRA, 1993, DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998; BABOT et al., 2011). O volume de dejetos gerado nas granjas, considerando a massa corporal, o consumo de água e, a produção total de urina pode ainda variar segundo a quantidade de água presente. Especificamente, é importante referir que os dejetos gerados na fase fisiológica de C<sub>T</sub>, quando comparados com as demais fases da cadeia produtiva, são os que apresentam características prejudiciais e com maior impacto para o ambiente.

No Quadro 5 apresentam-se os valores de referência da IN-11 da FATMA para a produção de dejetos suínos de acordo com o sistema produtivo.

**Quadro 5:** Valores de referência da IN-11 da Fundação do Meio Ambiente para a produção de dejetos de acordo com o sistema produtivo.

Sistema Produtivo	Massa Corporal (kg)	Volume Dejetos (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )
Ciclo Completo <sup>†</sup>	---	47,1
Unidade Produção Leitões <sup>†</sup>	---	22,8
Unidade Produção Desmamados <sup>†</sup>	---	16,2
Crechário <sup>‡1</sup>	6-28	2,3
Crescimento-Terminação <sup>‡2</sup>	23-120	4,5

<sup>†</sup> Volume diário de dejetos produzido por matriz alojada;

<sup>‡1</sup> Massa corporal: 7,0 – 25,0 kg; <sup>‡2</sup> Massa corporal: 25,0 – 120,0 kg;

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

### **2.2.2. Caracterização físico-química**

Os dejetos produzidos em granjas de suínos apresentam características físicas, químicas e biológicas muito variáveis (OLIVEIRA, 1993; BABOT et al., 2011). Tais variações podem ser associadas, essencialmente, ao manejo do produtor na granja, assim como aos fatores citados para a quantidade e qualidade dos dejetos produzidos (DUARTE, 1991; OLIVEIRA, 1993; BELLI FILHO, 1995; DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998; DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; FERREIRA et al., 2006, 2007; GOMES et al., 2009; BABOT et al., 2011). Embora seja difícil identificar o fator mais impactante, alguns são referenciados como os mais relevantes para as variabilidades observadas, tais como: a fase fisiológica, o manejo do produtor, o tipo de bebedouro e comedouro, e a ração.

Com o objetivo de reduzir as características poluentes dos dejetos produzidos, a manipulação das rações surge como uma das soluções mais referenciadas (JONGBLOED; LENIS, 1998; JONGBLOED, 2008; BABOT et al., 2011). Neste contexto, convém salientar que a composição e a digestibilidade dos principais nutrientes fornecidos aos animais (nitrogênio, fósforo e potássio) influencia nas características físico-químicas dos dejetos produzidos. Assim, estima-se que 92 a 96% do Zinco, 72 a 80% do total de cobre e 60 a 70% do nitrogênio ingerido pelos suínos sejam excretados pelos mesmos no dejetos (JONGBLOED; LENIS, 1998; JONGBLOED, 2008). Os dados físico-químicos disponíveis na literatura apresentam elevada complexidade de análise pela variabilidade que vêm apresentando. A sua comparação ao longo dos anos tem sido complicada face ao vazio de informações sobre o tipo de experimento, a duração e as condições em que em que as pesquisas foram desenvolvidas (FERREIRA et al., 2006, 2007).

## 2.3. A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E AMÔNIA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

O relatório publicado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) - “*Livestock’s long shadow: environmental issues and options*” indica que a produção pecuária tem sido uma das maiores responsáveis pelos problemas ambientais no mundo (STEINFELD; WASSENAAR, 2007; SUTTON et al., 2011b), contribuindo a nível global, e em média, com 15% das emissões antrópicas de GEE (STEINFELD et al., 2006) podendo variar, no entanto, entre 10 e 35% (McMICHAEL et al., 2007).

A produção de suínos foi em 2010, a atividade que mais contribuiu para o aumento da disponibilidade de proteína animal no mundo, sendo responsável por 37% das 296 x 10<sup>6</sup> toneladas de carcaça produzidas e por 13% das emissões totais de GEE do setor pecuário (MACLEOD et al., 2013). Os principais GEE referidos pelo *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC) na produção de suínos são o vapor de água, o CO<sub>2</sub>, o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O. A amônia, não sendo um GEE, é usualmente designada como gás precursor do “efeito estufa”. Tal fato decorre dos efeitos observados pela sua presença nas concentrações dos demais gases (e.g., o N<sub>2</sub>O), intervindo nos processos e reações químicas que regulam a sua produção e dissociação (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006, 2007). Assim, dada a importância da atividade suinícola no contexto mundial de produção de proteína animal, torna-se essencial mensurar as emissões dos GEE e NH<sub>3</sub>, bem como caracterizar as suas fontes de emissão [e.g., o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O quando comparados com o CO<sub>2</sub> apresentam um potencial de aquecimento 25 e 298 vezes superior para um período de 100 anos, respectivamente (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007)].

### 2.3.1. Fontes de emissão

A caracterização das fontes de emissão dos gases na produção de suínos é um tema incontornável para o desenvolvimento dos sistemas de produção, sendo possível avaliar, majoritariamente, as emissões de NH<sub>3</sub> e, em proporções menores, dos GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O). Neste contexto, são apresentadas as principais fontes de emissão destes gases na produção de suínos, bem como, uma breve descrição dos principais fatores responsáveis pela sua variação nos edifícios de alojamento.

### 2.3.1.1. Dióxido de carbono

As emissões de CO<sub>2</sub> nos edifícios de alojamento de suínos provêm da respiração dos animais (expiração) e da degradação da matéria orgânica presente nos dejetos.

#### **Expiração dos animais**

A produção de CO<sub>2</sub> no processo de respiração relaciona-se com o coeficiente respiratório dos animais (relação CO<sub>2</sub> produzido:O<sub>2</sub> consumido), variando segundo a sua fase fisiológica (*e.g.*, matrizes reprodutoras: 0,90; leitões em C<sub>R</sub>: 1,0; suínos em C<sub>T</sub>: 1,10) (MOEHN et al., 2004; PEDERSEN et al., 2008; ATAKORA; MOEHN; BALL, 2011; BROWN-BRANDL et al., 2013). A expiração de CO<sub>2</sub> pode derivar também da produção de calor, ou seja, da energia usada para a manutenção, produção e termorregulação dos suínos. Diante do exposto, a produção de calor pode ser estimada em função da massa corporal dos suínos, do nível de produção, do comportamento e atividade do suíno, da quantidade de energia ingerida na ração e da temperatura ambiente, para as diferentes fases fisiológicas de produção (COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 2002; BROWN-BRANDL et al., 2013). Convém salientar, que a maioria dos modelos disponíveis para determinar a exalação de CO<sub>2</sub> foi desenvolvida para a fase fisiológica de C<sub>T</sub> a partir de pesquisas ou revisões disponíveis na literatura (PHILIPPE; NICKS, 2015) sendo estes, simplificados em função da curva de crescimento dos suínos (AUBRY et al., 2004).

#### **Degradação da matéria orgânica presente nos dejetos**

A emissão de CO<sub>2</sub> a partir dos dejetos suínos foi negligenciada durante anos pela comunidade científica (van't KLOOSTER; HEITLAGER, 1994). No entanto, embora não seja a principal fonte de CO<sub>2</sub> nos edifícios de alojamento, resultados citados na literatura mostram a importância da sua estimativa a partir dos dejetos produzidos [*e.g.*, a emissão estimada de CO<sub>2</sub> a partir dos dejetos representa 4-5% (COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 2002; de SOUSA; PEDERSEN, 2004; DONG et al., 2007) ou 10-30% do valor expirado pelos suínos (PHILIPPE et al., 2007a; 2007b; PEDERSEN et al., 2008; PHILIPPE et al., 2012)]. Resultados de pesquisas realizadas com suínos alojados em sistema de cama indicaram uma produção de

calor a partir da cama superior à dos animais alojados (OLIVEIRA, 1999).

Nos dejetos, o  $\text{CO}_2$  pode ser gerado a partir de três rotas: (1) hidrólise da ureia em  $\text{NH}_3$  e  $\text{CO}_2$ , catalisada pela enzima urease; (2) fermentação anaeróbia da matéria orgânica em compostos intermediários (*e.g.*, ácidos graxos voláteis,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ); (3) degradação aeróbia da matéria orgânica (MØLLER; SOMMER; AHRING, 2004; WOLTER; PRAYITNO; SCHUCHARDT, 2004). A rota de fermentação anaeróbia tem sido considerada, frequentemente, como a maior fonte de emissão de  $\text{CO}_2$  (NI et al., 1999). No entanto, pesquisas realizadas em laboratório mostram resultados opostos, ou seja, o processo aeróbio apresenta valores de emissão similares e mesmo superiores ao processo anaeróbio (com temperaturas de 20 e 15 °C, respectivamente) (MØLLER; SOMMER; AHRING, 2004). Embora a existência de encrustamento na superfície do dejetos reduza a emissão de  $\text{NH}_3$  (SOMMER; HUTCHINGS, 1995), esta poderá conduzir à oxidação de  $\text{CH}_4$  em  $\text{CO}_2$  durante a passagem do gás pela porosidade da crosta formada. (PETERSEN; AMBUS, 2006; NIELSEN et al., 2013).

### 2.3.1.2. *Metano*

As emissões de  $\text{CH}_4$  nos edifícios de alojamento provêm da fermentação entérica no trato digestivo dos suínos e da degradação anaeróbia da matéria orgânica presente nos dejetos.

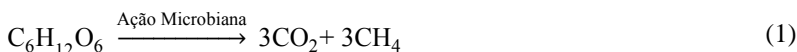
### **Fermentação entérica no trato digestivo dos suínos**

A produção de  $\text{CH}_4$  por via entérica é determinada a partir do teor de fibras da ração e da capacidade fermentativa do intestino grosso dos suínos. Assim, enquanto o aumento da produção de gás está associado ao aumento do teor de fibras na ração (fonte e solubilidade), a capacidade fermentativa vai depender da fase fisiológica e da idade dos animais (LE GOFF et al., 2002; PHILIPPE et al., 2008; DOURMAD, 2012). Neste contexto, as matrizes emitem mais  $\text{CH}_4$  por fermentação entérica, pois entre outros fatores, a fêmea possui uma maior capacidade de ingestão, uma maior habilidade da flora intestinal para digerir fibra, um elevado número de bactérias e um período de tempo do trânsito intestinal superior (LE GOFF et al., 2002).



## Degradação da matéria orgânica presente nos dejetos

As emissões de CH<sub>4</sub> dos dejetos produzidos são geradas a partir de um conjunto de processos microbianos em determinado espaço temporal (MONTENY; BANNINK; CHADWICK, 2006; PETERSEN et al., 2013). O processo de degradação anaeróbia da matéria orgânica dos dejetos pode ser resumido segundo a Equação (1).



No início do processo, as bactérias convertem os substratos facilmente degradáveis em ácidos graxos voláteis, dióxido de carbono e hidrogênio. Posteriormente, bactérias metanogênicas, em condições favoráveis no meio, convertem o acetato, o dióxido de carbono e o hidrogênio em metano. É importante salientar que existem fatores que favorecem a degradação da matéria orgânica por via anaeróbia, tais como: ausência de oxigênio, alta temperatura, baixo potencial redox, teores elevados de matéria orgânica degradável, baixas concentrações de sulfato e nitrato, pH neutro e uma relação Carbono:Nitrogênio entre 15 e 30 (EL-MASHAD et al., 2004; MØLLER; SOMMER; AHRING, 2004; SAGGAR et al., 2004; KEBREAB et al., 2006). Em condições aeróbias ou em elevadas concentrações de amônio e sulfuretos, a produção de CH<sub>4</sub> é inibida (MONTENY; BANNINK; CHADWICK, 2006; PETERSEN et al., 2013).

A emissão de CH<sub>4</sub> a partir dos dejetos pode ser estimada, segundo o “*National Greenhouse Gas Inventories*”, a partir da Equação (2).

$$E\text{-CH}_4\text{Dej} = \text{SV}_{\text{Dej}} \cdot \text{B}_0 \cdot \text{FCM} \quad (2)^1$$

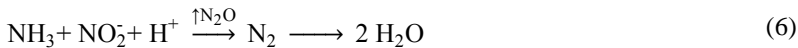
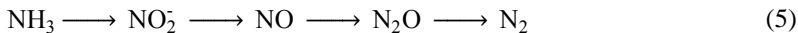
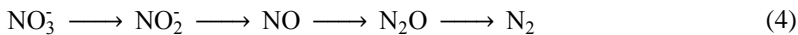
<sup>1</sup> Intergovernmental Panel On Climate Change (2006).

Em que:

- ✘ **E-CH<sub>4</sub>Dej**: emissão de CH<sub>4</sub> dos dejetos (m<sup>3</sup>);
- ✘ **SV<sub>Dej</sub>**: sólidos voláteis ou matéria orgânica no dejetos (kg);
- ✘ **B<sub>0</sub>**: potencial de produção de metano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>·kg<sup>-1</sup> SV); e,
- ✘ **FCM**: água para limpeza (%).

### 2.3.1.3. Óxido nitroso

Nos edifícios de alojamento dos suínos, as emissões de N<sub>2</sub>O provêm exclusivamente dos dejetos produzidos durante o processo incompleto de nitrificação/desnitrificação [transformação de NH<sub>3</sub> em nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>)] (MONTENY; BANNINK; CHADWICK, 2006; PETERSEN et al., 2013; PHILIPPE; NICKS, 2015). As principais vias microbianas envolvidas na síntese de N<sub>2</sub>O são: (1) a nitrificação [Equação (3)]; (2) a desnitrificação [Equação (4)]; (3) a nitrificação/desnitrificação [Equação (5)]; e (4) a Anamox [Equação (6)] (PHILIPPE; NICKS, 2015).



No processo de nitrificação ocorre a conversão do NH<sub>3</sub> em nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) por bactérias autotróficas em condições aeróbias e com pH superior a 5 (KEBREAB et al., 2006). No decorrer deste processo, o N<sub>2</sub>O é sintetizado quando ocorre a acumulação de nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) e/ou a baixa concentração de oxigênio no meio (YE; THOMAS, 2001). Por sua vez, no processo de desnitrificação ocorre a redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em N<sub>2</sub> com a produção de diferentes compostos intermédios, entre eles o N<sub>2</sub>O. (YE; THOMAS, 2001; TALLEC et al., 2006, 2008). Nos dejetos suínos, a desnitrificação é realizada por bactérias aeróbias facultativas heterotróficas. No que diz respeito aos processos de nitrificação/desnitrificação e Anamox, a produção do N<sub>2</sub>O ocorre na oxidação do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) em condições aeróbias e anaeróbias sem, no entanto, se perceber ainda qual a contribuição de cada uma destas vias para a emissão do gás (PHILIPPE; NICKS, 2015).

### 2.3.1.4. Amônia

A NH<sub>3</sub> é um importante poluente atmosférico que acelera a formação de material particulado fino e desempenha um papel crucial na

acidificação, eutrofização e perda de biodiversidade nos ecossistemas (DEGRÉ; VERHÈVE; DEBOUCHE, 2001; KRUPA, 2003; SUTTON et al., 2011a), possuindo também relação indireta com a produção de  $N_2O$  (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006). Considerando os outros GEE, a  $NH_3$  representa mais de 95% das emissões antrópicas, produzidas majoritariamente na agricultura (BUIJSMAN; MAAS; ASMAN, 1987). Das emissões globais, aproximadamente 40% são provenientes dos edifícios de alojamento e dejetos pecuários, 19% a fontes naturais, 17% a fertilizantes, 13% a queima de biomassa, entre outros (PAIN et al., 1998; MISSELBROOK et al., 2000; GALLOWAY et al., 2004). A produção de suínos, especificamente, é responsável por 15% das emissões de  $NH_3$  associadas à pecuária, ressaltando-se a sua elevada variabilidade entre os países emissores (OLIVIER et al., 1998).

Nos edifícios de alojamento, dependendo da sua concentração, a  $NH_3$  pode causar efeitos adversos na saúde e bem-estar dos suínos e produtores (*e.g.*, irritação nos olhos, nas mucosas e na garganta, tosse, espirros, salivação e secreções lacrimais em excesso, perda de apetite e comportamento letárgico) (DONHAM, 2000; BANHAZI et al., 2008).

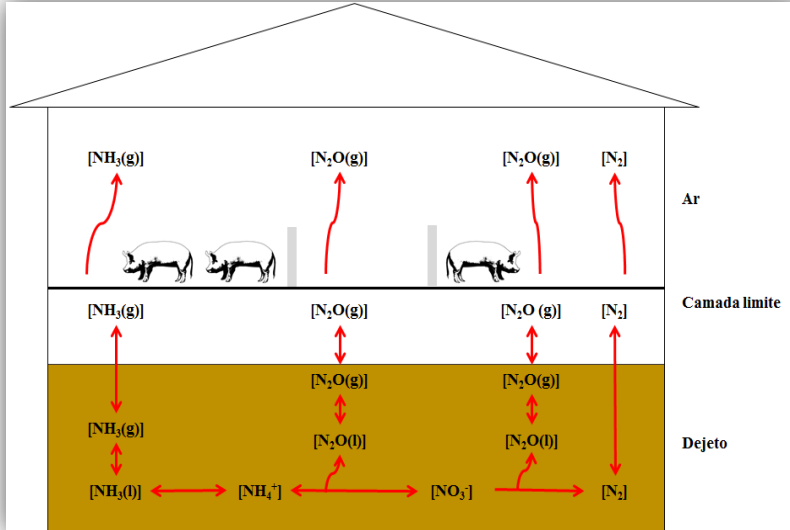
### Produção e emissão de $NH_3$

O nitrogênio excretado nos dejetos suínos sofre transformações químicas antes da sua liberação para o ambiente, tal como apresentado na Figura 9. As principais reações químicas que podem ocorrer são: (1) mineralização do nitrogênio orgânico em  $NH_3$ ; (2) assimilação do nitrogênio em matéria orgânica; (3) nitrificação da  $NH_3$  em  $NO_2^-$  e posteriormente em  $NO_3^-$  [Equação (3)]; e (4) desnitrificação do  $NO_3^-$  em  $N_2$  com o  $N_2O$  como potencial subproduto [Equação (4)] (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011).

Nos edifícios de alojamento dos suínos, as emissões de  $NH_3$  têm origem na mineralização do nitrogênio orgânico, que não sendo retido nos processos fisiológicos dos animais (*e.g.*, crescimento e desenvolvimento do tecido muscular), acaba excretado através da urina ( $\approx 80\%$ ) e das fezes (JONGBLOED; LENIS, 1998; MONTENY; ERISMAN, 1998; JONGBLOED, 2008), pelo que a maioria da produção de  $NH_3$  tem assim origem na hidrólise da ureia – “*Ureolysis*” [Equação (7)] (CORTUS et al., 2008).



**Figura 9:** Transformações químicas do nitrogênio nos dejetos e sua liberação para a atmosfera.



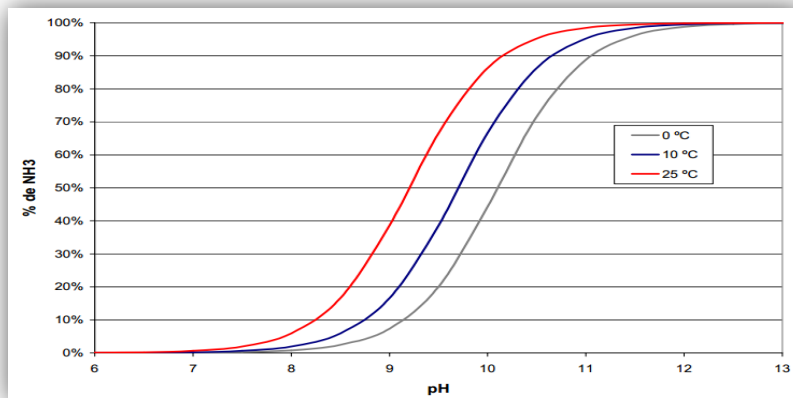
**Fonte:** adaptada de Sommer et al. (2006).

Na fase líquida, o nitrogênio amoniacal total encontra-se em equilíbrio entre o  $\text{NH}_4^+$  e a  $\text{NH}_3$  não ionizada [Equação (8)].



O equilíbrio entre os compostos referidos é influenciado tanto pela temperatura (efeito positivo na constante de dissociação  $K_a \rightarrow$  o aumento da temperatura favorece a concentração de  $\text{NH}_3$ ) quanto pelo pH [inferior a 7 (a maioria do nitrogênio amoniacal total apresenta-se na forma de  $\text{NH}_4^+$ ); maior que 7 (aumento da fração de  $\text{NH}_3$  não ionizada); e pH superior ou igual a 11 (maioria na fração  $\text{NH}_3$  não ionizada)]. A influência da temperatura (0 °C, 10 °C e 25 °C) e do pH (temperatura: 25 °C;  $pK_a=9,25$ ) sobre as duas formas de nitrogênio amoniacal podem ser observadas tanto na Figura 10 como na Figura 11, respectivamente.

**Figura 10:** Proporção de amônia livre no nitrogênio amoniacal, em função do pH e da temperatura.

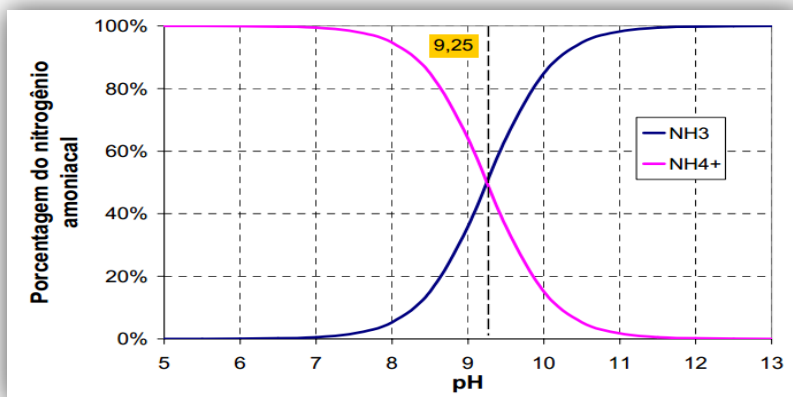


**Fonte:** adaptada de Souto (2009).

A volatilização da  $\text{NH}_3$  é controlada pela Lei de Henry em que as pressões parciais da  $\text{NH}_3$  (em meio gasoso) e as concentrações de  $\text{NH}_3$  (em meio líquido) são proporcionais entre si [Equação (9)] (GROOT KOERKAMP et al. 1998).



**Figura 11:** Proporção de amônia gasosa e íon amônio em função do pH do meio (temperatura: 25 °C;  $\text{pK}_a=9,25$ ).



**Fonte:** adaptada de Souto (2009).

O equilíbrio as formas de  $\text{NH}_3$  depende exclusivamente da temperatura [quanto maior a temperatura, maior a quantidade de  $\text{NH}_3(\text{g})$ ], sendo que a taxa de volatilização da  $\text{NH}_3$  corresponde ao produto do coeficiente de transferência mássica da  $\text{NH}_3$  (varia com a temperatura, velocidade do ar na camada limite da superfície sólida e/ou líquida e da área da superfície de emissão) e a diferença das pressões parciais entre os dois meios (camada limite da superfície e do ar) (MONTENY; ERISMAN, 1998; PEYRAUD et al., 2012). No Quadro 6 pode ser observada a influência de alguns fatores físicos e químicos produção e na volatilização da  $\text{NH}_3$ .

**Quadro 6:** Influência de fatores físicos e químico na produção e na emissão de amônia.

Processos	Temp.	pH	Ureia	Veloc. do ar	Sup. do Ar
“Ureolysis”	+	-	+	-	-
Dissociação	+	+	-	-	-
Volatilização	+	-	-	+	+

+ o fator aumenta as emissões; - o fator tem menor influência nas emissões.

**Fonte:** adaptado de Philippe, Cabaraux e Nicks (2011).

### 2.3.2. Fatores de variação das emissões de GEE e $\text{NH}_3$

Nos edifícios de alojamento, as emissões de GEE e  $\text{NH}_3$  podem ser afetadas por diversos fatores, podendo ser divididos em vários grupos, entre eles:

- ✘ **Características dos suínos:** estado fisiológico;
- ✘ **Condições ambientais:** temperatura, taxa de ventilação e variação nictemeral e sazonal;
- ✘ **Edifício de alojamento:** tipo de piso;
- ✘ **Manejo de dejetos:** frequência de remoção e “flushing”; e,
- ✘ **Nutrição:** teores de proteína bruta, fibra bruta e outros aditivos.

#### 2.3.2.1. Características dos suínos

Atualmente, diversos autores vêm apresentando resultados sobre as emissões de GEE [ $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  (Quadro 7)] e  $\text{NH}_3$  (Quadro 8)

nas diversas fases fisiológicas de produção, especificamente nas de  $C_R$  e de  $C_T$ , considerando os edifícios de alojamento de suínos com piso vazado.

**Quadro 7:** Emissões de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso em edifícios de alojamento com piso vazado, para a fase fisiológica de creche e crescimento-terminação.

Fase Fisiológica	Emissões GEE <sup>†</sup> (kg CO <sub>2</sub> -equiv. UA <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> ) <sup>‡</sup>		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Creche</b>			
Dong et al. (2007)	29,67	1,46	0,38
Cabaraux et al. (2009)	10,70	0,74	0,05
Costa e Guarino (2009)	6,00	0,61	1,08
<b>Crescimento-Terminação</b>			
Dong et al. (2007)	16,73	0,80	0,26
Philippe et al. (2007a)	12,84	3,01	1,19
Costa e Guarino (2009)	13,64	4,75	0,97
Guingand, Quiniou e Courboulay (2010)	17,82	1,95	0,47
Li, Powers e Hill (2011)	16,20	0,53	1,71
Ngwabie et al. (2011)	16,38	3,78	0,37

<sup>†</sup> Segundo Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O com potencial de aquecimento global de 25 e 298 para o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, respectivamente;

<sup>‡</sup> UA: unidade animal corresponde a 500 kg de massa corporal; na ausência de dados, valores padrão para a massa corporal foram estimados em 18 e 70 kg para os suínos nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação, respectivamente.

As emissões de CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> mostraram similaridade considerando as pesquisas citadas para a fase fisiológica de  $C_T$ . No entanto, na fase de  $C_R$  os valores de emissão exibem uma grande variação. Neste contexto, as diferenças observadas podem ser atribuídas a diversos fatores, tais como: edifícios de produção (*e.g.*, tipo de piso e ventilação), práticas diárias de manejo (*e.g.*, massa corporal ao desmame e tipo de ração fornecida) e a própria metodologia utilizada para a mensuração dos

gases (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015).

Na fase fisiológica de  $C_R$  os leitões apresentam maiores emissões de  $CO_2$  comparando com os suínos na fase de  $C_T$ , como consequência do fornecimento de ração à vontade aos animais (PHILIPPE; NICKS, 2015). Para a  $NH_3$ , as maiores emissões são reportadas para a fase de  $C_T$  (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011), pelo seu relacionamento direto com a massa corporal dos suínos (NI et al., 1999). Em relação às emissões de  $CH_4$ , estas mostram uma grande variação de valores dentro da mesma fase fisiológica. Tal fato pode advir dos fatores enumerados anteriormente, mas também da estratégia de manejo dos dejetos produzidos (sistema de remoção e período de armazenamento dos dejetos nos edifícios de produção) (PHILIPPE; NICKS, 2015).

**Quadro 8:** Emissões de amônia em edifícios de alojamento com piso vazado, para a fase fisiológica de creche e crescimento-terminação.

Fase Fisiológica	Emissões $NH_3$ <sup>†</sup>	
	g $NH_3$ ·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>	g $NH_3$ ·UA <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup>
<b>Creche</b>		
Groot Koerkamp et al. (1998)	0,72	24,3
Guinand (2003)	3,45	101,5
Hayes, Curran e Dodd (2006)	1,40	50,0
Philippe et al. (2007a); Cabaraux et al. (2009) <sup>‡</sup>	0,41	13,5
<b>Crescimento-Terminação</b>		
Groot Koerkamp et al. (1998)	7,2	57,8
Guinand (2003)	9,5	72,1
Hayes, Curran e Dodd (2006)	10,0	64,5
Philippe et al. (2007a); Cabaraux et al. (2009) <sup>†</sup>	6,2	45,9
Ngwabie et al. (2011)	4,6	-

<sup>†</sup> UA: unidade animal corresponde a 500 kg de massa corporal; na ausência de dados, valores padrão para a massa corporal foram estimados em 15 e 65 kg para os suínos nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação, respectivamente;

<sup>‡</sup> Os valores das emissões estão juntos pela semelhança das pesquisas.



No Quadro 7 pode ainda ser constatado que entre as duas fases fisiológicas analisadas ( $C_R$  e  $C_T$ ), as emissões não diferem significativamente para o  $CH_4$ . As emissões de  $N_2O$  são baixas em edifícios de alojamento com piso vazado, independentemente da fase fisiológica analisada. Em algumas pesquisas, os valores citados situaram-se próximos dos limites de detecção do equipamento (CABARAUX et al. 2009).

#### 2.3.2.2. *Condições ambientais*

Temperatura: atualmente, são poucos os estudos em granjas comerciais de suínos que mostram, especificamente, o efeito da temperatura nas emissões de gases pela sua correlação com o fluxo de ventilação (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011). No entanto, algumas pesquisas mostram uma relação positiva entre as emissões de gases com a temperatura (GRANIER; GUINGAND; MASSABIE, 1996; CORTUS et al., 2008; PHILIPPE; NICKS, 2015). Por exemplo, em suínos na fase fisiológica de  $C_T$ , as emissões de  $CO_2$  e  $CH_4$  duplicaram, respectivamente, com o aumento da temperatura nos dejetos de 15 para 20 °C (NI et al., 1999) e com o aumento da temperatura interna nos edifícios de alojamento de 16,8 para 22,8 °C (NGWABIE et al., 2011). Em relação à  $NH_3$ , a elevação da temperatura favorece as emissões, pois afeta diretamente os processos de hidrólise da ureia, a dissociação e volatilização da  $NH_3$  a partir do dejetos e, de modo indireto, o comportamento dos suínos nas baias (GRANIER; GUINGAND; MASSABIE, 1996; CORTUS et al., 2008).

No geral, as temperaturas registradas nos edifícios de alojamento permitem aos suínos definir áreas específicas de alimentação, descanso e excreção em cada baia [descansam em microclimas quentes com piso não vazado e excretam em microclimas frescos com piso vazado (HACKER et al., 1994). No entanto, em temperaturas elevadas, os suínos tendem a sujar a região do piso completo com o objetivo de criar áreas para resfriamento da sua superfície corporal pela evaporação (HUYNH et al., 2005a; AARNINK et al., 2006).

Ventilação: tal como referido para a temperatura, também a influência da taxa de ventilação nas emissões de GEE e  $NH_3$  têm vindo a ser pesquisadas (BLUNDEN; ANEJA; WESTERMAN, 2008; BLANES-VIDAL et al., 2008; PHILIPPE; NICKS, 2015). O

incremento da ventilação nos edifícios de alojamento de 160 para 3.350  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  levou a um aumento na emissão de  $\text{CO}_2$  de 0,8 para 25,8  $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ , considerando o metro quadrado de superfície dos dejetos (NI et al., 1999). Uma correlação de 0,79 (base tempo: hora) foi também estimada entre o fluxo médio de ventilação e a emissão de  $\text{CH}_4$  (BLANES-VIDAL et al., 2008). No mesmo contexto, uma pesquisa com suínos na fase fisiológica de  $\text{C}_T$ , alojados em piso totalmente vazado, mostrou que, embora as concentrações de  $\text{NH}_3$  tenham sido mais baixas, as emissões de gás foram superiores (aproximadamente 25%) devido ao aumento da taxa do fluxo de ar de 9,3 para 25,7  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (GRANIER; GUINGAND; MASSABIE, 1996). Granjas comerciais com diferentes tipos de ventilação (natural vs forçada) apresentaram resultados diferentes na emissão de  $\text{NH}_3$ , sendo 47% superiores nos edifícios com ventilação natural (GALLMANN; HARTUNG; JUNGBLUTH, 2003). Embora a localização das entradas e saídas de ar dos edifícios de alojamento tenha pouca influência nas emissões de gases, em situações em que as saídas se localizam próximas da fonte de contaminação, a qualidade do ar melhorará substancialmente (MASSABIE; GRANIER; GUINGAND, 1999; HAYES; CURRAN; DODD, 2006; SAHA et al., 2010).

*Variabilidade nictemeral e sazonal:* as emissões de GEE e  $\text{NH}_3$  apresentam um padrão nictemeral (diurno) e sazonal (verão), associadas ao efeito da temperatura, da taxa de ventilação, da atividade do animal, do regime alimentar e do seu regime excretório (AARNINK et al., 1996; AARNINK et al., 1997; GUARINO et al., 2003; de SOUSA; PEDERSEN, 2004; HARPER; SHARPE; SIMMONS, 2004; MOEHN et al., 2004; BLANES-VIDAL et al., 2008; GUARINO; COSTA; PORRO, 2008; GUINGAND; QUINIOU; COURBOULAY, 2010; PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015). Usualmente, os picos de emissão nos edifícios de alojamento dos animais são observados durante o período de alimentação (MOEHN et al., 2004).

### 2.3.2.3. *Edifício de alojamento – tipo de piso*

Os edifícios de alojamento, dependendo da fase fisiológica de produção possuem, usualmente, sistemas de piso compacto ou vazado (total ou parcial) de concreto ou plástico, com canaletas internas situadas em posição inferior à posição dos suínos (PHILIPPE; NICKS, 2015; SOUZA-VILAS BOAS et al., 2016). Nos últimos anos, o sistema

de cama tem voltado com interesse renovado por questões ligadas ao bem-estar animal, à redução de odores na produção e à melhoria da imagem dos sistemas produtivos (“*Benchmarking*”) (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015). Segundo os autores, os dois sistemas de piso podem influenciar as emissões de GEE e NH<sub>3</sub> por diversos fatores.

*Sistema de piso vazado e semivazado*: no Quadro 9 são apresentadas pesquisas realizadas para a fase fisiológica de C<sub>T</sub>, onde se observam valores diferentes na emissão de GEE e NH<sub>3</sub> entre os dois tipos de piso (semivazado vs vazado).

**Quadro 9:** Sistema de piso vazado e semivazado: efeito do tipo de piso nas emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NH<sub>3</sub>.

Tipo de piso	Emissões <sup>†</sup>			
	CO <sub>2</sub> (kg)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	NH <sub>3</sub> (g)
<b>Vazado</b>				
Sun et al. (2008)	3,38	-	-	-
Guingand, Quiniou e Courboulay (2010)	2,48	9,7	0,19	8,9
Philippe et al. (2014)	1,45	5,4	0,23	5,14
<b>Semivazado</b>				
Sun et al. (2008)	2,95	-	-	-
Guingand, Quiniou e Courboulay (2010)	2,31	11,2	0,24	9,1
Philippe et al. (2014)	1,46	4,8	0,21	5,72

<sup>†</sup> unidade: em suíno<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>.

A comparação entre os dois sistemas de piso (vazado vs semivazado) mostra uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> [12,7% para piso vazado (SUN et al., 2008) e de 6,8% para piso semivazado (GUINGAND; QUINIQU; COURBOULAY, 2010)]. Para as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O os valores obtidos mostram, por um lado a redução das emissões (PHILIPPE et al., 2014) mas, por outro, o aumento em edifícios com sistema de piso semivazado (GUINGAND; QUINIQU; COURBOULAY, 2010). A NH<sub>3</sub> apresenta uma redução das emissões em edifícios com sistema de piso semivazado (AARNINK et al., 1996;

GROOT KOERKAMP et al., 1998; SUN et al., 2008), mas maiores taxas de volatilização (GUINGAND; GRANIER, 2001). Em geral, o sistema de piso semivazado pode reduzir as emissões de GEE entre 4 e 13% (PHILIPPE; NICKS, 2015). As diferenças encontradas nas diferentes pesquisas para as emissões de  $\text{NH}_3$  podem ser explicadas em grande parte, pelo comportamento dos animais e pelo grau de limpeza observado no piso compacto (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; DOURMAD, 2012; PHILIPPE; NICKS, 2015). Usualmente, é assumido que a emissão está relacionada com a sua superfície de emissão dos dejetos (PHILIPPE; NICKS, 2015). Da análise das pesquisas apresentadas, vem-se observando que a diferença entre os valores obtidos entre os experimentos disponíveis na literatura são superiores aos resultados obtidos em cada sistema avaliado. Neste contexto, as diferenças não podem ser explicadas exclusivamente a partir do tipo de piso (emissões diferentes dependendo da pesquisa), sendo essencial verificar a validade da redução das emissões descrevendo com precisão o sistema produtivo (e.g., edifício de alojamento, equipamento de mensuração, fase fisiológica, tipo de ração, manejo e condições ambientais) (ROBIN, 2016).

*Sistema de cama*: este sistema quando comparado com o sistema de piso vazado é associado ao aumento das emissões de  $\text{CO}_2$ , à redução das emissões de  $\text{CH}_4$  e a um grande aumento das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ . Em relação à  $\text{NH}_3$ , os resultados citados na literatura para as emissões deste gás são também conflitantes e de análise necessária. As emissões dos GEE e  $\text{NH}_3$  no sistema de cama podem ser afetadas por diversos fatores, tais como: o tipo de substrato, quantidade, frequência de aplicação, disponibilidade de espaço, manejo e sistema de remoção (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015). Vários tipos de substratos já foram estudados para avaliar as emissões de GEE e  $\text{NH}_3$ . O substrato mais utilizado é a palha, no entanto, a serragem, a maravalha e a turfa também podem ser utilizadas (ROBIN; OLIVEIRA; KERMARREC, 1999; ZHOU et al., 2015). Pesquisas realizadas tanto para a fase fisiológica de  $C_R$  quanto para a de  $C_T$  mostram que o comportamento das emissões de cada GEE e  $\text{NH}_3$  difere, segundo o tipo de substrato utilizado no sistema de cama (palha vs serragem) (NICKS et al., 2003; NICKS et al., 2004). No Quadro 10 são apresentados resultados de pesquisas realizadas, onde foram comparadas as emissões de GEE e  $\text{NH}_3$  entre os dois sistemas (piso vazado e cama), bem como o efeito do tipo de substrato utilizado na cama em alguns experimentos, para as fases fisiológicas de  $C_R$  e  $C_T$ .

**Quadro 10:** Sistema de piso vazado e sistema de cama: efeito nas emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NH<sub>3</sub> na fase fisiológica de creche e crescimento-terminação.

Fase Fisiológica		Emissões <sup>†</sup>			
		CO <sub>2</sub> (kg)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	NH <sub>3</sub> (g)
Creche	<b>Sistema piso vazado</b>				
	Cabaraux et al. (2009)	0,30	0,91	0,00	0,38
	Cabaraux et al. (2009)	0,34	0,86	0,01	0,44
	<b>Sistema cama</b>				
	Nicks et al. (2003) <sup>‡1</sup>	0,46	1,58	0,36	1,21
	Nicks et al. (2003) <sup>‡2</sup>	0,48	0,77	1,39	0,46
	Cabaraux et al. (2009) <sup>‡1</sup>	0,33	0,75	0,03	0,74
Cabaraux et al. (2009) <sup>‡2</sup>	0,43	0,52	0,32	0,67	
Crescimento-Terminação	<b>Sistema piso vazado</b>				
	Kermarrec e Robin (2002)	-	-	5,53	6,7
	Philippe et al. (2007a)	1,74	16,32	0,54	6,2
	Philippe et al. (2007b)	1,61	15,20	0,67	-
	Kim et al. (2008)	-	-	-	7,3
	<b>Sistema cama</b>				
	Kermarrec e Robin (2002) <sup>‡2</sup>	-	-	-	3,5
	Nicks et al. (2004) <sup>‡1</sup>	1,30	7,39	0,03	13,6
	Nicks et al. (2004) <sup>‡2</sup>	1,32	4,96	2,09	12,2
	Philippe et al. (2007a) <sup>‡1</sup>	1,97	16,03	1,11	13,1
Philippe et al. (2007b) <sup>‡1</sup>	1,77	8,88	0,68	-	
Kim et al. (2008) <sup>‡3</sup>	-	-	-	2,0	

<sup>†</sup> unidade: em suínos<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>;

<sup>‡1</sup> substrato: palha; <sup>‡2</sup> substrato: serragem; <sup>‡3</sup> substrato: ambos.

#### 2.3.2.4. Sistema de remoção de dejetos

Nas granjas de piso vazado, os dejetos podem ficar armazenados por longos períodos de tempo em canaletas internas que se localizam abaixo dos animais. Em granjas de piso completo em concreto, os dejetos produzidos são encaminhados e armazenados em canaletas externas, localizadas fora dos edifícios de produção. Em ambas as situações, os dejetos são conduzidos posteriormente para estruturas de armazenamento e/ou tratamento (e.g., esterqueiras, biodigestores tipo lagoa coberta) (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009; TAVARES et al., 2014). No contexto das emissões, tanto as canaletas internas quanto as externas são consideradas uma das maiores fontes para a emissão de gases a partir dos dejetos. Atualmente, existem várias estratégias de mitigação das emissões de GEE e  $\text{NH}_3$  no manejo dos dejetos, podendo-se destacar a frequência de remoção e a prática de “*flushing*” (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015).

Frequência de remoção: na literatura tem sido proposto que a acumulação dos dejetos na canaleta favorece a emissão de gases devido à redução da distância entre o nível do piso e a superfície da fonte emissora (dejeito), o que promove a turbulência do ar e a liberação dos gases (YE et al., 2009). Assim, de modo a evitar o aumento das emissões, tem sido proposta uma maior frequência na remoção dos dejetos das canaletas internas o que, conseqüentemente, permite reduzir as emissões nos locais de armazenamento externo, em função das menores temperaturas registradas (PHILIPPE; NICKS, 2015).

Pesquisas realizadas sugerem que as emissões de  $\text{CO}_2$  não são afetadas pela frequência de remoção dos dejetos (GUARINO et al., 2003; LAVOIE et al., 2006). Em relação às emissões de  $\text{CH}_4$  foram observadas reduções de 19% e 16%, respectivamente, para uma frequência de remoção semanal dos dejetos (GUARINO et al., 2003) e a cada dois dias (LAVOIE et al., 2006). Considerando também as frequências de remoção semanal e a cada dois dias, foram observadas reduções nas emissões de  $\text{NH}_3$  de 30 a 35% e 46%, respectivamente (GUINGAND, 2000). Quanto às emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , os resultados citados na literatura são contraditórios (PHILIPPE; NICKS, 2015).

“Flushing”: esta técnica de arraste dos dejetos com recurso à água tem sido utilizada como meio de mitigar as emissões gasosas na produção de suínos (PHILIPPE; CABARAUX; NICKS, 2011; PHILIPPE; NICKS, 2015). Resultados citados na literatura indicam que

o uso diário desta técnica pode reduzir até 35% as emissões globais dos gases (SOMMER; PETERSEN; MØLLER, 2004) e de aproximadamente 45% nas emissões de  $\text{NH}_3$  (LIM et al., 2004).

## 2.4. MODELAGEM MATEMÁTICA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

O planejamento da produção suinícola é, atualmente, um dos principais pilares para o sucesso da atividade. Através deste instrumento, é possível compreender sistematicamente os aspectos e processos associados à produção e, deste modo, definir de modo sustentável quais os procedimentos fundamentais para a realização das tarefas ditas comuns, nas granjas. Neste contexto, os modelos matemáticos enquadram-se como uma ferramenta essencial e eficiente para organizar, processar e sistematizar os dados coletados, resultando em informações pertinentes para a tomada de decisão diária dos produtores ou outros atores associados com a produção.

A modelagem matemática sendo considerada uma parte importante do processo evolutivo na ciência animal pode ser definida como “*uso de equações para descrever ou simular processos inseridos em um sistema*” (DUMAS; DIJKSTRA; FRANCE, 2008). Na produção de suínos, a modelagem apresenta-se como um importante instrumento de auxílio à tomada de decisão, podendo ser utilizada para estimativa de medidas referentes a características de interesse, entre elas as questões de gestão ambiental, levando em consideração diversos fatores em função das fases fisiológicas de produção, tais como: manejo, genética, nutrição e ambiente (van MILGEN et al., 2008).

### **2.4.1. Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos**

Os modelos não lineares assintóticos mais utilizados para descrever os estudos de crescimento e desenvolvimento animal são: Brody (BRODY, 1945), Gompertz (LAIRD, 1965), Logístico (NELDER, 1961), Richards (RICHARDS, 1959) e von Bertalanffy (von BERTALANFFY, 1957). É importante ressaltar que, embora existam na literatura diversas pesquisas em ciência animal utilizando os modelos não lineares assintóticos para estudar o crescimento e outros parâmetros de diferentes espécies de animais domésticos (FIALHO, 1999; OLIVEIRA; LÔBO; PEREIRA, 2000; DUTRA Jr. et al., 2001; McMANUS et al., 2003; PARO de PAZ et al., 2004; FREITAS, 2005; SARMENTO et al., 2006; AFONSO et al., 2009; THOLON; FREITAS, 2009; DRUMOND et al., 2013), não existe, contudo, referência à possibilidade de aplicar este tipo de modelo na estimativa do consumo



de água em função do crescimento dos animais (TAVARES et al., 2014).

Os modelos não lineares são funções matemáticas com variável independente ( $x$ ) [Equação (10)]. A expressão apresentada é considerada não linear em relação aos parâmetros  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ , sendo  $p$ , os elementos do vetor  $\beta$  (THOLON; FREITAS, 2009; MISCHAN, PINHO, 2014).

$$y = f(x, \beta) \quad (10)$$

Em geral, muitos processos científicos são descritos por modelos lineares, no entanto, os processos biológicos associados à ciência animal são inerentemente explicados por modelos não lineares (WHITTEMORE; TULLIS; EMMANS, 1988; MISCHAN, PINHO, 2014). Neste grupo de modelos não lineares são incluídos os assintóticos cuja representação gráfica apresenta uma assíntota horizontal, ou seja, quando a variável independente tende para o infinito, o limite da função é uma constante (MISCHAN, PINHO, 2014). Um exemplo utilizado para descrever o uso destes modelos é o crescimento de tecidos em animais ou plantas que são, geralmente, mais rápidos na fase inicial da vida, diminuindo posteriormente de velocidade e tendendo de seguida para a sua estabilização na vida adulta (FITZHUGH Jr., 1976; MISCHAN, PINHO, 2014; PARO de PAZ et al., 2004).

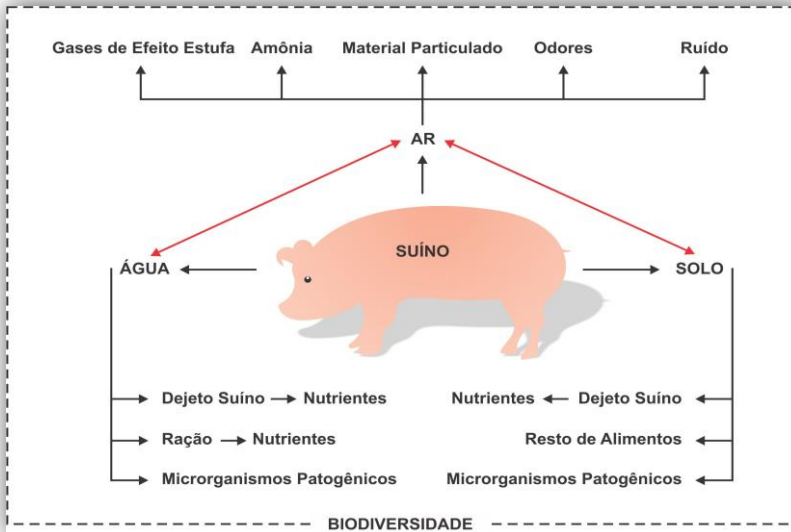
O ajuste de modelos não lineares assintóticos permite sintetizar informações dos animais em determinados períodos de tempo (*e.g.*, peso vivo em função da idade). Assim, nesse período de tempo, um conjunto de parâmetros pode ser interpretado biologicamente, facilitando o entendimento do fenômeno de crescimento e desenvolvimento animal (FITZHUGH Jr, 1976; WHITTEMORE; TULLIS; EMMANS, 1988; OLIVEIRA; LÔBO; PEREIRA, 2000; PARO de PAZ et al., 2004; FREITAS, 2005; SARMENTO et al., 2006; AFONSO et al., 2009; TAVARES et al., 2014).

#### **2.4.2. Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos**

Os dejetos produzidos nas granjas de suínos são associados a três grandes preocupações ambientais: eutrofização dos recursos hídricos, acumulação de nutrientes no solo e emissão de gases, odores e poeiras para a atmosfera conduzindo, na generalidade, a uma redução na biodiversidade do ecossistema próximo ao local de produção (JONGBLOED; LENIS, 1998; BASSET-MENS; van der WERF, 2005;

STEINFELD; WASSENAAR, 2007; JONGBLOED, 2008; RIGOLOT et al., 2010a; SUTTON et al., 2011b). Consequentemente, impactos diretos são muitas vezes detectados e associados à poluição das águas (nitratos, fósforo, matéria orgânica, elementos traço e microrganismos), à poluição do ar (emissão de gases, como a  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ ) e à poluição do solo (acumulação excessiva de fósforo, nitrogênio, cobre e zinco) (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a). Na Figura 12 podem ser observadas as diferentes pressões ambientais associadas à produção de suínos.

**Figura 12:** Pressões ambientais associadas à produção de suínos.



**Fonte:** Tavares (2012).

A redução dos riscos ambientais e dos custos de produção, bem como a melhoria da imagem e da qualidade final do produto oferecido aos consumidores apresentam-se como metas fundamentais para o desenvolvimento sustentável da atividade suinícola (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a). A definição precisa dessas metas permite o desenvolvimento de ferramentas quantitativas que possibilitem a estimativa do volume de dejetos produzidos e do teor de nutrientes que poderão ser liberados para o meio recetor natural. É importante ressaltar que a maioria dos impactos ambientais negativos resultantes da produção de suínos advém da coleta, armazenamento e utilização inadequada dos dejetos como fertilizantes

orgânicos (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a).

A modelagem matemática surge, neste contexto, como uma metodologia alternativa viável e de baixo custo para ajudar a compreender e quantificar alguns fenômenos implicados na produção animal (POMAR, 2014). Neste contexto, partindo de informações coletadas na própria granja (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a), a modelagem permite a agregação desse conhecimento bem como a validação de hipóteses antes da realização dos experimentos.

Na produção de suínos, têm sido desenvolvidos e apresentados alguns modelos exibindo, no entanto, limitações em função de restringirem as estimativas a fases fisiológicas (AARNINK; van OUWERKERK; VERSTEGEN, 1992; FERGUNSON; GOUS; EMMANS, 1994; STRATHE et al., 2015) ou nutrientes específicos (DOURMAD; GUILLOU; NOBLET, 1992). De fato, a maioria das pesquisas não apresenta capacidade de averiguar, ao mesmo tempo, todos os fatores que afetam a produção, concentrando-se assim em determinados tópicos específicos (POMAR, 2014).

Diante do exposto, e em face das dificuldades referidas anteriormente, um modelo matemático foi desenvolvido e validado a partir de dados da literatura para estimar o volume e a composição da urina e das fezes excretadas pelos suínos em todas as fases fisiológicas de produção. Para tal, os fluxos dos principais nutrientes são considerados desde a entrada da ração até à saída do edifício de alojamento por meio dos dejetos produzidos. As principais causas de variação consideradas no modelo relacionam a ingestão e composição nutricional da ração, desempenhos zootécnicos dos suínos e as condições ambientais nos edifícios de alojamento. Ao final, o modelo agrega o conhecimento obtido, permitindo verificar as hipóteses antes da realização de experimentos, bem como estimar alguns riscos ambientais associados aos dejetos (*e.g.*, teor de nitrogénio, fósforo, cobre, zinco e matéria orgânica) e o seu valor agronômico enquanto fertilizante (*e.g.*, matéria seca, nitrogénio total e disponível, matéria orgânica, potássio e fósforo) (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a).



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida em função de dois projetos de parceria técnico-científica entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Associação das Indústrias de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina (AINCADESC), o Sindicato da Indústria de Carnes e Derivados do Estado de Santa Catarina (SINDICARNE\_SC), o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA-UFSC) e a empresa Brasil Foods (BRF).

Para facilitar a compreensão do delineamento experimental proposto para responder aos objetivos específicos da pesquisa, os projetos realizados foram designados por:

**Projeto A:** “Determinação do consumo de água, da geração de dejetos e da emissão dos gases de efeito estufa na produção de suínos”:

- ✘ Realizado em granjas comerciais de suínos, na fase fisiológica de crescimento-terminação ( $C_T$ );
- ✘ Período de execução: outubro de 2010 a março de 2013.

**Projeto B:** “Determinação do consumo de água, da geração de dejetos e da emissão dos gases de efeito estufa, em unidades produtoras de leitões”.

- ✘ Realizado em granjas comerciais de suínos, nas fases fisiológicas de creche ( $C_R$ ) e em unidades produtoras de desmamados (UPD);
- ✘ As UPD compreenderam, na mesma localização geográfica, as fases fisiológicas de maternidade e gestação (em box e em baia);
- ✘ Período de execução: novembro de 2013 a dezembro de 2015.

O delineamento experimental de cada um dos projetos foi realizado em função de quatro etapas de campo. As descrições sumárias das etapas e os respectivos períodos de execução são exibidos no Quadro 11.

**Quadro 11:** Descrição sumária das etapas realizadas e do seu período de execução em cada projeto.

Etapas	Descrição Sumária	Período de execução	
		Projeto A	Projeto B
I	Visita às granjas de suínos representativas das diversas fases fisiológicas em estudo.	10/2010 a 12/2010	02/2014 a 05/2014
II	Seleção das granjas onde foram executadas as atividades de pesquisa.	12/2010 a 03/2011	05/2014 a 06/2014
III	Estudo piloto para adequação, validação e definição da metodologia final.	01/2011 a 04/2011	06/2014 a 07/2014
IV	Estudo de campo nas granjas selecionadas.	04/2011 a 05/2012	07/2014 a 09/2015

No desenvolvimento das Etapas I e II foram realizadas as seguintes atividades:

- ✘ Diagnóstico, coleta de informação e avaliação das granjas indicadas pela agroindústria; e,
- ✘ Seleção das granjas que apresentaram condições para a realização das atividades de pesquisa, de acordo com os seguintes critérios:
  - Localização geográfica da granja em relação à sede da EMBRAPA Suínos e Aves;
  - Integradas na mesma agroindústria;
  - Representatividade da granja para a fase fisiológica em estudo [UPD (n=4 granjas), C<sub>R</sub> (n=4 granjas) e C<sub>T</sub> (n=15 granjas)];
  - Fase fisiológica de C<sub>T</sub>: cinco granjas com cada tipo de bebedouro: chupeta bite-ball (BB), chupeta convencional (NI) ou taça/concha horizontal (BO);
  - Granjas UPD: dissociação do consumo de água e fluxo de dejetos para cada fase fisiológica em estudo.

No desenvolvimento das Etapas III e IV foram realizadas as seguintes atividades:

- ✘ Adequação, validação e definição da metodologia a executar no estudo de campo;
- ✘ Formação dos produtores, gerentes e funcionários das granjas com apresentação de procedimentos e protocolos a seguir; e,

- ✘ Avaliação do consumo de água, produção de dejetos e da emissão dos gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ), considerando:
  - Condições climáticas da região (período frio e quente);
  - Período de alojamento dos animais.

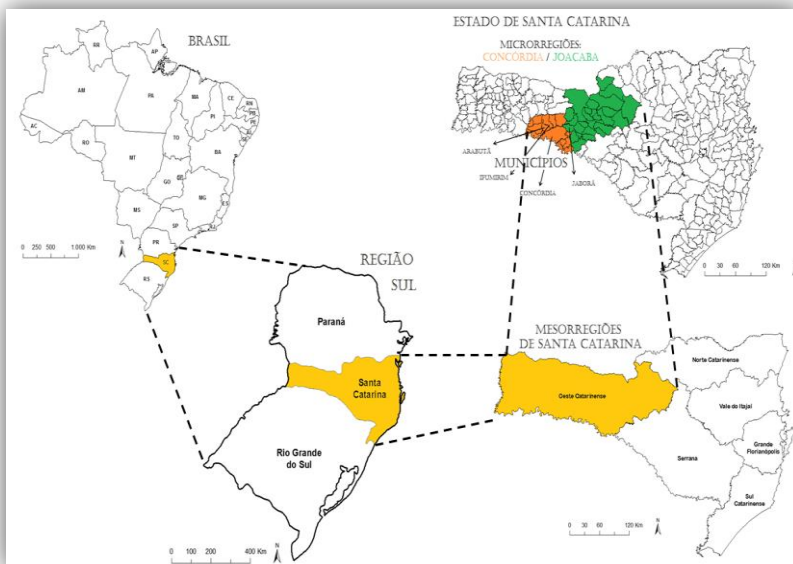
### **Localização, identificação e caracterização das granjas**

As granjas selecionadas no decorrer da Etapa II estavam compreendidas:

- ✘ **Estado da União:** Santa Catarina;
- ✘ **Mesorregião:** Oeste Catarinense;
- ✘ **Microrregiões:** Concórdia e Joaçaba; e,
- ✘ **Municípios:** Ararutã, Concórdia, Ipumirim e Jaborá.

As regiões e os municípios das granjas selecionadas no desenvolvimento da pesquisa são apresentados na Figura 13.

**Figura 13:** Regiões e municípios das granjas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa.



**Fonte:** Tavares (2012).

As informações específicas das granjas selecionadas nas diferentes fases fisiológicas da cadeia produtiva de suínos, em relação à sua localização, tipo de piso, tipo de bebedouro e sistema de armazenamento de dejetos nos edifícios de produção (tipo de canaleta) são apresentadas no Apêndice A.

No final das atividades desenvolvidas em ambos os projetos, e em função dos objetivos propostos na pesquisa, foi observada a existência de um elevado volume de dados e informações para cada fase fisiológica em avaliação. Assim, foi decidido apresentar neste documento apenas as informações relacionadas às atividades realizadas nas fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e de C<sub>T</sub>. As informações obtidas para as demais fases fisiológicas (maternidade, gestação em box e em baia) serão submetidas para publicação, posteriormente, em periódicos científicos.

### **Características dos sistemas de produção, dos suínos e dos edifícios de alojamento**

No desenvolvimento da pesquisa, o sistema de produção observado nas granjas foi o “*all in - all out*” (todos dentro-todos fora). Este tipo de sistema, com entrada e saída conjunta dos suínos, permitiu a avaliação contínua dos diferentes lotes de animais. Assim, as principais características dos suínos monitorados e avaliados nas fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e de C<sub>T</sub> são apresentadas, de forma resumida, na Tabela 1.

**Tabela 1:** Características dos animais alojados nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação.

<b>Fase Fisiológica</b>	<b>Genética*</b>	<b>N.º Suínos</b>	<b>ID<sub>I</sub><sup>‡</sup> (dias)</b>	<b>ID<sub>F</sub><sup>‡</sup> (dias)</b>	<b>MC<sub>I</sub><sup>§</sup> (kg)</b>	<b>MC<sub>F</sub><sup>§</sup> (kg)</b>
<b>C<sub>R</sub><sup>†1</sup></b>	♂ x ♀ <sub>HS</sub>	54.714	26	66	7,3	25,3
<b>C<sub>T</sub><sup>†2</sup></b>	♂ x ♀ <sub>HS</sub>	13.276	64	178	24,5	122,6

<sup>†1</sup> C<sub>R</sub>: fase de creche; <sup>†2</sup> C<sub>T</sub>: fase de crescimento-terminação;

\* ♀<sub>HS</sub> – matriz: genética *Landrace* e *Large White*; ♂ - macho: genética *Landrace* e *Large White* ou *Pietran*.

<sup>‡</sup> ID<sub>I</sub> – idade no começo do ciclo; ID<sub>F</sub> – idade no final do ciclo.

<sup>§</sup> MC<sub>I</sub> – massa corporal no começo do ciclo; MC<sub>F</sub> – massa corporal no final do ciclo.



Para as fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$  foram avaliados, no total, 32 e 33 ciclos de produção, respectivamente. A duração do ciclo de produção variou por fase fisiológica, tendo sido considerado para a creche um período de alojamento de 35 dias ( $t=5$  semanas) e para as granjas de crescimento-terminação, dois períodos distintos, um de 70 dias ( $t=10$  semanas) e outro de 105 dias ( $t=15$  semanas).

Na Tabela 2 são indicadas as principais características dos edifícios de alojamento das granjas selecionadas nas diferentes fases fisiológicas. Devido à existência de particularidades entre edifícios (*e.g.*, largura e comprimento da baia), são apresentados, quando necessário, os valores médios observados.

**Tabela 2:** Principais características dos edifícios de alojamento das granjas selecionadas nas diferentes fases fisiológicas.

<b>Características dos edifícios</b>	<b><math>C_R</math><sup>†1</sup></b>	<b><math>C_T</math><sup>‡2</sup></b>
<b>Comprimento total edifício (m)</b>	Variável	Variável
<b>Largura total do edifício (m)</b>	9,0	8,0
<b>Comprimento da baia (m)</b>	3,2	3,5
<b>Largura da baia (m)</b>	4,0	3,5
<b>Suínos por baia</b>	40	10
<b>Área disponível por suíno (m<sup>2</sup>)</b>	0,32	1,23
<b>N.º Bebedouros / N.º Comedouros</b>	4 <sup>†</sup> / 1	1 / 1
<b>Sistema de piso</b>	Semivazado	Completo
<b>Ventilação</b>	Natural	Natural
<b>Exaustor</b>	Sim	Não
<b>Sistema de aquecimento</b>	Sim	Não
<b>Cortina</b>	Dupla	Dupla
<b>Canaleta</b>	Interna	Externa

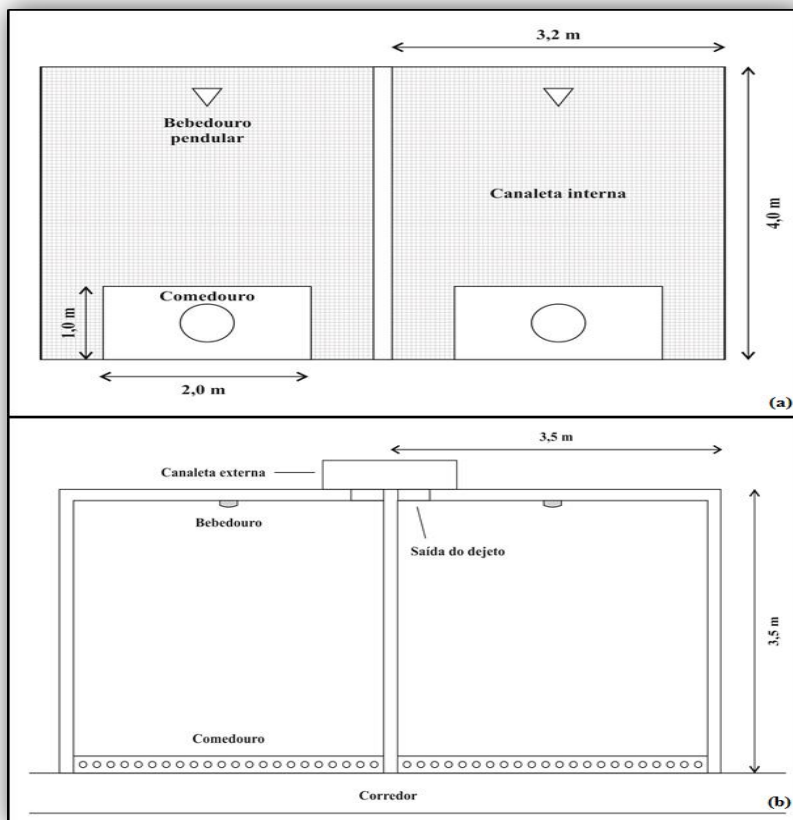
<sup>†</sup> Bebedouro pendular com saída dupla e bebedouros incorporados no comedouro (dois);

<sup>‡1</sup>  $C_R$  – fase de creche; <sup>‡2</sup>  $C_T$ : fase de crescimento-terminação.

De modo a ter uma perspectiva geral do interior dos edifícios de alojamento, na Figura 14 são apresentados os “*layouts*” de duas baias adjacentes, para ambas as fases fisiológicas, indicando a localização do

bebedouro, do comedouro e do sistema de armazenamento dos dejetos (canaleta interna e externa, respectivamente). Os diferentes sistemas de armazenamento de dejetos nos edifícios de alojamento de suínos podem ser visualizados no Apêndice B.

**Figura 14:** “Layout” de duas baias adjacentes para as fases fisiológicas de creche (a) e de crescimento-terminação (b).



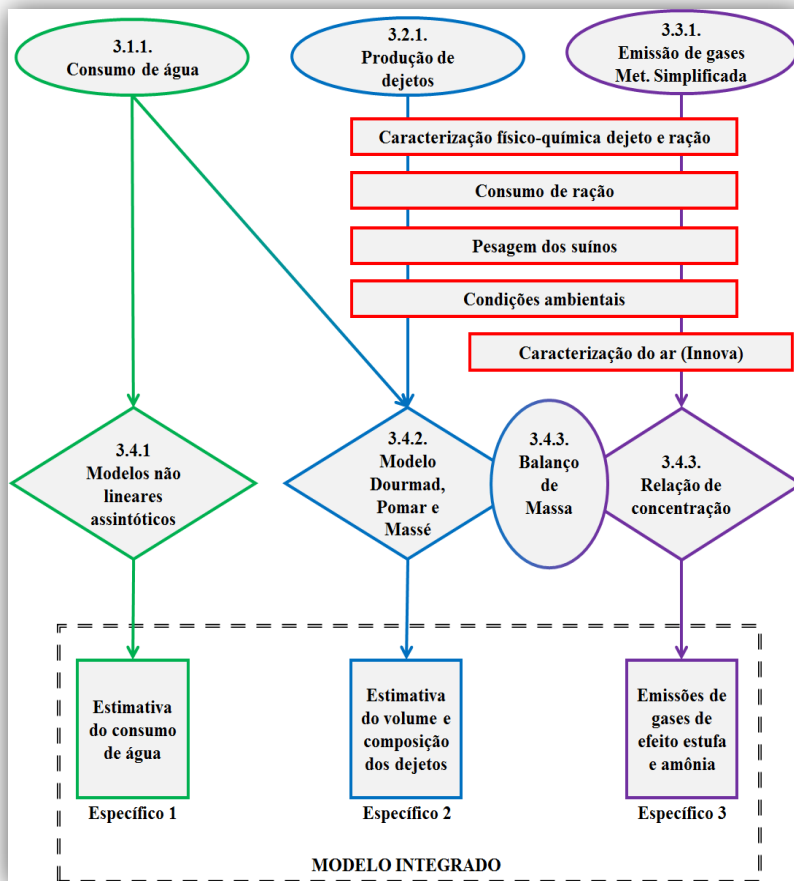
**Fonte:** (a) elaborada pelo autor (2016); (b) adaptada de Tavares et al. (2014).

### **Delineamento experimental**

No fluxograma da Figura 15 exibe-se, de forma resumida, a metodologia empregada no desenvolvimento da pesquisa, levando em consideração os objetivos definidos inicialmente em relação à estimativa do consumo de água, produção de dejetos e emissão de GEE e NH<sub>3</sub>.

Alguns procedimentos foram executados, especificamente, para obtenção de dados de entrada dos modelos utilizados, sendo sinalizados no fluxograma em vermelho.

**Figura 15:** Fluxograma com a metodologia empregada no desenvolvimento da pesquisa, levando em consideração os objetivos definidos.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

A metodologia descrita para a determinação do consumo de água (3.1) e da produção de dejetos (3.2) já foi publicada em artigo científico (Apêndice C; TAVARES et al., 2014). Assim, nessas seções são indicados de forma resumida os principais procedimentos realizados no desenvolvimento da pesquisa.

### 3.1. O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

O uso da água nas granjas comerciais de suínos foi avaliado e determinado em função dos seguintes itens:

- ✘ Consumo total de água pelos suínos (água ingerida + desperdício do animal no bebedouro);
- ✘ Mecanismo de resfriamento evaporativo (nebulização);
- ✘ Água de limpeza.

Os diferentes usos da água foram determinados após a instalação de 73 hidrômetros (marca Unimag Cyble PN 10, ITRÓN Inc., Liberty Lake, Washington), nas granjas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa. Cada equipamento foi instalado em uma das linhas de água que abastecia os edifícios de alojamento dos suínos (Figura 16). Os equipamentos foram sujeitos a uma avaliação prévia (controle de precisão das leituras) e, em caso de necessidade, substituídos antes do início da Etapa IV. No desenvolvimento do estudo de campo, cada produtor fez a leitura diária dos hidrômetros e registrou os valores de consumo de água dos animais em planilha específica. A equipe de campo coletou os dados semanalmente, para correção e eliminação de erros.

**Figura 16:** Hidrômetro e a sua instalação nas linhas de abastecimento de água.



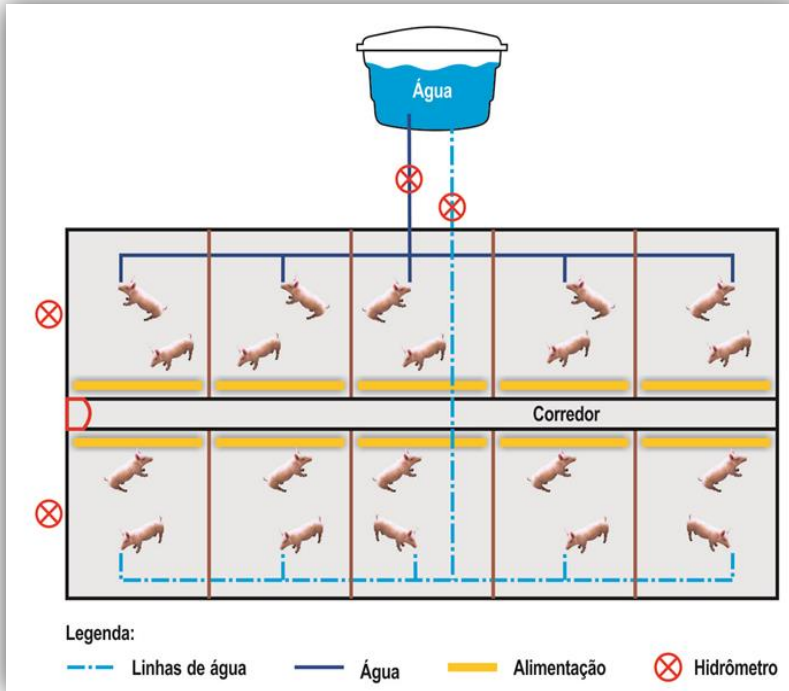
**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

### 3.1.1. Consumo total de água dos suínos

O consumo total de água pelos suínos (água ingerida + desperdício animal no bebedouro) foi determinado em função do seu período de alojamento [fases fisiológicas de  $C_R$  (35 dias) e de  $C_T$  (70 e 105 dias)]. Nas granjas de  $C_T$ , especificamente, o consumo de água foi ainda determinado segundo o tipo de bebedouro instalado para a dessedentação dos animais [BB, NI e  $BO_H$  (vide Figura 4)], sendo o equipamento NI considerado o elemento testemunha em todas as análises desenvolvidas para interpretação dos resultados obtidos. As leituras, tanto do primeiro quanto do último dia de alojamento, foram corrigidas em cada ciclo de produção em função da hora de entrada e de saída dos animais nos edifícios de produção. Após observação cuidadosa das leituras diárias, os erros nos valores de consumo derivados de problemas na rede hidráulica e nos bebedouros (vazamentos) foram analisados, corrigidos e, se necessário, excluídos do cálculo do consumo total de água (<1%). É importante ressaltar que o manejo diário do bebedouro pelo produtor não foi avaliado nas granjas (e.g., pressão da coluna de água, limpeza, regulagem da altura e inclinação), apesar da influência descrita na literatura sobre o consumo total de água dos suínos (NIENABER; HAHN, 1984; BARBER; BROOKS; CARPENTER, 1989; GONYOU, 1996; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; LI et al., 2005).

Na Figura 17 tem-se uma representação esquemática de um edifício de alojamento na fase fisiológica de  $C_T$  exibindo as linhas de abastecimento de água, os hidrômetros instalados e os comedouros. As granjas na fase fisiológica de  $C_R$ , tal como descrito anteriormente, apresentaram duas fontes de ingestão de água para os suínos [bebedouro independente (chupeta convencional pendular com saída dupla) e bebedouro incorporado no comedouro]; em relação às granjas  $C_T$ , estas possuíam um único bebedouro independente do comedouro. Com exceção dos bebedouros  $BO_H$  fixos na parede dos edifícios de alojamento a uma altura definitiva de 0,25 m do piso (fase fisiológica de  $C_T$ ), os demais equipamentos (BB e NI) foram ajustados pelos produtores ao longo do ciclo de produção. Embora a altura recomendada seja de 0,05 m acima do ombro (paleta) do menor suíno presente nas baias coletivas (GONYOU, 1996), não foi dado qualquer indicação ao produtor durante os ciclos de produção avaliados para observação das práticas de manejo dos equipamentos de dessedentação nas granjas comerciais.

**Figura 17:** Representação esquemática de uma granja de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação exibindo as linhas de abastecimento de água, os hidrômetros instalados e os comedouros.



Fonte: elaborada pelo autor (2016).

### 3.1.2. Água no controle da ambiência: nebulização

O volume de água consumido na nebulização foi também determinado através do registro diário do consumo de água a partir do preenchimento de planilha específica feito pelos produtores. No total das granjas selecionadas para as fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ , seis produtores não apresentaram o mecanismo de resfriamento instalado ( $C_{R02}$ ,  $C_{T04}$ ,  $C_{T07}$ ,  $C_{T09}$ ,  $C_{T13}$  e  $C_{T15}$ ). Na Figura 18 pode ser observada, como exemplo, a instalação das linhas de abastecimento de água do mecanismo de resfriamento evaporativo, bem como o funcionamento de um nebulizador.

**Figura 18:** Instalação da linha de abastecimento de água do mecanismo de resfriamento evaporativo, bem como o funcionamento de um nebulizador.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016). Fotos: Luiza Biesus | EMBRAPA.

### 3.1.3. Água nos processos de limpeza e desinfecção

Na Equação (11) é apresentada a expressão utilizada para o cálculo do volume de água gasto no processo de limpeza e desinfecção das granjas (*e.g.*, limpeza dos suínos na saída do edifício de alojamento e equipamentos).

$$A_L = [(L_F - L_I) \cdot 1000 / A_{Méd.}] / N_{Obs.} \quad (11)$$

Em que:

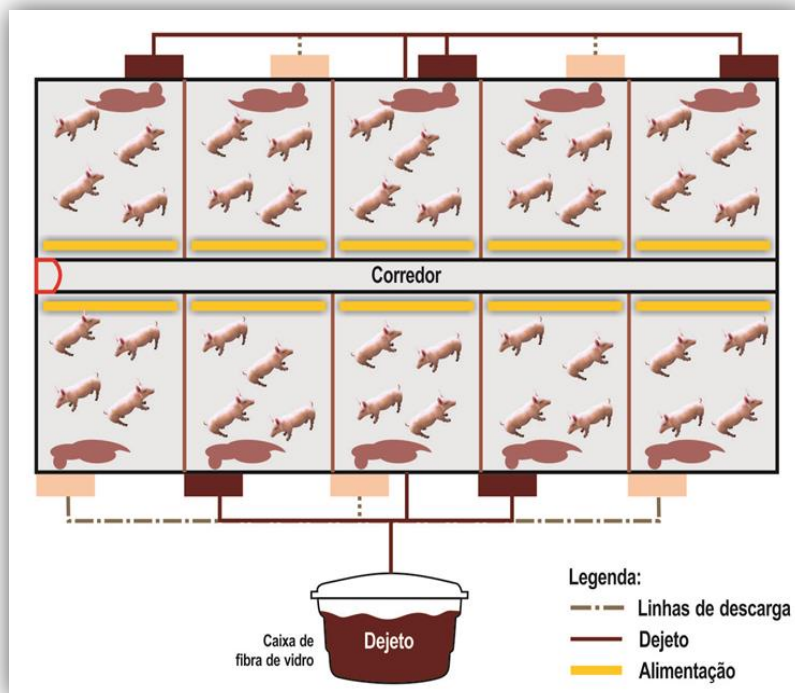
- ✘  $A_L$ : água de limpeza e desinfecção ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ );
- ✘  $L_F$ : leitura do hidrômetro após a saída dos suínos e no final do procedimento de limpeza e desinfecção ( $m^3$ );
- ✘  $L_I$ : leitura do hidrômetro antes do alojamento dos suínos ( $m^3$ );
- ✘  $A_{Méd.}$ : número médio de suínos alojados no ciclo de produção (suínos);
- ✘  $N_{Obs.}$ : número de observações no ciclo de produção (dias).

## 3.2. A PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA

### 3.2.1. Volume de dejetos produzidos

Na Figura 19 tem-se uma representação esquemática de uma granja de suínos na fase fisiológica de  $C_T$ , indicando as linhas de descarga, as canaletas externas e a caixa de fibra de vidro instalada entre o edifício de alojamento e o sistema de armazenamento/tratamento dos dejetos.

**Figura 19:** Representação esquemática de uma granja de suínos da fase fisiológica de crescimento-terminação exibindo as linhas de descarga, as canaletas externas e a caixa de fibra de vidro instalada para medição do volume de dejetos produzidos.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

A determinação do volume de dejetos produzidos diariamente foi realizada através da instalação de caixas de fibra de vidro com volume total de  $5 \text{ m}^3$ , marca Fibratec [PRFV 819 (diâmetro menor: 1,70 m;



diâmetro maior: 2,13 m; altura: 1,76 m), Araquari, SC, Brasil] e marca Fortlev [(diâmetro menor: 1,86 m; diâmetro maior: 2,21 m; altura: 1,64 m), Araquari, SC, Brasil]. Diariamente, o produtor efetuou a descarga dos dejetos armazenados nas canaletas internas e/ou externas para o interior das caixas de fibra de vidro; posteriormente, com o auxílio de uma régua graduada (em cm) a altura da lâmina de água do dejetos foi mensurada, registrando-se os valores obtidos em planilha específica. A equipe de campo coletou os dados semanalmente, para correção e eliminação de erros. No momento da descarga do dejetos da caixa de fibra de vidro, foi observado pelos produtores e membros da equipe de campo que uma determinada quantidade de sólidos ficava sedimentada/retida no fundo da caixa. Para evitar um erro por superestimação do volume de dejetos produzidos foi realizada a medição da altura dos sólidos retidos e estimado um valor de referência por granja. Na Figura 20 apresentam-se algumas caixas de fibra de vidro instaladas nas granjas, entre o edifício de alojamento e o sistema de armazenamento/tratamento, para determinação do volume de dejetos produzidos.

**Figura 20:** Caixas de fibra de vidro para determinação do volume total de dejetos produzidos.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

O procedimento de leitura da altura da lâmina de água dos dejetos produzidos pelos suínos pode ser observado na Figura 21, bem como o acúmulo de sólidos retidos no fundo das caixas de fibra de vidro.

**Figura 21:** Procedimento de leitura da altura da lâmina de água dos dejetos produzidos e o acúmulo de sólidos observado no fundo das caixas.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Tal como referido na determinação do consumo total de água pelos suínos, a produção de dejetos também foi determinada nas granjas de  $C_T$  em função do tipo de bebedouro instalado (BB, NI e  $BO_H$ ).

### 3.2.2. Caracterização físico-química dos dejetos

A caracterização físico-química foi realizada através de amostragem semanal dos dejetos produzidos nas granjas de suínos, com coleta pontual às segundas-feiras, segundo o delineamento experimental da pesquisa. Em cada amostragem, após a mistura dos dejetos retidos nas canaletas (internas ou externas) ou nas caixas de fibra de vidro, foram coletadas 10 alíquotas para um recipiente de 20 litros. Depois de nova homogeneização dos dejetos, uma amostra foi coletada com volume total de um litro. No período compreendido entre a coleta e a entrega das amostras para análise físico-química no laboratório da EMBRAPA Suínos e Aves, Município de Concórdia, os frascos foram condicionados em caixas térmicas com gelo.

O procedimento de amostragem dos dejetos em uma canaleta interna pode ser observado na Figura 22. O número de amostras coletadas por ciclo de produção variou em função da fase fisiológica e do período de alojamento considerado para os suínos (Tabela 3).

**Figura 22:** Procedimento de amostragem dos dejetos em uma canaleta interna.

**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

**Tabela 3:** Número de amostras coletadas por ciclo de produção em função do período de alojamento e da fase fisiológica dos suínos.

Fase Fisiológica	Alojamento (dias)	N.º Ciclos	Amostras·ciclo <sup>-1</sup>
C <sub>R</sub> <sup>†1</sup>	35	16	5
10C <sub>T</sub> <sup>‡2,‡</sup>	70	33	10
15C <sub>T</sub> <sup>‡2,‡</sup>	105	28	15

<sup>†1</sup> C<sub>R</sub>: fase de creche; <sup>‡2</sup> C<sub>T</sub>: fase de crescimento-terminação;

<sup>‡</sup> Na fase de crescimento-terminação a primeira semana de amostragem foi desconsiderada devido à variabilidade de entrada dos suínos nas granjas na semana (o laboratório só recebeu amostras para análise às segundas-feiras).

No Quadro 12 exibem-se as variáveis físico-químicas, os métodos e os princípios analíticos utilizados para caracterização das amostras de dejetos coletadas nas granjas selecionadas de acordo com o “*Standard Methods*” (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 2012). As variáveis físico-químicas analisadas foram: sólidos totais (ST), voláteis (SV) e fixos (SF), demanda bioquímica de oxigênio (DQO), carbono orgânico total (COT), nitrogênio Kjeldhal (N<sub>TK</sub>), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), fósforo total (P<sub>T</sub>), potássio (K), Cobre (Cu), zinco (Zn) e potencial hidrogeniônico (pH).

**Quadro 12:** Variáveis físico-químicas, métodos e seus princípios analíticos.

<b>Variáveis físico-químicas</b>	<b>Método</b>	<b>Princípio</b>
<b>Sólidos Totais</b>	SM 2540B	Gravimetria
<b>Sólidos Voláteis e Fixos</b>	SM 2540E	Gravimetria
<b>Demanda Química de Oxigênio<sup>†</sup></b>	SM 5220C	Colorimetria
<b>Carbono Orgânico Total<sup>‡</sup></b>	SM 5310B	Combustão
<b>Nitrogênio Kjeldahl</b>	SM 4500N	Titulometria
<b>Nitrogênio Amoníacal</b>	SM 4500NH <sub>3</sub>	Titulometria
<b>Fósforo Total</b>	SM 4500C	Colorimetria
<b>Potássio</b>	SM 3030E e 3111B	Abs. Atômica
<b>Cobre</b>	SM 3030E e 3111B	Abs. Atômica
<b>Zinco</b>	SM 3030E e 3111B	Abs. Atômica
<b>pH</b>	-	Potenciometria

<sup>†</sup> Análise realizada no Projeto A; <sup>‡</sup> Análise realizada no Projeto B.

Os resultados obtidos foram utilizados exclusivamente como dados primários de entrada nos modelos desenvolvidos e validados. Diante disto, não será apresentada uma discussão dos valores obtidos do decorrer da pesquisa.

### 3.3. A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E AMÔNIA

As concentrações e respectivas emissões dos gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ ) e  $\text{NH}_3$  foram determinadas para a fase fisiológica de  $C_R$  de acordo com a metodologia “simplificada” apresentada na literatura (PAILLAT et al., 2005; GUINGAND; QUINIOU; COURBOULAY, 2010; ROBIN et al., 2010; ROBIN, 2011). Os procedimentos realizados na aplicação desta metodologia foram baseados no levantamento de informações gerais, dados produtivos das granjas e em amostragens pontuais de ar (no interior e exterior dos edifícios e/ou salas de alojamento), para posterior determinação das emissões de GEE e  $\text{NH}_3$ , com base em dois métodos de cálculo:

- ✘ **Método dos “*défauts*” do balanço de massa:** permite calcular as perdas de água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio sob a forma gasosa, sem conhecer a importância relativa de cada espécie química (e.g.,  $\text{C-CO}_2$ ,  $\text{C-CH}_4$ ,  $\text{N-N}_2\text{O}$ ,  $\text{N-N}_2$  e  $\text{N-NH}_3$ );
- ✘ **Método das relações de concentração:** permite repartir as perdas gasosas totais, calculada pelos “*défauts*” do balanço de massa do carbono e das concentrações de gás medidas nos edifícios de alojamento.

#### Caracterização do sistema de produção

As características gerais das granjas foram fornecidas pelos produtores e pela agroindústria, permitindo a interpretação dos resultados obtidos e assegurando a representatividade dessas unidades na fase fisiológica de  $C_R$ , segundo o sistema e modelo de produção e a capacidade de alojamento dos edifícios. Nos dias de amostragem do ar interno e externo dos edifícios de produção, algumas informações específicas do ciclo foram coletadas, entre elas:

- ✘ Data, hora e fase do ciclo de produção;
- ✘ Número de suínos alojados;
- ✘ Idade inicial e idade final;
- ✘ Massa corporal inicial e massa corporal final;
- ✘ Água consumida e dejetos produzidos pelos suínos;
- ✘ Quantidade de ração ingerida;
- ✘ GMD, CA e mortalidade observada.

### **Caracterização do edifício de alojamento**

As características técnicas dos edifícios permitiram obter uma visão geral do mesmo. As informações obtidas em campo foram:

- ✗ Ano de construção dos edifícios de alojamento;
- ✗ Dimensões: largura, comprimento e pé direito da edificação;
- ✗ Tipo de piso, tipo de isolamento e tipo de ventilação;
- ✗ Número de equipamentos de alimentação e dessedentação instalados, bem como a sua disposição.

### **Caracterização do ar interno e externo das granjas**

As características do ar foram determinadas após amostragem pontual semanal (turno matutino e vespertino), do ar interno e externo dos edifícios na fase fisiológica de  $C_R$ , segundo o período de alojamento dos suínos (35 dias). Na pesquisa foram avaliados, no total, 16 ciclos de produção, contabilizando 10 amostras para o período matutino e 10 amostras para o período vespertino (ar interno + ar externo). Nas amostragens do ar foram utilizados os seguintes materiais (Figura 23):

- ✗ Bombas de ar de baixa vazão (entre 0,25 e 0,30 L·min<sup>-1</sup>);
- ✗ Dois sacos Tedlar<sup>®</sup> para cada edifício (ar interno e ar externo), estanques, fechados e com volume total de 10 litros;
- ✗ Filtros Millipore Millex- GV Hydrophilic PVDF (0,22 µm);
- ✗ Tubulação flexível em PTFE;
- ✗ Isopores para condicionamento das amostras coletadas.

Para amostragem do ar interno e externo, as duas bombas de ar foram conectadas aos respectivos sacos Tedlar<sup>®</sup>. Assim, permanecendo parado no mesmo local, tanto do lado interno quanto do lado externo do edifício de alojamento, um membro da equipe de campo procedeu a uma amostragem preliminar do ar com os sacos Tedlar<sup>®</sup>, por um período máximo de três a cinco minutos. Terminado esse período, as bombas foram desligadas e os sacos esvaziados e preparados para a amostragem final. As amostras de ar interno foram obtidas percorrendo o corredor central do edifício e as baias dos animais. Do lado externo, as amostras foram coletadas circulando ao redor das edificações, a uma distância mínima de cinco metros para evitar possíveis focos de contaminação difusa (e.g., estruturas de armazenamento e tratamento dos dejetos, máquinas e superfícies agrícolas) (Figura 23). Na Figura 24 tem-se uma

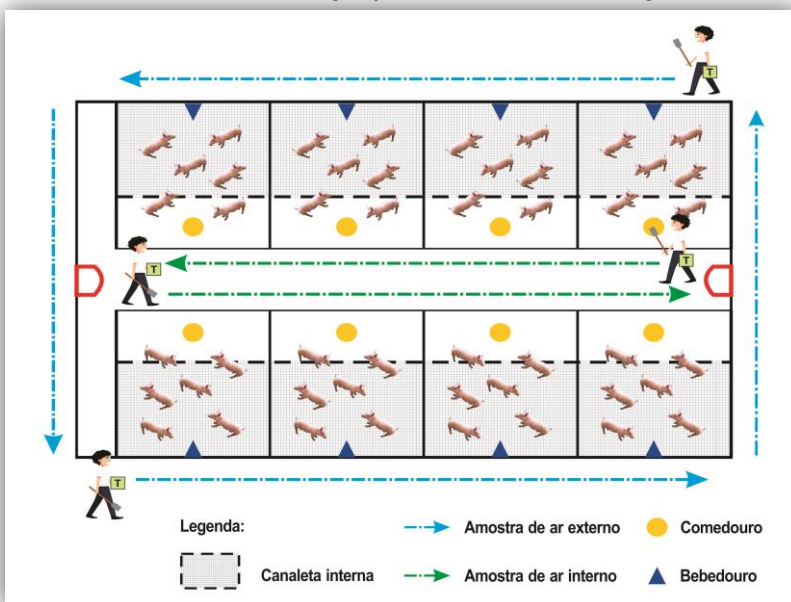
representação esquemática do “*modus operandi*” da amostragem do ar interno e externo de uma granja de suínos na fase fisiológica de  $C_R$ .

**Figura 23:** Equipamentos e procedimento utilizado na amostragem de ar.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

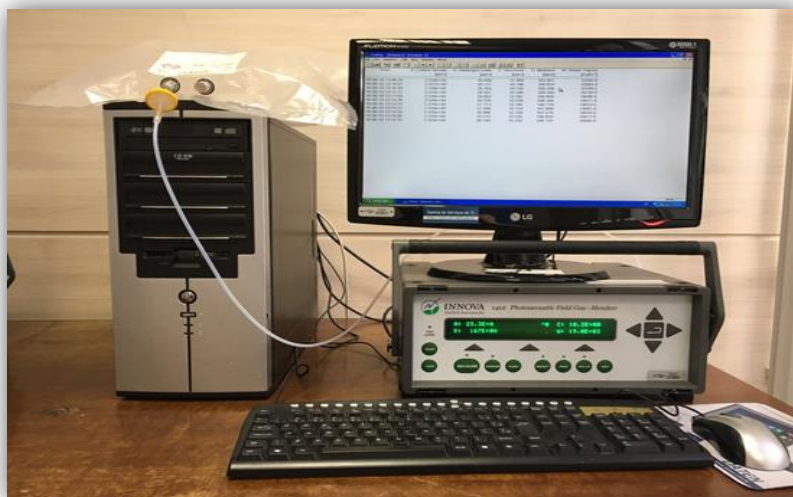
**Figura 24:** Representação esquemática do “Modus operandi” da amostragem do ar interno e externo em uma granja de suínos na fase fisiológica de creche.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

No final de cada turno de amostragem, que teve a duração média de 30 minutos, os sacos Tedlar<sup>®</sup> com as amostras de ar foram condicionados em caixas de isopor e transportados para o laboratório de análise na EMBRAPA Suínos e Aves, Município de Concórdia. No laboratório, as amostras de ar foram analisadas em um analisador de gás infravermelho fotoacústico marca INNOVA<sup>®</sup>, modelo 1412, o qual foi conectado ao computador para registro das leituras das concentrações dos GEE e NH<sub>3</sub> (em ppm-v) (Figura 25). Antes de cada análise, foram ajustados os parâmetros do equipamento e introduzidos os valores da temperatura média observada nos edifícios de alojamento. Os sacos Tedlar<sup>®</sup> foram agitados para homogeneização da amostra e posteriormente conectados ao analisador de gás INNOVA<sup>®</sup>, modelo 1412 para leitura das concentrações de gás (no total,  $\pm 40$  leituras por amostra). As primeiras leituras foram sempre descartadas até estabilização das concentrações medidas. Após cada análise, os sacos Tedlar<sup>®</sup> foram desconectados do equipamento e o ar remanescente no seu interior extraído. No final de cada ciclo de produção, os sacos Tedlar<sup>®</sup> foram sujeitos a limpeza com nitrogênio elementar.

**Figura 25:** Análise das amostras de ar através de um analisador de gás infravermelho fotoacústico marca INNOVA<sup>®</sup>, modelo 1412.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).



## Caracterização do ambiente interno e externo

As características do ambiente, tanto internas quanto externas ao edifício de alojamento foram avaliadas através do levantamento dos:

- ✘ Dados meteorológicos da região do estudo (série histórica: 1973 a 2015), disponibilizados pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina/ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (CIRAM/EPAGRI). Neste contexto, foram analisados, especificamente, os dados diários e mensais referentes às estações meteorológicas de Concórdia (coordenadas: 27°18'48.68''S, 51°59'34.27''W; altitude: 548 metros) e Chapecó (coordenadas: 27°08'52.78''S, 52°63'55.56''W; altitude: 687 metros) em relação à radiação solar, temperatura (médias, máximas e mínimas), umidade relativa, precipitação pluviométrica, número de dias de chuva, evaporação por evaporímetro de piche e tanque classe A, velocidade do ar e sua direção.
  
- ✘ Dados diários de temperatura (°C) e umidade relativa (%) no desenvolvimento da Etapa IV para as fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e C<sub>T</sub> (projeto A e B). Para tal foram instalados, por granja, três equipamentos “*data-logger*” marca Testo<sup>®</sup>, modelo 174H, com canais independentes para ambas as variáveis [sensor capacitivo de umidade (entre 0% e 100%rH) e sensor interno NTC (entre - 20 °C e 70 °C)]. No interior das granjas foram instalados dois equipamentos em locais representativos da área de alojamento dos suínos e fora do alcance destes ( $\pm 1,20$  metros do solo); no exterior foi instalado um “*data-logger*” em local abrigado dos raios solares, compreendendo a incidência rasante do começo e do final do dia ( $\geq 1,50$  metros do solo). O intervalo entre cada leitura foi de 30 minutos, sendo os dados coletados semanalmente pela equipe de campo para correção e/ou eliminação de erros. Na Figura 26 pode-se visualizar um dos equipamentos “*data-logger*” marca Testo<sup>®</sup>, modelo 174H, instalado no interior de um edifício de alojamento para mensuração contínua das características do ambiente (temperatura e umidade relativa).

**Figura 26:** "Data-logger", marca Testo®, modelo 174H, instalado no interior de um edifício de alojamento para mensuração contínua das características do ambiente.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

- ✘ Dados pontuais de temperatura (°C), umidade relativa (%) e velocidade do ar interno e externo ( $m \cdot s^{-1}$ ) no decorrer do protocolo de amostragens de ar (projeto B). As mensurações foram realizadas tanto no turno matutino quanto vespertino, através do equipamento multifunção, marca Testo®, modelo 435 (sonda de velocidade do ar e medição integrada da temperatura e umidade). No total, foram selecionados 20 pontos de medição, distribuídos equitativamente pelo interior e exterior dos edifícios de alojamento. Em cada ponto foram realizadas 20 leituras com intervalos de três segundos entre cada leitura (60 segundos de mensuração por ponto de medição). Para a realização das leituras no lado exterior dos edifícios de alojamento, a sonda do equipamento multifunção foi colocada, sensivelmente, a meio da abertura da cortina lateral (parcial ou totalmente aberta) (Figura 27). Sempre que as cortinas se apresentaram totalmente fechadas foi considerada uma área de 10% para trocas de ar entre o meio interno e o meio externo. Tal pressuposto foi assumido por problemas detectados na manutenção das cortinas laterais nas granjas de suínos. Em dias de chuva e vento forte, as medições foram majoritariamente adiadas por influência dessas variáveis nas determinações dos gradientes de concentração de gás.

**Figura 27:** Equipamento multifunção, marca Testo<sup>®</sup>, modelo 435 para procedimento de medição pontual das características do ambiente (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar).



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

### **Outras determinações**

No desenvolvimento das atividades de campo foram ainda realizadas outras determinações para as fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ , tais como:

- ✘ Consumo diário e caracterização físico-química da ração balanceada multifásica tendo como ingredientes base: o milho e a soja (ROSTAGNO et al., 2014). A ração fornecida aos suínos variou no tipo e em quantidade ao longo do seu ciclo de produção [cinco tipos de ração na fase fisiológica de  $C_R$  (proteína a variar entre: 18,5% e 21%); nove tipos de ração na fase fisiológica de  $C_T$  (proteína a variar entre: 21% e 14%)]. O consumo diário foi determinado a partir dos valores disponibilizados pelos produtores e pela agroindústria, descartando-se o peso remanescente no silo, ao final de cada ciclo de produção. A caracterização físico-química foi realizada através de amostragem semanal das rações fornecidas (com coleta pontual às segundas-feiras), em função do delineamento experimental de atividades (Tabela 3). A análise das rações foi realizada nos laboratórios da EMBRAPA Suínos e Aves, Município de Concórdia, de acordo com o “*Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*” (ASSOCIATION OF OFFICIAL AND

AGRICULTURAL CHEMISTRY, 2005), considerando as seguintes variáveis: matéria seca (MS), matéria mineral (MM), carbono (C), nitrogênio total ( $N_T$ ), fósforo total ( $P_T$ ), potássio (K), cobre (Cu), zinco (Zn).

- ✘ Massa corporal e curva de crescimento dos suínos para cada ciclo de produção. Na fase fisiológica de  $C_R$ , os animais foram pesados no primeiro e último dia de alojamento. Na fase fisiológica de  $C_T$ , além das pesagens no dia de alojamento e de abate, os suínos foram sujeitos a pesagens intermediárias em cada ciclo de produção (40-45 e 80-85 dias de alojamento). Contudo, devido à escassez de dados da massa corporal dos suínos avaliados em cada ciclo de produção, foi necessário recorrer ao ajuste das curvas de crescimento para cada fase fisiológica a partir da equação disponível na literatura (AUBRY et al., 2004).

### 3.4. MODELAGEM MATEMÁTICA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

#### 3.4.1. Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos

O desenvolvimento do modelo para estimativa do consumo de água, na fase fisiológica de  $C_T$  e quando instalados em sistema de produção “*wean-to-finish*” (do desmame ao abate), baseou-se no pressuposto que o perfil de ingestão de água dos suínos apresentou um comportamento similar ao crescimento dos tecidos animais. Neste contexto, foi assumido que o consumo de água aumentou na fase inicial da vida, diminuindo posteriormente de velocidade e tendendo de seguida para a sua estabilização na vida adulta. Em ciência animal, o comportamento descrito anteriormente, pode ser ajustado por modelos não lineares assintóticos [Brody (BRODY, 1945), Gompertz (LAIRD, 1965), Logístico (NELDER, 1961), Richards (RICHARDS, 1959) e von Bertalanffy (von BERTALANFFY, 1957)]. Assim, o desenvolvimento do modelo para estimativa do consumo de água em suínos foi delineado em função de três etapas, considerando que:

- ✘ Etapa I: o modelo não linear de Gompertz foi ajustado às médias semanais do consumo de água, na fase fisiológica de  $C_T$ , em função do período de alojamento dos suínos ( $t=105$  dias) (TAVARES et al., 2014);
- ✘ Etapa II: os modelos não lineares (Brody, Gompertz, Logístico, Richards e von Bertalanffy) após ajuste às médias semanais do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$  foram comparados entre si, em função da idade (entre 63 e 168 dias), massa corporal (24,5 kg) e período de alojamento ( $t=105$  dias) dos suínos (TAVARES et al., 2016). O ajuste das curvas em função da massa corporal foi realizado após regressão linear simples entre o valor medido de massa e a idade dos animais no momento das pesagens nas granjas;
- ✘ Etapa III: os modelos não lineares (Brody, Gompertz, Logístico, Richards e von Bertalanffy) após ajuste às médias semanais do consumo de água dos suínos foram comparados entre si, em função da sua idade ( $i$ ), quando instalados em sistema de produção “*wean-to-finish*”.

Nas etapas de desenvolvimento do modelo, as leituras diárias do consumo de água obtidas nas fases fisiológicas de  $C_T$  ( $n=32$  ciclos) e de

$C_R$  (n=32 ciclos) foram organizadas em dados médios semanais, sem considerar o efeito do produtor, para estimativa dos parâmetros com significado biológico (a, b e c) dos modelos não lineares assintóticos selecionados. Assim, as expressões matemáticas dos modelos não lineares assintóticos utilizados, entre eles, Brody [Equação (12)], Gompertz [Equação (13)], Logístico [Equação (14)], Richards [Equação (15)] e von Bertalanffy [Equação (16)], para a estimativa do consumo de água foram:

$$E[x] = a [1-b \exp (-cx)] \quad (12)$$

$$E[x] = a \exp[-b \exp (-cx)] \quad (13)$$

$$E[x] = a / [1+b \exp (-cx)] \quad (14)$$

$$E[x] = a [1-b \exp (-cx)]^v \quad (15)^\dagger$$

$$E[x] = a [1-b \exp (-cx)]^3 \quad (16)$$

---

<sup>†</sup> modelo não linear com estimativa de 4 parâmetros.

Em que:

- ✘ **E[x]:** consumo de água dos suínos em função do tempo ou da massa corporal ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} d^{-1}$  ou  $L \cdot \text{suíno}^{-1} \text{kg}^{-1}$ );
- ✘ **a:** consumo de água na maturidade;
- ✘ **b:** constante que relaciona o consumo de água em função do tempo ou da massa corporal;
- ✘ **c:** parâmetro de decaimento no ponto de inflexão da curva;
- ✘ **x:** tempo ou massa corporal (dia ou kg);
- ✘ **v:** parâmetro fixo que determina a forma da curva e, consequentemente, o ponto de inflexão no modelo de Richards.

### 3.4.2. Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos

A estimativa do volume e da composição físico-química dos dejetos produzidos pelos suínos baseou-se no balanço da água e nutrientes apresentados no modelo matemático desenvolvido por Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003), considerando as fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ , em que:

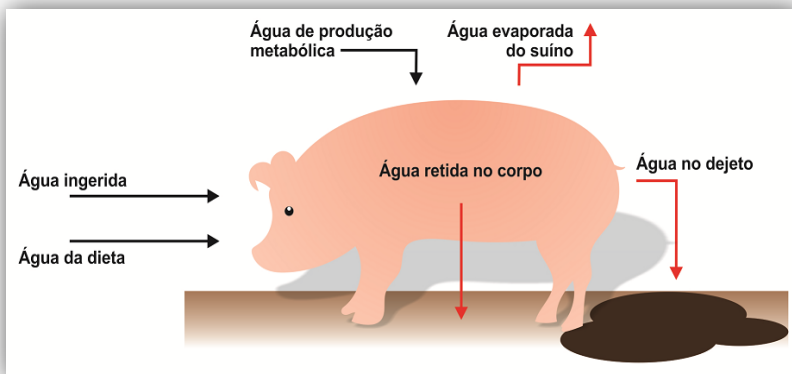
- ✘ Na fase de  $C_R$ :  $n=16$  ciclos de produção, com período de alojamento de 5 até semanas (35 dias);
- ✘ Na fase de  $C_T$ :  $n=33$  ciclos de produção, com período de alojamento de 15 até semanas (105 dias).

#### 3.4.2.1. Balanço geral da água

A quantidade de água nos dejetos foi estimada a partir do balanço da água dos animais associado ao edifício de alojamento e à quantidade de água gasta nos procedimentos de limpeza e desinfecção das granjas [Equação (17)]. De acordo com o esquema exibido na Figura 28, o balanço da água dos suínos foi determinado pela diferença entre os “inputs” e “outputs” do sistema [Equação (18)], em que:

- ✘ “Inputs”: água ingerida no bebedouro, água ingerida no consumo da ração e água produzida por via metabólica.
- ✘ “Outputs”: água retida no corpo e água evaporada pelo suíno.

**Figura 28:** Esquema do balanço geral da água dos suínos.



**Fonte:** adaptada de Oliveira et al. (1998) e Oliveira (1999, 2003).

$$H_2O_{Dej.} = H_2O_{Bal.} \cdot d_d + H_2O_{Limp.} \quad (17)^1$$

$$H_2O_{Bal.} = H_2O_{Beb.} + H_2O_{Raç.} + H_2O_{Met.} - H_2O_{Ret.} - H_2O_{Evap.} \quad (18)^1$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003).

Em que:

- ✗  $H_2O_{Dej.}$ : água nos dejetos suínos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Bal.}$ : água no balanço dos suínos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $d_d$ : duração do ciclo de produção da fase fisiológica avaliada;
- ✗  $H_2O_{Limp.}$ : água para limpeza ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Beb.}$ : água ingerida no bebedouro ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Raç.}$ : água ingerida na ração ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Met.}$ : água de produção metabólica ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Ret.}$ : água retida no corpo ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Evap.}$ : água evaporada pelo suíno ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).

### Água ingerida no bebedouro e na ração

A quantidade de água ingerida no bebedouro, usada como variável de entrada do modelo [Equação (19)] foi obtida através da leitura diária dos hidrômetros pelos produtores. A quantidade de água na ração foi determinada a partir da quantidade de ração ingerida pelo suíno e do seu teor em matéria seca [Equação (20)].

$$H_2O_{Beb.} = Ração \cdot T_d \quad (19)^1$$

$$H_2O_{Raç.} = Ração \cdot (1 - MS_{Raç.}) / 100 \quad (20)^1$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003).

Em que:

- ✗  $H_2O_{Beb.}$ : água ingerida no bebedouro ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{Raç.}$ : água ingerida na ração ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗ **Ração**: ração ingerida ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $T_d$ : taxa de diluição;
- ✗  $MS_{Raç.}$ : matéria seca na ração (%).



Estimativa da água de produção metabólica

A quantidade de água produzida por via metabólica foi estimada com base no metabolismo oxidativo do animal, em que para produzir uma molécula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é necessária uma molécula de água (H<sub>2</sub>O). Assim, em condições normais de pressão e temperatura são necessários 0,018 kg de H<sub>2</sub>O (um mol) para produzir 22,4 L de CO<sub>2</sub> (um mol) [Equação (21)]. A produção de CO<sub>2</sub> dos suínos foi estimada multiplicando-se a produção de calor total ao coeficiente de proporcionalidade 0,170 L·h<sup>-1</sup>·W<sup>-1</sup> na fase fisiológica de C<sub>R</sub> [Equação (22)] e de 0,185 L·h<sup>-1</sup>·W<sup>-1</sup> na fase de C<sub>T</sub> [Equação (23)].

$$H_2O_{Met.} = [\Phi_{CO_2}/(22,41 \cdot 0,018)] \cdot 24 \quad (21)^{1,2}$$

$$\Phi_{CO_2} = 0,170 \cdot \Phi_{tot} \quad (22)^3$$

$$\Phi_{CO_2} = 0,185 \cdot \Phi_{tot} \quad (23)^{3,4}$$

<sup>1</sup> Oliveira et al. (1998); <sup>2</sup> Oliveira (1999, 2003); <sup>3</sup> Pedersen et al. (2008);

<sup>4</sup> Commission Internationale Du Génie Rural (2002).

Em que:

- ✘ **H<sub>2</sub>O<sub>Met.</sub>**: água de produção metabólica (kg·suíno<sup>-1</sup>);
- ✘ **Φ<sub>CO<sub>2</sub></sub>**: produção de dióxido de carbono pelo suíno (L·h<sup>-1</sup>);
- ✘ **Φ<sub>tot.</sub>**: produção de calor total a 20 °C (W·suíno<sup>-1</sup>).

A produção de calor total foi estimada para a fase de C<sub>R</sub> em função da massa corporal e da temperatura interna do edifício (18 °C ≤ temperatura ≤ 33 °C) [Equação (24)]; para a fase de C<sub>T</sub> a produção de calor foi calculada a 20 °C, em função da massa corporal e da ingestão diária de energia metabolizável (expressa no número de ingestões que o suíno necessita para a sua manutenção) [Equações (25) e (26)]. Fora desse valor de temperatura, a produção de calor total dos suínos diminui ou aumenta apresentando uma tendência inversa à temperatura. Neste caso, a produção de calor foi determinada através da Equação (27).

$$\Phi_{tot} = 10^{[0,715-0,0025t+0,0211 \cdot \log_{10} m]} \cdot m \quad (24)^1$$

$$\Phi_{tot} = \{5,09m^{0,75} + [1 - (0,47 + 0,003m)] [n \cdot 5,09m^{0,75} - 5,09m^{0,75}]\} \quad (25)^{1,2}$$

$$n = -0,0001m^2 + 0,0055m + 3,2447 \quad (26)^2$$

$$\Phi_{\text{tot},t} = \Phi_{\text{tot}} \cdot [1 + 0,012 \cdot (20 - t)] \quad (27)^2$$

<sup>1</sup> Brown-Brandl et al. (2013); <sup>2</sup> Commission Internationale Du Génie Rural (1984); <sup>2</sup> Commission Internationale Du Génie Rural (2002).

Em que:

- ✗  $\Phi_{\text{tot}}$ : produção de calor total a 20 °C ( $W \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $t$ : temperatura do bulbo seco no interior do edifício (°C);
- ✗  $\log_{10}$ : logaritmo em base 10;
- ✗  $m$ : massa corporal do suíno (kg);
- ✗  $n$ : ingestão diária de energia, expressa pelo número de ingestões que o suíno necessita para a sua manutenção;
- ✗  $\Phi_{\text{tot},t}$ : produção de calor total à temperatura  $t$  ( $W \cdot \text{suíno}^{-1}$ ).

### Estimativa da água retida no corpo do suíno

A retenção de água nos tecidos [Equação (28)] foi calculada a partir da água presente no corpo do animal [Equação (29)], que por sua vez foi determinada em função do conteúdo de proteínas no organismo considerando a massa corporal do suíno e a taxa de músculo nas peças da carcaça [Equação (30)].

$$H_2O_{\text{Ret.}} = H_2O_{\text{Cor.}} \quad (28)^1$$

$$H_2O_{\text{Cor.}} = 1,10 \cdot 4,889 \cdot (P_{\text{Ret.}})^{0,885} \quad (29)^2$$

$$P_{\text{Ret.}} = e^{(-0,9559 - 0,0145\text{MUS})} \cdot 0,96m^{(0,7417 + 0,0044\text{MUS})} \quad (30)^3$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> de Greef e Versteegen (1995);

<sup>3</sup> Dourmad et al. (2015).

Em que:

- ✗  $H_2O_{\text{Ret.}}$ : água retida no corpo ( $kg \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{\text{Cor.}}$ : água no corpo do suíno ( $kg \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $P_{\text{Ret.}}$ : proteína retida no corpo ( $kg \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $e$ : base de algoritmo neperiano (2,7182);
- ✗  $\text{MUS}$ : taxa de músculo = 60,8%;
- ✗  $m$ : massa corporal do suíno (kg).

### Estimativa da água evaporada pelo suíno

A água perdida na forma de vapor foi determinada em função da produção de calor latente, considerando que em média são necessários 680 W para evaporar 1 kg H<sub>2</sub>O·h<sup>-1</sup> [Equação (31)]. A produção de calor total dos animais pode ser segmentada entre calor latente e calor sensível [Equação (32)], segundo a temperatura do bulbo seco do ambiente interno da granja e da massa corporal dos suínos [fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e de C<sub>T</sub>: Equações (33) e (34), respectivamente].

$$H_2O_{\text{Evap.}} = (\Phi_l / L_{\text{vap.}}) \cdot 24 \quad (31)^{1,2}$$

$$\Phi_{\text{tot,t}} = \Phi_l + \Phi_s \quad (32)^{2,3,4}$$

$$\Phi_l = -2,26 + 0,194t + 0,0679m - 0,0034t \cdot m \quad (33)^3$$

$$\Phi_s = \Phi_{\text{tot,t}} \cdot [1 + 0,012 \cdot (20 - t)] \cdot 0,62 - 1,15 \cdot 10^{-10} \cdot t^6 \quad (34)^4$$

<sup>1</sup> Souloumiac (1995); <sup>2</sup> Comission Internationale Du Génie Rural (1984);

<sup>3</sup> Brown-Brandl et al. (2013); <sup>4</sup> Comission Internationale Du Génie Rural (2002).

Em que:

- ✗ **H<sub>2</sub>O<sub>Evap.</sub>**: água evaporada pelo suíno (kg·suíno<sup>-1</sup>);
- ✗ **Φ<sub>l</sub>**: produção de calor latente (W·suíno<sup>-1</sup>);
- ✗ **L<sub>vap.</sub>**: calor latente de vaporização = 680,6 W (kg H<sub>2</sub>O·h<sup>-1</sup>);
- ✗ **Φ<sub>tot,t</sub>**: produção de calor total à temperatura t (W·suíno<sup>-1</sup>);
- ✗ **t**: temperatura do bulbo seco no interior do edifício (°C);
- ✗ **m**: massa corporal do suíno (kg);
- ✗ **Φ<sub>s</sub>**: produção de calor sensível (W·suíno<sup>-1</sup>).

### Estimativa da quantidade e volume de dejetos produzidos

A massa total de dejetos foi estimada adicionando a quantidade de água e a quantidade de matéria seca [Equação (35)]. O volume de dejetos foi determinado a partir da sua densidade [Equação (36)]. Na ausência do valor da densidade do dejetos, esta pode ser estimada a partir de uma relação empírica apresentada pela Equação (37).

$$Q_{\text{Dej.}} = H_2O_{\text{Dej.}} + QMS_{\text{Dej.}} \quad (35)^1$$

$$V_{\text{Dej.}} = Q_{\text{Dej.}} / \rho_{\text{Dej.}} \quad (36)^1$$

$$\rho_{\text{Dej.}} = 1000 + 0,49MS_{\text{Dej.}} \quad (37)^2$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003 *apud* BERTRAND; ARROYO, 1983).

Em que:

- ✗  $Q_{\text{Dej.}}$ : dejetos produzidos pelos suínos ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $H_2O_{\text{Dej.}}$ : água nos dejetos suínos ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $QMS_{\text{Dej.}}$ : matéria seca excretada ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $V_{\text{Dej.}}$ : volume de dejetos produzidos ( $\text{L} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\rho_{\text{Dej.}}$ : densidade do dejetos ( $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ );
- ✗  $MS_{\text{Dej.}}$ : matéria seca no dejetos ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

#### 3.4.2.2. *Balanço de matéria seca e de matéria orgânica*

##### Estimativa da matéria seca e de matéria orgânica excretada nas fezes

A quantidade de matéria seca [Equação (38)] e de matéria orgânica [Equação (39)] excretadas nas fezes foram estimadas a partir dos seus respectivos coeficientes de digestibilidade da ração. Dado que os coeficientes não foram disponibilizados pela agroindústria, os valores foram determinados em função dos teores de energia digestível, da matéria mineral e da fibra em detergente neutro nas diferentes rações fornecidas aos animais [Equações (40) e (41), respectivamente]. Os valores de energia digestível das rações nas fases fisiológicas de  $C_R$  e  $C_T$  variaram entre 3.725-3.800 e 3.430-3.450  $\text{cal} \cdot \text{kg}^{-1}$ , respectivamente. Em relação à fibra em detergente neutro, os valores utilizados para a fase de  $C_R$  variaram entre 116 e 202  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; na fase de  $C_T$  foi utilizado um valor fixo: 119  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

$$QMS_{\text{Fezes}} = \text{Ração} \cdot MS_{\text{Raç.}} \cdot (1 - C_{\text{DMS}}) \quad (38)^1$$

$$QMO_{\text{Fezes}} = \text{Ração} \cdot MO_{\text{Raç.}} \cdot (1 - C_{\text{DMO}}) \quad (39)^1$$

$$C_{\text{DMS}} = [0,709 + (17,94E_{\text{D.}} - 0,49\text{FDN} - 1,09\text{MM}_{\text{Raç.}}) / MS_{\text{Raç.}}] \quad (40)^{1,2}$$

$$C_{DMO} = [0,744 + (14,69E_D - 0,50FDN - 1,54MM_{Rac.}) / MS_{Rac.}] / MO_{Rac.} / MS_{Rac.} \quad (41)^{1,2}$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Le Goff e Noblet (2001).

Em que:

- ✗ **QMS<sub>Fezes</sub>**: matéria seca excretada nas fezes (kg·suíno<sup>-1</sup>);
- ✗ **QMO<sub>Fezes</sub>**: matéria orgânica excretada nas fezes (kg·suíno<sup>-1</sup>);
- ✗ **Ração**: ração ingerida (kg·suíno<sup>-1</sup>);
- ✗ **MS<sub>Rac.</sub>**: matéria seca na ração (g·kg<sup>-1</sup>);
- ✗ **MO<sub>Rac.</sub>**: matéria orgânica na ração (g·kg<sup>-1</sup>);
- ✗ **MM<sub>Rac.</sub>**: matéria mineral na ração (g·kg<sup>-1</sup>);
- ✗ **C<sub>DMS</sub>**: coef. de digestibilidade da matéria seca na ração;
- ✗ **C<sub>DMO</sub>**: coef. de digestibilidade da matéria orgânica na ração;
- ✗ **E<sub>D</sub>**: energia digestível na ração (MJ·kg<sup>-1</sup>);
- ✗ **FDN**: fibra em detergente neutro na ração (g·kg<sup>-1</sup>).

### Estimativa da matéria orgânica degradada em biogás

A quantidade de matéria orgânica degradada em biogás nas canaletas foi estimada segundo a duração de armazenamento dos dejetos (assumido como sendo 24 horas) e a degradação diária da matéria orgânica, sendo esta proporcional ao seu teor nos dejetos suínos [Equação (42)]. O coeficiente de degradação da matéria orgânica depende do teor de matéria seca e da temperatura do dejetos, ou seja, para teores entre 56 e 89 g·kg<sup>-1</sup>, o valor do coeficiente varia, respectivamente, entre 0,280 e 1,187% a 15 °C e entre 0,343 e 0,229% a 20 °C [Equação (43)].

$$QMO_{Biogas} = QMO_{Fezes} \cdot C_{Deg.} \cdot I_{Arm.} / 2 \quad (42)^{1,2}$$

$$C_{Deg.} = 0,5365 - 0,00345MS_{Dej.} \quad (43)^2$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Aarnink, van Ouwerkerk e Verstege (1992).

Em que:

- ✗ **QMO<sub>Biogas</sub>**: matéria orgânica degradada em biogás (kg d<sup>-1</sup>);
- ✗ **QMO<sub>Fezes</sub>**: matéria orgânica excretada nas fezes (kg d<sup>-1</sup>);
- ✗ **C<sub>Deg.</sub>**: coeficiente de degradação da matéria orgânica = 0,343;

- ✗  $I_{Arm.}$ : Intervalo de armazenamento do dejetos na canaleta (dia);
- ✗  $MS_{Dej.}$ : matéria seca no dejetos (%).

### Estimativa da matéria seca e matéria orgânica excretada nos dejetos

As quantidades excretadas de matéria seca [Equação (44)] e de matéria orgânica [Equação (45)] foram estimadas considerando:

- ✗ Matéria seca ou matéria orgânica excretada nas fezes;
- ✗ Matéria seca de origem urinária: diferença entre o nitrogênio excretado na urina e o nitrogênio volatilizado na forma de  $NH_3$  [Equação (52)]; e,
- ✗ Matéria orgânica degradada em biogás.

$$QMS_{Dej.} = QMS_{Fezes} - QMO_{Biogas} + (N_{Urina} - N_{Volat.}) \cdot 17/14 \quad (44)^1$$

$$QMO_{Dej.} = QMO_{Fezes} - QMO_{Biogas} + (N_{Urina} - N_{Volat.}) \cdot 17/14 \quad (45)^1$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003).

Em que:

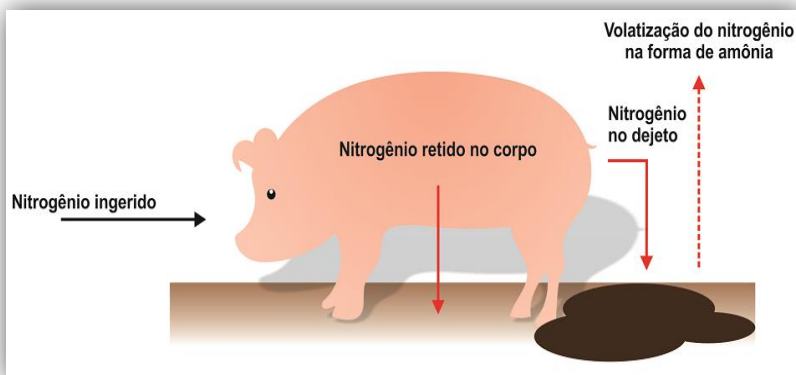
- ✗  $QMS_{Dej.}$ : matéria seca excretada ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $QMO_{Dej.}$ : matéria orgânica excretada ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $QMS_{Fezes}$ : matéria seca excretada nas fezes ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $QMO_{Fezes}$ : matéria orgânica excretada nas fezes ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $QMO_{Biogas}$ : matéria orgânica degradada em biogás ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $N_{Urina}$ : nitrogênio excretado na urina ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $N_{Volat.}$ : nitrogênio volatilizado na forma amônia ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).

#### 3.4.2.3. *Balço de nitrogênio*

A quantidade de nitrogênio excretado nos dejetos foi estimada a partir do balanço do nutriente. Segundo o esquema apresentado na Figura 29, o balanço nos suínos foi determinado pela diferença entre os “inputs” e “outputs” do sistema [Equação (46)], em que:

- ✗ “Inputs”: nitrogênio ingerido na ração.
- ✗ “Outputs”: nitrogênio retido no corpo do suíno.

**Figura 29:** Esquema do balanço de nitrogênio em suínos.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

$$N_{Exc.} = N_{Ing.} - N_{Ret.} \quad (46)^{1,2}$$

<sup>1</sup> Aarnink, Ouwerkerk e Versteegen (1992); <sup>2</sup> Dourmad, Guillou e Noblet (1992).

Em que:

- ✘  $N_{Exc.}$ : nitrogênio excretado ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $N_{Ing.}$ : nitrogênio ingerido na ração ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $N_{Ret.}$ : nitrogênio retido no corpo ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).

### Estimativa do nitrogênio retido no corpo do suíno

O nitrogênio retido nos animais foi estimado pela diferença entre as quantidades deste nutriente contido nos tecidos, no final e no começo do ciclo de produção [Equação (47)], em função da massa corporal do suíno e da taxa de músculo nas peças da carcaça [Equação (48)].

$$N_{Ret.} = N_{CorF} - N_{CorI} \quad (47)^1$$

$$N_{Cor} = e^{(-0,9559 - 0,0145MUS)} \cdot 0,96m^{(0,7417 + 0,0044MUS)} / 6,25 \quad (48)^{2,3,4}$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Dourmad, Guillou e Noblet (1992); <sup>3</sup> Rigolot et al. (2010a); <sup>4</sup> Dourmad et al. (2015).

Em que:

- ✗  $N_{Ret.}$ : nitrogênio retido no corpo ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $N_{CorF}$ : nitrogênio final retido no corpo ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $N_{CorI}$ : nitrogênio inicial retido no corpo ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $e$ : base de algoritmo neperiano (2,7182);
- ✗  $MUS$ : taxa de músculo = 60,8%;
- ✗  $m$ : massa corporal do suíno (kg).

### Estimativa do nitrogênio na urina

O nitrogênio excretado nas fezes foi estimado a partir da quantidade ingerida do nutriente na ração e o seu respectivo coeficiente de digestibilidade [Equação (49)]. Dado que o coeficiente não foi disponibilizado pela agroindústria, o seu valor foi determinado em função dos teores de energia digestível (indicados anteriormente para as duas fases fisiológicas em estudo) e da proteína bruta nas rações fornecidas aos suínos [Equação (50)]. Posteriormente, o nitrogênio presente nos dejetos foi estimado pela soma da quantidade de nitrogênio na urina ao excretado nas fezes [Equação (51)].

$$N_{Fezes} = N_{Ing.} \cdot (1 - C_{DN}) \quad (49)^1$$

$$C_{DN} = [-0,128 + (7,8E_{D.} + 0,87P_{B.})/MS_{Raç.}]/(P_{B.}/MS_{Raç.}) \quad (50)^{1,2}$$

$$N_{Exc.} = N_{Urina} + N_{Fezes} \quad (51)^1$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Le Goff e Noblet (2001).

Em que:

- ✗  $N_{Fezes}$ : nitrogênio excretado nas fezes ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $N_{Ing.}$ : nitrogênio ingerido na ração ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $C_{DN}$ : coef. de digestibilidade do nitrogênio na ração;
- ✗  $E_{D.}$ : energia digestível na ração ( $MJ \cdot kg^{-1}$ );
- ✗  $P_{B.}$ : proteína bruta na ração ( $g \cdot kg^{-1}$ );
- ✗  $MS_{Raç.}$ : matéria seca na ração ( $g \cdot kg^{-1}$ );
- ✗  $N_{Exc.}$ : nitrogênio excretado ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  $N_{Urina}$ : nitrogênio excretado na urina ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).



### Estimativa do nitrogênio volatilizado na forma $\text{NH}_3$

A volatilização do nitrogênio nos edifícios de alojamento foi estimada pela aplicação de um coeficiente de volatilização à quantidade de nitrogênio estimado nos dejetos [Equação (52)]. O valor do coeficiente foi predefinido como 0,24 (DOURMAD et al., 1999), podendo ser ajustado através de fatores associados à volatilização da  $\text{NH}_3$ , entre eles: o efeito da diluição, o efeito da temperatura no dejetos, o efeito da renovação do ar, o efeito do piso e o efeito da frequência de descarga dos dejetos [Equação (53)]. Os efeitos aplicados no modelo foram avaliados através de relações empíricas e modelos disponíveis na literatura.

- ✘ **Efeito da diluição:** avalia o impacto do consumo de água na produção de  $\text{NH}_3$ , sendo a sua concentração no dejetos estimada a partir da quantidade de nitrogênio estimado na urina, assumindo que a ureia se converteu totalmente em  $\text{NH}_3$ . Na determinação do coeficiente de volatilização foi observada uma concentração média de  $0,51 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3$  no dejetos fresco. Para esta concentração, o valor do efeito foi fixado em um, podendo ser 1,13 ou 0,88 quando a  $\text{NH}_3$  aumenta ou diminui 20%, respectivamente [Equações (54) e (55); (AARNINK; ELZING, 1998)].
- ✘ **Efeito da temperatura:** para um valor médio de  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  no dejetos, o valor do efeito foi fixado em 1, podendo ser 1,24 ou 0,77, respectivamente, quando a temperatura aumenta ou diminui 20% [Equação (56)]. Para a estimativa da temperatura do dejetos foi considerada a temperatura ambiente interna do edifício de alojamento [Equação (57); (GRANIER; GUINGAND; MASSABIE, 1996)].
- ✘ **Efeito da renovação do ar:** foi assumido que as mudanças na velocidade do ar foram proporcionais às mudanças na sua taxa de renovação. Para um valor médio de  $0,6 \text{ m}^3\cdot\text{kg}$  de massa corporal, o valor do efeito foi fixado em 1 (DOURMAD et al., 1999), podendo ser 1,08 ou 0,92 quando a taxa de renovação do ar aumenta ou diminui 20%, respectivamente [Equação (58); (AARNINK; ELZING, 1998; DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003)].

- ✘ **Efeito do piso:** reduções nas emissões de  $\text{NH}_3$  entre 20-25% (AARNINK et al., 1995) e de 15% (HOEKSMAS et al., 1992) foram observadas em pisos parcialmente vazados e em pisos totalmente vazados de metal, respectivamente. No entanto, existem dúvidas sobre esse valor [1,00 (totalmente vazado de concreto); 0,85 (totalmente vazado de metal); 0,80 (parcialmente vazado)], devido às restantes características construtivas do edifício de alojamento que podem afetar, especificamente, o formato do piso vazado e a temperatura ambiente (GUINGAND; GRANIER, 2001).
  
- ✘ **Efeito da frequência de descarga:** a volatilização da  $\text{NH}_3$  aumenta com o período de armazenamento do dejetos nos edifícios de alojamento, como acontece em algumas granjas no Brasil, e diminui com o aumento da frequência de descarga (e.g., redução da emissão de  $\text{NH}_3$  entre 20 e 35% comparando o período de armazenamento do dejetos entre quatro semanas, uma semana e um dia, respectivamente) (HOEKSMAS et al., 1992; VOERMANS; van POPPEL, 1993; GUINGAND, 2000). Assim, de acordo com a frequência de descarga podem ser considerados os seguintes valores para este efeito: [1,00 ( $\geq 4$  semanas); 0,90 (2 semanas); 0,80 (semanal); 0,65 ( $\leq$  diária)].

$$N_{\text{Volat.}} = N_{\text{Exc.}} \cdot C_{\text{Volat.}} \quad (52)^{1,2}$$

$$C_{\text{Volat.}} = 0,24 \cdot \text{Ef}_{\text{Dil.Dej.}} \cdot \text{Ef}_{\text{Temp.Dej.}} \cdot \text{Ef}_{\text{Ren.Ar.}} \cdot \text{Ef}_{\text{Piso}} \cdot \text{Ef}_{\text{Freq.Desc.}} \quad (53)^{2,3,4}$$

$$\text{Ef}_{\text{Dil.Dej.}} = 1 + 0,21 \cdot (N_{\text{Am}} - 0,51) \quad (54)^4$$

$$N_{\text{Am.}} = (N_{\text{Urina}}/14)/Q_{\text{Dej.}} \quad (55)^4$$

$$\text{Ef}_{\text{Temp.Dej.}} = 1 + 0,053 \cdot (T_{\text{Dej.}} - 22) \quad (56)^{2,4}$$

$$T_{\text{Dej.}} = -0,012t^2 + 1,1816t + 1,6064 \quad (57)^5$$

$$\text{Ef}_{\text{Ren.Ar.}} = 1 + 0,636 \cdot (T_{\text{XRen}} - 0,6) \quad (58)^{2,4}$$

---

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Dourmad et al. (1999); <sup>3</sup> Guingand (1996); <sup>4</sup> Aarnink e Elzing (1998); <sup>5</sup> Granier, Guingand e Massabie (1996).

Em que:

- ×  $N_{Volat.}$ : nitrogênio volatilizado na forma amônia ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ×  $N_{Exc.}$ : nitrogênio excretado ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ×  $C_{Volat.}$ : coeficiente de volatilização;
- ×  $Ef_{Dil.Dej.}$ : efeito de diluição do dejetos;
- ×  $N_{Am.}$ : concentração de amônia no dejetos ( $mol \cdot kg^{-1}$ );
- ×  $N_{Urina}$ : nitrogênio excretado na urina ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ×  $Q_{Dej.}$ : dejetos produzido pelos suínos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ×  $Ef_{Temp.Dej.}$ : efeito da temperatura do dejetos;
- ×  $T_{Dej.}$ : temperatura do dejetos ( $^{\circ}C$ );
- ×  $t$ : temperatura do bulbo seco no interior do edifício ( $^{\circ}C$ );
- ×  $Ef_{Ren.Ar}$ : efeito da renovação do ar;
- ×  $Tx_{Ren.}$ : taxa de renovação do ar ( $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ );
- ×  $Ef_{Piso}$ : efeito do piso = 0,80;
- ×  $Ef_{Freq.Desc.}$ : efeito da frequência de descarga do dejetos = 0,65.

### Estimativa do nitrogênio no dejetos e no ar

O conteúdo de nitrogênio total no efluente foi estimado a partir da quantidade excretada estimada e das perdas do nutriente sob a forma de gás [Equações (59) e (60)]. Simultaneamente, foi determinada a quantidade de nitrogênio na forma de  $NH_3$  [Equação (61)], assumindo a hipótese que todo o nitrogênio na forma de ureia se converteu em  $NH_3$  (taxa de mineralização do nitrogênio orgânico fecal igual à da matéria orgânica) [Equações (42) e (62)]. A quantificação do nitrogênio no ar através do coeficiente de volatilização [Equação (63)] permitiu determinar a concentração final de  $NH_3$  através das taxas de renovação do ar [Equações (64) e (65)].

$$N_{Dej.} = N_{Exc.} \cdot (1 - C_{Volat.}) \quad (59)^1$$

$$N_{[T]} = N_{Dej.} / Q_{Dej.} \quad (60)^1$$

$$N_{[NH_3]} = N_{NH_3} / Q_{Dej.} \quad (61)^1$$

$$N_{NH_3} = N_{Urina} - N_{Volat.} + N_{Fezes} \cdot C_{Deg.} \cdot I_{Am.} / 2 \quad (62)^{1,2}$$

$$N_{Ar} = N_{Exc.} \cdot C_{Volat.} \quad (63)^{1,3}$$

$$\text{NH3}_{\text{Ar}} = \text{N}_{\text{Ar}} \cdot 17/14 \quad (64)^1$$

$$\text{NH3}_{[\text{Ar}]} = 1,41\text{NH3}_{\text{Ar}}/(\text{Tx}_{\text{Ren}} \cdot \text{m} \cdot 24) \quad (65)^1$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Aarnink, van Ouwerkerk e Verstege (1992); <sup>3</sup> Dourmad et al. (1999).

Em que:

- ✗  $\text{N}_{\text{Dej}}$ : nitrogênio total no dejetos ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{N}_{\text{Exc}}$ : nitrogênio excretado ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{C}_{\text{Volat}}$ : coef. de volatilização;
- ✗  $\text{N}_{[\text{T}]}$ : concentração total de nitrogênio ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ );
- ✗  $\text{Q}_{\text{Dej}}$ : dejetos produzidos pelos suínos ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{N}_{\text{NH3}}$ : quantidade de amônia ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{N}_{\text{Urina}}$ : nitrogênio excretado na urina ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{N}_{\text{Volat}}$ : nitrogênio volatilizado na forma amônia ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{N}_{\text{Fezes}}$ : nitrogênio excretado nas fezes ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{C}_{\text{Deg}}$ : coef. de degradação diária do nitrogênio = 0,343;
- ✗  $\text{I}_{\text{Arm}}$ : intervalo de armazenamento dos dejetos (dia);
- ✗  $\text{N}_{[\text{NH3}]}$ : concentração de amônia no dejetos ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ );
- ✗  $\text{N}_{\text{Ar}}$ : quantidade de nitrogênio no ar ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{NH3}_{\text{Ar}}$ : quantidade de amônia no ar ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✗  $\text{NH3}_{[\text{Ar}]}$ : concentração de amônia no ar (ppm);
- ✗  $\text{Tx}_{\text{Ren}}$ : taxa de renovação do ar ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ );
- ✗  $\text{m}$ : massa corporal do suíno (kg).

#### 3.4.2.4. Balanço de potássio e fósforo

As quantidades dos nutrientes excretados nos dejetos suínos (potássio e fósforo) foram estimadas a partir dos seus balanços, determinados pela diferença entre os seus “inputs” e “outputs” do sistema [Equação (66)], em que:

- ✗ “Inputs”: nutriente ingerido na ração.
- ✗ “Outputs”: nutriente retido no corpo do suíno.

$$\text{NUT}_{\text{Dej}} = \text{NUT}_{\text{Ing}} - \text{NUT}_{\text{Ret}} \quad (66)^1$$

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003).

Em que:

- ✘  $NUT_{Dej.}$ : nutriente excretado ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $NUT_{Ing.}$ : nutriente ingerido na ração ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $NUT_{Ret.}$ : nutriente retido no corpo ( $g \cdot suíno^{-1}$ ).

Estimativa do potássio e do fósforo retido no corpo do suíno

As retenções de potássio e de fósforo foram estimadas pela diferença entre as quantidades corporais no final e no começo dos ciclos de produção avaliados [Equação (67)]. As quantidades retidas nos tecidos foram determinadas a partir de equações citadas na literatura, para cada um dos minerais avaliados, entre eles: potássio [Equação (68)] e fósforo [Equação (69)].

$$NUT_{Cor.} = NUT_{CorpoF} - NUT_{CorpoI} \quad (67)^1$$

$$K_{Corpo} = -0,0034m^2 + 2,53m \quad (68)^1$$

$$P_{Corpo} = 5,35m \quad (69)^2$$

---

<sup>1</sup> Dourmad, Pomar e Massé (2002, 2003); <sup>2</sup> Dourmad et al. (2015).

Em que:

- ✘  $NUT_{Cor.}$ : nutriente retido no corpo ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $NUT_{CorpoF}$ : nutriente final retido no corpo ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $NUT_{CorpoI}$ : nutriente inicial retido no corpo ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $K_{Corpo}$ : potássio retido no corpo ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $P_{Corpo}$ : fósforo retido no corpo ( $g \cdot suíno^{-1}$ );
- ✘  $m$ : massa corporal do suíno (kg).

### 3.4.3. Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e amônia

As emissões de gases de efeito estufa e amônia foram estimadas e validadas para a fase fisiológica de  $C_R$  com base na metodologia simplificada e nos princípios de cálculo disponíveis na literatura (PAILLAT et al., 2005; GUINGAND; QUINIOU; COURBOULAY, 2010; ROBIN et al., 2010; ROBIN, 2011).

#### 3.4.3.1. Princípio de cálculo dos “*défauts*” do balanço de água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio nos edifícios de alojamento de suínos

O método dos “*défauts*” do balanço de massa permitiu calcular as perdas de água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio sob a forma gasosa, sem conhecer a importância relativa de cada espécie química (e.g., C-CO<sub>2</sub>, C-CH<sub>4</sub>, N-N<sub>2</sub>O, N-N<sub>2</sub> e N-NH<sub>3</sub>). Neste princípio foram considerados os efetivos alojados em cada ciclo de produção avaliado (n=16 ciclos), sendo os resultados expressos em quilogramas de água ou de cada elemento avaliado (carbono, nitrogênio, fósforo e potássio).

#### Estimativa das perdas de água

$$\text{Perdas}_{\text{H}_2\text{O}} = \text{Inp}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{Out}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (70)$$

Em que:

- ✗ **Perdas<sub>H<sub>2</sub>O</sub>**: perdas de água (kg) [Equação (70)].
- ✗ **Inp<sub>H<sub>2</sub>O</sub>**: entradas de água (kg);
  - **H<sub>2</sub>O<sub>Beb.</sub>**: água ingerida no bebedouro (kg);
  - **H<sub>2</sub>O<sub>Raç.</sub>**: água ingerida na ração (kg) [Equação (20)];
  - **H<sub>2</sub>O<sub>Met.</sub>**: água de produção metabólica (kg) (negligenciável no início) [Equações (21), (22) e (24)].
- ✗ **Out<sub>H<sub>2</sub>O</sub>**: saídas de água (kg);
  - **H<sub>2</sub>O<sub>Ret.</sub>**: água retida no corpo (kg) [Equações (28), (29) e (30)];
  - **H<sub>2</sub>O<sub>Dej.</sub>**: água nos dejetos suínos (kg) [Equação (35)].

Estimativa das perdas de carbono

$$\text{Perdas}_C = \text{Inp}_C - \text{Out}_C \quad (71)$$

$$C_{\text{Ing.}} = \text{Ração} \cdot (C_{\text{Raç.}}/1000) \quad (72)$$

$$C_{\text{Cor.}} = C_{\text{CorpoF}} - C_{\text{Corpol}} \quad (73)$$

$$C_{\text{Corpo}} = 0,200m \quad (74)$$

$$C_{\text{Exc.}} = V_{\text{Dej.}} \cdot (C_{\text{Dej.}}/1000) \quad (75)$$

Em que:

- ✘ **Perdas<sub>C</sub>**: perdas de carbono (kg) [Equação (71)].
- ✘ **Inp<sub>C</sub>**: entradas de carbono (kg);
  - **C<sub>Ing.</sub>**: carbono ingerido na ração (kg), em que:
    - Ração**: ração ingerida (kg);
    - C<sub>Raç.</sub>**: carbono na ração ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) [Equação (72)].
- ✘ **Out<sub>C</sub>**: saídas de carbono (kg);
  - **C<sub>Ret.</sub>**: carbono retido no corpo (kg), em que:
    - m**: massa corporal do suíno (kg). [Equações (73) e (74)];
  - **C<sub>Exc.</sub>**: carbono excretado nos dejetos (kg), em que
    - V<sub>Dej.</sub>**: volume de dejetos produzidos (L);
    - C<sub>Dej.</sub>**: carbono no dejetos ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) [Equação (75)].

Estimativa das perdas de nitrogênio

$$\text{Perdas}_N = \text{Inp}_N - \text{Out}_N \quad (76)$$

$$N_{\text{Ing.}} = \text{Ração} \cdot (N_{\text{Raç.}}/1000) \quad (77)$$

$$N_{\text{Exc.}} = V_{\text{Dej.}} \cdot (N_{\text{Dej.}}/1000) \quad (78)$$

Em que:

- ✘ **Perdas<sub>N</sub>**: perdas de nitrogênio (kg) [Equação (76)].
- ✘ **Inp<sub>N</sub>**: entradas de nitrogênio (kg);
  - **N<sub>Ing.</sub>**: nitrogênio ingerido na ração (kg), em que:
    - Ração**: ração ingerida (kg);
    - N<sub>Raç.</sub>**: nitrogênio na ração ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [Equação (77)].
- ✘ **Out<sub>N</sub>**: saídas de nitrogênio (kg);
  - **N<sub>Ret.</sub>**: nitrogênio retido no corpo (kg) [Equações (47) e (48)];
  - **N<sub>Exc.</sub>**: nitrogênio excretado nos dejetos (kg), em que
    - V<sub>Dej.</sub>**: volume de dejetos produzidos (L);
    - N<sub>Dej.</sub>**: nitrogênio no dejetos ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) [Equação (78)].

Estimativa das perdas de fósforo:

$$\text{Perdas}_P = \text{Inp}_P - \text{Out}_P \quad (79)$$

$$P_{\text{Ing.}} = \text{Ração} \cdot (P_{\text{Raç.}}/1000) \quad (80)$$

$$P_{\text{Exc.}} = V_{\text{Dej.}} \cdot (P_{\text{Dej.}}/1000) \quad (81)$$

Em que:

- ✘ **Perdas<sub>P</sub>**: perdas de fósforo (kg) [Equação (79)].
- ✘ **Inp<sub>P</sub>**: entradas de fósforo (kg);
  - **P<sub>Ing.</sub>**: fósforo ingerido na ração (kg), em que:
    - Ração**: ração ingerida (kg);
    - P<sub>Raç.</sub>**: fósforo na ração ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [Equação (80)].
- ✘ **Out<sub>P</sub>**: saídas de fósforo (kg);
  - **P<sub>Ret.</sub>**: fósforo retido no corpo (kg) [Equações (67) e (69)];
  - **P<sub>Exc.</sub>**: fósforo excretado nos dejetos (kg), em que
    - V<sub>Dej.</sub>**: volume de dejetos produzidos (L);
    - P<sub>Dej.</sub>**: fósforo no dejetos ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) [Equação (81)].



Estimativa das perdas de potássio:

$$\text{Perdas}_K = \text{Inp}_K - \text{Out}_K \quad (82)$$

$$K_{\text{Ing.}} = \text{Ração} \cdot (K_{\text{Raç.}}/1000) \quad (83)$$

$$K_{\text{Exc.}} = V_{\text{Dej.}} \cdot (K_{\text{Dej.}}/1000) \quad (84)$$

Em que:

- ✘ **Perdas<sub>K</sub>**: perdas de potássio (kg) [Equação (82)].
- ✘ **Inp<sub>K</sub>**: entradas de potássio (kg);
  - **K<sub>Ing.</sub>**: potássio ingerido na ração (kg), em que:
    - Ração**: ração ingerida (kg);
    - K<sub>Raç.</sub>**: potássio na ração ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) [Equação (83)].
- ✘ **Out<sub>K</sub>**: saídas de potássio (kg);
  - **K<sub>Ret.</sub>**: potássio retido no corpo (kg) [Equações (67) e (68)];
  - **K<sub>Exc.</sub>**: potássio excretado nos dejetos (kg), em que
    - V<sub>Dej.</sub>**: volume de dejetos produzidos (L);
    - K<sub>Dej.</sub>**: potássio no dejetos ( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) [Equação (84)].

Hipóteses/Pressupostos

As hipóteses/pressupostos estipuladas para o princípio de cálculo dos “*défauts*” do balanço de massa permitiram verificar se as quantidades dos elementos analisados (“*Inputs*” e “*Outputs*”) foram representativas para os ciclos de produção avaliados na fase fisiológica de C<sub>R</sub>. Assim, foi assumido que:

- ✘  $\text{Perdas}_{\text{H}_2\text{O}} \leq \text{Emissão}_{\text{H}_2\text{O}}$ , em que:  

$$\text{H}_2\text{O}_{\text{Met.}} = 0,1 \cdot (\text{Inp}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{Out}_{\text{H}_2\text{O}})$$
- ✘  $\text{Perdas}_C = \text{Emissão}_{\text{C-CO}_2} + \text{Emissão}_{\text{C-CH}_4}$
- ✘  $\text{Perdas}_N = \text{Emissão}_{\text{N-NH}_3} + \text{Emissão}_{\text{N-N}_2\text{O}} + \text{Emissão}_{\text{N-N}_2}$ , ou:  

$$\text{Perdas}_N > \text{Emissão}_{\text{N-NH}_3} + \text{Emissão}_{\text{N-N}_2\text{O}}$$

- ✘  $Perdas_P = 0$ , se:
  - Amostragem do dejetto for homogênea (perfeita);
  - Composição físico-química for conhecida.
  
- ✘  $Perdas_K = 0$ , se:
  - Sem perdas líquidas no dejetto por percolação;
  - Composição físico-química for conhecida.

### 3.4.3.2. *Princípio de cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O pelo método das relações de concentração*

O método das relações de concentração permitiu repartir as perdas gasosas totais a partir do “*défauts*” do balanço de massa do carbono e das concentrações de gás medidas nos edifícios de alojamento. Assim, com base no “*défauts*” do balanço do carbono, na hipótese/pressuposto assumido na Equação (85) e nas concentrações de gás medidas nos edifícios de alojamento através da metodologia simplificada foram estimadas as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O, considerando os seguintes elementos químicos: carbono [Equações (86) e (87)] e nitrogênio [Equações (88) e (89)].

$$Perdas_C = Emissão_{C-CO_2} + Emissão_{C-CH_4} \quad (85)$$

$$Emissão_{C-CO_2} = Perdas_C / [1 + (\overline{G}_{C-CH_4} / \overline{G}_{C-CO_2})] \quad (86)$$

$$Emissão_{C-CH_4} = Emissão_{C-CO_2} \cdot (\overline{G}_{C-CH_4} / \overline{G}_{C-CO_2}) \quad (87)$$

$$Emissão_{N-NH_3} = Emissão_{C-CO_2} \cdot (\overline{G}_{N-NH_3} / \overline{G}_{C-CO_2}) \quad (88)$$

$$Emissão_{N-N_2O} = Emissão_{C-CO_2} \cdot (\overline{G}_{N-N_2O} / \overline{G}_{C-CO_2}) \quad (89)$$

$$Emissão_{H_2O} = Emissão_{C-CO_2} \cdot (\overline{G}_{H_2O} / \overline{G}_{C-CO_2}) \quad (90)$$

Em que:

- ✘ **Perdas<sub>C</sub>**: perdas de carbono (kg);
- ✘ **Emissão<sub>C-CO<sub>2</sub></sub>**: emissão de carbono na forma CO<sub>2</sub> (kg);
- ✘ **Emissão<sub>C-CH<sub>4</sub></sub>**: emissão de carbono na forma CH<sub>4</sub> (kg);

- ✗ **Emissão<sub>N-NH3</sub>**: emissão de nitrogênio na forma NH<sub>3</sub> (g);
- ✗ **Emissão<sub>N-N2O</sub>**: emissão de nitrogênio na forma N<sub>2</sub>O (g);
- ✗ **Emissão<sub>H2O</sub>**: emissão de vapor de água (kg);
- ✗  **$\bar{G}_{CO2}$** : grad. médio de carbono na forma CO<sub>2</sub> (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$\bar{G}_{CH4}$** : grad. médio de carbono na forma CH<sub>4</sub> (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$\bar{G}_{NH3}$** : grad. médio de nitrogênio na forma NH<sub>3</sub> (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$\bar{G}_{N2O}$** : grad. médio de nitrogênio na forma N<sub>2</sub>O (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$\bar{G}_{H2O}$** : grad. médio de vapor de água (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco).

### Cálculo do gradiente de gás

O gradiente de gás (mg gás·kg<sup>-1</sup> ar seco) foi determinado em cada dia de amostragem pela diferença entre a mediana obtida nas leituras de concentração das amostras interna e externa [Equação (91)]. Por sua vez, o gradiente médio de cada gás foi calculado através da média dos gradientes obtidos em cada dia de amostragem, nas diferentes granjas de suínos avaliadas [Equação (92)].

$$G_{\text{Gás}} = M_{[\text{Gás, int.}]} - M_{[\text{Gás, ext.}]} \quad (91)$$

$$\bar{G}_{\text{Gás}} = \text{Média} [(G_{\text{Gás},y}; G_{\text{Gás},y+1}; \dots \text{ com: } y=1, 2, \dots, y \text{ amostras})] \quad (92)$$

Em que:

- ✗  **$G_{\text{Gás}}$** : gradiente do gás (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$M_{[\text{Gás,int}]}$** : mediana da concentração interna (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$M_{[\text{Gás,ext}]}$** : mediana da concentração externa (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$\bar{G}_{\text{Gás}}$** : gradiente médio do gás (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$G_{\text{Gás},n}$** : gradiente do gás na amostra y (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco);
- ✗  **$G_{\text{Gás},n+1}$** : gradiente do gás na amostra y+1 (mg·kg<sup>-1</sup> ar seco).

### Conversão das concentrações volumétricas em concentrações mássicas

As concentrações obtidas dos diferentes gases através da análise das amostras de ar, pelo analisador de gás infravermelho fotoacústico INNOVA<sup>®</sup>, modelo 1412, foram expressas em partes por milhão (ppm-v; mL gás·m<sup>-3</sup> ar úmido). Para ser possível a utilização das leituras obtidas na estimativa das emissões a partir do princípio do “*défauts*” de

balanço de massa, estas tiveram de ser convertidas em concentrações mássicas ( $\text{mg gás}\cdot\text{kg}^{-1}$  ar seco) [Equação (93)], atendendo às diferenças de densidade entre o ar interno e o externo (ar interno é mais leve, quente e úmido que o ar externo).

$$C_{\text{Gás}}^{\text{m}} = (C_{\text{Gás}}^{\text{v}} \cdot \text{MM}_{\text{Gás}}) / V_{\text{M, CNTP}} \quad (93)$$

Em que:

- ✘  $C_{\text{Gás}}^{\text{m}}$ : concentração mássica do gás ( $\text{mg gás}\cdot\text{kg}^{-1}$  ar seco);
- ✘  $C_{\text{Gás}}^{\text{v}}$ : concentração volumétrica do gás (ppm-v ;  $\text{mL gás}\cdot\text{m}^{-3}$ );
- ✘  $\text{MM}_{\text{Gás}}$ : massa molecular do gás ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), em que:
  - $\text{MM}_{\text{CO}_2}$ :  $44,01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $\text{MM}_{\text{CH}_4}$ :  $16,04 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;
  - $\text{MM}_{\text{N}_2\text{O}}$ :  $44,01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;  $\text{MM}_{\text{NH}_3}$ :  $17,03 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;
  - $\text{MM}_{\text{H}_2\text{O}}$ :  $18,02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ;
- ✘  $V_{\text{M, CNTP}}$ : volume molar do ar em CNTP ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ atm}$ ) ( $22,45 \text{ L}$ ).

As concentrações obtidas de cada gás ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ) foram convertidas, posteriormente, em C- $\text{CO}_2$ , C- $\text{CH}_4$ , N- $\text{N}_2\text{O}$  e N- $\text{NH}_3$  através da aplicação de fatores específicos respectivos ( $12/44$ ,  $12/16$ ,  $28/44$  e  $14/17$ ), ou seja, a relação entre a massa molecular dos diferentes gases e os elementos químicos que fazem parte do balanço de massa.

### 3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos no desenvolvimento da pesquisa foram organizados e analisados, preliminarmente, com recurso ao software Microsoft Excel<sup>®</sup>, seguida de análise estatística descritiva através do software *Statistical Analysis System*<sup>®</sup>. A elaboração gráfica dos resultados finais foi preparada com recurso ao software Sigma Plot<sup>®</sup>.

#### Médias do consumo de água e produção de dejetos

- ✘ **Fase fisiológica de creche:** a granja foi considerada a unidade experimental da pesquisa, tendo sido monitorada uma fase fria [15 ciclos de produção (26.289 leitões)] e uma fase quente [17 ciclos de produção (28.425 leitões)]. Os dados diários foram agrupados em médias semanais e, posteriormente, analisados usando o PROC MIXED do *Statistical Analysis System*<sup>®</sup> (SAS, Inst. Inc., Cary, NC, USA) (SAS, 2012), através da teoria de modelos mistos para medidas repetidas, considerando o efeito do produtor, da fase, do período de alojamento (como medida repetida), da interação desses fatores e de 16 tipos de estruturas de matriz de variâncias e covariâncias (XAVIER, 2000). A estrutura das matrizes usadas foi escolhida com base no menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC). O método de estimação usado foi o da máxima verossimilhança restrita. O desdobramento da análise foi realizado através do teste *t*, sempre que o teste F foi significativo a 5% ( $P \leq 0,05$ ).
  
- ✘ **Fase fisiológica de crescimento-terminação:** a granja foi considerada a unidade experimental da pesquisa, tendo sido monitorada uma fase fria [17 ciclos de produção (6.928 suínos)] e uma fase quente [16 ciclos de produção (6.348 suínos)]. As duas fases foram delineadas para terem três tratamentos, por tipo de bebedouro (BB, NI e BO<sub>H</sub>), em que cada tratamento contabilizou cinco granjas no total, cada uma equipada com um dos três equipamentos para a dessedentação dos animais. Os dados diários foram agrupados em médias semanais e, posteriormente, analisados usando o PROC MIXED do *Statistical Analysis System*<sup>®</sup> (SAS, Inst. Inc., Cary, NC, USA) (SAS, 2012), através da teoria de modelos mistos para medidas repetidas, considerando o efeito de tipo de bebedouro, da fase, do período de alojamento (como medida repetida), da interação

desses fatores e de 16 tipos de estruturas de matriz de variâncias e covariâncias (XAVIER, 2000). A estrutura das matrizes usadas foi escolhida com base no menor valor do Critério de Informação de Akaike (AIC). O método de estimação usado foi o da máxima verossimilhança restrita. O desdobramento da análise para o efeito de tipo de bebedouro foi realizado através do teste  $t$ , sempre que o teste F foi significativo a 5% ( $P \leq 0,05$ ).

### **Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos**

As análises dos dados médios semanais foram realizadas por meio do procedimento NLMIXED do *Statistical Analysis System*® (SAS Inst. Inc., Cary, NC). A escolha do melhor modelo para prever o consumo de água foi baseada no Critério de Informação de Akaike (AIC - quanto menor o valor, melhor). Para cada modelo foram também determinados os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros de predição (absoluto e em %).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no desenvolvimento da pesquisa e a sua discussão são apresentados nesta seção, segundo os objetivos específicos propostos inicialmente. De modo a simplificar a leitura e a compreensão do texto, foi mantida a mesma estrutura sequencial dos capítulos anteriores.

Os resultados do consumo de água e da produção de dejetos na fase fisiológica de  $C_T$ , bem como as considerações relacionadas à primeira etapa do desenvolvimento do modelo para estimativa do consumo de água dos suínos já foram publicados em artigo científico (*vide* Apêndice C; TAVARES et al., 2014).

### 4.1. O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

#### 4.1.1. Consumo total de água dos suínos

O consumo de água nas fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ , considerando tanto o período integral (Tabela 4) quanto os dois períodos do ano avaliados na pesquisa [frio e quente, (Tabela 5)] são apresentados de seguida. As médias do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$  em função do tipo de bebedouro instalado e do período de alojamento podem ser observadas na Tabela 6.

**Tabela 4:** Consumo de água nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para o período integral da pesquisa.

Fase Fisiológica	n <sup>†</sup>	Média	$\sigma^{\ddagger}$ (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	Máx.	Mín.
${}_5C_R$ <sup>§1</sup>	32	2,76	0,78	4,72	1,26
${}_{10}C_T$ <sup>§2</sup>	32	7,72	1,32	10,36	5,74
${}_{15}C_T$ <sup>§2</sup>	28	8,33	1,37	10,56	5,94

<sup>†</sup> Ciclos de produção avaliados;

<sup>‡</sup> Desvio padrão;

<sup>§1</sup> Creche: t=5 semanas; <sup>§2</sup> Crescimento-terminação: t=10 ( ${}_{10}C_T$ ) e 15 semanas ( ${}_{15}C_T$ ).

**Tabela 5:** Consumo de água nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para os dois períodos do ano avaliados: frio e quente.

Fase Fisiológica	n <sup>†</sup>	Média <sup>†</sup> (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )		P-value
		Período Frio	Período Quente	
5C <sub>R</sub> <sup>§1</sup>	15/17	2,69±0,15	2,82±0,13	0,427
10C <sub>T</sub> <sup>§2</sup>	16/16	7,09±0,26	8,25±0,26	0,005
15C <sub>T</sub> <sup>§2</sup>	16/16	7,74±0,25	8,81±0,25	0,005

<sup>†</sup> Ciclos de produção avaliados no período frio e quente, respectivamente;

<sup>‡</sup> Média±erro padrão;

<sup>§1</sup> Creche: t=5 semanas; <sup>§2</sup> Crescimento-terminação: t=10 (10<sub>CT</sub>) e 15 semanas (15<sub>CT</sub>).

**Tabela 6:** Consumo de água em função do tipo de bebedouro e do período de alojamento dos suínos.

		Tipo Bebedouro <sup>†</sup> (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )			P-value
		BB <sup>‡1</sup>	NI <sup>‡2</sup>	BO <sub>H</sub> <sup>‡3</sup>	
I <sup>§1</sup>	10C <sub>T</sub>	8,39±0,30 <sup>a</sup>	6,81±0,33 <sup>b</sup>	7,81±0,33 <sup>a</sup>	0,006
	15C <sub>T</sub>	8,96±0,29 <sup>a</sup>	7,23±0,31 <sup>b</sup>	8,65±0,31 <sup>a</sup>	0,001
F <sup>§2</sup>	10C <sub>T</sub>	7,71±0,43	6,43±0,47	7,14±0,47	0,130
	15C <sub>T</sub>	8,24±0,41 <sup>a</sup>	6,84±0,44 <sup>b</sup>	8,16±0,44 <sup>a</sup>	0,037
Q <sup>§3</sup>	10C <sub>T</sub>	9,07±0,43 <sup>a</sup>	7,19±0,47 <sup>b</sup>	8,48±0,47 <sup>ab</sup>	0,012
	15C <sub>T</sub>	9,68±0,40 <sup>a</sup>	7,62±0,44 <sup>b</sup>	9,15±0,44 <sup>a</sup>	0,002

Na mesma linha, médias com letras distintas diferem significativamente pelo teste *t* ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>†</sup> Média±erro padrão.

<sup>‡1</sup> Chupeta Bite-Ball; <sup>‡2</sup> Chupeta Convencional; <sup>‡3</sup> Taça/concha horizontal;

<sup>§1</sup> Período integral; <sup>§2</sup> Período frio; <sup>§3</sup> Período quente.

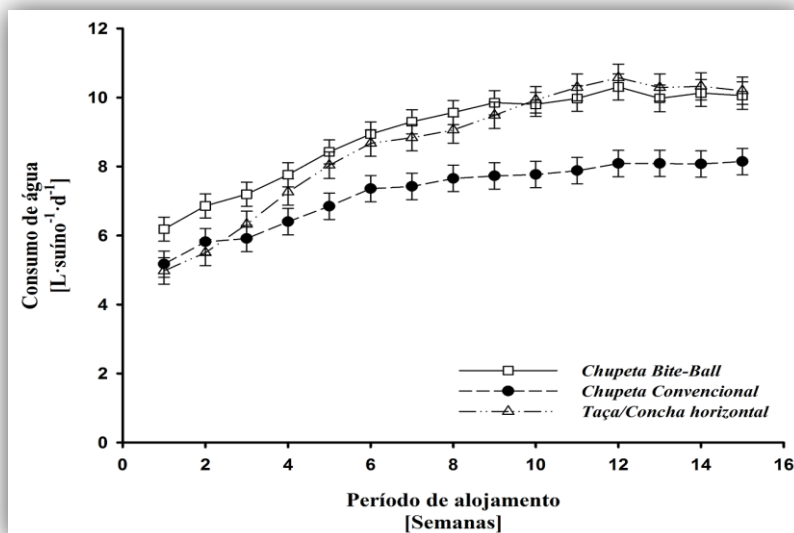
As médias do consumo de água exibidas na Tabela 5 para a fase fisiológica de C<sub>R</sub> não apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos do ano avaliados ( $P=0,427$ ). No entanto, foram observadas diferenças significativas entre os dois períodos do ano para a fase fisiológica de C<sub>T</sub>, considerando os períodos de alojamento avaliados [10 e 15 semanas; ( $P < 0,005$ )]. Os valores médios mais



elevados foram obtidos no período quente, sendo estes 14% superiores aos observados no frio e para os dois períodos de alojamento.

Embora não tenha sido observada interação entre período e bebedouro [10 semanas ( $P=0,763$ ); 15 semanas ( $P=0,725$ )], o consumo de água dos suínos na fase fisiológica de  $C_T$  apresentou, em função do tipo de bebedouro instalado, diferenças significativas para o período integral da pesquisa [10 semanas ( $P=0,006$ ); 15 semanas ( $P=0,001$ )] (Tabela 6). Em ambos os períodos de alojamento, o consumo de água dos suínos apresentou diferenças significativas entre os bebedouros BB e  $BO_H$  face ao NI ( $P<0,05$ ), com exceção do período frio para 10 semanas de alojamento ( $P=0,123$ ). Na média, os menores consumos de água foram observados nas granjas com bebedouro NI (excetuando as duas primeiras semanas de alojamento) e os mais altos nas granjas com equipamento BB ( $\approx 17\%$ ). Considerando o período integral da pesquisa, não foram observadas diferenças significativas de consumo entre os bebedouros BO e BB (Figura 30).

**Figura 30:** Consumo de água por tipo de bebedouro para o período integral da pesquisa.



**Fonte:** adaptada de Tavares et al. (2014).

As médias do consumo de água na fase fisiológica de  $C_R$  para o período integral da pesquisa ( $2,76\pm 0,78$  L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) foram inferiores quando comparadas com a maioria dos resultados citados na literatura

(FROESE, 2003; FERREIRA et al., 2006; MASSABIE et al., 2014). No entanto, pesquisas recentes mostraram valores inferiores aos obtidos nesta pesquisa para o consumo dos suínos (GUERINI FILHO et al., 2015). Para a fase fisiológica de  $C_T$ , os valores médios obtidos ( $7,72 \pm 1,32$  e  $8,33 \pm 1,37$  L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>; período de alojamento de 10 e 15 semanas, respectivamente) foram superiores quando comparados com os valores citados na literatura, independentemente do tipo de bebedouro instalado nas granjas (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; FROESE, 2003; LI et al., 2005; BRUMM, 2006). Alguns resultados obtidos a partir de pesquisas com alimentação líquida apresentaram, no entanto, consumos de água semelhantes (VERMEER; KUIJKEN; SPOOLDER, 2009) ou ligeiramente superiores para a fase fisiológica de  $C_T$  (NANNONI et al., 2013).

Embora o consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$  tenha dependido do período do ano e do tipo de bebedouro instalado, foi registrado, tal como citado na literatura, um incremento no perfil do consumo dos animais com o aumento da ingestão de ração e da massa corporal dos suínos (GONYOU, 1996). As diferenças obtidas entre os dois períodos do ano avaliados nas granjas ( $P < 0,005$ ) indicaram carências por parte dos produtores, durante o período quente, em disponibilizarem os mecanismos necessários para reduzir as elevadas temperaturas observadas no interior dos edifícios de alojamento e assim, proporcionar maior conforto térmico aos animais (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000). Na fase fisiológica de  $C_R$ , em sentido oposto, não foram observadas diferenças significativas no consumo de água dos animais ( $P > 0,05$ ), demonstrando a eficiência do sistema de controle de ambiência instalado nas granjas no período integral da pesquisa.

As diferenças observadas na Tabela 5 entre o período frio e quente para a fase fisiológica de  $C_T$  podem ser explicadas por dois dos principais fatores de variação do consumo de água: a temperatura registrada no ambiente interno e o tipo de bebedouro instalado nos edifícios de alojamento. Em relação às temperaturas, os valores médios registrados durante o período quente ( $23,9 \pm 0,1$  °C) foram superiores ao intervalo indicado como o ideal (conforto térmico) para suínos em crescimento-terminação (entre 18 e 21 °C), o que poderá ter influenciado tanto o consumo de água como o desempenho zootécnico dos animais (HUYNH et al., 2005b). Na fase fisiológica de  $C_R$ , as temperaturas médias dos dois períodos não apresentaram diferenças significativas (tempo integral:  $24,9 \pm 1,7$  °C; período frio:  $24,0 \pm 1,8$  °C; período quente:  $25,5 \pm 1,3$  °C), pelo que os valores se situaram dentro das

temperaturas de conforto dos animais (zona de neutralidade térmica, com temperatura a variar entre 24 e 28 °C). No entanto, externamente aos edifícios de alojamento, foram observadas amplitudes térmicas elevadas entre a noite e o dia, típicas na região onde se desenvolveu a pesquisa. Em condições ambientais e alimentares semelhantes, os suínos deveriam apresentar uma ingestão de água constante. Alguma inconsistência nos resultados obtidos poderá ser associada ao desperdício de água nos bebedouros, indicando que o seu manejo e regulagem não foram efetuados corretamente (AARNINK; van OUWERKERK; VERSTEGEN, 1992; BROOKS, 1994). Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas nos resultados do consumo de água entre alguns tipos de bebedouros, vazões acima da capacidade de ingestão dos animais poderão ter incrementado as médias do consumo, resultando, essencialmente, do desperdício dos equipamentos instalados (LI et al., 2005).

A interação entre período e bebedouro não apresentou correlação com o consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$ . No entanto, tanto no período frio quanto no quente foram observadas influências significativas nas granjas avaliadas do tipo de bebedouro e de fatores associados ao seu uso (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; BABOT et al., 2011). Os valores apresentados na Tabela 6 mostraram que o consumo de água registrado nas granjas com bebedouro NI foi menor quando comparado com as granjas com equipamentos  $BO_H$ , contrastando com os resultados citados na literatura (PLAGGE; van LEUTEREN, 1989; GILL; BARBER, 1990; BROOKS, 1994; PEDERSEN, 1994; BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; LI et al., 2005; BABOT et al., 2011). Os resultados das granjas com bebedouro  $BO_H$  foram explicados pela regulagem observada no equipamento, ou seja, a sua posição de instalação e a altura da borda (fixado a 0,25 m do piso). Quando instalado nas granjas, o bebedouro tipo taça/concha deve ser ajustado de modo a que a sua borda se encontre a 40% da altura do menor suíno na baia e de modo a evitar a excreção para o seu interior e a acumulação de restos de ração (“*fouling*”) (PEDERSEN, 1994). Atualmente, é conhecida a preferência dos suínos pelos equipamentos taça/concha, no entanto, se estes apresentarem os problemas referidos anteriormente, os animais darão preferência aos bebedouros tipo chupeta (BO e/ou NI) (BROOKS, 1994). Consumos de água superiores em bebedouros tipo BB também foram reportados na literatura (BABOT et al., 2011).

## 4.2. A PRODUÇÃO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA

### 4.2.1. Volume de dejetos produzidos

Os volumes de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ , considerando tanto o período integral (Tabela 7) quanto os dois períodos do ano avaliados no experimento [frio e quente (Tabela 8)] são apresentados de seguida. As médias da produção de dejetos dos suínos na fase fisiológica de  $C_T$  em função do tipo de bebedouro instalado e do período de alojamento podem ser observadas na Tabela 9.

**Tabela 7:** Volumes de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para o período integral da pesquisa.

Fase Fisiológica	n <sup>†</sup>	Média	$\sigma^{\ddagger}$	Máx.	Mín.
		(L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )			
$5C_R$ <sup>§1</sup>	32	1,59	0,60	3,03	0,62
$10C_T$ <sup>§2</sup>	33	4,15	0,78	5,90	2,63
$15C_T$ <sup>§2</sup>	28	4,46	0,82	6,24	2,93

<sup>†</sup> Ciclos de produção avaliados;

<sup>‡</sup> Desvio padrão;

<sup>§1</sup> Creche: t=5 semanas; <sup>§2</sup> Crescimento-terminação: t=10 ( $10C_T$ ) e 15 semanas ( $15C_T$ ).

**Tabela 8:** Volumes de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para os dois períodos do ano avaliados: frio e quente.

Fase Fisiológica	n <sup>†</sup>	Média <sup>‡</sup>		P-value
		(L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )		
		Período Frio <sup>§1</sup>	Período Quente <sup>§2</sup>	
$5C_R$ <sup>§1</sup>	15/17	1,57±0,11	1,60±0,10	0,825
$10C_T$ <sup>§2</sup>	17/16	4,12±0,17	4,06±0,17	0,800
$15C_T$ <sup>§2</sup>	16/16	4,57±0,17	4,35±0,17	0,365

<sup>†</sup> Ciclos de produção avaliados no período frio e quente respectivamente;

<sup>‡</sup> Média±erro padrão;

<sup>§1</sup> Creche: t=5 semanas; <sup>§2</sup> Crescimento-terminação: t=10 ( $10C_T$ ) e 15 semanas ( $15C_T$ ).

**Tabela 9:** Produção de dejetos em função do tipo de bebedouro e do período de alojamento dos suínos.

		Tipo Bebedouro <sup>†</sup> (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )			P-value
		BB <sup>‡1</sup>	NI <sup>‡2</sup>	BO <sub>H</sub> <sup>‡3</sup>	
T <sup>§1</sup>	10C <sub>T</sub>	4,70±0,19 <sup>a</sup>	3,74±0,22 <sup>b</sup>	3,83±0,22 <sup>a</sup>	0,004
	C <sub>T15</sub>	5,09±0,19 <sup>a</sup>	3,98±0,21 <sup>b</sup>	4,30±0,21 <sup>a</sup>	0,002
F <sup>§2</sup>	10C <sub>T</sub>	4,80±0,26 <sup>a</sup>	3,88±0,31 <sup>b</sup>	3,83±0,22 <sup>b</sup>	0,004
	15C <sub>T</sub>	5,33±0,26 <sup>a</sup>	4,15±0,30 <sup>b</sup>	4,22±0,30 <sup>b</sup>	0,003
Q <sup>§3</sup>	10C <sub>T</sub>	4,59±0,28	3,61±0,31	3,98±0,31	0,056
	15C <sub>T</sub>	4,85±0,27 <sup>a</sup>	3,82±0,30 <sup>b</sup>	4,38±0,30 <sup>ab</sup>	0,040

Na mesma linha, médias com letras distintas diferem significativamente pelo teste *t* ( $p \leq 0,05$ ).

<sup>†</sup> Média±erro padrão.

<sup>‡1</sup> Chupeta Bite-Ball; <sup>‡2</sup> Chupeta Convencional; <sup>‡3</sup> Taça/concha horizontal;

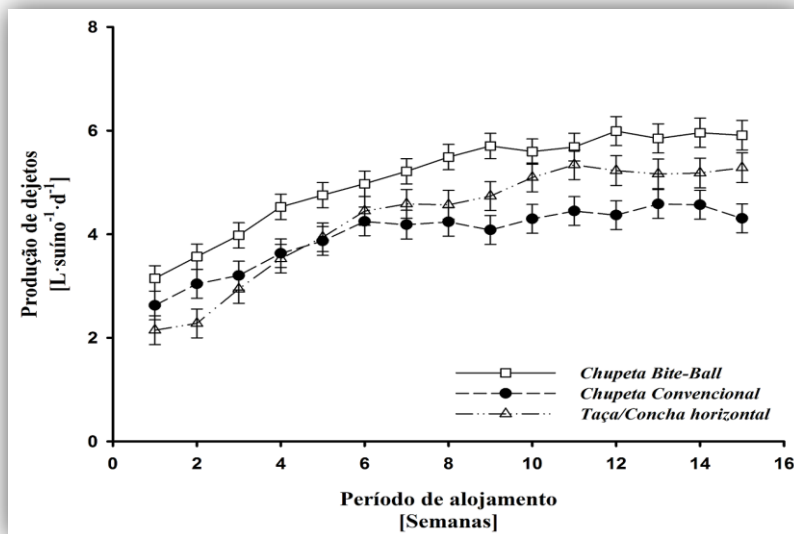
<sup>§1</sup> Período integral; <sup>§2</sup> Período frio; <sup>§3</sup> Período quente.

De acordo com a Tabela 8, os volumes de dejetos dos suínos nas fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e C<sub>T</sub> não apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos do avaliados ( $P > 0,05$ ). Os valores médios mais elevados foram observados na fase fisiológica de C<sub>T</sub> durante o período frio, sendo 3 a 4% superiores ao quente. Na determinação dos volumes de dejetos produzidos, foram excluídos os consumos referentes à água consumida na limpeza e desinfecção dos edifícios de alojamento.

Embora não tenha sido observada interação entre os períodos e o tipo de bebedouro [10 semanas ( $P = 0,598$ ); 15 semanas ( $P = 0,521$ )], as médias de produção de dejetos na fase fisiológica de C<sub>T</sub> apresentaram, em função do tipo de bebedouro instalado nas granjas, diferenças significativas para o período integral da pesquisa nos dois períodos de alojamento avaliados ( $P < 0,005$ ) (Tabela 9). Os suínos nas granjas com bebedouros tipo BO<sub>H</sub> e NI apresentaram médias de produção de dejetos menores (16 a 18% e 20 a 22%, respectivamente) quando comparados com os animais que tiveram acesso ao equipamento BB (10 e 15 semanas de alojamento). Nos dois períodos de alojamento considerados, a produção de dejetos apresentou diferenças significativas entre os equipamentos BB e NI ( $P < 0,05$ ), com exceção do período quente para  $t = 10$  semanas de alojamento ( $P = 0,056$ ). Na média, as menores produções de dejetos foram registradas nas granjas com os bebedouros

NI e BO<sub>H</sub> em comparação com as granjas BB (21 a 23% e 19 a 22%, respectivamente). As médias mais elevadas foram observadas nas granjas com bebedouro BB, enquanto os menores volumes foram registrados até à quinta semana de alojamento nas granjas BO<sub>H</sub>. A partir dessa semana e até ao final dos ciclos de produção, os animais com acesso ao equipamento NI apresentaram os menores volumes de dejetos produzidos (Figura 31). No período integral da pesquisa não foram observadas diferenças significativas nas médias de produção de dejetos entre as granjas com bebedouro NI e BO<sub>H</sub>.

**Figura 31:** Produção de dejetos por tipos de bebedouro para o período integral da pesquisa.



**Fonte:** adaptada de Tavares et al. (2014).

As médias da produção de dejetos na fase fisiológica de C<sub>R</sub> para o período integral da pesquisa ( $1,59 \pm 0,60 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ) foram inferiores quando comparadas com a maioria dos resultados citados na literatura (FROESE, 2003; FERREIRA et al., 2006). Pesquisas recentes mostraram, no entanto, valores mais baixos para a produção de dejetos nesta fase fisiológica em relação aos obtidos nesta pesquisa (GUERINI FILHO et al., 2015). Para a fase fisiológica de C<sub>T</sub>, os valores médios obtidos ( $4,15 \pm 0,78$  e  $4,46 \pm 0,82 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ; período de alojamento de 10 e 15 semanas, respectivamente) foram consistentes com os valores apresentados na literatura, independentemente do tipo de bebedouro

instalado nas granjas (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; FROESE, 2003; LI et al., 2005). Contudo, comparando os valores usados no Brasil como referência na fase fisiológica de  $C_T$  ( $7,0 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ), estes foram inferiores (OLIVEIRA, 1993).

Como observado anteriormente, as médias de produção de dejetos na fase fisiológica de  $C_T$  não apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos do ano avaliados. No entanto, os resultados obtidos para o período quente foram inferiores mesmo tendo-se registrado um consumo de água superior ( $\approx 14\%$  menor no período quente vs período frio). As diferenças entre as médias foram explicadas pela diferença nas temperaturas obtidas entre os dois períodos do ano (as temperaturas médias registradas foram superiores no período quente), o que influenciou a evaporação da água no interior dos edifícios de alojamento a partir do piso compacto de concreto e do corpo dos animais. Em condições de temperatura elevada, os suínos tendem a esfregar o seu corpo no piso, de forma a diminuir a temperatura corporal através da perda de água por evaporação (GUINGAND, 2003; HUYNH et al., 2005a; AARNINK et al., 2006). Os dados de evaporação referentes aos últimos 32 anos disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina mostraram valores de evaporação com variação entre 2-4 mm (inverno) e entre 4-6 mm (verão), o que ajuda a explicar os menores volumes de dejetos observados durante a fase quente da pesquisa.

A interação entre período do ano e bebedouro não apresentou correlação com a produção de dejetos na fase fisiológica de  $C_T$ . No entanto, as variações observadas no tipo de bebedouro demonstraram a sua influência na produção de dejetos nos dois períodos do ano avaliados (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; BABOT et al., 2011). Os valores apresentados na Tabela 9 mostraram, assim como para o consumo de água dos suínos, que as granjas equipadas com bebedouro BB registraram os valores mais altos para a produção de dejetos. Tal resultado demonstrou a influência do tipo de bebedouro instalado sobre o volume diário de dejetos produzidos, tal como reportado na literatura (BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; BABOT et al., 2011). Os resultados obtidos também mostraram que as granjas com o bebedouro NI registraram os menores volumes de dejetos produzidos, tendo diferido significativamente das granjas BB tanto no período integral da pesquisa quanto no período frio e quente ( $P < 0,05$ ; Tabela 9). Estes valores obtidos contrastaram com a maioria das pesquisas citadas na literatura uma vez que, em geral, o uso de bebedouros BO levou à produção de menores volumes de dejetos

(BRUMM; DAHLQUIST; HEEMSTRA, 2000; BABOT et al., 2011). As granjas com bebedouros BB e BO<sub>H</sub>, embora não tenham apresentado diferenças significativas no consumo de água (Tabela 6), diferiram significativamente em relação à produção de dejetos ( $5,09 \pm 0,19$  e  $4,30 \pm 0,21$  L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>; período de alojamento de 15 semanas). Tal fato ocorreu pela redução do volume de água no dejetos nas granjas com bebedouro BO<sub>H</sub> (canaleta externa aberta) associado à evaporação. Neste tipo de equipamento, devido à sua posição e design, houve a retenção de água no interior da taça/concha, promovendo a evaporação em função das temperaturas elevadas nos edifícios de alojamento.

#### 4.2.1.1. Caracterização físico-química dos dejetos produzidos

A caracterização físico-química dos dejetos produzidos nas fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e de C<sub>T</sub> para o período integral da pesquisa pode ser observada na Tabela 10.

**Tabela 10:** Caracterização físico-química dos dejetos produzidos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação

Dejeto	Fase Fisiológica C <sub>R</sub>			Fase Fisiológica C <sub>T</sub>		
	Média <sup>†</sup>	Máx.	Mín.	Média <sup>†</sup>	Máx.	Mín.
ST (g·L <sup>-1</sup> )	40,9±20,2	74,5	14,9	58,2±14,9	91,8	33,7
SF (g·L <sup>-1</sup> )	9,8±3,9	16,9	5,5	14,6±3,3	22,1	9,5
DQO (g·L <sup>-1</sup> )	-	-	-	74,8±14,9	111,3	47,7
COT (g·L <sup>-1</sup> )	17,1±9,2	30,8	4,5	-	-	-
N <sub>T</sub> (g·L <sup>-1</sup> )	3,3±1,4	6,2	1,3	5,3±1,1	7,2	3,6
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g·L <sup>-1</sup> )	1,6±0,5	2,8	1,0	3,1±0,6	4,5	2,5
P <sub>T</sub> (g·L <sup>-1</sup> )	0,7±0,3	1,3	0,3	1,2±0,3	1,8	0,7
K (g·L <sup>-1</sup> )	1,9±0,8	3,9	1,1	2,2±0,5	3,6	1,5
Cu (mg·L <sup>-1</sup> )	37±19	82	9	31±12	62	11
Zn (mg·L <sup>-1</sup> )	303±147	540	43	53±15	90	27
pH	6,5±0,1	6,7	6,4	7,5±0,3	8,2	6,9

<sup>†</sup> Média±desvio padrão.



### 4.3. A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E AMÔNIA

Os resultados dos procedimentos e protocolos seguidos na metodologia simplificada são apresentados nesta seção. Os valores obtidos foram utilizados como dados de entrada dos modelos usados para responder aos objetivos específicos da pesquisa, não sendo discutidos nesta seção.

#### Caracterização do sistema de produção

Na Tabela 11 são apresentados os resultados médios do desempenho zootécnico, assim como o consumo de água, a produção de dejetos e a quantidade de ração ingerida pelos suínos em função da fase fisiológica, do seu período de alojamento: 35 e 105 dias ( $C_R$  e  $C_T$ , respectivamente) e do número de ciclos de produção considerados.

**Tabela 11:** Desempenho zootécnico, consumo de água, produção de dejetos e quantidade de ração ingerida pelos suínos.

Parâmetros	Fase Fisiológica <sup>†</sup>	
	$C_R$	$C_T$
<b>N.º de ciclos</b>	16	33
<b>N.º suínos alojados</b>	26.695	13.276
<b>Idade inicial (dias)</b>	25,35±2,86	63,90±3,69
<b>Idade final (dias)</b>	64,35±4,34	177,8±21,28
<b>Massa corporal inicial (kg)</b>	7,36±0,98	24,5±2,26
<b>Massa corporal final (kg)</b>	24,76±2,62	122,6±19,20
<b>GMD (kg·d<sup>-1</sup>)<sup>‡1</sup></b>	0,44±0,04	0,89±0,05
<b>CA (kg·kg<sup>-1</sup>)<sup>‡2</sup></b>	1,43±0,05	2,51±0,18
<b>Mortalidade (%)</b>	2,03±1,06	3,30±2,34
<b>Consumo de água (L·d<sup>-1</sup>)</b>	2,68±0,83	8,33±1,37
<b>Produção de dejetos (L·d<sup>-1</sup>)</b>	1,57±0,60	4,46±0,82
<b>Ingestão de ração (kg·d<sup>-1</sup>)</b>	0,58±0,05	2,06±0,12

<sup>†</sup> Quando aplicável: média±desvio padrão;

<sup>‡1</sup> Ganho Médio Diário; <sup>‡2</sup> Conversão Alimentar.

### Caracterização do ar interno e externo das granjas

As concentrações médias dos gases no ar (interno e externo) obtidas após amostragem pontual semanal nas granjas de suínos na fase fisiológica de  $C_R$  são apresentadas na Tabela 12. Os valores das concentrações dos gases para os diferentes turnos avaliados (matutino e vespertino) podem ser observados no Apêndice D. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo das emissões de gases através do princípio dos “*défauts*” do balanço de massa e do método das relações de concentração.

**Tabela 12:** Concentrações médias dos gases no ar interno e externo das granjas de suínos na fase fisiológica de creche.

Tipo de ar	Concentração de Gases <sup>†</sup>				
	Média	$\sigma^{\ddagger}$	Máx.	Mín	
<b>Ar interno</b>					
<b>H<sub>2</sub>O</b>	(g·m <sup>-3</sup> )	14,08	2,32	20,14	8,06
<b>CO<sub>2</sub></b>	(ppm-v)	1.453,32	543,66	3.113,52	648,61
<b>CH<sub>4</sub></b>	(ppm-v)	11,35	5,35	24,93	0,0
<b>N<sub>2</sub>O</b>	(ppm-v)	0,53	0,16	1,05	0,30
<b>NH<sub>3</sub></b>	(ppm-v)	4,82	2,51	13,12	1,24
<b>Ar externo</b>					
<b>H<sub>2</sub>O</b>	(g·m <sup>-3</sup> )	13,26	2,42	19,41	7,91
<b>CO<sub>2</sub></b>	(ppm-v)	492,96	38,64	660,02	417,23
<b>CH<sub>4</sub></b>	(ppm-v)	5,18	3,55	14,76	0,0
<b>N<sub>2</sub>O</b>	(ppm-v)	0,37	0,03	0,49	0,31
<b>NH<sub>3</sub></b>	(ppm-v)	0,91	0,25	1,48	0,36

<sup>†</sup> Desvio padrão.

<sup>‡</sup> n= 98 amostras.

ppm-v – concentração em volume: partes por milhão

## Caracterização do ambiente interno e externo

As características médias observadas a partir dos equipamentos “*data-logger*” marca Testo<sup>®</sup>, modelo 174H nas granjas comerciais de suínos na fase fisiológica de C<sub>R</sub> (n=16 ciclos) são apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13:** Características médias do ambiente nas granjas comerciais de suínos n fase fisiológica de creche.

<b>Tipo de ambiente<sup>‡</sup></b>	<b>Média</b>	<b><math>\sigma^{\dagger}</math></b>	<b>Máx.</b>	<b>Mín</b>
<b>Interno</b>				
<b>Temperatura</b> (°C)	24,0	1,5	27,8	18,2
<b>Umidade</b> (%)	69,6	11,4	99,6	36,1
<b>Externo</b>				
<b>Temperatura</b> (°C)	18,1	3,3	26,1	8,0
<b>Umidade</b> (%)	85,2	9,9	99,9	50,9

<sup>†</sup> Desvio padrão.

<sup>‡</sup> n= 16 ciclos.

## Outras determinações

A quantidade de ração consumida pelos suínos foi determinada em função dos dados fornecidos pelos produtores e pela agroindústria. Em virtude dos consumos terem sido fornecidos por tipo de ração em determinado período de tempo, e não como quantidade ingerida diariamente. Assim, foi necessário proceder ao ajuste da quantidade ingerida tendo como base a curva de crescimento utilizada (AUBRY, 2004), e os valores de desempenho médio (*e.g.*, ganho médio diário de massa corporal).

Os resultados obtidos para a caracterização físico-química da ração ingerida pelos suínos nas fases fisiológicas de C<sub>R</sub> e de C<sub>T</sub> nos ciclos de produção avaliados podem ser observados na Tabela 14.

**Tabela 14:** Caracterização físico-química da ração ingerida pelos suínos nas fases fisiológicas de creche e crescimento-terminação para os ciclos de produção avaliados.

Ração	Fase Fisiológica C <sub>R</sub>			Fase Fisiológica C <sub>T</sub>		
	Média <sup>†</sup>	Máx.	Mín.	Média <sup>†</sup>	Máx.	Mín.
<b>MS</b> (%)	89,3±0,7	90,5	88,1	88,9±0,9	90,9	86,4
<b>MM</b> (%)	5,4±0,2	5,7	5,1	4,2±0,5	5,7	3,3
<b>COT</b> (%)	40,8±0,3	41,2	40,2	-	-	-
<b>N<sub>T</sub></b> (g·kg <sup>-1</sup> )	33,0±1,5	35,8	30,8	2,8±0,3	3,4	2,2
<b>P<sub>T</sub></b> (g·kg <sup>-1</sup> )	6,1±0,5	6,8	5,0	5,1±0,7	7,8	3,8
<b>K</b> (g·kg <sup>-1</sup> )	9,3±0,6	10,6	8,3	6,3±1,1	9,5	3,8
<b>Cu</b> (mg·kg <sup>-1</sup> )	169±18	208	142	67±70	226	12
<b>Zn</b> (mg·kg <sup>-1</sup> )	1.493±241	1.933	1.073	123±48	517	18

<sup>†</sup> Média±desvio padrão.

#### 4.4. MODELAGEM NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

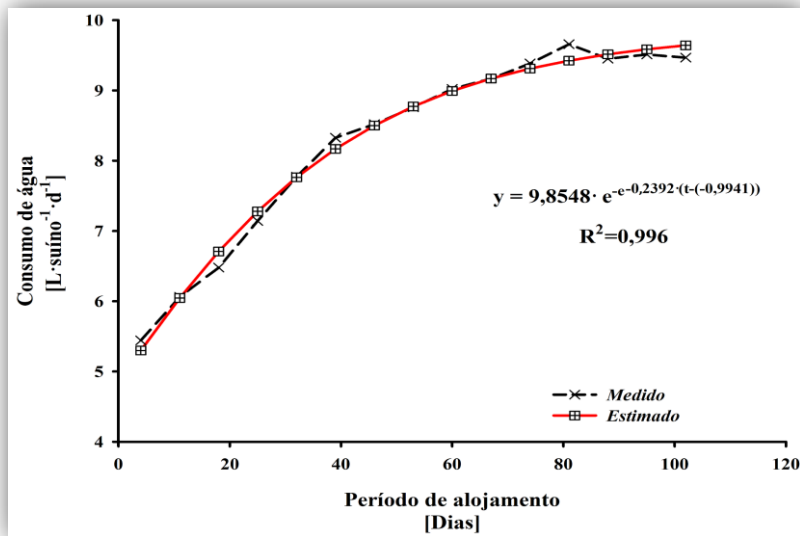
##### 4.4.1. Modelos não lineares assintóticos para estimativa do consumo de água dos suínos

O desenvolvimento do modelo para estimativa do consumo de água dos suínos na fase fisiológica de  $C_T$  e, quando instalados em sistema de produção “*wean-to-finish*” foi delineado, tal como indicado anteriormente, em função de três etapas:

- ✘ Etapa I: o modelo não linear de Gompertz foi ajustado às médias semanais do consumo de água, na fase fisiológica de  $C_T$ , em função do período de alojamento dos suínos ( $t=105$  dias) (TAVARES et al., 2014);
- ✘ Etapa II: os modelos não lineares (Brody, Gompertz, Logístico, Richards e von Bertalanffy) após ajuste às médias semanais do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$  foram comparados entre si, em função da idade (entre 63 e 168 dias), massa corporal (24,5 kg) e período de alojamento ( $t=105$  dias) dos suínos (TAVARES et al., 2016). O ajuste das curvas em função da massa corporal foi realizado após regressão linear simples entre o valor de massa determinado e a idade dos animais no momento das pesagens nas granjas;
- ✘ Etapa III: os modelos não lineares (Brody, Gompertz, Logístico, Richards e von Bertalanffy) após ajuste às médias semanais do consumo de água dos suínos foram comparados entre si, em função da sua idade ( $i$ ), quando instalados em sistema de produção “*wean-to-finish*”.

Neste contexto, são apresentados na Figura 32 os resultados da etapa I, onde se pode observar o ajuste do modelo não linear de Gompertz às médias semanais do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$  em função do período de alojamento dos suínos ( $t=105$  dias) (TAVARES et al., 2014).

**Figura 32:** Ajuste do modelo de Gompertz ao consumo de água dos suínos na fase fisiológica de  $C_T$ , em função do período de alojamento ( $t=105$  dias).



**Fonte:** adaptada de Tavares et al. (2014).

Os resultados apresentados na Figura 32 permitiram observar que o modelo não linear de Gompertz adequou-se ao perfil das médias semanais do consumo de água ( $n=32$  ciclos de produção), em função do período de alojamento dos suínos. O coeficiente de determinação registrado ( $R^2=0,996$ ) permitiu obter, com elevado grau de confiança, a explicação do perfil de consumo dos suínos durante a fase fisiológica de  $C_T$ . Neste contexto, nos primeiros dias de alojamento, o consumo dos animais foi exponencial sendo que, após o ponto de inflexão, o consumo foi assintótico.

As informações obtidas nesta fase mostraram-se promissoras face ao objetivo proposto. Tal fato permitiu o avanço para a etapa 2, onde se ajustou e comparou os resultados de diversos modelos não lineares às médias do consumo de água, em função de três variáveis [idade ( $i$ ), massa corporal ( $m$ ) e período de alojamento dos animais ( $t$ )]. Face à similaridade (comportamento) dos resultados obtidos para as três variáveis, na Tabela 15 são apresentadas as estimativas dos parâmetros, os valores do critério de informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro absoluto de estimação de cada modelo ajustado, em função da idade dos suínos ( $i$ ). Nos Apêndices E e F são exibidos os resumos dos resultados para o ajuste das médias do consumo

de água em função da massa corporal e do período de alojamento dos suínos, respectivamente.

**Tabela 15:** Estimativa dos parâmetros, valor do critério de informação de akaike (AIC), do coeficiente de determinação e do erro absoluto dos modelos ajustados para estimativa do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$ , em função da idade dos suínos.

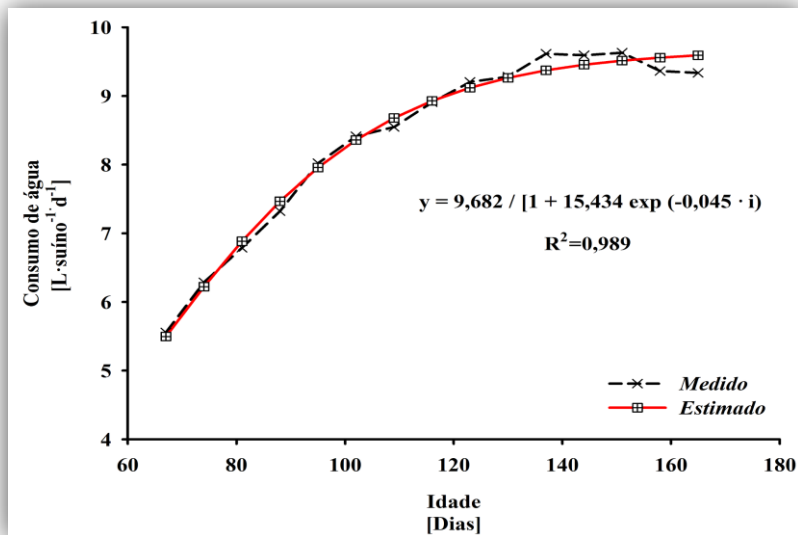
Modelo Matemático <sup>†</sup>	Parâmetros			AIC	R <sup>2</sup>	Erro <sup>‡</sup>
	a	b	c			
1	9,871	3,487	0,031	-4,33	0,984	0,13
2	9,756	0,038	52,599	-7,41	0,987	0,12
3	9,682	15,434	0,045	-10,00	0,989	0,11
4	9,759	0,007	0,038	-7,40	0,987	0,12
5	9,792	1,888	0,035	-6,42	0,986	0,13

<sup>†</sup> 1: Brody; 2: Gompertz; 3: Logístico; 4: Richards ( $v = 1000$ ); 5: von Bertalanffy;

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

Os valores exibidos mostraram que o modelo não linear Logístico (n.º 3) foi aquele que melhor se ajustou às médias do consumo de água na fase fisiológica de  $C_T$ , em função da idade dos animais (i) (Tabela 15). Quando comparado com os demais modelos ajustados, embora o Logístico tenha apresentado um coeficiente de determinação muito similar aos demais, este apresentou o menor valor para o critério de informação de Akaike (AIC), bem como o menor erro de estimação absoluto ( $0,11 L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot d^{-1}$ ) e relativo (1,32%). Quando comparados com os valores obtidos na etapa I (TAVARES et al., 2014), os resultados obtidos na etapa II mostraram maior robustez e confiança no ajuste para a estimativa do consumo de água (incremento da acurácia do modelo ajustado com conseqüente redução do erro de estimação). Para uma melhor compreensão dos resultados, é apresentado na Figura 33, o ajuste do modelo Logístico às médias do consumo de água dos suínos na fase fisiológica de  $C_T$  em função da sua idade (i).

**Figura 33:** Ajuste do modelo não linear Logístico ao consumo de água dos suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, em função da sua idade.



Fonte: Tavares et al. (2016).

Na etapa III foram comparados e ajustados às médias do consumo de água dos suínos os mesmos modelos não lineares utilizados na etapa II, simulando o alojamento dos animais no sistema de produção “*wean-to-finish*” [do desmame dos leitões até ao abate dos suínos (fases fisiológicas de  $C_R + C_T$ )]. Na Tabela 16 são apresentadas as estimativas dos parâmetros, os valores do critério de informação de Akaike (AIC), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro absoluto de estimação ( $L \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ) de cada modelo ajustado, em função da idade dos suínos (i).

Tal como na etapa anterior, os resultados obtidos na etapa III mostraram que o modelo não linear Logístico (n.º 3) foi aquele que melhor se adequou ao perfil das médias semanais do consumo de água dos suínos (do desmame ao abate – “*wean-to-finish*”), em função da sua idade (i).



**Tabela 16:** Estimativa dos parâmetros, valor do critério de informação de akaike (AIC), do coeficiente de determinação e do erro absoluto dos modelos ajustados para estimativa do consumo de água em função da idade dos suínos para o sistema “*wean-to-finish*”.

Modelo Matemático <sup>†</sup>	Parâmetros			AIC	R <sup>2</sup>	Erro <sup>‡</sup>
	a	b	c			
1	11,297	1,361	0,015	30,00	0,978	0,33
2	9,995	0,032	50,294	4,81	0,994	0,17
3	9,639	19,634	0,048	-12,84	0,997	0,12
4	9,995	0,005	0,032	4,84	0,994	0,17
5	10,231	1,057	0,026	13,41	0,991	0,21

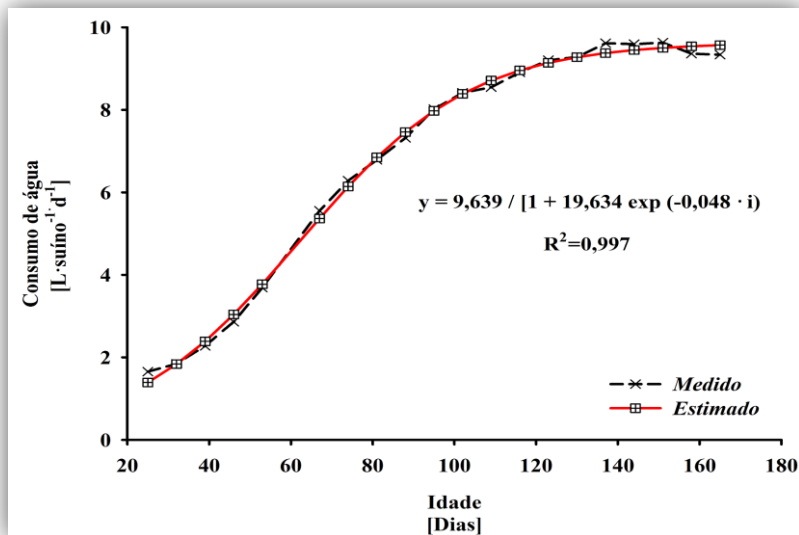
<sup>†</sup> 1: Brody; 2: Gompertz; 3: Logístico; 4: Richards (v = 1000); 5: von Bertalanffy;

<sup>‡</sup> Erro de estimação absoluto (L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>).

Neste contexto, após comparação com os outros modelos ajustados (Brody, Gompertz, Richards e von Bertalanffy), o Logístico apresentou o menor valor para o critério de informação de Akaike (AIC) bem como, o menor erro de estimação absoluto (0,12 L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) e relativo (2,58%) para os animais avaliados nos 32 ciclos de produção em cada fase fisiológica de produção (C<sub>R</sub> e C<sub>T</sub>). Na Figura 34 podem ser observados os resultados obtidos no ajuste do modelo Logístico aos valores médios do consumo de água dos suínos em função da sua idade. Convém ressaltar que, com exceção dos resultados já publicados da etapa I (TAVARES et al., 2014) e etapa II (TAVARES et al., 2016), observa-se na literatura um reduzido número de informações sobre a aplicação destes tipos de modelos não lineares assintóticos para a estimativa do consumo de água na produção de suínos, o que impossibilita a comparação dos resultados apresentados com outras pesquisas.

O desenvolvimento do modelo simplificado (Etapas II e III) para estimativa do consumo de água dos suínos está, atualmente, na base da elaboração de um software inovador voltado para a gestão da água em granjas comerciais de suínos no Brasil.

**Figura 34:** Ajuste do modelo não linear Logístico ao consumo de água dos suínos em sistema de produção “*wean-to-finish*”, em função da sua idade.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

O conhecimento do consumo diário dos animais no seu ciclo e/ou sistema produtivo torna-se fundamental, pois a água pode exercer um forte impacto ambiental, quer pelo seu consumo enquanto recurso natural finito quer pelo papel que desempenha na produção de dejetos e, conseqüentemente, na emissão de gases. As funções a serem disponibilizadas pelo software permitirão, tanto a produtores como a outros atores associados à produção de suínos, controlar de forma efetiva e em tempo real o consumo de água em granjas comerciais a partir de um dispositivo de medição instantâneo (hidrômetro com sistema automatizado de leitura). Se detectada alguma anormalidade no volume de água consumido, o software liberará avisos com indicação de possíveis causas para o desvio dos valores registrados [tanto para consumo alto (*e.g.*, ruptura na rede hidráulica, vazamento e regulação incorreta dos bebedouros) quanto para consumo baixo (*e.g.*, qualidade da ração, entupimento, problema sanitário no efetivo alojado)].

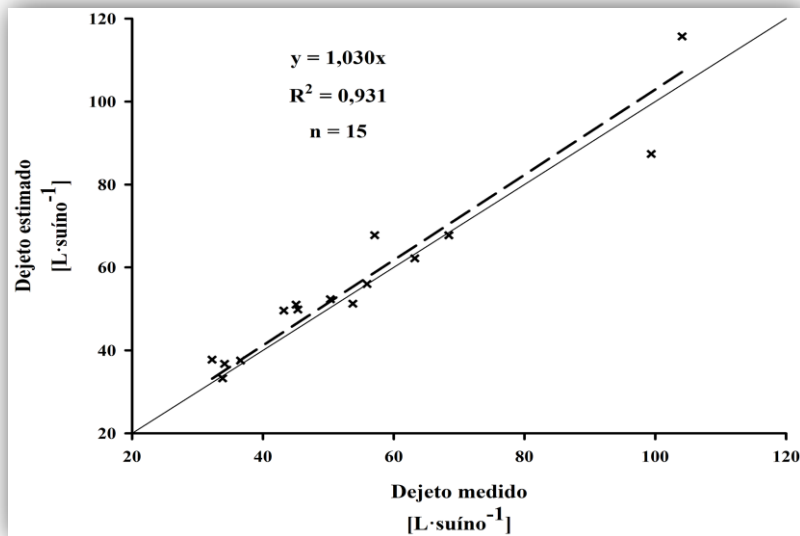
#### 4.4.2. Estimativa do volume e da composição dos dejetos suínos

O modelo matemático adaptado foi validado com dados experimentais obtidos em granjas comerciais de suínos, nas fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$  ( $n=16$  e  $n=33$  ciclos de produção, respectivamente). Do total de ciclos avaliados em ambas as fases fisiológicas, alguns não apresentaram os quesitos necessários para serem incluídos na validação do modelo. Tal fato se deveu a problemas associados à coleta de dados de entrada para o modelo [e.g., problemas na análise laboratorial de algumas amostras, erros nas leituras de consumo de água e produção de dejetos, avaria nos equipamentos de coleta de dados de temperatura e umidade (“*data-logger*”, marca Testo®, modelo 174H) e ausência de informações do desempenho dos animais]. Assim, para validar o modelo em estudo foram assumidos pressupostos derivados do modelo original (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003) ou de outros já validados em pesquisas anteriores com dados experimentais (OLIVEIRA, 2003; RIGOLOT et al., 2010a). Devido à escassez de dados do peso vivo dos suínos avaliados em cada ciclo de produção, foi necessário recorrer ao ajuste das curvas de crescimento para cada fase fisiológica a partir da equação disponível na literatura (AUBRY et al., 2004). É importante ressaltar que os resultados obtidos na validação do volume e da composição físico-química dos dejetos produzidos na fase fisiológica de  $C_R$  serão utilizados, posteriormente, no princípio de cálculo dos “*défauts*” do balanço de massa para estimativa das emissões de gases nas granjas.

A validação do modelo para a estimativa do volume de dejetos produzidos nas fases fisiológicas de  $C_R$  e  $C_T$ , foi realizada comparando os resultados estimados pelo modelo adaptado com os valores medidos nos ciclos de produção avaliados nas granjas comerciais de suínos.

Os volumes de dejetos estimados no modelo, para o período de alojamento na fase fisiológica de  $C_R$  (até um máximo de 35 dias), mostraram-se robustos, mas com precisão ligeiramente inferior a outros resultados presentes na literatura (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a). Tal fato pode ser observado na Figura 35, quer pela inclinação da reta de regressão linear entre os valores estimados e os medidos (1,030), quer pelo coeficiente de determinação obtido ( $R^2=0,931$ ). O erro de estimação absoluto foi de 4,5  $L \cdot suíno^{-1}$  (0,13  $L \cdot suíno^{-1} \cdot d^{-1}$ ) o que representou 8,0% do volume médio de dejetos medido nas granjas (54,8  $L \cdot suíno^{-1}$ ).

**Figura 35:** Relação entre o volume de dejetos estimado pelo modelo e o medido nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche (n=15 ciclos).



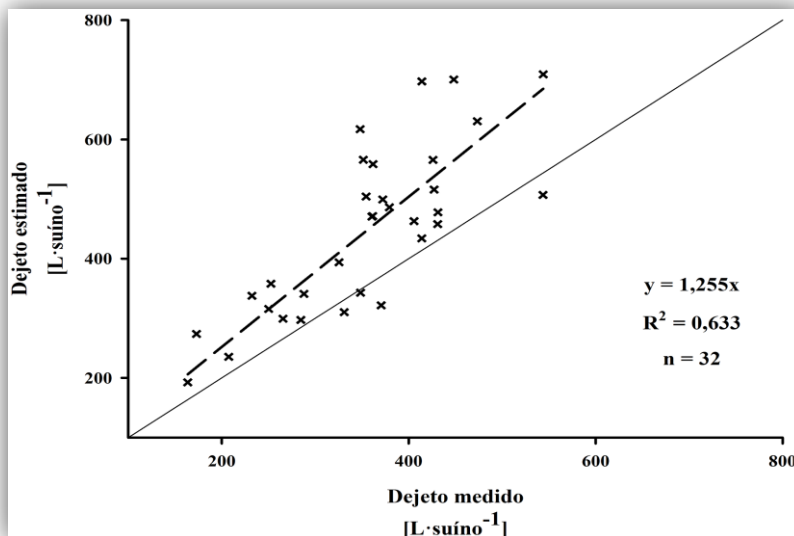
**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Os resultados obtidos para a estimativa do volume de dejetos na fase fisiológica de  $C_R$  foram concordantes, mas ligeiramente superiores aos valores citados em outras pesquisas [volumes estimados: 51,8 e 47,0  $L \cdot \text{suíno}^{-1}$ ; medidos: 52,0 e 46,0  $L \cdot \text{suíno}^{-1}$ , respectivamente (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a)].

Para a fase fisiológica de  $C_T$ , o modelo adaptado apresentou uma correlação moderada para a estimativa dos volumes de dejetos produzidos, considerando o período total de alojamento dos suínos (até um máximo de 105 dias). De fato, os resultados exibidos na Figura 36 mostram uma superestimação do modelo em comparação com os valores medidos nas granjas. A inclinação da curva (1,255) associada ao coeficiente de determinação (0,633) e ao erro de estimação absoluto [ $100,0 L \cdot \text{suíno}^{-1}$ , ou seja, 28,2% do volume médio medido nas granjas ( $354,3 L \cdot \text{suíno}^{-1}$ )] indicou que o modelo apresentou precisão mediana face ao sistema de produção das granjas na fase fisiológica de  $C_T$ , no sul do Brasil (ventilação natural). Convém ressaltar que os resultados obtidos no modelo original utilizando 19 pesquisas citadas na literatura, em regime de ventilação forçada, apresentaram um erro de estimação absoluto muito inferior ( $12,5 L \cdot \text{suíno}^{-1}$ ), representando 3,6% do volume

de dejetos medido ( $344,0 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}$ ) (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a).

**Figura 36:** Relação entre o volume de dejetos estimado pelo modelo e o medido nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação ( $n=32$  ciclos).



Fonte: elaborada pelo autor (2016).

#### 4.4.2.1. Balanço geral da água

Na validação do modelo para a estimativa do volume de dejetos produzidos pelos suínos foram observadas diferenças significativas nos resultados do balanço geral da água em função da fase fisiológica avaliada (Tabela 17). De fato, os valores determinados comprovaram tanto a robustez e a precisão do modelo adaptado para a fase fisiológica de  $C_R$  (“déficit” do balanço na média:  $2,46 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ ) quanto a correlação moderada observada para a fase fisiológica de  $C_T$  [“déficit” do balanço na média: 13,2% dos “inputs” de água ( $723,46 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )]. Embora fosse esperada a obtenção de resultados similares nas duas fases fisiológicas (localização das granjas na mesma região e em condições ambientais externas semelhantes), tal fato não foi observado em campo. Na fase fisiológica de  $C_T$ , em condições de ventilação natural e sem controle de ambiência interna dos edifícios de alojamento, foi observada

na maioria dos resultados, uma superestimação dos valores obtidos através do modelo face aos medidos nas granjas de suínos.

**Tabela 17:** Balanço geral da água nas granjas de suínos nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação.

Balanço da Água (kg·suíno <sup>-1</sup> )	Fase de C <sub>R</sub> <sup>†</sup>		Fase de C <sub>T</sub> <sup>‡</sup>	
	“Inputs”	“Outputs”	“Inputs”	“Outputs”
H <sub>2</sub> O <sub>Bebedouro</sub>	99,83		652,23	
H <sub>2</sub> O <sub>Ração</sub>	2,24		17,91	
H <sub>2</sub> O <sub>Metabólica</sub>	7,50		53,32	
H <sub>2</sub> O <sub>Retida</sub>		16,68		72,13
H <sub>2</sub> O <sub>Evaporada</sub>		37,16		213,45
H <sub>2</sub> O <sub>Dejeto</sub>		53,27		342,57
<b>H<sub>2</sub>O<sub>Balanço</sub><sup>§</sup></b>	<b>≠ + 2,46</b>		<b>≠ - 95,31</b>	

<sup>†</sup> Fase fisiológica de creche (n=15 ciclos de produção);

<sup>‡</sup> Fase fisiológica de crescimento-terminação (n=32 ciclos de produção);

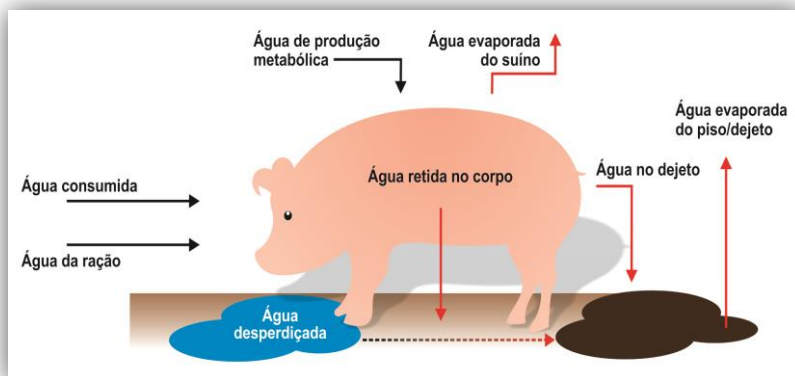
<sup>§</sup> Diferença entre o somatório dos “Inputs” e o somatório dos “Outputs”.

Da análise dos resultados do balanço de água para a fase fisiológica de C<sub>T</sub> disponíveis na Tabela 17 e de todos os dados de entrada utilizados para as variáveis consideradas, verificou-se a necessidade de serem realizadas novas calibrações no modelo. Neste contexto, mantendo os processos originais do modelo foi observado o menor ajuste do modelo original e a impossibilidade de explicar as perdas de água no sistema, na fase fisiológica de C<sub>T</sub>, causada pelo fenômeno de evaporação a partir do piso completo das baias (desperdício do bebedouro) e da superfície dos dejetos (TAVARES et al., 2014; DOURMAD, 2016). Diante do exposto, e com o objetivo de reduzir o “déficit” observado na fase de C<sub>T</sub>, foi introduzido um novo processo ao modelo original. Assim, fez-se necessário adicionar um novo termo à equação geral do balanço de água, considerando a evaporação da água que ocorreu em função das condições ambientais nos edifícios de alojamento, a partir do piso das baias, do tipo de bebedouro e desperdício associado [Figura 37; Equação (94)].

O novo processo adicionado à equação do balanço geral da água encontra-se descrito na literatura como estando associado à transferência

evaporativa, ou seja, a conversão do calor sensível em calor latente nos edifícios de alojamento dos animais (sendo representado pelo coeficiente  $k_s$ ) (COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL, 1984). Este coeficiente pode ser estimado a partir da entrada de dados da umidade e da energia nos edifícios de alojamento dos animais no modelo.

**Figura 37:** Balanço da água dos suínos considerando a água evaporada a partir de várias superfícies dos edifícios de alojamento dos animais.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

$$H_2O_{\text{Bal.}} = H_2O_{\text{Beb.}} + H_2O_{\text{Raç.}} + H_2O_{\text{Met.}} - H_2O_{\text{Ret.}} - H_2O_{\text{Evap.}} - H_2O_{\text{PSEvap.}} \quad (94)$$

Em que:

- ✘  $H_2O_{\text{Bal.}}$ : água no balanço dos suínos ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{Limp.}}$ : água para limpeza ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{Beb.}}$ : água ingerida no bebedouro ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{Raç.}}$ : água ingerida na ração ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{Met.}}$ : água de produção metabólica ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{Ret.}}$ : água retida no corpo ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{Evap.}}$ : água evaporada pelo suíno ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ );
- ✘  $H_2O_{\text{PSEvap.}}$ : água evaporada do piso das baias e da superfície dos dejetos ( $\text{kg} \cdot \text{suíno}^{-1}$ ).

A quantidade de água evaporada do piso das baias e da superfície dos dejetos [Equação (95)] foi estimada através do cálculo da intensidade potencial de evaporação de uma superfície livre conforme o método de transferência de massas de *Penman* (XU, 2000). O cálculo da

variável é baseado a partir da Lei de Dalton [Equação (96)], do desperdício potencial de água nas granjas, considerando 2,0 kg de água por kg de ração ingerida (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1998) [Equação (99)] e de um fator de evaporação determinado em função das duas primeiras variáveis. Convém realçar que o método de *Penman* permite determinar a evaporação de superfícies líquidas, sendo considerado um método simples. No modelo, a equação da intensidade potencial de evaporação [Equação (96)] foi determinada a partir da regressão linear entre os dados médios diários da evaporação potencial da região do estudo ( $ET_0$ ) (medidos em um tanque classe A na estação meteorológica de Chapecó, considerando os meses do experimento de campo) e a diferença diária entre a pressão de saturação do vapor de água no ar atmosférico e a pressão atual do vapor de água (es-ea).

$$H_2O_{PSEvap.} = H_2O_{IPEvap.} \cdot H_2O_{Desp.} \cdot F_{Evap.} \quad (95)$$

$$H_2O_{IPEvap.} = 2,0251 + 3,7417 \cdot (es - ea) \quad (96)$$

$$es = (610,78 \cdot 10^{(7,5 \cdot t / (273,3+t))}) / 1000 \quad (97)$$

$$ea = es \cdot UR / 100 \quad (98)$$

$$H_2O_{Desp.} = H_2O_{Beb.} - Ração \cdot 2,0 \quad (99)$$

Em que:

- ✗  **$H_2O_{PSEvap.}$** : água evaporada do piso das baias e da superfície dos dejetos ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  **$H_2O_{IPEvap.}$** : intensidade potencial de evaporação ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  **$H_2O_{Desp.}$** : desperdício potencial de água ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗  **$F_{Evap.}$** : fator de evaporação;
- ✗ **es**: pressão de saturação do vapor d'água no ar atmosférico (Pa);
- ✗ **ea**: pressão atual do vapor d'água (Pa);
- ✗ **t**: temperatura do bulbo seco no interior do edifício ( $^{\circ}C$ );
- ✗ **UR**: umidade relativa no interior do edifício (%);
- ✗  **$H_2O_{Beb.}$** : água ingerida no bebedouro ( $kg \cdot suíno^{-1}$ );
- ✗ **Ração**: ração ingerida ( $kg \cdot suíno^{-1}$ ).

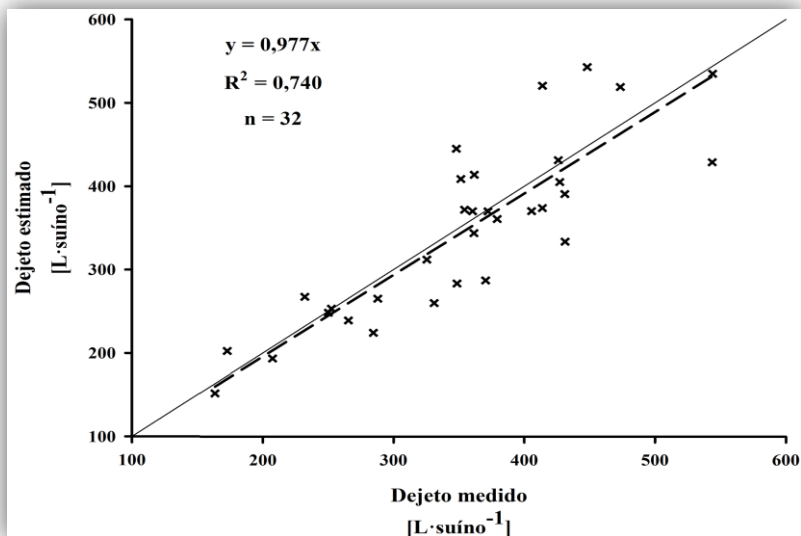
Para validar o novo termo na equação, os dados referentes aos 32 ciclos de produção da fase fisiológica de  $C_T$  foram reintroduzidos no



modelo adaptado, considerando: (1) fator único de evaporação para o período integral da pesquisa (0,061); (2) fator de evaporação por período do ano avaliado [frio (0,051); quente (0,066)]; (3) fator de evaporação por tipo de bebedouro instalado nas granjas [BB (0,062); NI (0,041); BO<sub>H</sub> (0,069)] e (4) fator de evaporação por período do ano avaliado e tipo de bebedouro instalado {frio [BB (0,031); NI (0,035); BO<sub>H</sub> (0,069)] e quente [BB (0,071); NI (0,044);BO<sub>H</sub> (0,070)]}.

Na Figura 38 são apresentadas as relações entre os volumes de dejetos estimados e os medidos para a fase fisiológica de C<sub>T</sub>, considerando um único fator de evaporação para o período integral da pesquisa. Os resultados obtidos para as estimativas dos volumes de dejetos produzidos considerando um fator por período do ano avaliado, por cada tipo de bebedouro e em função de ambos podem ser visualizados no Apêndice G.

**Figura 38:** Relação entre o volume de dejetos estimado e o medido nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação, considerando um único fator de evaporação para o período integral da pesquisa (n=32 ciclos).



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

O novo termo do balanço geral da água melhorou a acurácia do modelo para as granjas de suínos na fase fisiológica de C<sub>T</sub> (Tabela 18). A melhoria referida pode ser observada quer pela inclinação da reta de

regressão linear entre os valores estimados e os medidos (0,977), quer pelo coeficiente de determinação obtido ( $R^2=0,740$ ). Aplicando o fator único de evaporação para o período integral, o erro de estimação absoluto baixou de 100,0 para 40,0 L·suíno<sup>-1</sup> (0,38 L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), representando 11,3% do volume médio de dejetos medido nas granjas (354,3 L·suíno<sup>-1</sup>). Os resultados obtidos após ajuste do modelo para a fase fisiológica de C<sub>T</sub> mostraram-se concordantes, mas superiores aos valores citados na literatura [e.g., volume estimado: 340,6 L·suíno<sup>-1</sup> vs volume medido: 344,0 L·suíno<sup>-1</sup> (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOTT et al., 2010a)].

**Tabela 18:** Balanço geral da água nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação após cálculo da evaporação da água que ocorreu em função das condições ambientais nos edifícios de alojamento, do piso das baias, do tipo de bebedouro e desperdícios associados.

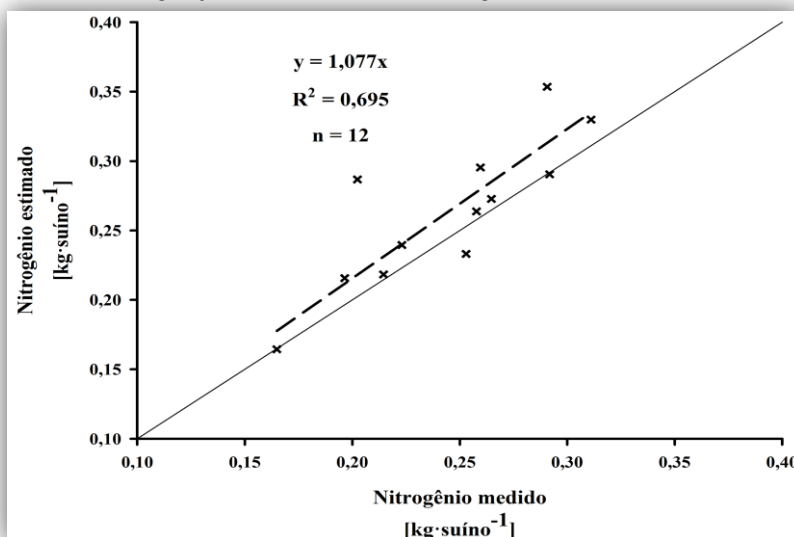
Balanço de água (kg·suíno <sup>-1</sup> )	Fatores de evaporação							
	<u>Integral</u>		<u>Período</u>		Bebedouro		Ambos	
	<i>Inp.</i>	<i>Out.</i>	<i>Inp.</i>	<i>Out.</i>	<i>Inp.</i>	<i>Out.</i>	<i>Inp.</i>	<i>Out.</i>
H <sub>2</sub> O <sub>Bebedouro</sub>	652,23		652,23		652,23		652,23	
H <sub>2</sub> O <sub>Ração</sub>	17,91		17,91		17,91		17,91	
H <sub>2</sub> O <sub>Metabólica</sub>	53,32		53,32		53,32		53,32	
H <sub>2</sub> O <sub>Retida</sub>		72,13		72,13		72,13		72,13
H <sub>2</sub> O <sub>Evaporada</sub>		213,45		213,45		213,45		213,45
H <sub>2</sub> O <sub>Dejeto</sub>		342,57		342,57		342,57		342,57
H <sub>2</sub> O <sub>PDEvaporada</sub>		99,67		98,19		97,59		95,39
H <sub>2</sub> O <sub>Balanço</sub>	≠ - 4,36		≠ - 2,87		≠ - 2,28		≠ - 0,08	

#### 4.4.2.2. Balanço de nitrogênio

As relações entre as quantidades de nitrogênio estimadas e as quantidades medidas nos dejetos para as fases fisiológicas de C<sub>R</sub> (Figura 39) e de C<sub>T</sub> (Figura 40) podem ser visualizadas de seguida. Os valores estimados pelo modelo apresentaram uma correlação de moderada a forte com os valores medidos em campo, na média, a serem superiores em ambas as fases fisiológicas avaliadas (C<sub>R</sub>: 0,26±0,05 vs 0,24±0,04

kg·suíno<sup>-1</sup>;  $C_T$ :  $2,35 \pm 0,58$  vs  $2,02 \pm 0,59$  kg·suíno<sup>-1</sup>). Os erros de estimação absolutos nas fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$  corresponderam, respectivamente, a 9,4% e 20,9% dos valores medidos nos dejetos em campo. De modo geral, as superestimações observadas no modelo tanto para a fase fisiológica de  $C_R$  (1,077; Figura 39) quanto para a fase de  $C_T$  (1,136; Figura 40) mostraram-se concordantes, mas inferiores aos valores citados na literatura [1,32 (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOTT et al., 2010a)].

**Figura 39:** Relação entre a quantidade de nitrogênio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche (n=12 ciclos).

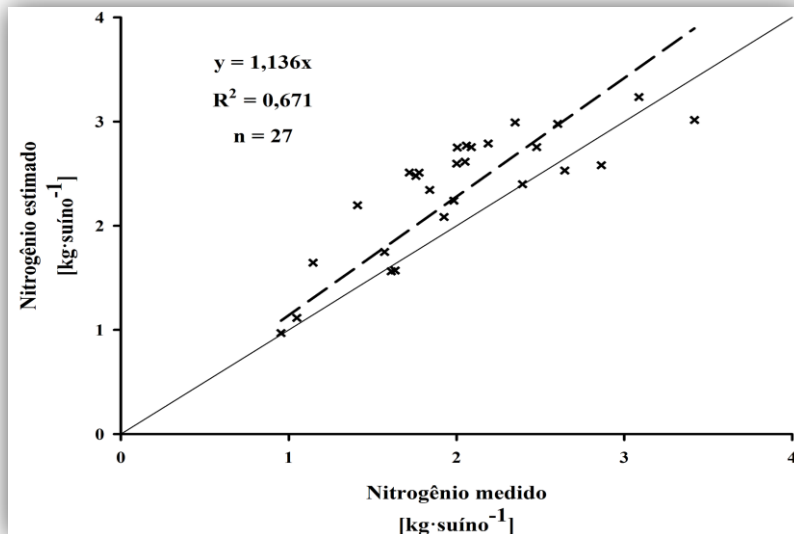


**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

As diferenças observadas podem ser explicadas pelo intervalo aplicado entre cada descarga dos dejetos (entre 24 e 48 horas, no máximo), o que impediu a volatilização completa dos compostos de nitrogênio presentes no dejetos armazenados nas canaletas internas e/ou externas das granjas. De fato, a quantidade de nitrogênio volatilizada em cada fase fisiológica ( $C_R$ : 12%;  $C_T$ : 13,5%), mesmo após ajuste do coeficiente de volatilização [Equação (53)], resultou em valores inferiores aos citados na literatura em relação ao nitrogênio excretado [23% (GUILLOU; DOURMAD; NOBLET, 1993); 24% (DOURMAD et al., 1999; COMITE D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT, 2003;

DOURMAD et al., 2015);  $22,4 \pm 9,1\%$  (GRIFFING; OVERCASH; WESTERMAN, 2007)].

**Figura 40:** Relação entre a quantidade de nitrogênio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (n=27 ciclos).



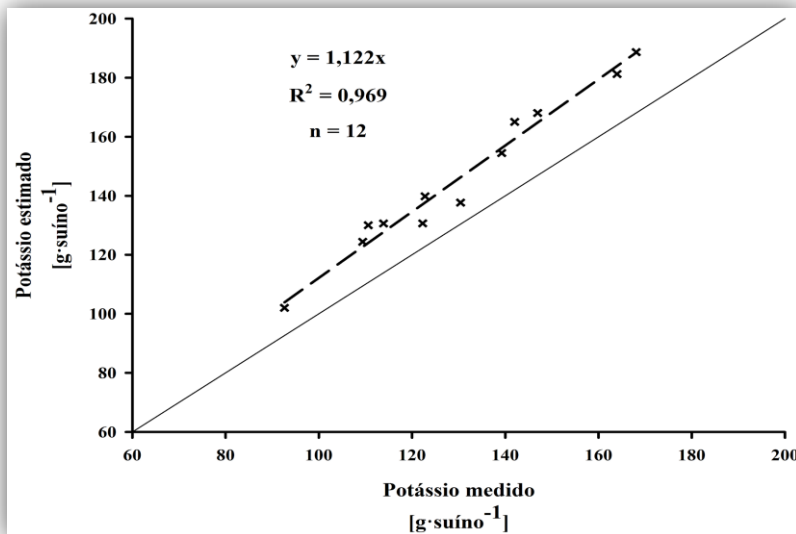
Fonte: elaborada pelo autor (2016).

#### 4.4.2.3. *Balanço de potássio e fósforo*

##### Estimativa da quantidade de potássio nos dejetos suínos

As estimativas da quantidade de potássio excretadas pelos suínos na fase fisiológica de C<sub>R</sub> mostraram-se robustas e precisas, tal como exibido na Figura 41. Na média, os valores medidos no dejecto foram 10,9% inferiores aos valores estimados pelo modelo ( $130,2 \pm 22,8$  vs  $146,1 \pm 25,6$  g·suíno<sup>-1</sup>, respectivamente). O erro de estimação absoluto foi 15,9 g·suíno<sup>-1</sup> (0,45 g·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>), o que representou 12,2% da quantidade medida nos dejetos nas granjas.

**Figura 41:** Relação entre a quantidade de potássio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche (n=12 ciclos).



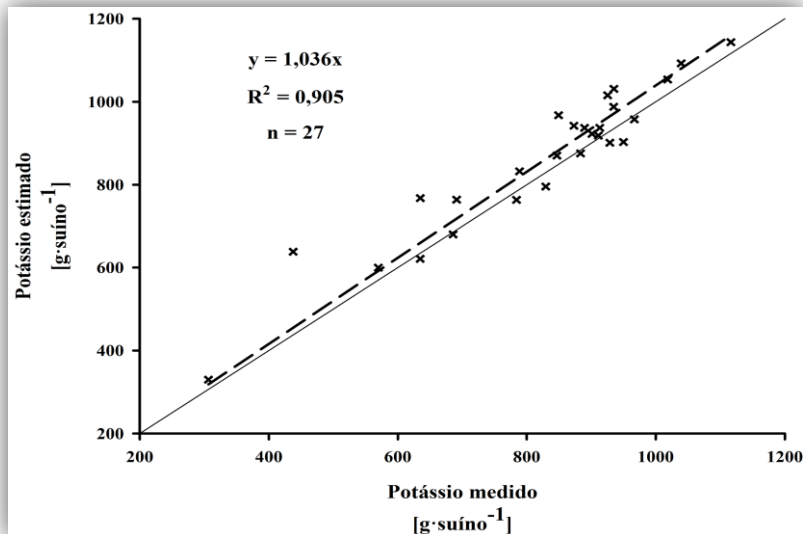
**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Para a fase fisiológica de  $C_T$ , o modelo adaptado também apresentou resultados robustos, no entanto, com menor precisão para a estimativa da quantidade de potássio nos dejetos produzidos (até um máximo de 105 dias de alojamento). Os resultados apresentados na Figura 42 mostraram um coeficiente de determinação elevado (0,905), com erro de estimação absoluto de  $48,5 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}$  [5,9% do volume médio medido nas granjas ( $823,9 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}$ )].

A superestimação da quantidade de potássio, em ambas as fases fisiológicas, não pode ser explicada pela subestimação da retenção do nutriente a partir do proposto pela Equação (68). Embora as quantidades de potássio retidas pelos suínos, nas fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ , tenham sido inferiores aos valores citados na literatura (38 e 22%, respectivamente), as suas relações com as quantidades excretadas nos dejetos foram concordantes, mas superiores quando comparadas com os dados citados na literatura [21%; (DOURMAD et al., 2015)]. Como a relação entre as quantidades retidas e ingeridas pelos animais foram relativamente constantes no decorrer dos ciclos de produção (aproximadamente 20 e 14% na fase fisiológica de  $C_R$  e de  $C_T$ , respectivamente), a discrepância entre os valores estimados e medidos

não podem ser associados à ingestão em excesso do nutriente fornecido na ração. Neste contexto, as superestimações dos modelos foram então relacionadas com as subestimações dos valores medidos nos dejetos amostrados nas granjas (amostras de dejetos muito diluídas). Estes problemas resultam das dificuldades encontradas, normalmente, na amostragem dos dejetos em granjas comerciais de suínos, tal como referido na literatura (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOT et al., 2010a). Assim, com o intuito de reduzir a diluição dos dejetos detectada nas amostras analisadas e os possíveis erros associados aos restantes elementos minerais, foi realizada uma correção às quantidades medidas em campo através da determinação de um fator de diluição. Este fator de diluição teve como pressuposto a solubilidade do potássio, ou seja, na ausência de perdas de líquido nas granjas (por percolação) não se observam perdas deste nutriente no sistema produtivo (balanço de massa: a quantidade de potássio ingerida na ração deve ser igual ao somatório da quantidade excretada e da retida). Consequentemente, após a correção realizada ao potássio e avaliada o efeito da mesma no modelo, o fator de diluição foi aplicado aos restantes nutrientes em estudo.

**Figura 42:** Relação entre a quantidade de potássio estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (n=27 ciclos).

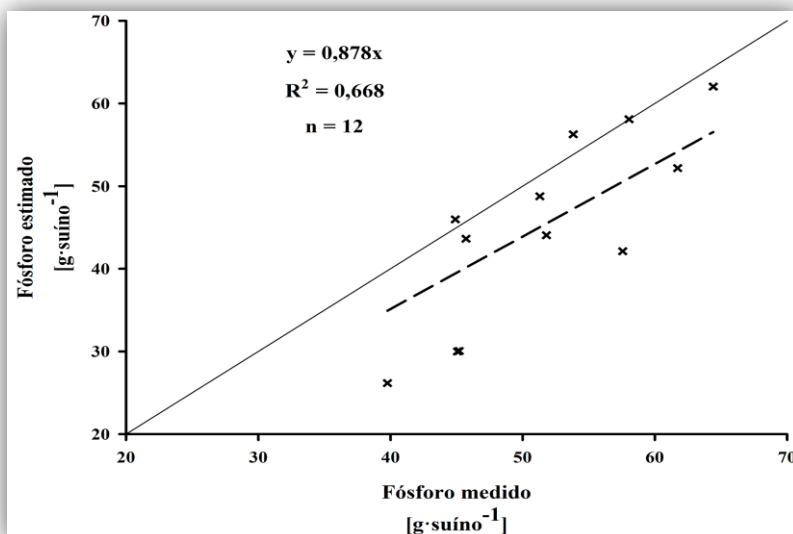


**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Estimativa da quantidade de fósforo nos dejetos suínos

As relações entre as quantidades estimadas e as medidas de fósforo nos dejetos suínos, para as fases fisiológicas de  $C_R$  (Figura 43) e  $C_T$  (Figura 44) são apresentadas de seguida. Na fase fisiológica de  $C_R$ , os valores medidos foram 14,8% superiores aos valores estimados pelo modelo ( $51,6 \pm 7,7$  vs  $45,0 \pm 11,6$  g·suíno<sup>-1</sup>). Contudo, a correlação mostrou-se moderada a forte, quer pelo valor da inclinação da reta (0,878) quer pelo coeficiente de determinação obtido ( $R^2=0,668$ ). O erro de estimação absoluto foi de 7,3 g·suíno<sup>-1</sup>, o que representou 14,9% da quantidade de fósforo medida nos dejetos durante os ciclos de produção.

**Figura 43:** Relação entre a quantidade de fósforo estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de creche (n=12 ciclos).

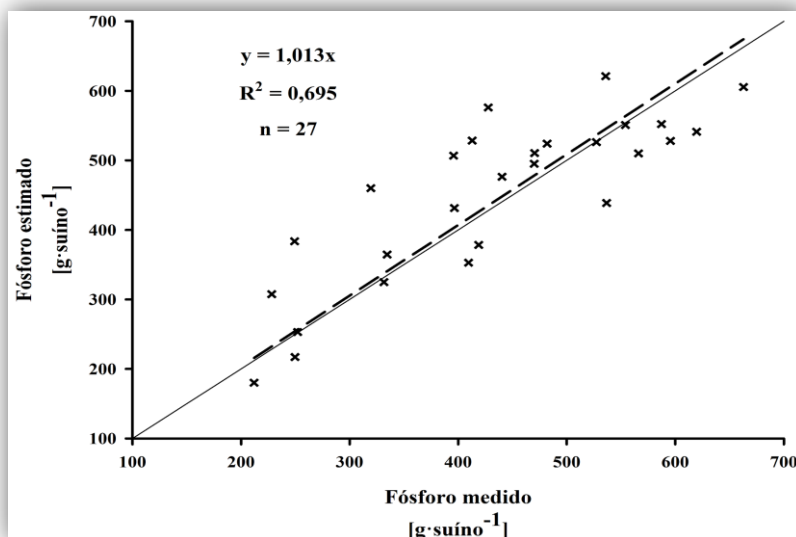


**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Para a fase fisiológica de  $C_T$ , o modelo adaptado apresentou uma correlação de moderada a forte para a estimativa das quantidades excretadas nos dejetos suínos (até um máximo de 105 dias de alojamento). Tal fato pode ser observado pelos resultados exibidos na Figura 44, onde foi observada uma ligeira superestimação do modelo em comparação com os valores medidos nas granjas [inclinação da curva (1,013) associada ao coeficiente de determinação (0,695)]. Na média, os

valores estimados foram superiores ao medidos, em aproximadamente 3,4% ( $448,0 \pm 118,3$  vs  $432,9 \pm 129,1$   $\text{g} \cdot \text{suíno}^{-1}$ ), sendo o erro de estimação igual a  $59,6$   $\text{g} \cdot \text{suíno}^{-1}$ , ou seja, aproximadamente  $0,57$   $\text{g} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ . Resultados citados na literatura mostraram, para a mesma fase fisiológica, diferenças superiores entre as quantidades de fósforo estimadas e as medidas ( $618 \pm 182$  vs  $537 \pm 137$   $\text{g} \cdot \text{suíno}^{-1}$ ; DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOTT et al., 2010a).

**Figura 44:** Relação entre a quantidade de fósforo estimada pelo modelo e a medida nas granjas de suínos na fase fisiológica de crescimento-terminação (n=27 ciclos).



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).

Na Tabela 19 são apresentadas, em resumo, as médias e desvios padrão dos erros de predição das variáveis estimadas no modelo, tanto o absoluto quanto em porcentagem, para ambas as fases fisiológicas avaliadas ( $C_R$  e de  $C_T$ ).



**Tabela 19:** Médias e desvios padrão dos erros de predição das variáveis estimadas no modelo nas fases fisiológicas de creche e de crescimento-terminação.

Fase Fisiológica	Erros de estimação <sup>†</sup>	
	Erro absoluto	Erro (%)
<b>Creche</b>		
Volume de dejetos (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,13±0,12	8,0±6,3
Nitrogênio (g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,66±0,74	9,4±11,8
Fósforo (g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,21±0,18	14,9±13,6
Potássio (g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,45±0,15	12,2±3,6
<b>Crescimento-Terminação</b>		
Volume de dejetos (L·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> ) <sup>‡</sup>	0,38±0,32	11,1±8,5
Nitrogênio (g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	3,78±2,57	20,9±16,0
Fósforo (g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,57±0,40	15,3±13,4
Potássio (g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,46±0,43	6,8±9,0

<sup>†</sup> Média±desvio padrão;

<sup>‡</sup> Valor considerando um único fator de evaporação para o período integral da pesquisa.

### 4.4.3. Estimativa da emissão de gases de efeito estufa e amônia

#### 4.4.3.1. Princípio de cálculo dos “défauts” do balanço de água, carbono, nitrogênio, fósforo e potássio nos edifícios de alojamento de suínos

De modo a avaliar a coerência dos valores de emissão medidos, o balanço de massa de água, carbono, nitrogênio (Tabela 20), fósforo e potássio (Tabela 21) foram determinados para verificar a concordância entre as entradas e as saídas de cada elemento nas granjas avaliadas na fase fisiológica de C<sub>R</sub>.

**Tabela 20:** Balanço de massa da água, carbono e nitrogênio na fase fisiológica de creche.

Elemento		Média	$\sigma^{\dagger}$	Máx.	Mín.
H <sub>2</sub> O (n=15 ciclos)		<b>(kg·suíno<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Entradas</b>	<b>Ingerida</b>	102,07	24,12	167,68	74,84
<b>Saídas</b>	<b>Retida</b>	16,68	1,56	19,29	14,10
	<b>Excretada</b>	53,27	21,84	102,47	30,62
<b>“Défaut” do Balanço</b>		32,12	6,09	45,92	20,41
Carbono (n=12 ciclos)		<b>(kg·suíno<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Entradas</b>	<b>Ingerido</b>	0,24	0,02	0,28	0,20
<b>Saídas</b>	<b>Retido</b>	0,08	0,01	0,10	0,08
	<b>Excretado</b>	0,04	0,01	0,05	0,03
<b>“Défaut” do Balanço</b>		0,12	0,02	0,14	0,09
Nitrogênio (n=12 ciclos)		<b>(g·suíno<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Entradas</b>	<b>Ingerido</b>	649,00	96,70	799,70	473,20
<b>Saídas</b>	<b>Retido</b>	350,00	44,10	427,80	287,80
	<b>Excretado</b>	244,20	44,20	311,10	164,90
<b>“Défaut” do Balanço</b>		54,80	34,10	123,90	13,70

<sup>†</sup> Desvio padrão.

**Tabela 21:** Balanço de massa do fósforo e o potássio na fase fisiológica de creche.

Elemento		Média	$\sigma^{\dagger}$	Máx.	Mín.
<b>Fósforo (n=12 ciclos)</b>		<b>(g·suíno<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Entradas</b>	<b>Ingerido</b>	120,30	19,60	154,00	88,20
<b>Saídas</b>	<b>Retido</b>	75,30	9,40	91,90	62,00
	<b>Excretado</b>	51,60	7,70	64,40	39,80
<b>“Défaut” do Balanço</b>		-6,60	6,90	15,50	-15,50
<b>Potássio (n=12 ciclos)</b>		<b>(g·suíno<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Entradas</b>	<b>Ingerido</b>	180,30	29,50	230,20	130,30
<b>Saídas</b>	<b>Retido</b>	34,20	4,20	41,50	28,20
	<b>Excretado</b>	130,20	22,80	168,10	92,60
<b>“Défaut” do Balanço</b>		15,90	5,10	23,00	7,30

<sup>†</sup> Desvio padrão.

Os “*défauts*” obtidos para cada um dos elementos avaliados [nitrogênio (8,4%); fósforo (5,5%); potássio (8,8%)], com exceção da água (32,2%) e do carbono (50%), mostraram-se coerentes com os valores apresentados na literatura ( $\pm 10\%$ ). Os balanços de massa determinados em sistemas de dejetos líquidos são geralmente equilibrados, permitindo assim obter “*défauts*” com valores inferiores a 10% (HASSOUNA; EGLIN, 2015). As perdas, tanto do nitrogênio quanto do fósforo, apresentaram valores inferiores aos “*défauts*” do elemento utilizado na pesquisa para calibrar o modelo e quantificar os erros gerados pela metodologia (potássio) (PAILLAT et al., 2005; GUINGAND; QUINIOU; COURBOULAY, 2010; ROBIN et al., 2010; ROBIN, 2011).

De um modo geral, os valores obtidos para o balanço de massa do carbono (Tabela 20) mostraram que em média 50% da quantidade ingerida deste elemento ( $0,24 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) perderam-se sob a forma de gás no interior dos edifícios de alojamento ( $\text{C}\cdot\text{CO}_2$  e  $\text{C}\cdot\text{CH}_4$ ). Em relação ao nitrogênio, os resultados determinados pelo balanço de massa indicaram que os suínos retiveram no seu organismo

aproximadamente 53,9% da quantidade ingerida durante o ciclo de produção ( $649,0 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ), mostrando-se estes valores concordantes quando comparados com dados citados em outras pesquisas [ $\pm 50\%$ ; (DOURMAD et al., 1999; PEYRAUD et al., 2012)]. As quantidades de nitrogênio excretadas quando relacionadas com as quantidades ingeridas (37,6%) e retidas (69,8%) foram similares, mas ligeiramente superiores aos valores apresentados na literatura para a fase fisiológica de  $C_R$  (suínos de 8 a 31 kg de massa corporal; DOURMAD et al., 2015). O “*défaut*” do nitrogênio ( $54,8 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) correspondeu às perdas do nosso sistema por volatilização. Assim, o valor obtido pelo balanço foi utilizado para avaliar posteriormente a coerência das emissões medidas nas granjas de suínos através das hipóteses/pressupostos das relações de concentração (e.g., as perdas de nitrogênio no balanço de massa são iguais ao somatório das emissões de amônia, óxido nitroso e nitrogênio elementar).

Os valores obtidos para o balanço do fósforo (Tabela 21) mostraram uma retenção nos organismos dos suínos (62,5% ) superior ao citado na literatura, quando relacionados com a quantidade ingerida no alimento (DOURMAD et al., 1999; JONDREVILLE; DOURMAD, 2006; DOURMAD; JONDREVILLE, 2007). Consequentemente, sendo um elemento considerado estável nos sistemas produtivos, ou seja, com base no pressuposto que não apresenta perdas no sistema (ROBIN et al., 2010; ROBIN, 2011, HASSOUNA; EGLIN, 2015), as quantidades de fósforo excretadas quando relacionadas com as quantidades ingeridas apresentaram valores inferiores aos citados na literatura (DOURMAD et al., 1999; JONDREVILLE; DOURMAD, 2006; DOURMAD; JONDREVILLE, 2007). Convém referir ainda, que o balanço do fósforo foi o único que apresentou uma superestimação final (“*défaut*”:  $-6,6 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ) contrariando o “comportamento”, descrito como habitual na literatura. Devido à sua associação com a fração sólida dos dejetos produzidos, este elemento apresenta-se, geralmente, subestimado no balanço de massa por dificuldades encontradas na amostragem dos dejetos em granjas comerciais de suínos (DOURMAD; POMAR; MASSÉ, 2002, 2003; RIGOLOTT et al., 2010a; HASSOUNA; EGLIN, 2015). Em relação ao potássio, embora este tenha sido o nutriente utilizado para fazer o acerto da diluição observado nas amostras do dejetos, o “*défaut*” apresentado foi, ainda assim, maior que zero ( $+ 15,90 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ ). Tal fato ficou associado, exclusivamente, ao método utilizado para fazer o acerto do coeficiente de diluição em cada amostra de dejetos analisada.

#### 4.4.3.2. Princípio de cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O pelo método das relações de concentração

O método das relações de concentração permitiu repartir as perdas gasosas totais a partir dos “*défauts*” do balanço de massa do carbono e das concentrações de gás medidas nos edifícios de alojamento através da “metodologia simplificada”. Na Tabela 22 são exibidos os valores de emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> com base na hipótese/pressuposto que as perdas de carbono no balanço de massa corresponderam ao somatório das emissões de carbono sob a forma de dióxido de carbono e de metano [Equação (85)].

**Tabela 22:** Emissão de gases de efeito estufa e amônia em granjas de suínos na fase fisiológica de creche.

Emissões de gases		Média	$\sigma^{\dagger}$	Máx.	Mín
CO <sub>2</sub>	(kg·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,42	0,06	0,50	0,34
CH <sub>4</sub>	(g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	1,07	0,42	1,82	0,65
N <sub>2</sub> O	(g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,07	0,04	0,16	0,03
NH <sub>3</sub>	(g·suíno <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	0,67	0,24	1,09	0,35

<sup>†</sup> Desvio padrão.

As emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> determinadas representaram, respectivamente, 99,3 e 0,7% das perdas de carbono calculadas pelo método do balanço de massa (Tabela 20).

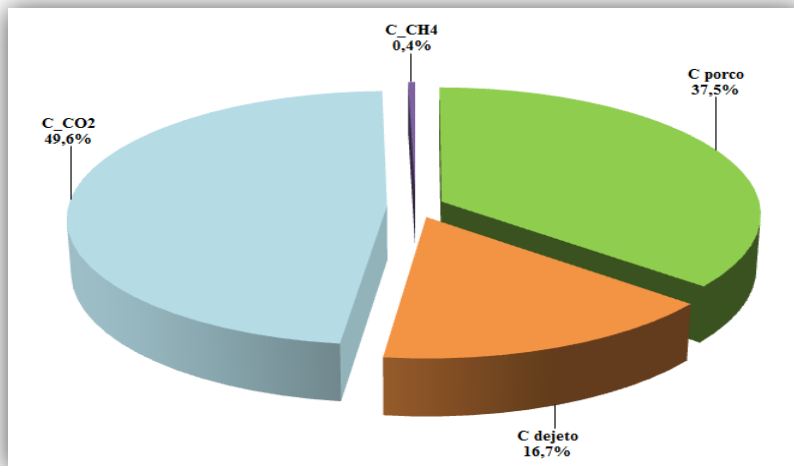
Em média, as emissões de CH<sub>4</sub> foram de 1,07 g·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> para um período máximo de 35 dias de alojamento na fase de C<sub>R</sub> (Tabela 22). Os valores citados na literatura para a emissão de metano variam entre 0,52 e 1,58 g·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, considerando os sistemas de alojamento dos suínos com ventilação forçada e piso vazado ou cama [*vide*. Quadro 10; (NICKS et al., 2003; CABARAUX et al., 2009)]. Pesquisas realizadas em piso vazado e temperatura ambiente entre 23,9 e 26,4 °C apresentaram emissões de metano a variar entre 0,86 e 0,91 g·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (CABARAUX et al., 2009). As emissões anteriormente citadas são concordantes, mas ligeiramente inferiores aos valores determinados nesta pesquisa, com sistema de piso semivazado (70-90%) e temperatura ambiente de 24,0±1,5 °C. Embora se assuma que a emissão de gases está relacionada com a superfície de emissão dos dejetos (quanto menor a superfície, menor a emissão; PHILIPPE; NICKS, 2015), pesquisas

anteriores mostraram diferentes resultados dependendo dos tipos de piso (vazado vs semivazado) na fase fisiológica de  $C_T$  [vide. Quadro 9 (GUINGAND; QUINIOU; COURBOULAY, 2010; PHILIPPE et al, 2014)]. As baixas emissões medidas nas granjas mostraram-se também coerentes face à frequência diária de remoção dos dejetos (GUARINO et al., 2003; LAVOIE et al., 2006). Sendo a emissão de metano gerada, preferencialmente, a partir da decomposição da matéria orgânica presente nos dejetos excretados (conjunto de processos microbianos), existe a necessidade de um determinado espaço temporal para que a emissão possa ser observada (MONTENY; BANNINK; CHADWICK, 2006; PETERSEN et al., 2013).

As emissões de  $CO_2$  foram, em média,  $0,42 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  (Tabela 22), mostrando-se coerentes com resultados citados na literatura, independentemente das condições de execução dos experimentos ( $0,30\text{-}0,48 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ) [vide. Quadro 10; (NICKS et al., 2003; CABARAUX et al., 2009)]. As emissões calculadas nesta pesquisa foram superiores quando comparadas com os valores apresentados para experimentos com piso vazado [ $0,30\text{-}0,34 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; CABARAUX et al., 2009)] e inferiores, na sua maioria, para sistemas em cama  $0,33\text{-}0,48 \text{ kg}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; (NICKS et al., 2003).

O balanço do carbono para as granjas na fase fisiológica de  $C_R$ , determinado através dos métodos do balanço de massa e das relações de concentração pode ser visualizado na Figura 45.

**Figura 45:** Balanço do carbono para as granjas na fase fisiológica de creche.



Fonte: elaborada pelo autor (2016).

As emissões de  $\text{NH}_3$  e  $\text{N}_2\text{O}$  determinadas pelo método das relações de concentração, a partir do balanço de massa do carbono e das concentrações de gás medidas nos edifícios de alojamento (“metodologia simplificada”), corresponderam, respectivamente, a 42,8 e 4,5% das perdas de nitrogênio por volatilização nas granjas de suínos na fase fisiológica de  $\text{C}_R$  (Tabela 20). Considerando que os “*défauts*” do balanço de massa corresponderam ao somatório das emissões de  $\text{N-NH}_3$ ,  $\text{N-N}_2\text{O}$  e  $\text{N-N}_2$  e que as perdas foram superiores ao somatório de  $\text{N-NH}_3$  e  $\text{N-N}_2\text{O}$  [ $\pm 6\%$  de incerteza relativa (KERMERREC, 1999)], pode-se concluir que a quantidade de nitrogênio volatilizado não mensurado no balanço e nas medições de gás foi de  $\approx 52,7\%$ . Este valor foi assim associado às perdas finais do elemento no balanço sob a forma de nitrogênio elementar ( $\text{N-N}_2$ ).

As emissões diárias de  $\text{NH}_3$  na fase fisiológica de creche foram, em média,  $0,67 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ , o que representou 9,6% do nitrogênio excretado ( $6,98 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; Tabela 20). Este valor foi inferior ao indicado na literatura para granjas de suínos com piso vazado (GUILLOU; DOURMAD; NOBLET, 1993; DOURMAD et al., 1999; COMITE D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT, 2003; GRIFFING; OVERCASH; WESTERMAN, 2007; DOURMAD et al., 2015). Resultados disponíveis na literatura mostram que as emissões de  $\text{NH}_3$  variaram entre 0,38 e  $3,45 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ , considerando os sistemas de alojamento dos suínos com ventilação forçada e piso vazado ou em cama [*vide*. Quadro 10]. Comparando as emissões obtidas nesta pesquisa com os valores citados para experimentos em piso vazado, estas foram concordantes dentro da variabilidade existente (GROOT KOERKAMP et al., 1998; GUINGAND, 2003; HAYES; CURRAN; DODD, 2006; PHILIPPE et al., 2007a; CABARAUX et al., 2009). No entanto, informações citadas na literatura explicitam uma menor emissão em pisos semivazados em relação a pisos vazados (AARNINK et al., 1996; GROOT KOERKAMP et al., 1998; SUN et al., 2008). Experimentos em sistema de cama determinaram resultados de emissões coerentes, mas majoritariamente superiores [ $0,46\text{-}1,21 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  (NICKS et al., 2003; CABARAUX et al., 2009)] às apresentadas na Tabela 22.

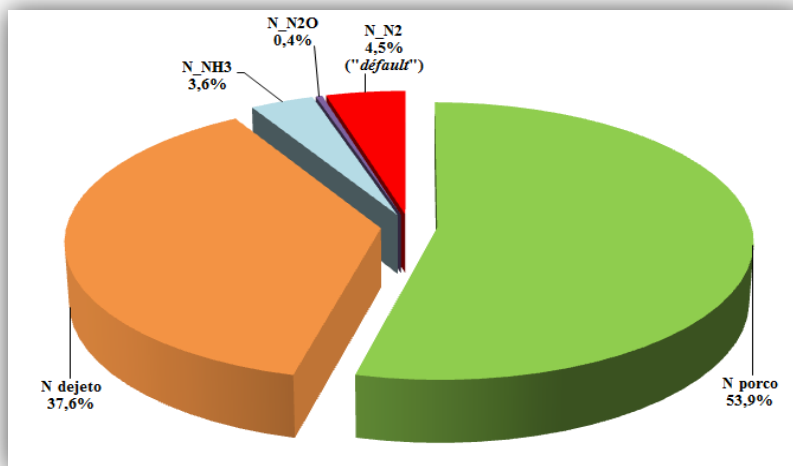
Em relação às emissões diárias de  $\text{N}_2\text{O}$ , a média obtida para o período de alojamento dos suínos (até um máximo de 35 dias) foi de  $0,07 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ , o que representou 1% do nitrogênio excretado. Este valor mostrou-se concordante, mas inferior ao indicado na literatura para

granjas de suínos na fase fisiológica de  $C_T$ , com piso vazado em concreto [emissão de  $N_2O$  varia entre 2 e 4% do nitrogênio excretado (KERMARREC, 1999; KERMERREC; ROBIN, 2002)]. O valor médio de emissão de  $N_2O$  (Tabela 22) foi superior aos resultados citados na literatura para estudos em piso vazado (CABARAUX et al., 2009). No entanto, a média diária obtida quando comparada com experimentos realizados em sistema com cama na fase fisiológica de  $C_R$ , esta mostrou-se inferior [0,32-1,39 g·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> (NICKS et al., 2003; CABARAUX et al., 2009)]. Da análise das emissões de  $N_2O$ , convém ressaltar que estas provêm exclusivamente do processo incompleto de nitrificação/desnitrificação nos dejetos (transformação de  $NH_3$  em  $N_2$ ) (MONTENY; BANNINK; CHADWICK, 2006; PETERSEN et al., 2013; PHILIPPE; NICKS, 2015).

As perdas de nitrogênio na sua forma elementar corresponderam a 4,5% da quantidade ingerida diariamente pelos suínos (18,54 g). Estes resultados obtidos foram concordantes com os valores citados na literatura para pesquisas realizadas em piso vazado e na fase fisiológica de  $C_T$  (KERMERREC, 1999; KERMERREC; ROBIN, 2002).

O balanço do nitrogênio para as granjas de suínos na fase fisiológica de  $C_R$ , determinado através dos métodos do balanço de massa e das relações de concentração, pode ser visualizado na Figura 46.

**Figura 46:** Balanço do nitrogênio para as granjas de suínos na fase fisiológica de creche.



**Fonte:** elaborada pelo autor (2016).



Os resultados das emissões de gás na fase fisiológica de  $C_R$ , quando enquadrados no potencial de aquecimento global apresentaram valores dentro dos intervalos citados na literatura (*vide*. Quadro 7). O metano e o óxido nitroso quando comparados com o dióxido de carbono apresentam, respectivamente, um potencial de aquecimento 25 e 298 vezes superior, considerando um espaço temporal de 100 anos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). Somando todos os gases, o total das emissões obtido foi igual a 16,31 kg  $CO_2$ equiv. $\cdot UA^{-1}$ , 50% menor que o valor máximo reportado na literatura [31,31 kg  $CO_2$ equiv. $\cdot UA^{-1}$ ; (DONG et al., 2007)], sendo a unidade animal (UA) considerada igual a 500 kg de massa corporal dos suínos.



## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na pesquisa comprovaram a viabilidade do desenvolvimento de um modelo matemático integrando a estimativa do consumo de água, a produção de dejetos e a emissão de gases de efeito estufa e amônia. De fato, as hipóteses formuladas nesta tese foram confirmadas, pelo que:

### 1. Objetivo específico 1:

O modelo não linear Logístico foi o que melhor se ajustou aos dados médios do consumo de água dos suínos, tanto na fase fisiológica de  $C_T$  ( $R^2=0,989$ ; erro de estimação absoluto:  $0,11 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; erro de estimação relativo: 1,32%) quanto em sistemas de produção “*wean-to-finish*” ( $R^2=0,997$ ; erro de estimação absoluto:  $0,12 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; erro de estimação relativo: 2,58%), considerando a idade dos animais.

### 2. Objetivo específico 2:

O modelo matemático adaptado pode ser utilizado, com algumas limitações, para a estimativa do volume e da composição dos dejetos produzidos nas granjas de suínos no sul do Brasil. Para fase fisiológica de  $C_R$ , o modelo apresentou robustez e elevada precisão na estimativa do volume de dejetos produzidos ( $R^2=0,931$ ; erro de estimação absoluto:  $0,13\pm 0,12 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Os fluxos de nutrientes apresentaram correlações moderadas a fortes, exibindo limitações para o nitrogênio ( $R^2=0,695$ ; erro de estimação absoluto:  $0,66\pm 0,74 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ) e o fósforo ( $R^2=0,668$ ; erro de estimação absoluto:  $0,21\pm 0,18 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Em relação à fase fisiológica de  $C_T$  o modelo original mostrou problemas para a estimativa dos dejetos produzidos. Tal fato se deveu ao elevado desperdício de água nas granjas, associado ao fenômeno de evaporação (aumento de perdas não contabilizadas). No entanto, a introdução de um novo termo para a equação geral do balanço de água nos suínos (perdas de água por evaporação a partir do piso e da superfície dos dejetos), melhorou a precisão do modelo ( $R^2=0,740$ ; erro de estimação absoluto:  $0,38\pm 0,32 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ). As limitações nas estimativas da composição do dejetos foram também observadas, tanto para o fluxo de nitrogênio ( $R^2=0,671$ ; erro de estimação absoluto:  $3,78\pm 2,57 \text{ g}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ) quanto para o

de fósforo ( $R^2=0,695$ ; erro de estimação absoluto:  $0,57\pm 0,40$  g·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>). De forma geral, o modelo fornece novas equações para a estimativa do volume e da composição dos dejetos, no entanto, algumas expressões matemáticas e coeficientes devem ser determinados para as condições brasileiras (e.g., curva de crescimento, coeficientes de digestibilidade de nutrientes, equação de retenção de nutrientes). Simultaneamente, deve ser desenvolvido um programa de gestão de água nas granjas com o intuito de reduzir os desperdícios observados e associados ao manejo do produtor e, conseqüentemente, reduzir a diluição detectada nos dejetos suínos em condições reais de operação.

### 3. Objetivo específico 3

A metodologia simplificada associada ao princípio de cálculo dos “*défauts*” do balanço de massa e do método das relações de concentração possibilitou a estimativa da emissão diária de gases de efeito estufa e amônia em granjas com ventilação natural. Em média, os suínos na fase fisiológica de C<sub>R</sub> emitiram  $0,42\pm 0,06$  kg CO<sub>2</sub>·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>,  $1,07\pm 0,42$  g CH<sub>4</sub>·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>;  $0,07\pm 0,04$  g N<sub>2</sub>O·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> e  $0,42\pm 0,06$  g NH<sub>3</sub>·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>. As emissões carbonadas determinadas na pesquisa foram geradas, essencialmente, a partir das emissões de C-CO<sub>2</sub> (99,3%); por outro lado, no cálculo das emissões nitrogenadas, foi notória a perda de nitrogênio na sua forma elementar (4,5%) considerando a quantidade ingerida pelos suínos diariamente (18,54 g). No geral, as taxas de volatilização observadas no desenvolvimento da pesquisa foram baixas (≈12%). Tal fato pode estar associado à elevada frequência de remoção dos dejetos nas granjas, bem como à metodologia utilizada para determinar a concentração dos gases.

De forma geral, o modelo desenvolvido demonstrou eficiência como ferramenta para a estimativa do consumo de água, da produção de dejetos e da emissão de gases de efeito estufa e amônia, assumindo um erro máximo de estimação de ±20%.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos no desenvolvimento da pesquisa sugerem as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

### 1. Objetivo específico 1:

- ✘ Desenvolver o modelo matemático simplificado com introdução de fatores variação (*e.g.*, produtor, bebedouro, condições ambientais,...);
- ✘ Desenvolver modelo matemático para a fase fisiológica de maternidade;
- ✘ Desenvolver software inovador para a gestão da água nas granjas de suínos a partir das equações determinadas.

### 2. Objetivo específico 2:

- ✘ Determinar a curva de crescimento dos suínos nas fases fisiológicas de  $C_R$  e de  $C_T$ ;
- ✘ Determinar os coeficientes de digestibilidade dos nutrientes considerando os principais ingredientes utilizados nas rações fornecidas aos suínos no Brasil;
- ✘ Desenvolver o modelo para estimativa do volume e composição dos dejetos produzidos nas fases fisiológicas de maternidade e gestação;
- ✘ Desenvolver plano para o uso eficiente da água no estado de Santa Catarina e, conseqüentemente, o conceito de descarga zero de dejetos nas granjas comerciais de suínos.

### 3. Objetivo específico 3

- ✘ Comparar os resultados obtidos na pesquisa para a fase fisiológica de  $C_R$  utilizando a metodologia contínua de medição de gases associado ao mesmo princípio de cálculo;
- ✘ Determinar as emissões de gases de efeito estufa e amônia nas demais fases fisiológicas de produção (maternidade, gestação e crescimento-terminação);
- ✘ Desenvolver modelo matemático para estimativa do fluxo de emissão de gases de efeito estufa e amônia nas granjas de suínos para as condições brasileiras.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AARNINK, André; ELZING, A. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. **Livestock Production Science**, v. 53, p. 153-169, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030162269700153X>>. Acesso em: 18 julho 2012.
- AARNINK, André; KEEN, A.; METZ, Jos; SPEELMAN, L.; VERSTEGEN, Martin. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 62, p. 105-116, 1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863485710694>>. Acesso em: 25 junho 2014.
- AARNINK, André; SCHRAMA, Johan; HEETKAMP, Marcel; STEFANOWSKA, Jasna; HUYNH, Thi Thanh Thuy. Temperature and body weight affect fouling of pig pens. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 2224-2231, 2006. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/84/8/2224.full.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2014.
- AARNINK, André; SWIERSTRA, Durk; van den BERG, A.J.; SPEELMAN, L. Effect of type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 66, p. 93-102, 1997. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863496901213>>. Acesso em: 15 junho 2014.
- AARNINK, André; van OUWERKERK, Ed; VERSTEGEN, Martin. A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 31, p. 133-147, 1992. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0301622692900618>>. Acesso a 18 abril 2012.
- AARNINK, André; van den BERG, A.J.; KEEN, A.; HOEKSMÁ, Paul; VERSTEGEN, MARTIN. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 64, p. 299-310, 1996. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863496900712>>.

Acesso em: 05 julho 2014.

AFONSO, Vivian Alves Costa; QUIRINO, Celia Raquel; da COSTA, Ricardo Lopes Dias; da SILVA, Roberto Machado Carneiro. Aplicação de modelos não lineares no ajuste de curvas de crescimento em fêmeas ovinas (*ovis áries*) da raça Santa Inês criadas na Região norte fluminense/RJ.

**Boletim de Indústria Animal**, v. 66, p. 115-120, 2009. Disponível em:

<<http://www.revistas.bvs-vet.org.br/bia/article/download/24264/25140>>.

Acesso em: 10 março 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 22<sup>nd</sup> ed. Washington: American Public Health Association, 1496p. 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AND AGRICULTURAL CHEMISTRY (AOAC International). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18<sup>ed</sup>. 3<sup>rd</sup> Rev. Gaithersburg, MD, USA, 2005.

AUMAITRE, Aimé; RETTAGLIATI, J.; GUICHARD, Maurice; DEWULF, Huguette. Le besoin en eau du porcelet: Étude de la consommation d'eau avant le sevrage. **Annales de Zootechnie**, v. 13, p.:183-198, 1964. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886818/document>>. Acesso em: 12 janeiro 2016.

ATAKORA, Jacob; MOEHN, Soenke; BALL, Ronald. Enteric methane produced by finisher pigs is affected by dietary crude protein content of barley grain based, but not by corn based, diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 412-421, 2011. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840111001489>>.

Acesso em: 10 janeiro 2015.

AUBRY, Alexia; QUINIOU, Nathalie; LE COZLER, Yannick; QUERNÉ, Michel. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage : actualisation des coefficients appliqués aux critères standardizes de performances en gestion technico-economique. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 36., Paris, France, 2004. **Actes...**, Paris, France, 2004. p. 409-422. Disponível em:

<[http://www.journees-recherche-](http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2004/04txtBienetre/06be.pdf)

[porcine.com/texte/2004/04txtBienetre/06be.pdf](http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2004/04txtBienetre/06be.pdf)>. Acesso em: 04 julho 2016.



BABOT, Daniel Gaspa; HERMIDA, Brigida; BALCELLS, Joaquim; CALVET, Salvador; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, Javier. Farm technological innovations on swine manure in Southern Europe. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 40, p. 334-343, 2011. Disponível em: <<http://www.sbz.org.br/revista/artigos/66288.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2012.

BANHAZI, Thomas; SEEDORF, Jens; RUTLEY, David; PITCHFORD, Wayne. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: part 1. Study justification and design. **Journal of Agricultural Safety and Health**, v. 14, p. 5–20, 2008. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/files/333/11047053.pdf>>. Acesso em: 20 março 2015.

BARBARI, Matteo; ROSSI, Paolo. Risparmiare acqua conviene: meno liquami da smaltire. **Suplemento a l'Informatore Agrário**, Verona, Itália, n. 18, p. 11-17, 1992.

BARBER, John; BROOKS, Peter; CARPENTER, John. The effects of water delivery rate on the voluntary food intake, water use and performance of early-weaned pigs from 3 to 6 weeks of age. In: FORBES, Jeffrey; VARLEY, Mike; LAWRENCE, Tony Leonard John (Eds.), *The Voluntary Food Intake of Pigs*. British Society Animal Production, Edinburgh, UK, p. 103–104. 1989

BARTHEL, Lúgia; OLIVEIRA, Paulo Armando Victoria de; COSTA, Rejane Helena Ribeiro. Plankton biomass in secondary ponds treating piggery waste. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, p. 1287-1298, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132008000600025&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132008000600025&script=sci_arttext)>. Acesso em: 11 junho 2011.

BASSET-MENS, Claudine; van der WERF, Hayo. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, p. 127–144, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880904001744>>. Acesso em: 20 março 2015.

BELLAVER, Cláudio; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. Balanço da água nas cadeias de aves e suínos. **Revista Avicultura Industrial**, v. 10, p. 39-44, 2009. Disponível em:

<[http://www.qualyfoco.com.br/arquivos\\_publicacoes/arquivos/1266836613\\_Agua\\_essencial\\_v2.pdf](http://www.qualyfoco.com.br/arquivos_publicacoes/arquivos/1266836613_Agua_essencial_v2.pdf)>. Acesso em: 25 junho 2012.

BELLI FILHO, Paulo. **Stockage et odeurs des déjections animales**: cas du lisier de porc. 1995. 181p. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Université de Rennes, Rennes, France, 1995.

BLANES-VIDAL, Victoria; HANSEN, Martin; PEDERSEN, Søren; ROM, Hans Benny. Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 124, p. 237-244, 2008. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880907002423>>. Acesso em: 02 junho 2014.

BLUNDEN, Jessica; ANEJA, Viney; WESTERMAN, Phillip Wayne. Measurement and analysis of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a mechanically ventilated swine confinement building in North Carolina. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 3315-3331, 2008. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007006024>>. Acesso em: 28 maio 2014.

BONETT, Lucimar Pereira; MONTICELLI, Cícero Juliano (Eds.). **Suíños**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas). 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 243p. 1997. Disponível em:  
<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/99011>>. Acesso em: 05 agosto 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: Informe 2012. Brasília – DF, 2012. 215p. Disponível em:  
<<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf>>. Acesso em: 25 junho 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília – DF, 2013. 80p. Disponível em:  
<<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/event%20sheet.pdf>>. Acesso em: 30 março 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2015**. Rio de Janeiro, v. 43, 2015. 49p. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm\\_2015\\_v43\\_br.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2015_v43_br.pdf)>. Acesso em: 30 setembro 2016.

BRODY, Samuel. **Bioenergetics and growth**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945. 1023p. Disponível em: <<http://animalsciences.missouri.edu/research/bec/Brody%20Book/2.%20Bioenergetics%20and%20Growth%20-%20Chapters%201%20-%206.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

BROOKS, Peter. Water: forgotten nutrient and novel delivery system. Biotechnology in the feed industry. In: ALLTECH'S ANNUAL SYMPOSIUM, 10., Nicholasville, 1994. **Proceedings...**, Alltech Technical Publication, Nicholasville, 1994. p. 211-234.

BROWN-BRANDL, Tami; NIENABER, John; EIGENBERG, Roger; XIN, Hongwei; HAYES, Morgan. Heat production of nursery and growing piglets. In: 2013 ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Kansas City, Missouri, 2013. **Proceedings ...**, Kansas City, Missouri, 2013. 10p. Disponível em: <[http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1344&context=abe\\_eng\\_conf](http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1344&context=abe_eng_conf)>. Acesso em: 05 agosto 2016.

BRUMM, Michael. Patterns of drinking water use in pork production facilities. In: **Nebraska swine report**. Institute of Agriculture and Natural Resources, Nebraska. 2006, p. 10-13. Disponível em: <[http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1218&context=coopext\\_swine](http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1218&context=coopext_swine)>. Acesso em: 10 dezembro 2011.

BRUMM, Michael; DAHLQUIST, James; HEEMSTRA, Jill. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use and manure volume. **Swine Health and Production**, v. 8, p. 51-57, 2000. Disponível em: <<https://www.aasv.org/shap/issues/v8n2/v8n2p51.pdf>>. Acesso em: 10 outubro 2011.

BUIJSMAN, Ed; MAAS, Hans; ASMAN, Willem. Anthropogenic NH<sub>3</sub> emissions in Europe. **Atmospheric Environment**, v. 21, p. 1009-1022, 1987. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004698187902307>>. Acesso em: 16 maio 2013.

BURTON, Colin; TURNER, Claire. **Manure management: treatment strategies for sustainable agriculture.** Front Conver. 2. ed. Silsoe, UK: Editions Quae, Silsoe Research Institute, 2003. 451p.

CABARAUX, Jean-François; PHILIPPE, François-Xavier; LAITAT, Martine; CANART, Bernard; VANDENHEEDE, Marc; NICKS, Baudouin. Gaseous emissions from weaned pigs raised on different floor systems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 130, p. 86–92, 2009.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788090800323X>>.

Acesso em: 10 junho 2014.

COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **Report of Working Group on Climatization of Animal Houses**, Scottish Farm Buildings Investigation Unit: Aberdeen, Scotland, 72p. 1984. Disponível em: <<http://www.cigr.org/documents/CIGR-Workinggroupreport1984.pdf>>.

Acesso em: 11 março 2011.

\_\_\_\_\_. **4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses Heat and Moisture Production at Animal and House Levels.** In: PEDERSEN, Søren; SÄLLVIK, K. (Eds.). Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences: Horsens, Denmark, 46p. 2002.

Disponível em:

<[http://www.cigr.org/documents/CIGR\\_4TH\\_WORK\\_GR.pdf](http://www.cigr.org/documents/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf)>. Acesso em

11 março 2011.

CONRAD, John; MAYROSE, Vern. Animal waste handling and disposal in confinement production of swine. **Journal of Animal Science**, v. 32, p. 811-815, 1971. Disponível em:

<<http://www.journalofanimalscience.org/content/32/4/811.full.pdf>>. Acesso em:

05 fevereiro 2013.

COMITE D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT (CORPEN). **Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites.** Ed.

CORPEN, 41p. 2003. Disponível em <[http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN\\_2003\\_06\\_rejet\\_porc.pdf](http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_2003_06_rejet_porc.pdf)>. Acesso em:

10 junho 2011.

CORTUS, Erin; LEMAY, Stéphane; BARBER, Ernie; HILL, Gordon; GODBOUT, Stéphane. A dynamic model of ammonia emission from urine

puddles. **Biosystems Engineering**, v. 99, p. 390-402, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511007003212>>. Acesso em: 25 abril 2014.

COSTA, Annamaria; GUARINO, Marcella. Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry. **Atmospheric Environment**, v. 43, p. 1548-1556, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008010327>>. Acesso em: 25 abril 2016.

CUMBY, Trevor. Design requirements of liquid feeding systems for pigs: a review. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 34, p. 153-172, 1986. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863486800154>>. Acesso em: 14 março 2010.

DARTORA, Valmir; PERDOMO, Carlos Cláudio; TUMELERO, Ivone. **Manejo de dejetos de suínos**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves e EMATER-RS, 1998. Boletim Informativo, 11. 32p. Disponível em: <<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers11.pdf>>. Acesso em: 10 outubro 2010.

de GREEF, Karel; VERSTEGEN, Martin. Evaluation of a concept on energy partitioning in growing pigs. In: MOUGHAN, Paul; VERSTEGEN, Martin; VISSER-REYNEVELD, M.I. (Eds.). **Modeling growth in the pig**. EAAP publication, 78. Wageningen: Wageningen Pers, Les Pays Bays, 1995, p. 137-149.

de SOUSA, Patrícia; PEDERSEN, Søren. Ammonia emission from fattening pig houses in relation to animal activity and carbon dioxide production. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development**, v. 6, p. 1-13, 2004. Disponível em: <<http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/547>>. Acesso em: 18 março 2014.

DEGRÉ, Aurore; VERHÈVE, Didier; DEBOUCHE, Charles. Emissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction: revue bibliographique. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 5, p. 135-143, 2001. Disponível em: <<http://www.pressesagro.be/base/text/v5n3/135.pdf>>. Acesso em: 09 setembro 2012.

DELIGEORGIS, Stelios; KARALIS, Kostas; KANZOUROS, Georgios. The influence of drinker location and colour on drinking behaviour and water intake of newborn pigs under hot environments. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 96, p. 233-244, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168159105001516>>. Acesso em: 09 setembro 2012.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Cláudio Rocha; PERDOMO, Carlos Cláudio. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Emater/RS, 2002. Boletim informativo de pesquisa e extensão, 14. 30p. Disponível em: <<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

DINUCCIO, Elio; BERG, Werner; BALSARI, Paolo. Gaseous emissions from the storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 2448-2459, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007011430>>. Acesso em: 28 outubro 2013.

DONG, Hongmin; ZHU, Zhiping; SHANG, Bin; KANG, Guohu; ZHU, Haisheng; XIN, Hongwei. Greenhouse gas emissions from swine barns of various production stages in suburban Beijing, China. **Atmospheric Environment**, v. 41, p. 2391-2399, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231006011101>>. Acesso em: 15 janeiro 2015.

DONHAM, Kelley. The concentration of swine production – effects on swine health, productivity, human health, and the environment. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, v. 16, p. 559–597, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0749072015300876>>. Acesso em: 26 outubro 2015.

DOURMAD, Jean-Yves. Comunicação pessoal, 2016.

DOURMAD, Jean-Yves. Influence des pratiques d'élevage sur l'impact environnemental des systèmes de production porcine. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 44., Paris, France, 2012. **Actes...**, Paris, France, 2012. p. 115-126. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2012/environnement/E3f.pdf>>. Acesso em: 25 fevereiro 2015.

DOURMAD, Jean-Yves; GUILLOU, David; NOBLET, Jean. Development of a calculation model for predicting the amount of N excreted by the pig: effect of feeding, physiological stage and performance. **Livestock Production Science**, v 31, p. 95-107, 1992. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030162269290058C>. Acesso em: 10 março 2012.

DOURMAD, Jean-Yves; GUINGAND, Nadine; LATIMIER, Pierre; SÈVE, Bernard. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. **Livestock Production Science**, v. 58, p.199-211, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622699000093>. Acesso em: 10 fevereiro de 2012.

DOURMAD, Jean-Yves; JONDREVILLE, Catherine. Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. **Livestock Science**, v. 112, p. 192–198, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141307004684>. Acesso em: 13 julho 2012.

DOURMAD, Jean-Yves (Coord.); LEVASSEUR, Pascal (Coord.); DAUMER, Marie-Lime; HASSOUNA, Mélynda; LANDRAIN, Brigitte; LEMAIRE, Nolwenn; LOUSSOUARN, Aurore; SALAÛN, Yvon; ESPAGNOL, Sandrine. **Évaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs**: influence de l'alimentation, du mode de logement et de la gestion des effluents. RMT Elevages et Environnement, Paris, 26 p. 2015. Disponível em: [http://www.rmtelevagesenvironnement.org/references\\_rejets\\_porcs.htm](http://www.rmtelevagesenvironnement.org/references_rejets_porcs.htm). Acesso em: 25 agosto 2016.

DOURMAD, Jean-Yves; POMAR, Candido; MASSÉ, Daniel. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 34., Paris, France, 2002. **Actes...**, Paris, France, 2002. p. 183-194. Disponível em: <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2002/02txtEnv/E0207.pdf>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

\_\_\_\_\_. Mathematical modelling of manure production by pig farms. Effect of feeding and housing conditions. In: EASTERN NUTRITION CONFERENCE, 40., Quebec, Canada, 2003. **Proceedings...**, Animal

Nutrition Association of Canada, Ottawa, Quebec, 2003. p. 111-125.

Disponível em:

<[http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/math\\_model\\_manure\\_prod\\_masse.pdf](http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/math_model_manure_prod_masse.pdf)>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

DRUMOND, Eduardo Silva Cordeiro; GONÇALVES, Flaviana Miranda; VELOSO, Rogério de Carvalho; AMARAL, Jéssica Miranda; BALOTIN, Lucília Valadares; PIRES, Aldrin Vieira; MOREIRA, Joerley. Curvas de crescimento para codornas de corte. **Ciência Rural**, v. 43, p. 1872-1877, 2013. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n10/a29713cr6551.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

DUARTE, Elizabeth Costa Neves d'Almeida. **Digestão anaeróbia e valorização de efluentes de suinicultura**. 1991. 214p. Tese (Doutorado) - Programa Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Faculdade Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 1991.

DUMAS, André; DIJKSTRA, Joost; FRANCE, James. Mathematical modelling in animal nutrition: a centenary review. **The Journal of Agricultural Science**, v. 146, p. 123-142, 2008. Disponível em: <<http://edepot.wur.nl/37069>>. Acesso em: 20 junho 2016.

DUTRA Jr., Wilson Moreira; FERREIRA, Aloízio Soares; DONZELE, Juarez Lopes; EUCLYDES, Ricardo Frederico; TAROUÇO, Jaime Urdapilleta; CARDOSO, Leandro Lunardini. Predição de curvas de crescimento de tecidos de fêmeas suínas por intermédio da função alométrica estendida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 1007-1014, 2001 [suplemento 1]. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v30n3s1/5519.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

EL-MASHAD, Hamed; ZEEMAN, Grietje; van LOON, Wilko; BOT, Gerard; LETTINGA, Gatze. Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure. **Bioresource Technology**, v. 95, p. 191-201, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852404000574>>. Acesso em: 14 maio 2014.

FERGUNSON, Neil; GOUS, Robert Mervyn; EMMANS, Gerry. Preferred components for the construction of a new simulation model of growth, feed intake and nutrient requirements of growing pigs. **South African Journal Animal Science**, v. 24p, 10-17, 2004. Disponível em:



<[http://sasasarc.websitainprogress.co.za/sites/sasasarc.websitainprogress.co.za/files/ferguson24issue1\\_0.pdf](http://sasasarc.websitainprogress.co.za/sites/sasasarc.websitainprogress.co.za/files/ferguson24issue1_0.pdf)>. Acesso em: 23 fevereiro 2015.

FERREIRA, Luís Jorge Martinez; DUARTE, Elizabeth Costa Neves Fernandes d'Almeida; TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; ALMEIDA, Rita. **Determinação das emissões (para o ar e para a água) no sector da suinicultura nacional**. Relatório final do protocolo celebrado entre o IA e a ADISA do ISA no domínio PCIP/Pecuária Intensiva/Suinicultura. 2006. 110p. Disponível em:

<[http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Instrumentos/PRTR/Relatorio%20Unico/Formulario%20PRTR/IA\\_Relatorio%20final\\_2006\\_final\\_V1.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Instrumentos/PRTR/Relatorio%20Unico/Formulario%20PRTR/IA_Relatorio%20final_2006_final_V1.pdf)>. Acesso em: 22 março 2007.

FERREIRA, Luís Jorge Martinez; DUARTE, Elizabeth Costa Neves Fernandes d'Almeida; TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; ALMEIDA, Rita. A importância da gestão integrada da água: novos desafios para a gestão ambiental no sector suinícola. In: CONGRESO IBERICO, 1., Y CONGRESO NACIONAL DE AGROINGENIERÍA, 4., Albacete, 2007. **Anais...** Albacete, Espanha, 2007. p. 104-106.

FIALA, Nathan. Meeting the demand: an estimation of potential future greenhouse gas emissions from meat production. **Ecological Economics**, v. 67, p. 412-419, 2008. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907006180>>. Acesso em: 12 junho 2014.

FIALHO, Flávio Bello. **Interpretação da curva de crescimento de Gompertz**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 1999. Comunicado Técnico, 237. 4p. Disponível em:

<[http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/cot237.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/cot237.pdf)>. Acesso em: 11 abril 2012.

FITZHUGH JUNIOR, Hank. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of animal Science**, v. 42, p. 1036-1051, 1976. Disponível em:

<<http://www.journalofanimalscience.org/content/42/4/1036.full.pdf>>. Acesso em: 08 janeiro 2014.

FLOTATS, Xavier; BONMATÍ, August; FERNÁNDEZ, Belén; MAGRÍ, Albert. Manure treatment technologies: on-farm versus centralized strategies. NE Spain as case study. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5519-5526, 2009. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408011322>>.

Acesso em: 05 julho 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The state of food and agriculture: livestock in the balance**. Rome, Italy: FAO, 2009. 180p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>>. Acesso em: 20 fevereiro 2012.

FREITAS, Alfredo Ribeiro de. Curvas de crescimento na produção animal. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 34, p. 786-795, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v34n3/a10v34n3.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

FROESE, Clarence. Water usage and Manure production rates in today's pig industry. **Advances in Pork Production**, v. 14, p. 19-22, 2003. Disponível em: <<http://www.prairieswine.com/pdf/2193.pdf>>. Acesso em: 14 junho 2012.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (FATMA). Instrução Normativa n.º 11, Florianópolis, Brasil. 37p, 2014. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br>>. Acesso em: 15 dezembro de 2014.

GALLMANN, Eva; HARTUNG, Eberhard; JUNGBLUTH, Thomas. Long-term study regarding the emission rates of ammonia and greenhouse gases from different housing systems for fattening pigs – final results. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GASEOUS AND ODOUR EMISSIONS FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES, Horsens, Denmark, 2003. **Proceedings...**, Horsens, Denmark, 2003. p. 122-130.

GALLOWAY, James; DENTENER, Frank; CAPONE, Douglas; BOYER, Elizabeth; HOWARTH, Robert; SEITZINGER, Sybil; ASNER, Gregory; CLEVELAND, Cory; GREEN, Pamela; HOLLAND, Elisabeth; KARL, David Michael; MICHAELS, Anthony; PORTER, John; TOWNSEND, Alan; VOROSMARTY, Charles. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, Netherlands, v. 70, p. 153–226, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10533-004-0370-0#page-1>>. Acesso em: 20 março 2014.

GILL, Bhupinder Pal; BARBER, John. Water delivery systems for growing pigs. **Farm Building Progress**, v. 102, p. 19-22, 1990.

GILL, Margaret; SMITH, Peter; WILKINSON, Joseph Mike. Mitigating climate change: the role of domestic livestock. **Animal**, v. 4, p. 323–333,

2010. Disponível:

<[https://www.researchgate.net/publication/221972734\\_Mitigating\\_climate\\_change\\_The\\_role\\_of\\_domestic\\_livestock](https://www.researchgate.net/publication/221972734_Mitigating_climate_change_The_role_of_domestic_livestock)>. Acesso em: 20 março 2015.

GOMES, Simone Damasceno; NAGAE, Ricardo Yuiti; ZENATTI, Dilcemara Cristina; FAZOLO, Ajadir; GOMES, Benedito Martins. Efeito do manejo da lâmina d'água na minimização do volume de efluentes gerados na produção de suínos. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, v. 14, p. 233-242, 2009. Disponível em:

<[https://www.researchgate.net/profile/Benedito\\_Gomes/publication/267361858\\_efeito\\_do\\_manejo\\_da\\_lamina\\_d'agua\\_na\\_minimizacao\\_do\\_volume\\_de\\_efluentes\\_gerados\\_na\\_producao\\_de\\_suinos/links/576aa04a08ae5b9a62b382f7.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Benedito_Gomes/publication/267361858_efeito_do_manejo_da_lamina_d'agua_na_minimizacao_do_volume_de_efluentes_gerados_na_producao_de_suinos/links/576aa04a08ae5b9a62b382f7.pdf)>. Acesso em: 28 outubro 2014.

GONYOU, Harold. Water use and drinker management: a review. In: **1996 Annual Research Report**. Prairie Swine Centre, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 1996, p. 74-80. Disponível em:

<<http://www.prairieswine.com/pdf/1311.pdf>>. Acesso em: 20 novembro 2011.

GRANIER, Robert; GUINGAND, Nadine; MASSABIE, Patrick. Influence of hygrometry, temperature and air flow rate on the evolution of ammonia levels. In: **JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE**, 28., Paris, France, 1996. **Actes...**, Paris, France, 1996. p. 209-216. Disponível em:

<<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1996/96txtLog/L9605.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2014.

GRIFFING, Evan; OVERCASH, Michael; WESTERMAN, Philip Wayne. A review of gaseous ammonia emissions from slurry pits in pig production systems. **Biosystems Engineering**, v. 97, p. 295–312, 2007. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511007000438>>. Acesso em: 25 março 2015.

GROOT KOERKAMP, Peter; METZ, Jos; UENK, G.H.; PHILLIPS, V. Roger; HOLDEN, M.R.; SNEATH, Robert; SHORT, J.L.; WHITE, Rodger; HARTUNG, Joerg; SEEDORF, Jens; SCHRODER, M.; LINKERT, Karl Heinz; PEDERSEN, Søren; TAKAI, Hisamitsu; JOHNSEN, Jan Ove; WATHES, Christopher. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, p. 79-95, 1998. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002186349890275X>>. Acesso em: 01 junho 2014.

GUARINO, Marcela; COSTA, Annamaria; PORRO, Marco. Photocatalytic TiO<sub>2</sub> coating – to reduce ammonia and greenhouse gases concentration and emission from animal husbandries. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2650–2658, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407003665>>. Acesso em: 28 Novembro 2015.

GUARINO, Marcela; FABBRI, Claudio; NAVAROTTO, Pierluigi; VALLI, Laura; MOSCATELLI, Giuseppe; ROSSETTI, Marco; MAZZOTTA, Vittorio. Ammonia, methane and nitrous oxide emissions and particulate matter concentrations in two different buildings for fattening pig. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GASEOUS AND ODOUR EMISSIONS FROM ANIMAL PRODUCTION FACILITIES, Horsens, Denmark, 2003. **Proceedings...**, Horsens, Denmark, 2003. p. 140–149.

GUERINI FILHO, Marildo; DAL SOLER, Arlan Luís; CASARIL, Camila Elis; LUMI, Marluce; REGINATTO, Vanessa Paula; KONRAD, Odorico. Análise do consumo de água e do volume de dejetos na criação de suínos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, p. 64-69, 2015. Disponível em: <http://www.rbas.com.br/index.php/rbas/article/view/293/279>>. Acesso em: 05 maio 2016.

GUILLOU, David; DOURMAD, Jean-Yves; NOBLET, Jean. Influence de l'alimentation, du stade physiologique et des performances sur les rejets azotés du porc à l'engrais, de la truie et du porcelet. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 25., Paris, France, 1993. **Actes...**, Paris, France, 1993, p. 307-314. Disponível em: <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1993/93txtEnv/En9306.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2011.

GUINGAND, Nadine. L'ammoniac en porcherie. Institut Technique du Porc: Paris, 1996, 35p.

\_\_\_\_\_. Influence de la vidange des préfossees sur l'émission d'ammoniac et d'odeurs par les porcheries d'engraissement. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 32., Paris, France, 2000. **Actes...**, Paris, France, 2000. p. 83-88. Disponível em: <http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2000/00txtEnv/E0005.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2014.

\_\_\_\_\_. Qualité de l'air en bâtiment et stades physiologiques. **Techni-Porc**, v. 26, p. 17-24, 2003. Disponível em: <http://ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf->

[documentations/tp2003n3guingand.pdf](#)>. Acesso em: 08 abril 2014. Disponível em: <<http://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/tp2003n3guingand.pdf>>. Acesso em: 10 março 2012.

GUINGAND, Nadine; GRANIER, Robert. Comparaison caillebotis partiel et caillebotis integral en engraissement. Effets sur les performances zootechniques et sur l'émission d'ammoniac. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 33., Paris, France, 2001. **Actes...**, Paris, France, 2001. p. 31-36. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2001/01txtEnvlog/L0105.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2014.

GUINGAND, Nadine; QUINIOU, Nathalie; COURBOULAY, Valérie. Emissions comparées d'ammoniac et de gaz à effet de serre par des porcs charcutiers élevés au froid sur caillebotis partiel ou à la thermoneutralité sur caillebotis intégral. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 42., Paris, France, 2010. **Actes...**, Paris, France, 2010, p. 277-284. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2010/env/En3.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2014.

HACKER, Roger; OGILVIE, John Robert; MORRISON, W.D.; KAINS, Frank. Factors affecting excretory behaviour of pigs. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 1455-1460, 1994. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/72/6/1455.full.pdf>>. Acesso em: 20 julho 2014.

HARPER, Lowry; SHARPEA, Ron; SIMMONS, John. Ammonia emissions from swine houses in the southeastern United States. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 449-457, 2004. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/33/2/449>>. Acesso em: 23 junho 2014.

HARTUNG, Joerg; PHILLIPS, V. Roger. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 57, p. 173-189, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863484710171#>>. Acesso em: 16 maio 2014.

HASSOUNA, Mélynda; EGLIN, Thomas (Coords.). **Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote**. Diffusion INRA-ADEME, 2015. 314p. Disponível em: <[https://www6.inra.fr/animal\\_emissions/Actualites/Mesurer-les-emissions-gazeuses-en-elevage](https://www6.inra.fr/animal_emissions/Actualites/Mesurer-les-emissions-gazeuses-en-elevage)>. Acesso em: 15 agosto 2016.

HAYES, Enda; CURRAN, Thomas; DODD, Vincent. Odour and ammonia emissions from intensive pig units in Ireland. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 940-948, 2006. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405002282>>.

Acesso em: 24 junho 2014.

HOEKSMAN, Paul; VERDOES, Nico; OOSTHOEK, J; VOERMANS, Jan. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. **Livestock Production Science**, v. 31, p. 121-132, 1995. Disponível:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030162269290060H>>.

Acesso em: 26 fevereiro 2014.

HOEKSTRA, Arjen; MEKONNEN, Mesfin. The water footprint of humanity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, p. 3232-3237, 2012. Disponível em:

<[www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1109936109](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1109936109)>. Acesso em: 15 março 2012.

HUYNH, Thi Thanh Thuy; AARNINK, André; GERRITS, Walter; HEETKAMP, Marcel; CANH, Truong Thanh; KEMP, Bas; VERSTEGEN, Martin. Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 91, p. 1-16, 2005a. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168159104002771>>.

Acesso em: 13 maio 2014.

HUYNH, Thi Thanh Thuy; AARNINK, André; VERSTEGEN, Martin; GERRITS, Walter; HEETKAMP, Marcel; KEMP, Bas; CANH, Truong Thanh. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 1385-1396, 2005b. Disponível em:

<<http://www.journalofanimalscience.org/content/83/6/1385.full.pdf>>.

Acesso em: 15 fevereiro 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Emissions from livestock and manure management**: IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, v. 4, In: EGGLESTON, Simon; BUENDIA, Leandro; MIWA, Kyoko; NGARA, Todd; TANABE, Kiyoto. (Eds). Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan, 2006. p. 10.1-10.87. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>>. Acesso em: 25 outubro 2011.

\_\_\_\_\_. **Climate change 2007: the physical science basis.**

Contribution of working group I to the fourth assessment report for Intergovernmental Panel on Climate Change. In: SOLOMON, Susan; QIN, Dahe; MANNING, Martin; MARQUIS, Melinda; AVERYT, Kristen; TIGNOR, Melinda; MILLER, Henry LeRoy; CHEN, Zhenlin (Eds.). Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 996p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4\\_wg1\\_full\\_report.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf)>. Acesso em: 25 outubro 2011.

JONDREVILLE, Catherine; DOURMAD, Jean-Yves. Phosphorus in pig nutrition. In: AAAP ANIMAL SCIENCE CONGRESS 2006, 12., Bexco, Busan, Korea, 2006. **Proceedings...**, Bexco, Busan, Korea, 2006. 5p. Disponível em: <<http://www.evapig.com/IMG/pdf/Dourmad-aaap2006-3.pdf>>. Acesso em: 13 julho 2012.

JONGBLOED, Age; LENIS, Nico. Environmental concerns about animal manure. **Journal of animal science**, v. 76, p. 2641-2648, 1998. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/76/10/2641.full.pdf>> Acesso em: 13 julho 2012.

JONGBLOED, Age. Environmental pollution control in pigs by using nutrition tools. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 37, p. 215-229, 2008. Disponível em: <<http://www.revista.sbz.org.br/artigo/visualizar.php?artigo=9926>>. Acesso em: 10 fevereiro 2012.

KEBREAB, Ermias; CLARK, Karen; WAGNER-RIDDLE, Claudia; FRANCE, James. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review. **Canadian Journal Of Animal Science**, v. 86, p. 135-158, 2006. Disponível em: <<http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdfplus/10.4141/A05-010>>. Acesso em: 25 Março 2016.

KERMARREC, Christophe. **Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière.** 1999. 181p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Université de Rennes I, Rennes, France, 1999. Disponível em: <<http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:63647>>. Acesso em: 11 agosto 2015.

KERMARREC, Christophe; ROBIN, Paul. Emissions de gaz azotés en élevage de porcs sur litière de sciure. In: JOURNÉES DE LA

RECHERCHE PORCINE, 34., Paris, France, 2002. **Actes...**, Paris, France, 2002, p. 155-160. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2002/02txtEnv/E0203.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2014.

KIJNE, Jacob; BARKER, Randolph; MOLDEN, David. Improving water productivity in agriculture: editors' overview. In: **Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement**. KIJNE, Jacob; BARKER, Randolph; MOLDEN, David ( Eds.). Colombo, Sri Lanka: IWMI, 2003, p. xi-xix. Disponível em: <<http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20033158264>>. Acesso em: 03 junho 2014.

KIM, Ki Youn; JONG KO, Han; TAE KIM, Hyeon; SHIN KIM, Yoon; MAN ROH, Young; MIN LEE, Cheol; NYON KIM, Chi. Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. **Journal of Environmental Management**, v. 88, p. 195-202, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707000734>>. Acesso em: 14 abril 2014.

KONZEN, Egídio Arno. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 1983. Circular Técnica, 6. 32p. Disponível em: <<http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35049/1/circ-6-2.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2012.

KRUPA, Sagar. Effects of atmospheric ammonia (NH<sub>3</sub>) on terrestrial vegetation: a review. **Environmental Pollution**, v. 124, p. 179–221, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749102004347>>. Acesso em: 15 março 2014.

KUNZ, Airton; MIELE, Marcelo; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5485-5489, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408009218>>. Acesso em: 13 março 2011.

LAIRD, Anna Kane. Dynamics of relative growth. **Growth**, v. 29, p. 249-263, 1965.

LANA, Rogério de Paula. Uso racional de recursos naturais não renováveis: aspectos biológicos, econômicos e ambientais. **Revista Brasileira de**



**Zootecnia** [suplemento especial], v. 38, p. 330-340, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v38nspe/v38nspea33.pdf>>. Acesso em: 04 março 2012.

LAVOIE, Jacques; BEAUDET, Yves; LÉTOURNEAU, Claude; GODBOUT, Stéphane; LEMAY, Stéphane; BELZILE, Martin; LACHANCE, Isabelle; POULIOT, Francis. **Evaluation de la qualité de l'air dans les porcheries équipées d'un système de séparation liquide-solide des déjections**. Report R-460, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, Canada, 2006. Disponível em: <<https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-460.pdf>>. Acesso em: 20 março 2016.

LE GOFF, Gwénola; DUBOIS, Serge; van MILGEN, Jaap; NOBLET, Jean. Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilisation of energy in growing and finishing pigs. **Animal Research**, v. 51, p. 245-259, 2002. Disponível em: <<http://animres.edpsciences.org/articles/animres/pdf/2002/03/LeGoff.pdf>>. Acesso em: 23 março 2015.

LE GOFF, Gwénola; NOBLET, Jean. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 33., Paris, France, 2001. **Actes...**, Paris, France, 2001. p. 211-220. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2001/01txtAlim/A0108.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2012.

LEITE, Maurício; FILARDI, Rosemeire da Silva; HERNANDEZ, Fernando; OKABE, Adriana; ARAÚJO, Daniela. Avaliação do fornecimento de água para suínos no Cinturão Verde de Ilha Solteira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA 2011, 15., 2011. Cuiabá – MT, Brasil, **Anais...**, Cuiabá – MT, 2011. 4p. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/defers/docentes/mauricio/pdf/Trabalhos/ConbeaAgua2.pdf>>. Acesso em: 18 janeiro 2012.

LI, Weihua; POWERS, Wendy; HILL, Gretchen. Feeding distillers dried grains with solubles and organic trace mineral sources to swine and the resulting effect on gaseous emissions. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 3286-3299, 2011. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21571896>>. Acesso em: 24 março 2016.

LI, Yuhzi; CHÉNARD, Liliane; LEMAY, Stéphane; GONYOU, Harold. Water intake and wastage at nipple drinkers by growing-finishing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 1413-1422, 2005. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/83/6/1413.full>>. Acesso em: fevereiro 2012.

LIM, Teng; HEBER, Albert; NI, Ji-Qin; KENDALL, Dustin; RICHERT, Brian. Effects of manure removal strategies on odor and gas emissions from swine finishing. **Transactions of the ASAE**, v. 47, p. 2041-2050, 2004. Disponível em: <<https://engineering.purdue.edu/~odor/September05/journal%20articles/lim%202004%20removal%20strategies%20-%20trans%20asae.pdf>>. Acesso em: 12 abril 2014.

MACLEOD, Michael; GERBER, Pierre; MOTTET, Anne; TEMPIO, Giuseppe; FALCUCCI, Alessandra; OPIO, Carolyn; VELLINGA, Theun; HENDERSON, Benjamin; STEINFELD, Henning. **Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains: a global life cycle assessment**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013. 171p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/018/i3460e/i3460e.pdf>>. Acesso em: 15 dezembro de 2015.

MAMEDE, Reginaldo Alves. **Consumo de água e relação água/ração para suínos em crescimento e terminação**. 1980. 23p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1980.

MASSABIE, Patrick; GRANIER, Robert; GUINGAND, Nadine. Influence of ventilation system and air flow rate on ammonia levels in pig fattening units. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 31., Paris, France, 1999. **Actes...**, Paris, France, 1999, p. 139-144. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1999/99txtLogement/L9904.pdf>>. Acesso em: 06 junho 2014.

MASSABIE, Patrick; ROY, Hervé; BOULESTREAU-BOULAY, Anne-Laure; DUBOIS, Aude. **La consommation d'eau en élevage de porcs: des leviers pour réduire la consommation d'eau en élevage de porcs**. IFIP- Institut du porc, Paris, France. 2014, 16p. Disponível em: <<http://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/abreuvement-elevages-porc-ifip.pdf>>. Acesso em: 23 junho 2015.

McMANUS, Concepta; CIBELE, Evangelista; FERNANDES, Luiz Augusto Costa; MIRANDA, Roberto Meirelles; MORENO-BERNAL, Francisco Ernesto; SANTOS, Natália Ribeiro. Curvas de crescimento de ovinos Bergamácia criados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 1207-1212, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v32n5/17904.pdf>>. Acesso em: 14 fevereiro 2014.

McMICHAEL, Anthony; POWLES, John; BUTLER, Colin; UAUY, Ricardo. Food, livestock production, energy, climate change, and health. **Lancet**, v. 370, p. 1253–1263, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673607612562>>. Acesso em: 16 março 2014

MISCHAN, Marta Maria; PINHO, Sheila Zambello de. **Modelos não lineares: funções assintóticas de crescimento**. 1ª ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. Disponível em: <[http://culturaacademica.com.br/img/arquivos/Modelos\\_nao\\_lineares-web-travado-otimizado.pdf](http://culturaacademica.com.br/img/arquivos/Modelos_nao_lineares-web-travado-otimizado.pdf)>. Acesso em: 20 julho 2016.

MISSELBROOK, Tom; van der WEERDEN, Tony; PAIN, Brian; JARVIS, Steve.; CHAMBERS, Brian; SMITH, Ken; PHILLIPS, V.Roger; DEMMERS, Theo. Ammonia emission factors from UK agriculture. **Atmospheric Environment**, v. 34, 871–880, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231099003507>>. Acesso em: 20 novembro 2015.

MOEHN, Soenke; BERTOLO, Robert; PENCHARZ, Paul; BALL, Ronald. Pattern of carbon dioxide production and retention is similar in adult pigs when fed hourly, but not when fed a single meal. **BMC Physiology**, v. 4, p. 1-8, 2004. Disponível em: <<http://bmcpophysiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6793-4-11>>. Acesso em: 10 janeiro 2015.

MØLLER, Henrik; SOMMER, Sven Gjedde; AHRING, Birgitte. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 27-36, 2004. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14964355>>. Acesso em: 20 Fevereiro 2016.

MONTENY, Gert-Jan; BANNINK, Andre; CHADWICK, Dave Robert. Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. **Agriculture**

**Ecosystems & Environment**, v. 112, p. 163-170, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880905004147>>. Acesso em: 29 janeiro 2015.

MONTENY Gert-Jan; ERISMAN, Jan Willem. Ammonia emission from dairy cow buildings: a review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. **Netherlands Journal of Agriculture Science**, v. 46, p. 225-247, 1999. Disponível em: <https://library.wur.nl/ojs/index.php/njas/article/viewFile/481/196>>. Acesso a 20 março 2014.

MROZ, Zdzislaw; JONGBLOED, Age; LENIS, Nico; VREMAN, Karel. Water in pig nutrition: physiology, allowances and environmental implications. **Nutrition Research Reviews**, v. 8, p. 137-164, 1995. Disponível em: [http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FNRR%2FNRR8\\_01%2FS0954422495000114a.pdf&code=35cf0c4b4f845c0a968140bc4db80943](http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FNRR%2FNRR8_01%2FS0954422495000114a.pdf&code=35cf0c4b4f845c0a968140bc4db80943)>. Acesso em: 05 janeiro 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of Swine**. 10<sup>th</sup> Edition. Washington, DC: National Academy Press, 1998, 212p. Disponível em: [http://www.lamolina.edu.pe/facultad/zootecnia/biblioteca2012/NRC%20Swine%201998\[1\].pdf](http://www.lamolina.edu.pe/facultad/zootecnia/biblioteca2012/NRC%20Swine%201998[1].pdf)>. Acesso em: 03 de Março 2012.

NANNONI, Eleonora; MARTELLI, Giovanna; CECCHINI, M.; VIGNOLA, Giorgio; GIAMMARCO, Melania; ZAGHINI, Giuliano; SARDI, Luca. Water requirements of liquid-fed heavy pigs: Effect of water restriction on growth traits, animal welfare and meat and ham quality. **Livestock Science**, v. 151, p. 21-28, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141312003903>>. Acesso em: 10 setembro 2014.

NELDER, John Ashworth. The fitting of a generalization of the logistic curve. **Biometrics**, v. 17, p. 89-110, 1961. Disponível em: [https://www.jstor.org/stable/2527498?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2527498?seq=1#page_scan_tab_contents)>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

NGWABIE, Martin; JEPPSSON, Knut-Hakan; NIMMERMARK, Sven; GUSTAFSSON, Gosta. Effects of animal and climate parameters on gas emissions from a barn for fattening pigs. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 27, p. 1027-1037, 2011. Disponível em:

<<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=40619>>. Acesso em: 25 janeiro 2016.

NI, Ji-Qin; VINCKIER, Christiaan; COENEGRACHTS, Jan; HENDRIKS, Jos. Effect of manure on ammonia emission from a fattening pig house with partly slatted floor. **Livestock Production Science**, v. 59, p. 25-31, 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622699000020>>. Acesso em: 19 junho 2014.

NICKS, Baudouin; LAITAT, Martine; VANDENHEEDE, Marc; DÉSION, Alain; VERHAEGHE, Claire; CANART, Bernard. Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapor in the raising of weaned pigs on straw-based and sawdust-based deep litters. **Animal Research**, v. 52, p. 299–308, 2003. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00889969/document>>. Acesso em: 19 junho 2014.

NICKS, Baudouin; LAITAT, Martine; FARNIR, Frédéric; VANDENHEEDE, Marc; DÉSION, Alain; VERHAEGHE, Claire; CANART, Bernard. Gaseous emissions from deep-litter pens with straw or sawdust for fattening pigs. **Animal Science**, v. 78, p. 99-107, 2004. Disponível em: <[http://www.isah-soc.org/userfiles/downloads/proceedings/2005/sections/78\\_vol\\_1.pdf](http://www.isah-soc.org/userfiles/downloads/proceedings/2005/sections/78_vol_1.pdf)>. Acesso em 19 junho 2014.

NIELSEN, Daniel; SCHRAMM, Andreas; NIELSEN, Lars; REVSBECH, Niels. Seasonal Methane Oxidation Potential in Manure Crusts. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, p. 407-410, 2013. Disponível em: <<http://aem.asm.org/content/79/1/407.full.pdf+html>>. Acesso em: 19 junho 2014.

NIENABER, John; HAHN, G. LeRoy. Effects of water flow restriction and environmental factors on performance of nursery-age pigs. **Journal of Animal Science**, v. 59, p. 1423-1429, 1984. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/59/6/1423.long>>. Acesso em: 10 março 2012.

OGINK, Nico; MOSQUERA, Julio; CALVET, Salvador; ZHANG, Guoqiang. Methods for measuring gas emissions from naturally ventilated livestock buildings: Developments over the last decade and perspectives for improvement. **Biosystems engineering**, v. 116, p. 297-308, 2013. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751101200178X>>. Acesso em: 20 janeiro 2015.

OLIVEIRA, Henrique Nunes de; LÔBO, Raysildo Barbosa; PEREIRA, Carmen Silva. Comparação de modelos não lineares para descrever o crescimento de fêmeas da raça Guzerá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1843-1851, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n9/v35n9a17.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. Documento, 27. 188p. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/suinos-e-aves/busca-de-publicacoes/-/publicacao/434003/manual-de-manejo-e-utilizacao-dos-dejetos-de-suinos>>. Acesso em: 04 fevereiro 2011.

\_\_\_\_\_. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis integral**. 1999. 264p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, L'ENSAR, Université de Rennes, Rennes, France, 1999. Disponível em: <<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=14196027>>. Acesso em: 11 março 2011.

\_\_\_\_\_. **Uso racional da água na suinocultura**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2002. Curso de capacitação em práticas ambientais sustentáveis: treinamento 2002, p. 63-71. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf\\_doc/7-PauloArmando\\_agua.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/7-PauloArmando_agua.pdf)>. Acesso em: 10 setembro 2011.

\_\_\_\_\_. Modelo matemático para estimar a evaporação d'água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, p. 398-406, 2003.

\_\_\_\_\_. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2004. 109p. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/publicacao\\_n3r85f3h.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_n3r85f3h.pdf)>. Acesso em: 15 junho 2012.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; ROBIN, Paul; KERMARREC, Christophe; SOULOUMIAC, Daniel; DOURMAD, Jean-Yves.

Comparaison de l'évaporation d'eau en élevage de porcs sur litière de sciure ou sur caillebotis intégral. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 30., Paris, France, 1998. **Actes...**, Paris, France, 1998, p. 355-361. Disponível em: <<http://journées-recherche-porcine.com/texte/1998/98log/L9809.pdf>>. Acesso em: 03 julho 2011.

OLIVIER, Jos; BOUWMAN, Alexander; van der HOEK, Klas; BERDOWSKI, Jan. Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O in 1990. **Environmental Pollution**, v. 102, [supplement 1], p. 135-148, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749198800262>>. Acesso em: 01 abril 2014.

PAILLAT, Jean-Marie; ROBIN, Paul; HASSOUNA, Mélynda; LETERME, Philippe. **Effet du compostage d'effluents porcins sur les émissions gazeuses et les teneurs en éléments polluants**. Rapport technique, CIRAD, INRA, Agrocampus. Rapport final Action 42c, Porcherie Verte, 2005, 106p. Disponível em:

<[http://ep.antares.free.fr/COURS/COURS%206/6.3\\_JM.Paillat\\_%20Comp%20ostage\\_%20pertes%20gazeuses/6.3%20Ressources/Rapport\\_finalV4\\_contrat0375C0077.pdf](http://ep.antares.free.fr/COURS/COURS%206/6.3_JM.Paillat_%20Comp%20ostage_%20pertes%20gazeuses/6.3%20Ressources/Rapport_finalV4_contrat0375C0077.pdf)>. Acesso em: 23 junho 2013.

PAIN, Brian; van der WEERDEN, Tony; CHAMBERS, Brian; PHILLIPS, V.Roger; JARVIS, Steve. A new inventory for ammonia emissions from UK agriculture. **Atmospheric Environment**, v. 32, p. 309–313, 1998. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231096003524>>. Acesso em: 18 fevereiro 2016.

PARO de PAZ, Claudia Cristina; PACKER, Irineu Umberto; FREITAS, Alfredo Ribeiro de; TAMBASCO-TALHARI, Daniela; REGITANO, Luciana Correa de Almeida; ALENCAR, Maurício Mello de; CRUZ, Geraldo Maria da. Ajuste de modelos não lineares em estudos de associação entre polimorfismos genéticos e crescimento em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1416-1425, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n6/a08v33n6.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

PATIENCE, John Francis; ENGELE, Ken. A checklist for water use. In: **2014 Newsletter Report**. Prairie Swine Centre, Saskatoon, Saskatchewan,

Canada, 2014, 2p. Disponível em:

<<http://www.prairieswine.com/pdf/1720.pdf>>. Acesso em: 25 junho 2014.

PATIENCE, John Francis; UMBOH, Johnny; CHAPLIN, Ron; NYACHOTI, Martin. Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. **Livestock Production Science**, v. 96, p. 205-214, 2005. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301622605000436>>.

Acesso em: 15 abril 2013.

PEDERSEN, Bjarne Kornbek. Water intake and pig performance. In: PROCEEDINGS OF THE TEAGASC PIG CONFERENCE, p 50-54, 1994.

PEDERSEN, Søren; BLANES-VIDAL, Victoria; JØRGENSEN, Henry; CHWALIBOG, André; HAEUSSERMANN, Angelika; HEETKAMP, Marcel; AARNINK, André. Carbon dioxide production in animal houses: a literature review. **Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal**, v. 10, p. 1-19, 2008. Disponível em:

<<http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1205/1132>>.

Acesso em: 10 janeiro 2015.

PETERSEN, Søren; AMBUS, Per. Methane oxidation in pig and cattle slurry storages, and effects of surface crust moisture and methane availability. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 74, p. 1-11, 2006.

Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10705-005-3822-6#page-1>>. Acesso em: 17 março 2014.

PETERSEN, Søren; BLANCHARD, Mélanie; CHADWICK, Dave Robert; DEL PRADO, Agustin; EDOUARD, Nadège; MOSQUERA, Julio; SOMMER, Sven Gjedde. Manure management for greenhouse gas mitigation. **Animal**, v. 7 [supplement s2], 266-282, 2013. Disponível em:

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23739469>>. Acesso em: 15 março 2015.

PEYRAUD, Jean-Luis; CELLIER, Pierre; DONNARS, Catherine; RECHAUCHERE, Olivier (Eds.). **Les flux d'azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres**. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, France: INRA, 2012. 68p. Disponível em:

<<http://www6.paris.inra.fr/depe/Media/Fichier/Expertises/Elevage-et-Azote/Elevage-et-Azote-synthese>>. Acesso em: 15 junho 2014.

PHILIPPE, François-Xavier; CABARAUX, Jean-François; NICKS, Baudouin. Ammonia emissions from pig houses: influencing factors and



mitigation techniques. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, p. 245-260, 2011. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016788091100096X>>.

Acesso em: 10 fevereiro 2014.

PHILIPPE, François-Xavier; LAITAT, Martine; CANART, Bernard; VANDENHEEDE, Marc; NICKS, Baudouin. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. **Livestock Science**, v. 111, p. 144-152, 2007a. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141307001497>>.

Acesso em: 15 julho 2014.

PHILIPPE, François-Xavier; LAITAT, Martine; CANART, Bernard; VANDENHEEDE, Marc; NICKS, Baudouin. Gaseous emissions during the fattening of pigs kept either on fully slatted floors or on straw flow.

**Animal**, v. 1, p. 1515–1523, 2007b. Disponível em:

<<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22444925>>. Acesso em: 15 julho

2014.

PHILIPPE, François-Xavier; LAITAT, Martine; NICKS, Baudouin; CABARAUX, Jean-François. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 150, p. 45-53, 2012. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880912000205>>.

Acesso em: 16 julho 2015.

PHILIPPE, François-Xavier; LAITAT, Martine; WAVREILLE, José; NICKS, Baudouin; CABARAUX, Jean-François. Comparaison des émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre lors de l'élevage de porcs charcutiers sur caillebotis total ou partiel. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 46., Paris, France, 2014. **Actes...**, Paris, France, 2014. p. 211-212. Disponível em: <<http://www.journees-recherche-porcine.com/texte/2014/environnement/7EP4.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2016.

PHILIPPE, François-Xavier; NICKS, Baudouin. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 199, p. 10-25, 2015. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880914004058>>.

Acesso em: 20 janeiro 2015.

PHILIPPE, François-Xavier; REMIENNE, Virginie; DOURMAD, Jean-Yves; CABARAUX, Jean-François; VANDENHEEDE, Marc, NICKS, Baudouin. Les fibres dans l'alimentation des truies gestantes: effets sur la nutrition, le comportement, les performances et les rejets dans l'environnement. **INRA Productions Animales**, v. 21, p. 277-290, 2008. Disponível em: <[http://www6.inra.fr/productions-animales\\_eng/content/download/3340/33917/version/1/file/Prod\\_Anim\\_2008\\_21\\_3\\_08.pdf](http://www6.inra.fr/productions-animales_eng/content/download/3340/33917/version/1/file/Prod_Anim_2008_21_3_08.pdf)>. Acesso em: 10 fevereiro 2014.

PHILLIPS, Peter; FRASER, David. A water dispenser modified to promote water use by piglets in the first days after birth. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 31, p. 175-177, 1989. Disponível em: <[http://csbe-scgab.ca/docs/journal/31/31\\_2\\_175\\_ocr.pdf](http://csbe-scgab.ca/docs/journal/31/31_2_175_ocr.pdf)>. Acesso em: 10 março 2012.

PLAGGE, J. Gerard; van LEUTEREN, Jurgen. **Water consumption of fattening pigs**. Varkensproefbedrijf "Noed- en Oost-Nederland" P 1.32, 1989.

POMAR, Candido. The utilization of mathematical models to improve swine production. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL, 6., São Paulo, Brasil, 2014. **Anais...**, São Paulo, Brasil, 2014. 17p. Disponível em: <<http://www.cbna.com.br/site/documentos/clana/palestras/Palestras%20SU%C3%8DNOS/Palestra%20Candido%20Pomar%20EDITORADA.pdf>>. Acesso em: 28 fevereiro 2015.

RIGOLOT, Cyrille; ESPAGNOL, Sandrine; POMAR, Candido; DOURMAD, Jean-Yves. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, effect of feeding and performance. **Animal**, v. 4, p. 1401-1412, 2010a. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22444660>>. Acesso em: 22 Janeiro 2016.

RIGOLOT, Cyrille; ESPAGNOL, Sandrine; ROBIN, Paul; HASSOUNA, Mélynda; BÉLINE, Fabrice; PAILLAT, Jean-Marie; DOURMAD, Jean-Yves. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. **Animal**, v. 4, p. 1413-1424, 2010b. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22444661>>. Acesso em: 22 Janeiro 2016

RICHARDS, Francis John. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v. 10, p. 290-300, 1959. Disponível em:

<<http://jxb.oxfordjournals.org/content/10/2/290.full.pdf+html>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

ROBIN, Paul. Emissão de gases de efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, Itu, SP: Gessulli, v. 33, n. 239, p. 50-57, 2011. Disponível em:

<<http://www.suinoculturaindustrial.com.br/edicao/4>>. Acesso em: 08 maio 2013.

\_\_\_\_\_. Comunicação pessoal, 2016.

ROBIN, Paul; AMAND, Gérard; AUBERT, Claude; BABELA, Naomi; BRACHET, Aude; BERCKMANS, Daniel; BURTON, Colin; CANART, Bernard; CELLIER, Pierre; DOLLÉ, Jean-Baptiste; DONG, Hongmin; DURIF, Marc; EHRLACHER, Alain; EREN OZCAN, Sezin; ESPAGNOL, Sandrine; GAUTIER, François; GUINGAND, Nadine; GUIZIOU, Fabrice; HARTUNG, Eberhard; HASSOUNA, Mélynda; LANDRAIN, Paul; LEE, In-Bok; LELEU, Claire; LI, Yinsheng; LIAO, Xin Di; LOUBET, Benjamin; LOYON, Laurence; LUTH, Luth; NICKS, Baudouin; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; PONCHANT, Paul; POWERS, Wendy; RAMONET, Yannick; SOMMER, Sven Gjedde; THIARD, Jérôme; WANG, Kaiying; XIN, Hongwei; YOUSSEF, Ali. **Reference procedures for the measurement of gaseous emissions from livestock houses and storages of animal manure**. Final Report, ADEME, Paris, France, 2010, 260p.

Disponível em:

<[http://www6.inra.fr/animal\\_emissions\\_eng/content/download/3075/32497/version/1/file/rapport\\_final\\_ADEME\\_AnimalEmissionProcedures2010.pdf](http://www6.inra.fr/animal_emissions_eng/content/download/3075/32497/version/1/file/rapport_final_ADEME_AnimalEmissionProcedures2010.pdf)>.

Acesso em: 05 fevereiro 2013.

ROBIN, Paul; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; KERMARREC, Christophe. Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de porcs durant la phase de croissance. In: JOURNÉES DE LA RECHERCHE PORCINE, 31., Paris, France, 1999. **Actes...**, Paris, France, 1999. p. 111-115. Disponível em: <<http://journees-recherche-porcine.com/texte/1999/99txtEnv/E9908.pdf>>. Acesso em: 10 fevereiro 2014.

ROBINSON, Timothy; THORNTON, Philip; FRANCESCHINI, Gianluca; KRUSKA, Russ; CHIOZZA, Federica; NOTENBAERT, An; CECCHI, Giuliano; HERRERO, Mario; EPPRECHT, Michael; FRITZ, Steffen; YOU, Liang; CONCHEDDA, Giulia; SEE, Linda. **Global livestock production systems**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Livestock Research Institute (ILRI), 2011. 152p.

Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/i2414e/i2414e.pdf>>.  
Acesso em: 23 março 2014.

ROSTAGNO, Horacio Santiago; ALBINO, Luiz Fernando Teixeira; DONZELE, Juarez Lopes; GOMES, Paulo Cezar; OLIVEIRA, Rita Flávia de; LOPES, Darci Clementino; FERREIRA, Aloizio Soares; BARRETO, Sergio Luiz de Toledo; EUCLIDES, Ricardo Frederico. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3ª Edição, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Zootecnia, Viçosa, Brasil. 2011, 252p. Disponível em: <<http://www.lisina.com.br/arquivos/Geral%20Portugu%C3%AAs.pdf>>.  
Acesso em 20 julho 2012.

SAGGAR, Surinder; BOLAN, Nanthi; BHANDRAL, Rita; HEDLEY, Carol; LUO, Jiafa. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 513-544, 2004. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00288233.2004.9513618>>.  
Acesso em: 10 março 2014.

SAHA, Chayan Kumer; ZHANG, Guoqiang; KAI, Peter; BJERG, Bjarne. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. **Biosystems Engineering**, v. 105, p. 279-287, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511009003389>>.  
Acesso em: 2 agosto 2014.

SARMENTO, José Lindenberg Rocha; REGAZZI, Adair José; SOUSA, Wandrick Hauss de; TORRES, Robledo de Almeida; BRENDA, Fernanda Cristina; MENEZES, Gilberto Romeiro de Oliveira. Estudo da curva de crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 35, p. 435-442, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v35n2/a14v35n2.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

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

SESTI, Luiz; SOBESTIANSKY, Jurij; BARCELLOS, David. **Limpeza e desinfecção em suinocultura**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves/Merial, 1998. Documento, Suinocultura Dinâmica, 20. 15p. Disponível em:

<<http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/suidin/sudi020.pdf>>. Acesso em: 15 março 2014.

SHAW, Marnie; BEAULIEU, Denise; PATIENCE, John Francis. Effect of diet composition on water consumption in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 84, p. 3123-3132, 2006. Disponível em: <<http://www.journalofanimalscience.org/content/84/11/3123.full>>. Acesso em: 15 março 2012.

SOMMER, Sven Gjedde; HUTCHINGS, Nicholas. Techniques and strategies for the reduction of ammonia emission from agriculture. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 85, p. 237-248, 1995. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00483704>>. Acesso em: 25 março 2014.

SOMMER, Sven Gjedde; PETERSEN, Søren; MOLLER, Henrik. Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 69, p. 143-154, 2004. Disponível em: <<http://link.springer.com/sci-hub.cc/article/10.1023/B:FRES.0000029678.25083.fa>>. Acesso em: 26 março 2015.

SOMMER, Sven Gjedde; ZHANG, Guoqiang; BANNINK, Andre; CHADWICK, Dave Robert; MISSELBROOK, Tom; HARRISON, Roland; HUTCHINGS, Nicholas; MENZI, Harald; MONTENY, Gert-Jan; NI, Ji-Qin; OENEMA, Oene; WEBB, Jim. Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. **Advances in Agronomy**, v. 89, p. 261-335, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211305890066>>. Acesso em: 25 março 2014.

SOULOUMIAC, Daniel. **Etude des microclimats réalisables dans des enceintes énergétiquement autonomes soumises à des flux de chaleur d'origine métabolique**. 1995. 170p. Thèse (Doctorat) – I.N.A. Paris-Grignon, 1995.

SOUTO, Gabriel d'Arrigo de Brito. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção de nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. 2009. 371p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19022009-121756/pt-br.php>>. Acesso em: 20 agosto 2016.

SOUZA-VILAS BOAS, Jean Carlos; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; BELLI FILHO, Paulo; ZANUZZI, Cinthya Mónica da Silva; TREMEA, Sandro Luiz; PEIKAS, Fernando; SQUEZZATO, Natan Carlos; ZIMMERMANN, Leopoldo Alberto; SANTOS, Marco Antonio; AMARAL, Nilson do. **Gestão da água na suinocultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, Cartilha, 32 p. 2016. Disponível em: [http://www.sindicarne.org.br/downloads/gest\\_o\\_da\\_gua.pdf](http://www.sindicarne.org.br/downloads/gest_o_da_gua.pdf)>. Acesso em: 20 agosto 2016.

STEINFELD, Henning; WASSENAAR, Tom. The role of livestock production in carbon and nitrogen cycles. **Annual review of environment and resources**, v. 32, p. 271-294, 2007. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/sci-hub.cc/doi/abs/10.1146/annurev.energy.32.041806.143508>>. Acesso em: 19 março 2016.

STEINFELD, Henning; GERBER, Pierre; WASSENAAR, Tom; CASTEL, Vincent; ROSALES, Mauricio; de HAAN, Cees. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2006. 390p. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0701e/a0701e.pdf>>. Acesso em: 20 junho 2014.

STRATHE, Anders; DANFÆR, Allan; JØRGENSEN, Henry; KEBREAB, Ermias. A dynamic growth model for prediction of nutrient partitioning and manure production in growing-finishing pigs: model development and evaluation. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 1061–1073, 2015. Disponível em: <<http://escholarship.org/uc/item/7838w3bd>>. Acesso em: 20 junho 2016.

SUN, Gang; GUO, Huiqing; PETERSON, Jonathan; PREDICALA, Bernardo; LAGUE, Claude. Diurnal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide emission profiles of confined swine grower/finisher rooms. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 58, p. 1434–1448, 2008. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3155/1047-3289.58.11.1434>>. Acesso em: 15 junho 2014.

SUTTON, Mark; HOWARD, Clare; ERISMAN, Jan Willem; BILLEN, Gilles; BLEEKER, Albert; GRENNFELT, Peringe; van GRINSVEN, Hans; GRIZZETTI, Bruna (Eds.). **The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives**. 1ª ed. New York, USA: Cambridge University Press, 2011. Disponível em: <<http://www.nine-esf.org/ENA-Book>>. Acesso em: 24 março 2015.

SUTTON, Mark; OENEMA, Oene; ERISMAN, Jan Willem; LEIP, Adrian; van GRINSVEN, Hans; WINIWARTER, Wilfried. Too much of a good thing. **Nature**, v. 472, p. 159–161, 2011. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v472/n7342/full/472159a.html>>. Acesso em: 19 março 2016.

TALLEC, Gaëlle; GARNIER, Josette; BILLEN, Gilles; GOUSAILLES, Michel. Nitrous oxide emissions from secondary activated sludge in nitrifying conditions of urban wastewater treatment plants: effect of oxygenation level. **Water Research**, v. 40, p. 2972-2980, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135406003010>>. Acesso em: 15 julho 2014.

\_\_\_\_\_. Nitrous oxide emissions from denitrifying activated sludge of urban wastewater treatment plants, under anoxia and low oxygenation. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2200-2209, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407004452>>. Acesso em: 24 julho 2014.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues. **Estudo da eficiência do processo de separação sólido-líquido de chorumes de origem suínica**. 2008. 50p. Relatório Final (Graduação) – Curso de Engenharia Zootécnica, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2008.

\_\_\_\_\_. **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, 2011. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0441-D.pdf>>. Acesso em: 06 setembro 2012.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; BELLI FILHO, Paulo; COLDEBELLA, Arlei; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. **Livestock Science**, v. 169, p. 146–154, 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141314004739>>.

Acesso em: 05 novembro 2014.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; BELLI FILHO, Paulo. Sustentabilidade da suinocultura – Reduções de consumo de água e de dejetos na produção animal. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15., Belo Horizonte, MG, 2012. **Anais eletrônicos...**, Rio de Janeiro, 2012. 10p. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/258211936>>. Acesso em: 03 abril 2013.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; SILVA, Diogo da; COLDEBELLA, Arlei; BELLI FILHO, Paulo; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. Modelos não lineares para estimação do consumo de água e produção de dejetos em granjas comerciais de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17., Florianópolis, SC, 2016. **Anais eletrônicos...**, Jaboticabal, São Paulo, 2016. 7p. Disponível em: <<http://publicacoes.conbea.org.br/livros/busca/?pagina=1&ano=&categoria=&opcoes=Tavares>>. Acesso em: 08 setembro 2016.

THACKER, Philip. Water in swine nutrition. In: **Swine nutrition**, 2<sup>nd</sup> Edition. Eds.: LEWIS, Austin, SOUTHERN, Lee, CRC Press. 2001, p. 381-398. Disponível em: <<http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420041842.ch17>>. Acesso em: 10 março 2008.

THOLON, Patricia; QUEIROZ, Sandra Aida de. Modelos matemáticos utilizados para descrever curvas de crescimento em aves aplicados ao melhoramento genético animal. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2261-2269, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v39n7/a50v39n7.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign agricultural service. Livestock and poultry**: world markets and trade. Trade of All Meats to Expand in 2016. 2016, 25p. Disponível em: <[http://www.apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock\\_poultry.pdf](http://www.apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf)>. Acesso em: 20 agosto de 2016.

van MILGEN, Jaap; VALANCOGNE, Alain; DUBOIS, Serge; DOURMAD, Jean-Yves; SÈVE, Bernard; NOBLET, Jean. InraPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 143, p. 387-405, 2008. Disponível em:



<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840107001782>>.  
Acesso em: 18 junho 2016.

van't KLOOSTER, Cees; HEITLAGER, B.P. Determination of minimum ventilation rate in pig houses with natural ventilation based on carbon dioxide balance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 57, p. 279-287, 1988. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863484710286>>.  
Acesso em: 05 de março 2015.

VERMEER, Herman; KUIJKEN, Nienke; SPOOLDER, Hans. Motivation for additional water use of growing-finishing pigs. **Livestock Science**, v. 124, p. 112-118, 2009. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141309000250>>.  
Acesso em: 24 setembro 2010.

VOERMANS, Jan; van POPPEL, F. Scraper systems in pig houses. In: INTERNATIONAL LIVESTOCK ENVIRONMENT SYMPOSIUM, 4., Coventry, UK. 1993. **Proceedings...**, Coventry, UK. 1993. p. 651-656.

von BERTALANFFY, Ludwig. Quantitative laws in metabolism and growth. **The Quarterly Review of Biology**, v. 32, p. 217-230, 1957. Disponível em: <<http://www.ms.uky.edu/~ma138/Fall15/art1.pdf>>. Acesso em: 18 fevereiro 2014.

WARD, Daniel; MCKAGUE, Kevin. **Water requirements livestock**. In: Fact Sheet, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario. 8 p, 2007. Disponível em:  
<<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/07-023.htm>>. Acesso em: 10 abril 2011.

WHITTEMORE, Colin; TULLIS, Bronwyn John; EMMANS, Gerry. Protein growth in pigs. **Animal Production**, v. 46, p. 437-445, 1998. Disponível em:  
<<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=7378468&fileId=S0003356100019048>>. Acesso em: 15 outubro 2012.

WOLTER, Martin; PRAYITNO, Shafiq; SCHUCHARDT, Frank. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. **Bioresource Technology**, v. 95, p. 235-244, 2004. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852404000896>>.  
Acesso em: 20 janeiro 2016.

XAVIER, Lara Hoffmann. **Modelos univariado e multivariado para análise de medidas repetidas e verificação da acurácia do modelo univariado por meio de simulação**. 2000. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agronômica, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2000.

XU, Chong-Yu. **Hydrologic models**. Department of Earth Sciences, Uppsala University, Sweden. 168p. 2002. Disponível em: [http://www.soil.tu-bs.de/lehre/Master.Unsicherheiten/2012/Lit/Hydrology\\_textbook.pdf](http://www.soil.tu-bs.de/lehre/Master.Unsicherheiten/2012/Lit/Hydrology_textbook.pdf). Acesso em: 20 abril 2015.

YE, Rick; THOMAS, Stuart. Microbial nitrogen cycles: physiology, genomics and applications. **Current Opinion in Microbiology**, v. 4, p. 307-312, 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369527400002083>. Acesso em: 15 março de 2016.

YE, Zhangying; ZHANG, Guoqiang; SEO, Il-Hwan; KAI, Peter; SAHA, Chayan Kumer; WANG, Chaoyuan; LI, Baoe. Airflow characteristics at the surface of manure in a storage pit affected by ventilation rate floor slat opening, and headspace height. **Biosystems Engineering**, v. 104, p. 97-105, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751100900155X>. Acesso em: 25 novembro 2015.

ZHOU, Chunshe; HU, Jinjie; ZHANG, Bin; TAN, Zhiliang. Gaseous emissions, growth performance and pork quality of pigs housed in deep-litter system compared to concrete-floor system. **Animal Science Journal**, v. 86, p. 422-427, 2015. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/asj.12311/pdf>. Acesso em: 25 julho 2016.

## APÊNDICES



**APÊNDICE A – Informações das granjas nas diferentes fases fisiológicas da cadeia produtiva de suínos.**

<b>Granjas</b>	<b>Localização</b>	<b>Piso</b>	<b>Bebedouro<sup>†</sup></b>	<b>Canaleta<sup>‡</sup></b>	
<b>Crescimento-Terminação</b>	C <sub>T01</sub>	Concórdia	Compacto	NI	Ext./Fec.
	C <sub>T02</sub>	Concórdia	Compacto	BB	Ext./Fec.
	C <sub>T03</sub>	Concórdia	Compacto	NI	Ext./Fec.
	C <sub>T04</sub>	Ipumirim	Compacto	NI	Ext./Fec.
	C <sub>T05</sub>	Concórdia	Compacto	NI	Ext./Fec.
	C <sub>T06</sub>	Concórdia	Compacto	BO <sub>H</sub>	Ext./Ab.
	C <sub>T07</sub>	Concórdia	Compacto	BB	Ext./Fec.
	C <sub>T08</sub>	Concórdia	Compacto	BB	Ext./Fec.
	C <sub>T09</sub>	Jaborá	Compacto	BO <sub>H</sub>	Ext./Ab.
	C <sub>T10</sub>	Concórdia	Compacto	BB	Ext./Fec.
	C <sub>T11</sub>	Concórdia	Compacto	BO <sub>H</sub>	Ext./Ab.
	C <sub>T12</sub>	Arabutã	Compacto	NI	Ext./Fec.
	C <sub>T13</sub>	Concórdia	Compacto	BB	Ext./Fec.
	C <sub>T14</sub>	Concórdia	Compacto	BO <sub>H</sub>	Ext./Ab.
	C <sub>T15</sub>	Ipumirim	Compacto	BO <sub>H</sub>	Ext./Fec.
<b>Creche</b>	C <sub>R01</sub>	Concórdia	Semivazado	NI	Int.
	C <sub>R02</sub>	Arabutã	Semivazado	NI	Int.
	C <sub>R03</sub>	Arabutã	Semivazado	NI	Int.
	C <sub>R04</sub>	Arabutã	Semivazado	NI	Int.

<sup>†</sup> BB – chupeta bite-ball; NI – chupeta convencional; BO<sub>H</sub> – taça/concha horizontal.

<sup>‡</sup> Int. – interna; Ext. – externa; Fec. – fechada; Ab. – aberta.

Granjas		Localização	Piso	Bebedouro <sup>†</sup>	Canaleta <sup>‡</sup>
Maternidade	M <sub>AT01</sub>	Concórdia	Semivazado	BB	Int.
	M <sub>AT02</sub>	Jaborá	Semivazado	BB/NI	Int..
	M <sub>AT03</sub>	Jaborá	Semivazado	BB/NI	Int.
	M <sub>AT04</sub>	Concórdia	Semivazado	BB	Int.
Gestão Box	G <sub>BO01</sub>	Concórdia	Semivazado	VC	Int.
	G <sub>BO02</sub>	Jaborá	Semivazado	VC	Int..
	G <sub>BO03</sub>	Jaborá	Semivazado	VC	Int.
	G <sub>BO04</sub>	Concórdia	Semivazado	VC	Int.
Gestão Baia	G <sub>BA01</sub>	Concórdia	Semivazado	BB	Int.
	G <sub>BA02</sub>	Jaborá	Compacto	BB	Ext./Ab.
	G <sub>BA03</sub>	Jaborá	Compacto	BB	Ext./Ab.
	G <sub>BA04</sub>	Concórdia	Semivazado	BB	Int.

<sup>†</sup> BB – chupeta bite-ball; NI – chupeta convencional; VC – calha/vaso comunicante.

<sup>\*\*</sup> Int. – interna; Ext. – externa; Ab. – aberta.

**APÊNDICE B – Sistemas de armazenamento de dejetos: (a) canaleta aberta externa; (b) canaleta fechada externa; (c) canaleta interna.**





## The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms



J.M.R. Tavares <sup>a,\*</sup>, P. Belli Filho <sup>a,1</sup>, A. Coldebella <sup>b,2</sup>, P.A.V. Oliveira <sup>b,2</sup>

<sup>a</sup> Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Santa Catarina, Brazil

<sup>b</sup> Embrapa, Swine and Poultry, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 9 April 2014

Received in revised form

4 September 2014

Accepted 7 September 2014

#### Keywords:

Pigs

Growing-finishing

Water disappearance

Drinkers

Manure production

Gompertz nonlinear function

### ABSTRACT

Nowadays, livestock production, and literature regarding same, is confronted with a serious lack of information and tools to estimate and compare the real water disappearance (animal intake plus wastage) and manure production at commercial pig farms. An experiment was conducted over 13 months at 15 commercial growing-finishing pig farms, aiming the determination of water disappearance and manure production, using 3 different types of drinkers [bite-ball nipple (BB), nipple (NI), and bowl (BO)]. Two seasons, with 6928 and 6348 pigs (both: 9 weeks old and 24.5 kg average body weight) were studied considering 2 housing periods (10 and 15 weeks). A total of 55 water meters [one water meter on each water line that supplies the housing building (pigs intake, cooling system and cleaning facilities)] and 15 fiberglass tanks (each 5 m<sup>3</sup>) were installed at farms to determine the water disappearance and manure production. The BO drinkers were fixed permanently at 0.25 m above the floor while the others were set at 0.05 m above the shoulder height of the smallest pig in the pen. All data were recorded on a daily basis. The Gompertz nonlinear function was applied to the average weekly data to obtain mathematical equations that predict the water disappearance and manure production at growing-finishing farms. Independently of the drinker type, the water disappearance and manure production for the whole experiment (15 weeks) were 8.83 ± 1.37 and 4.46 ± 0.82 L · pig/d, respectively. The water disappearance of the 2 seasons differed with the average value for the warm being 14% higher ( $P < 0.005$ ). Manure production results were similar: 4.57 ± 0.17 for cold season and 4.35 ± 0.17 L · pig/d for the warm season ( $P = 0.365$ ). The NI drinker presented the lowest average water disappearance for the entire experiment (7.23 ± 0.31 L · pig/d; 15 weeks) and differed significantly ( $P < 0.001$ ) from the BB (~19%) and BO (~16%). The farms with the NI drinker also presented the lowest average manure volumes for the experiment (3.98 ± 0.21 L · pig/d), differing statistically from the BB farms (5.09 ± 0.19 L · pig/d;  $P < 0.002$ ). The mathematical equations obtained by the Gompertz nonlinear function presented R<sup>2</sup> values of 0.996 and 0.997 for the water disappearance and manure production, respectively. The results obtained at the commercial growing-finishing farms show that in uncontrolled conditions (e.g., level of water flow and differing water qualities), the water disappearance and manure production are significantly influenced by the drinker type. The mathematical equations

\* Corresponding author. Current address: Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Santa Catarina, Campus Universitário, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Bairro Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis, SC, Brazil. Tel.: +55 48 3721 7743.

E-mail addresses: [jorge.tavares@posgrad.ufsc.br](mailto:jorge.tavares@posgrad.ufsc.br) (J.M.R. Tavares), [paulo.belli@ufsc.br](mailto:paulo.belli@ufsc.br) (P.B. Filho), [arlei.coldebella@embrapa.br](mailto:arlei.coldebella@embrapa.br) (A. Coldebella), [paulo.armando@embrapa.br](mailto:paulo.armando@embrapa.br) (P.A.V. Oliveira).

<sup>1</sup> Current address: Campus Universitário, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Bairro Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-970, Florianópolis, SC, Brazil.

<sup>2</sup> Current address: Caixa Postal 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC, Brazil.



**APÊNDICE D – Concentrações médias dos gases no ar interno e externo das granjas de suínos para o turno matutino e vespertino.**

Tipo de ar	Concentração gases matutino <sup>1</sup>				Concentração gases vespertino <sup>2</sup>			
	Média	$\sigma$	Máx.	Mín	Média	$\sigma$	Máx.	Mín
<b>Ar interno</b>								
H <sub>2</sub> O (g·m <sup>-3</sup> )	14,59	2,45	20,14	8,06	13,51	2,04	19,79	8,11
CO <sub>2</sub> (ppm-v)	1725,01	551,39	3113,52	910,83	1146,18	332,91	2204,84	648,61
CH <sub>4</sub> (ppm-v)	12,68	5,75	24,93	1,79	9,85	4,46	17,94	0,0
N <sub>2</sub> O (ppm-v)	0,61	0,17	1,05	0,37	0,44	0,09	0,76	0,30
NH <sub>3</sub> (ppm-v)	5,79	2,82	13,12	1,90	3,72	1,50	1,24	7,51
<b>Ar externo</b>								
H <sub>2</sub> O (g·m <sup>-3</sup> )	13,29	2,63	18,62	7,96	13,22	2,18	19,41	7,91
CO <sub>2</sub> (ppm-v)	498,66	43,99	660,02	436,55	486,51	30,75	592,86	417,23
CH <sub>4</sub> (ppm-v)	4,59	3,65	14,76	0,0	5,84	3,34	11,32	0,0
N <sub>2</sub> O (ppm-v)	0,37	0,03	0,49	0,32	0,36	0,02	0,44	0,31
NH <sub>3</sub> (ppm-v)	0,85	0,25	1,48	0,36	0,98	0,25	1,48	0,52

<sup>1</sup> Desvio padrão.

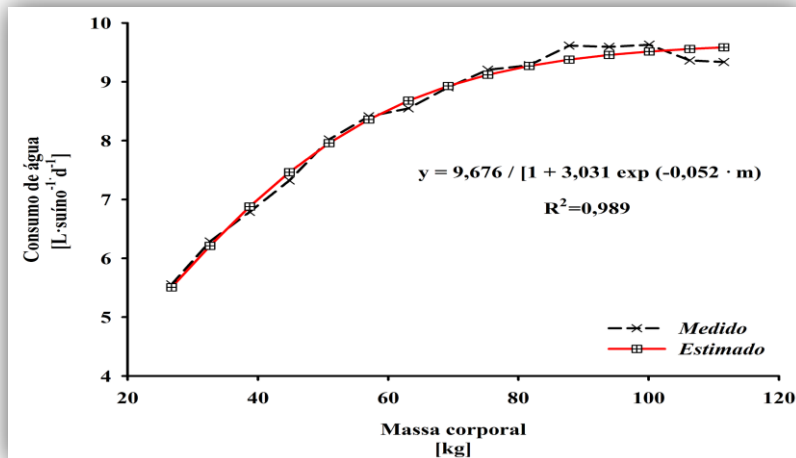
<sup>1</sup> n= 52 amostras; <sup>2</sup> n=46 amostras.

**APÊNDICE E – Resumo dos resultados para o ajuste das médias do consumo de água em função da massa corporal dos suínos.**

Modelo Matemático <sup>†</sup>	Parâmetros			AIC	R <sup>2</sup>	Erro <sup>‡</sup>
	a	b	c			
4	9,860	1,158	0,035	-4,87	0,985	0,13
5	9,751	0,044	14,181	-7,88	0,988	0,12
6	9,676	3,031	0,052	-10,38	0,989	0,11
7	9,751	0,002	0,044	-7,88	0,988	0,12
8	9,782	0,527	0,041	-6,92	0,987	0,12

<sup>†</sup> 1: Brody; 2: Gompertz; 3: Logístico; 4: Richards ( $v = 1000$ ); 5: von Bertalanffy;

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

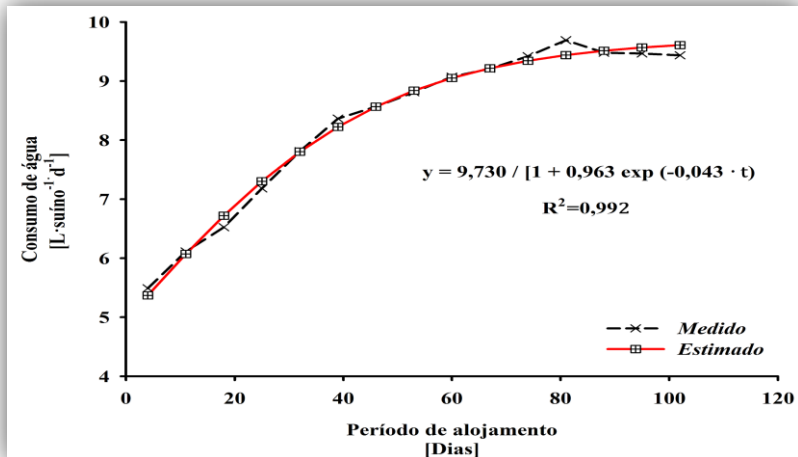


**APÊNDICE F – Resumo dos resultados para o ajuste das médias do consumo de água em função do período de alojamento dos suínos.**

Modelo Matemático <sup>†</sup>	Parâmetros			AIC	R <sup>2</sup>	Erro <sup>‡</sup>
	a	b	c			
1	9,988	0,524	0,028	-6,04	0,987	0,12
2	9,834	0,035	-10,01	-10,24	0,990	0,10
3	9,730	0,963	0,043	-14,16	0,992	0,09
4	9,834	0,001	0,035	-10,24	0,813	0,52
5	9,878	0,212	0,033	-8,86	0,989	0,11

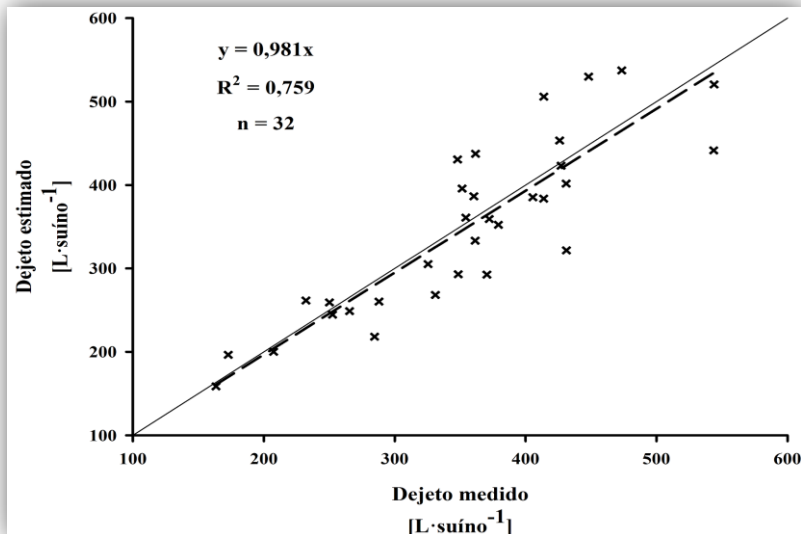
<sup>†</sup> 1: Brody; 2: Gompertz; 3: Logístico; 4: Richards (v = 1000); 5: von Bertalanffy;

<sup>‡</sup> Erro de estimação absoluto (L·suíno<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>).

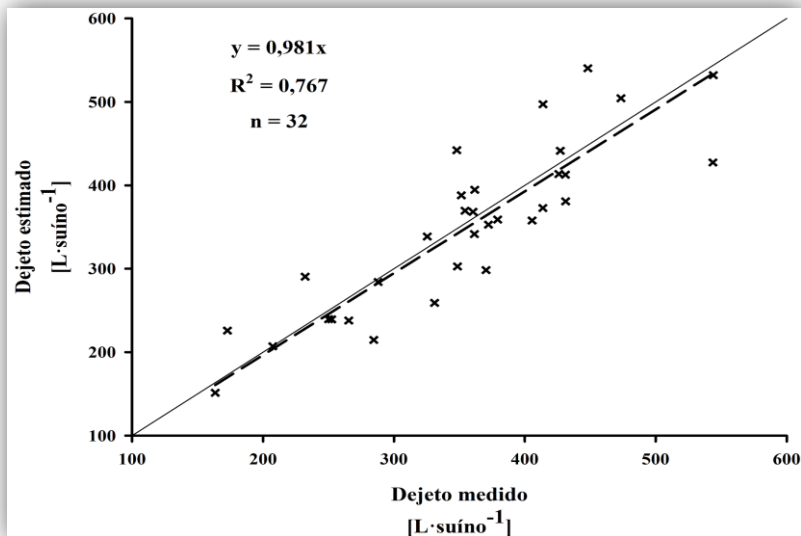


# APÊNDICE G – Estimativa do volume de dejetos produzidos com aplicação de fator de evaporação por período do ano, tipo de bebedouro e em função de ambos.

## Fator de evaporação por período do ano



## Fator de evaporação por tipo de bebedouro



### Fator de evaporação: em função do período e tipo de bebedouro

