



JULIANA DE SOUZA GRANJA BARROS

**AVALIAÇÃO DE DUAS TECNOLOGIAS DE CONTROLE
PARA ACIONAMENTO DE SISTEMA DE
AQUECIMENTO RESISTIVO EM CRECHE SUÍNA**

CAMPINAS

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Agrícola

JULIANA DE SOUZA GRANJA BARROS

**AVALIAÇÃO DE DUAS TECNOLOGIAS DE CONTROLE PARA
ACIONAMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO
RESISTIVO EM CRECHE SUÍNA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Construções Rurais e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO ROSSI

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DEFENDIDA PELA ALUNA JULIANA DE SOUZA GRANJA BARROS
E ORIENTADA PELO PROF. DR. LUIZ ANTONIO ROSSI.

Assinatura do Orientador

CAMPINAS

2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B278a Barros, Juliana de Souza Granja, 1986-
Avaliação de duas tecnologias de controle para acionamento de sistema de aquecimento resistivo em creche suína / Juliana de Souza Granja Barros. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Luiz Antonio Rossi.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Controle de temperatura. 2. Leitão (suíno) - Desmame precoce. 3. Aquecimento - Controle automático. 4. Leitão (suíno) - Desempenho. 5. Suíno - Criação - Aspectos ambientais. I. Rossi, Luiz Antonio, 1957-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Evaluation of two control technologies for activation of resistive heating system in swine nursery

Palavras-chave em inglês:

Temperature control

Piglet (swine) - early weaning

Heating - Automatic control

Piglet (swine) - Performance

Swine - Livestock - Environmental aspects

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Mestra em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Luiz Antonio Rossi [Orientador]

Mauro Donizete Berni

Silvia Helena Nogueira Turco

Data de defesa: 18-02-2014

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Juliana de Souza Granja Barros**, aprovada pela Comissão Julgadora em 18 de fevereiro de 2014, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI



Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



Profa. Dra. Silvia Helena Nogueira Turco - - Membro Titular
UNIVASF



Dr. Mauro Donizeti Berni – Membro Titular
NIPE/Unicamp

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

RESUMO

O uso de sistemas de aquecimento em creches suínas é necessário para proporcionar conforto térmico e bem-estar aos animais dentro das instalações. A maioria dos equipamentos de fornecimento de calor utilizados na suinocultura demanda energia elétrica; cujo custo é sempre crescente. Portanto, há a necessidade de ajustes nos sistemas de aquecimento hoje empregados, com o intuito de viabilizar o uso racional de energia elétrica pelo setor. Deste modo, por meio da aplicação de um sistema eletrônico de controle da temperatura dentro das creches é possível manter o bem-estar e o desempenho produtivo do animal, com maior eficiência do uso de energia elétrica, em relação a dispositivos de controle tradicionais, como por exemplo, o termostato. O objetivo deste trabalho foi comparar duas tecnologias de controle de temperatura quanto ao uso racional de energia elétrica, manutenção das condições de conforto térmico e de desempenho produtivo dos animais em fase de creche. Os tratamentos estudados foram: resistências elétricas suspensas controladas por termostato digital simples, que representou a testemunha, e resistências elétricas suspensas controladas por controlador PID (Proporcional, integral e derivativo). Os tratamentos foram analisados quanto ao consumo de energia elétrica (kWh), consumo específico (kWh.kg^{-1}), custo específico ($\text{R}\$.\text{kg}^{-1}$), demanda máxima de potência (kW), eficiência elétrica, ganho de peso (kg), conversão alimentar, taxa de mortalidade (%), temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e entalpia (kJ.kg^{-1} ar seco). O sistema de aquecimento resistivo com controlador PID proporcionou melhores condições de conforto em comparação ao sistema com termostato. Além disso, o sistema de aquecimento com controlador PID apresentou maiores valores de ganho de peso e menor consumo e custo específico de energia elétrica. Desta forma, concluiu-se que o sistema de aquecimento resistivo com controlador PID foi o que melhor atendeu as condições de conforto térmico dos leitões, foi o mais eficiente quanto ao uso de energia elétrica e o que proporcionou melhor desempenho produtivo aos animais.

Palavras-chave: suinocultura, racionalização de energia elétrica, resistências elétricas.

ABSTRACT

The use of heating systems in nursery pigs is required to provide thermal comfort and welfare of animals within the facility. Most heat supply equipment used in swine electricity demand, whose cost is ever increasing. Thus, there is the need for adjustments to the heating systems used today, in order to facilitate the rational use of energy by industry. Thus, through the application of an electronic temperature control within the nurseries is possible to keep the welfare and the productive performance of the animal, more efficient use of electricity, compared to traditional control, such as example, the thermostat. The objective of this research had to compare two technologies for temperature control regarding the rational use of electricity, maintaining of thermal comfort and productive performance of the animals in the nursery phase. The treatments were: suspended electrical resistances controlled by a simple digital thermostat and suspended electrical resistances controlled by PID controller (proportional, integral and derivative). The treatments were analyzed regarding the electrical energy consumption (kWh), specific consumption (kWh.kg^{-1}), specific cost ($\text{R } \$.\text{kg}^{-1}$), maximum demand (kW), electrical efficiency, weight gain (kg), feed conversion, mortality rate (%), dry bulb temperature ($^{\circ}\text{C}$), Temperature and Humidity Index (THI) and enthalpy (kJ.kg^{-1} dry air). The resistive heating system with PID controller provided better comfort conditions compared to the system with thermostat. Furthermore, the heating system with PID controller showed higher weight gain and lower specific consumption and cost of electricity. The resistive heating system with PID controller was that better provided the conditions for thermal comfort of pigs, was the most efficient regarding the use of electrical energy and which provided better performance for the animals.

Keywords: Pig industry, energy saving, electrical resistances.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativas	2
1.2 Hipótese do trabalho	3
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Panorama da suinocultura brasileira	5
2.2 Ambiência na produção animal	6
2.3 Ambiente térmico e desempenho de leitões desmamados	8
2.4 Variáveis climáticas e conforto térmico em creche suína	10
2.5 Índices de conforto térmico	11
2.6 Sistemas de aquecimento	13
2.7 Uso racional de energia elétrica	14
2.8 Controle de temperatura	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Material	19
3.1.1 Local.....	19
3.1.2 Descrição das instalações	19
3.1.3 Manejo.....	21
3.1.4 Tratamentos	22
3.1.5 Controladores de temperatura	22
3.1.6 Princípio de funcionamento dos controladores	23
3.1.6.1 Controlador PID.....	23
3.1.6.2 Termostato	23

3.2	Método	24
3.2.1	Delineamento experimental.....	24
3.2.2	Testes realizados	24
3.2.2.1	Teste de interferência.....	24
3.2.2.2	Teste definitivo	25
3.2.3	Dimensionamento do sistema de aquecimento	27
3.2.4	Determinação da quantidade de resistências para uma baia da creche	28
3.2.5	Registro dos dados	29
3.2.5.1	Ambiente térmico	29
3.2.5.2	Geostatística das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico.....	29
3.2.5.3	Desempenho produtivo	31
3.2.5.4	Uso de energia elétrica.....	31
3.2.6	Análise do ambiente térmico.....	32
3.2.6.1	Faixa de temperatura de conforto	32
3.2.6.2	Índice de Temperatura e Umidade.....	33
3.2.6.3	Entalpia	33
3.2.7	Análise do desempenho produtivo	33
3.2.7.1	Ganho de peso.....	33
3.2.7.2	Conversão alimentar	34
3.2.7.3	Taxa de mortalidade.....	34
3.2.8	Análise do uso de energia elétrica.....	35
3.2.8.1	Demanda máxima de potência	35
3.2.8.2	Consumo de energia elétrica.....	35
a)	Indicador de eficiência elétrica no aquecimento	35
b)	Consumo específico	35
c)	Custo específico	36
3.2.9	Análise estatística.....	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Teste de Interferência.....	39
4.2	Teste Definitivo	42
4.2.1	Ambiente térmico.....	42
4.2.1.1	Variáveis climáticas	42
4.2.1.2	Índices de conforto térmico	51
4.2.1.3	Geostatística das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico.....	58
4.2.2	Desempenho Produtivo	67
4.2.3	Uso de energia elétrica	71

5. CONCLUSÃO	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
ANEXO.....	91

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Romério e Vilma, e ao meu esposo Tércio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele não teria chegado até aqui.

Aos meus pais, Romério e Vilma, por toda a dedicação, esforço e sacrifícios para me proporcionarem o melhor e aos meus irmãos pelo carinho durante todos esses anos. A vocês, toda a minha gratidão!

Ao meu esposo Tércio, por toda a ajuda durante as etapas deste trabalho e pelo amor, compreensão, paciência e companheirismo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Antonio Rossi, com quem aprendi muito durante esses dois anos. Gostaria de agradecê-lo por todo o conhecimento adquirido, pela paciência, orientação, confiança e por ser meu exemplo de profissionalismo.

A Mateus por ter confiado em nós (Prof. Rossi e eu) e neste trabalho, por ter permitido que o mesmo fosse realizado na granja Fazenda das Palmeiras e por toda a ajuda e paciência no decorrer deste trabalho.

A Edson por toda a ajuda e paciência durante o decorrer do trabalho.

Aos funcionários da granja por toda a ajuda.

Aos meus irmãos de orientação Karina e Rafael pela amizade, momentos de descontração e ajuda no andamento desta dissertação.

A Marcelo e Thayla pelo auxílio nas análises dos dados.

Aos amigos que conquistei aqui em Campinas, Tássia, Alfeu, Paulo, Leonardo, Vanessa, Adson, Leina e Anaxuel pela amizade e compreensão.

E a todos que de forma direta e indireta contribuíram para este trabalho.

A vocês, meus sinceros agradecimentos!

*Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas
o que você faz com aquilo que você sabe.*

Aldous Huxley

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sala da creche utilizada no experimento.....	19
Figura 2. Sala da creche utilizada no experimento.....	20
Figura 3: Disposição do forro e cortina de polipropileno no teto e no corredor da sala utilizada no experimento.	21
Figura 4. Modelo da ação do controle PID.....	23
Figura 5. Modelo do controle de temperatura realizado pelo termostato.....	24
Figura 6. Baias utilizadas no teste de interferência.	25
Figura 7. Desenho da posição dos equipamentos utilizados no interior das baias.	28
Figura 8: Metodologia da coleta dos dados de temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa (UR) para a análise geoestatística.....	30
Figura 9. Curvas de regressão de temperatura de bulbo seco (Tbs) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos TCA, TSA e testemunha, em creche suína.	41
Figura 10. Curvas de regressão de temperatura de bulbo seco (Tbs) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo, em creche suína.	44
Figura 11. Curvas de regressão de umidade relativa do ar (UR) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T2 e ambiente externo, em creche suína. ¹ ns – não significativo para regressão.	45
Figura 12. Distribuição da temperatura de bulbo seco (Tbs), durante o período de análise, em creche suína para T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $28^{\circ}\text{C} \leq \text{Tbs} \leq 30^{\circ}\text{C}$	49
Figura 13. Distribuição da umidade relativa do ar (UR), durante o período de análise, em creche suína, para T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $50\% \leq \text{UR} \leq 70\%$	49
Figura 14. Curvas de regressão do índice de temperatura e umidade (ITU) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo, em creche suína.	53
Figura 15. Curvas de regressão de entalpia em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo, em creche suína.	54
Figura 16. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), durante o período de análise, em creche suína para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $77 \leq \text{ITU} \leq 84$. ..	57

Figura 17. Distribuição da Entalpia (H), durante o período de análise, em creche suína, para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $59 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ ar} \leq H \leq 79 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ ar}$	57
Figura 18. Mapas de krigagem da temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$) dos tratamentos T1e T2... ..	63
Figura 19. Mapas de krigagem da umidade relativa do ar (%) dos tratamentos T1 e T2.....	64
Figura 20. Mapas de krigagem do índice de temperatura e umidade (ITU) dos tratamentos T1 e T2.....	65
Figura 21. Mapas de krigagem da entalpia (kJ.kg^{-1} de ar seco) dos tratamentos T1 e T2.	66
Figura 22. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com controlador PID (T1) durante período de 24 h (dia frio), em função da potência (W), temperatura interna da baia ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$).....	74
Figura 23. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com controlador PID (T1) durante o período de 24 h (dia quente), em função da potência (W), temperatura interna da baia ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$).	74
Figura 24. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com termostato (T2) durante o período de 24 h (dia frio), em função da potência (W), temperatura interna da baia ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$).....	75
Figura 25. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com termostato (T2) durante o período de 24 h (dia quente), em função da potência (W), temperatura interna da baia ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura externa ($^{\circ}\text{C}$).....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de Tbs durante 24 horas, em creche suína.	39
Tabela 2. Modelos de regressão para a estimativa da Tbs, em função das horas do dia (h) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).	41
Tabela 3. Médias de Tbs e UR durante o período de 24 horas, em creche suína.	43
Tabela 4. Modelos de regressão para a estimativa de Tbs e da UR, em função das horas do dia (h) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).	45
Tabela 5. Médias de ITU e entalpia, durante o período de 24 horas.	52
Tabela 6. Modelos de regressão para a estimativa do ITU e da Entalpia em função das horas do dia (h) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).	54
Tabela 7. Estatística descritiva de Tbs, UR, ITU e entalpia para os horários de 7h00min, 12h00min e 18h00min.	59
Tabela 8. Parâmetros dos semivariogramas experimentais de Tbs, UR, ITU e entalpia para os horários de 7h00min, 12h00min e 18h00min.	61
Tabela 9. Médias do peso inicial, peso final, GP e GPD, de leitões em fase de creche.	67
Tabela 10. Médias da conversão alimentar (Ca) e da taxa de mortalidade (Tm), de leitões em fase de creche.	69
Tabela 11. Médias de consumo diário de energia elétrica (kWh), de demanda máxima de potência (kW) e da energia consumida para aumento de $1^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-3}$ de ar ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ de ar. $^{\circ}\text{C}^{-1}$).	72
Tabela 12. Médias do consumo específico ($\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso vivo) e do custo específico ($\text{R}\$. \text{kg}^{-1}$ de peso vivo).	72

LISTA DE ABREVIATURAS

TCA – Tratamento com aquecimento

TSA – Tratamento sem aquecimento

Test. – Testemunha

T1 – Sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas controladas por controlador PID

T2 - Sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas controladas por termostato

PID - Proporcional, integral e derivativo

PWM – *Pulse width modulation*

Tbs – Temperatura de bulbo seco

UR – Umidade relativa do ar

ITU – Índice de temperatura e umidade

GDE – Grau de dependência espacial

Ca – Conversão alimentar

Tm – Taxa de mortalidade

GP – Ganho de peso

GPD – Ganho de peso diário

1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento das exigências e da demanda do mercado consumidor, o setor agropecuário vem passando por um processo de modernização que ocorre em nível nacional. Para atender às demandas de quantidade e qualidade dos alimentos, os produtores passaram a investir em novas tecnologias que provocaram aumento na produção e na utilização de energia elétrica pelo setor. De acordo com dados da EPE (2013), o consumo de energia elétrica pelo setor agropecuário correspondeu a 19,3% do consumo energético total no meio rural no ano de 2012, com aumento de aproximadamente 20% nos últimos 20 anos. Segundo a mesma fonte, o consumo pelo setor foi responsável por 4,7% do consumo final brasileiro no mesmo ano.

O setor pecuário, por exemplo, demanda energia elétrica para atender as necessidades térmicas do ambiente de produção. Em muitos casos, o microclima ideal não pode ser alcançado por meios naturais, havendo necessidade da utilização de equipamentos que possam manter as condições de conforto térmico no interior das instalações. As condições térmicas das instalações zootécnicas podem favorecer ou prejudicar o desempenho produtivo dos animais, pois os mesmos modificam seu comportamento para evitar trocas de calor com o ambiente reduzindo a ingestão de alimentos ou utilizam energia metabólica para a termorregulação.

Há também um apelo da sociedade relacionado ao manejo e bem-estar dos animais. Segundo Oliveira et al. (2008), os consumidores modernos estão se interessando mais por produtos com um histórico ético, ou seja, estão interessados na maneira como os animais foram criados, alimentados e abatidos. De acordo com o mesmo autor, as práticas de bem-estar devem ser valorizadas na produção animal, mesmo que seja necessário alterar o sistema produtivo.

Em alguns setores da produção suinícola, como na fase de creche, por exemplo, a utilização de sistemas de aquecimento para a manutenção do conforto térmico dos leitões é fundamental para que os mesmos possam responder com todo potencial produtivo.

A maioria dos equipamentos de fornecimento de calor utilizados nas fases de creche consome energia elétrica. Com a eletricidade cada vez mais cara, tais mecanismos de aquecimento podem estar contribuindo para o aumento no custo final do produto. Desta forma, há a necessidade de se fazer ajustes nos sistemas elétricos atualmente utilizados com o intuito de reduzir o consumo energético.

Uma alternativa que possibilite reduzir o consumo de energia elétrica dentro de uma creche suína é a utilização de um controlador com processador eletrônico de temperatura para o acionamento do sistema de aquecimento que usa resistências elétricas suspensas, de forma a tornar mais eficiente o uso de energia elétrica sem alterar as condições de conforto térmico e de desempenho produtivo dos leitões. Além disso, esta tecnologia permite corrigir deficiências no manejo da fonte de aquecimento mantendo o ambiente sempre agradável, de acordo com os índices de conforto dos animais, com economia de energia. Ou seja, é possível reduzir os custos de produção, mantendo as condições de bem-estar e de desempenho dos animais, possibilitando a sustentabilidade do processo.

Outro aspecto relevante é que um controlador com processador eletrônico de temperatura pode proporcionar maior eficiência em termos de redução do consumo de energia elétrica em comparação a outros sistemas de controle atualmente utilizados, como por exemplo, os termostatos.

1.1 Justificativas

- Alguns trabalhos avaliam os sistemas de aquecimento de leitões com controle de temperatura em relação ao uso racional de energia elétrica. No entanto, não comparam a eficiência de diferentes tipos de controle em um mesmo sistema de aquecimento.
- Há a necessidade de melhorar as condições de conforto térmico do animal e a produtividade sem aumentar os custos de produção.
- O processo de aquecimento de leitões em fase de creche e maternidade demanda grande consumo de eletricidade, por isso é necessário fazer ajustes nos sistemas elétricos atualmente utilizados, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica.
- A utilização de controlador eletrônico de energia elétrica com processamento de temperatura para o acionamento do sistema de aquecimento permite corrigir deficiências no manejo da fonte de aquecimento, possibilitando manter o ambiente nas condições de conforto térmico com economia de energia.
- Esse sistema de controle inteligente pode proporcionar maior eficiência em termos de uso de energia elétrica em comparação a outros sistemas de controle, como os termostatos simples,

hoje utilizados. Além disso, pode possibilitar viabilidade econômica em relação ao custo para o desenvolvimento do mesmo, dependendo da magnitude de economia de energia alcançada.

1.2 Hipótese do trabalho

A hipótese deste trabalho é que o emprego do controlador com processador eletrônico de temperatura em sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas é mais eficiente quanto ao uso de energia elétrica e mantém as condições de conforto térmico e de desempenho produtivo dos leitões em fase de creche, quando comparado com o termostato.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial dos controladores: controlador com processador eletrônico de temperatura e termostato, em sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas, quanto ao uso racional de energia elétrica em creche suína, mantendo no mínimo as condições de conforto térmico e de desempenho produtivo preconizado pelo setor.

1.3.2 Objetivos específicos

- Comparar a eficiência elétrica dos sistemas de aquecimento com os diferentes controles de temperatura quanto à manutenção do conforto térmico no ambiente.
- Comparar os sistemas de aquecimento com os diferentes controles de temperatura quanto ao desempenho produtivo do animal através dos indicadores ganho de peso, mortalidade e conversão alimentar.
- Comparar a viabilidade técnica dos sistemas de aquecimento com os diferentes controles de temperatura quanto ao uso racional de energia elétrica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da suinocultura brasileira

A produção de suínos no Brasil vem crescendo significativamente tanto no aspecto de produção destinada ao mercado interno como também de volume de exportação e participação no mercado mundial.

De acordo com dados divulgados pela Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína – Abipecs (2013), a produção de carne suína no Brasil em 2012 subiu para 3,488 milhões de toneladas, apresentando um crescimento de 2,5% em relação a 2011 (ABIPECS, 2013). Segundo a Suinocultura Industrial (2013) esse aumento em 2012 foi devido à elevação de 1,5% na produtividade do rebanho e do peso médio de abate de 600 gramas por carcaça, apesar do aumento no custo da ração.

Este aumento na produção é também reflexo do crescimento da demanda por carne suína, principalmente pelo mercado interno. Segundo relatório divulgado pela Abipecs (2013), o consumo *per capita* de carne suína no Brasil em 2011 foi de 14,9 quilos e em 2012 permaneceu em 15,1 quilos *per capita*. De acordo com a mesma fonte, embora tenha aumentado o consumo de carne suína no Brasil, o país ainda encontra-se aquém dos principais países consumidores, como China e União Européia que apresentam consumo anual de 40,2 quilos *per capita*.

O Brasil também tem se tornado mais competitivo no mercado externo, ocupando a quarta posição no ranking de exportação de carne suína, com 582 mil toneladas de carne exportada em 2011 (ABIPECS, 2013). Segundo a mesma, nos meses de janeiro a agosto de 2012, o Brasil apresentou um aumento de 5,42% do volume das exportações, quando comparados com o mesmo período do ano anterior (ABIPECS, 2013).

Quanto às tendências para produção suinícola brasileira, especialistas na área apontam cenário otimista, conforme foi apresentado no Seminário Internacional de Suinocultura Agroceres PIC (Suinocultura Industrial, 2013). Segundo esta fonte de informação, o processo de crescimento da suinocultura brasileira está atrelado ao aumento de renda, o que irá ampliar as oportunidades para consumo, produção e exportação de proteína animal. De acordo com os especialistas da área, serão 204 países consumindo e apenas 25 produzindo, com Brasil e Estados

Unidos liderando este bloco. Desta forma, a perspectiva é de que o Brasil seja responsável por 27% das exportações mundiais de carnes até 2020.

Em relação ao mercado interno, as perspectivas também se projetam positivas à produção suinícola. O brasileiro vem consumindo mais carne suína na mesma proporção em que a renda aumenta e o nível educacional se eleva no Brasil. Desta forma, é possível dobrar o consumo *per capita* atual, atingindo em pouco tempo a marca de 30 quilos (Suinocultura Industrial, 2013).

Além disso, segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2013), o Brasil deverá manter a quarta posição no ranking de exportações de carne suína nos próximos anos, com média anual de 4,91% até 2018/19.

No entanto, apesar do aumento da produção, do consumo e da exportação da carne suína brasileira nos últimos anos e das perspectivas positivas, este desempenho ainda encontra-se aquém das carnes bovina e de aves. Segundo relatório divulgado pelo Conab (2013), a participação no suprimento mundial de carnes até abril de 2013, apresenta a carne bovina brasileira em segundo lugar em relação à produção, em terceiro vem a carne de aves e em quarto a de suínos. Em relação ao consumo, em segundo vem a carne bovina, em terceiro a de aves e em quinto a de suínos e quanto às exportações em primeiro lugar está a carne de aves, em segundo a de bovinos e em quarto lugar a de suínos.

Em contrapartida, é notória a importância que a suinocultura brasileira vem conquistando tanto no cenário nacional quanto no mundial, apresentando aumento de produtividade, de consumo e de exportação e ocupando ótimas colocações nos rankings mundiais. Em virtude deste panorama, tem se tornado cada vez maior a preocupação dos produtores com a influência da ambiência no potencial produtivo dos animais na suinocultura. Esta influência pode acarretar problemas no desempenho produtivo dos mesmos.

2.2 Ambiência na produção animal

Um desafio importante para a suinocultura brasileira é fornecer aos animais condições de conforto e bem-estar atrelados à preservação ambiental, fatores estes bastante valorizados pelo mercado consumidor europeu (TINÔCO et al., 2007).

E é por esse motivo que a ambiência na produção animal vem sendo bastante estudada no meio científico. Pois quando em condições inadequadas de bem-estar e conforto dos animais, a

produtividade dos suínos é afetada, refletindo em queda no desempenho produtivo e, conseqüentemente, menores lucros para o produtor.

Conforme referenciado por Baptista et al. (2011), o bem-estar animal está relacionado à capacidade do animal em se ajustar ao ambiente, ao estado em que os animais se encontram e à qualidade de vida deles.

O ambiente de produção animal inclui todas as condições e influências externas que interferem no seu desenvolvimento e crescimento. As variáveis que causam os maiores efeitos sobre o bem-estar e, conseqüentemente, sobre a produção animal são a temperatura, a umidade, a radiação e o vento, constituintes do ambiente térmico (BAÊTA e SOUZA, 2010).

O desempenho de suínos, por exemplo, é influenciado pela variabilidade do clima, no qual a amplitude, em determinadas épocas do ano, ultrapassa os limites das condições de conforto animal.

Esta influência causada pela variação climática ocorre porque o suíno, que é um animal homeotérmico, necessita de um balanço térmico adequado entre o calor produzido e o dissipado ou adquirido do ambiente, para manter sua homeotermia.

Na literatura, há vários estudos que comprovam que condições inadequadas de ambiência nos sistemas de produção animal prejudicam o potencial produtivo dos mesmos.

Pandorfi et al. (2007) afirmam que o ambiente térmico das instalações de criação intensiva na suinocultura tem influência direta na condição de conforto e bem-estar animal, promovendo dificuldade na manutenção do balanço térmico no interior das instalações, causando alteração no desempenho produtivo e reprodutivo dos suínos.

Tolon et al. (2010) discutem em seu trabalho que condições de temperatura e umidade inadequadas nas instalações de reprodutores suínos, por exemplo, prejudicam o desempenho destes animais, uma vez que pode aumentar a percentagem de espermatozoides com defeitos morfológicos e reduzir a produção dos mesmos.

Segundo Tinoco et al. (2007), os suínos são animais que, em decorrência de suas características fisiológicas, têm seu desempenho reduzido quando submetidos a condições de temperaturas elevadas, no caso de suínos adultos. Esta piora no desempenho dos animais foi verificada em estudos realizados por estes autores, que observaram menor ingestão de alimentos no tratamento onde os animais foram submetidos a estresse térmico. Além disso, os autores também discutem que o desempenho produtivo dos animais pode ter sofrido influências negativas

pela alta variação da umidade relativa, provocando redução da habilidade de dissipar calor corporal para o ambiente.

Como ocorrido em suínos adultos, o desempenho produtivo de suínos jovens também pode ser comprometido em casos de condições de temperatura e umidade do ambiente fora das condições de conforto.

Além disso, quando os animais estão em condições de estresse térmico, eles mudam seu comportamento para evitar ou aumentar as perdas de calor e, em consequência, diminuem a ingestão de alimentos resultando em perdas no desempenho produtivo. De acordo com Huynh et al. (2005a), em estudo realizado com suínos em fase de crescimento e terminação, constataram que os mesmos quando submetidos à temperatura e umidade elevadas, reduzem sua atividade e modificam seu comportamento buscando aumentar a perda de calor.

Sabino et al. (2012; 2011), com estudos realizados em maternidade suína, observaram que o escamoteador que manteve a temperatura dentro da faixa de conforto térmico por mais tempo apresentou melhor ganho de peso final da leitegada. Em relação ao comportamento dos animais, este escamoteador foi o que apresentou menor frequência de leitões deitados aglomerados, comportamento este que caracteriza estresse por frio.

2.3 Ambiente térmico e desempenho de leitões desmamados

As variáveis mais utilizadas para caracterizar o desempenho produtivo dos animais são ganho de peso, ganho de peso diário, consumo de ração, conversão alimentar e taxa de mortalidade.

De acordo com Kuns et al. (2003) e Amaral et al. (2006), é considerado crítico o ganho de peso médio, para leitões desmamados aos 21 dias e com idade de 56 dias na saída da creche, os valores abaixo de 12,9 kg e para ganho de peso médio diário valores abaixo de 0,37 kg. De acordo com os autores, a meta é atingir valores acima de 13,3 kg de ganho de peso médio por animal e valores acima de 0,38 kg de ganho de peso médio diário. Em relação à taxa de mortalidade na creche suína, os mesmos consideram como críticos valores acima de 2,5 % e recomendam que a taxa de mortalidade esteja abaixo de 1,5% nesta fase.

Quanto à conversão alimentar, esta representa a relação entre o consumo de ração e ganho de peso do animal. Esta relação permite estimar o quanto de ração consumida foi convertido em

peso. Desta forma, quanto menor o índice melhor é a conversão alimentar dos animais. Quanto aos valores de conversão alimentar recomendados para leitões em fase de creche, há certa divergência na literatura. De acordo com Kuns et al. (2003), a conversão alimentar de leitões em fase de creche não deve ultrapassar o valor de 2,2. Segundo os mesmos autores, o ideal é que os valores sejam menores que 2,0. Amaral et al. (2006) considera como críticos valores de conversão alimentar de leitões em fase de creche acima de 1,7 e como ideais valores menores que 1,5. Assim, tendo em vista essa divergência de valores, o mais indicado é utilizar como referência os valores recomendados pelo manual de genética do animal utilizado na granja.

O desempenho produtivo dos leitões tem relação direta com as condições térmicas do ambiente de produção. De acordo com Kummer et al. (2009), é indispensável que os leitões sejam mantidos em sua zona de conforto térmico para que todos os nutrientes sejam utilizados para o crescimento do animal e não para a manutenção da temperatura corporal.

Para a manutenção do conforto térmico em suínos jovens a realização de aquecimento do ambiente é exigida porque estes animais possuem seu sistema termorregulador pouco desenvolvido, apresentam superfície de contato com o ambiente relativamente grande, reserva de energia baixa e porcentagem de gordura subcutânea em torno de 1 a 2%, apresentando, desta forma, menor isolamento térmico de tecidos e pelagem, o que os tornam mais susceptíveis às variações térmicas do ambiente (CAMPOS et al., 2008).

Desta forma, o ambiente térmico no interior da creche, quando inadequado, pode comprometer o desempenho produtivo dos leitões provocando redução de ganho de peso, piora nos índices de conversão alimentar e até mesmo aumento da taxa de mortalidade no setor.

Em estudo realizado por Collin et al. (2001), os autores realizaram a aclimação dos leitões durante uma semana após o desmame a uma temperatura de 25°C, após essa semana uma parte dos animais utilizados no experimento foram submetidos a temperaturas de 33°C e de 23°C com nível similar de alimentação. Os autores observaram que os leitões desmamados submetidos ao aumento da temperatura para 33°C apresentaram ganho de peso vivo diário numericamente maior (751 g/d), conversão alimentar menor (1,27) e menor produção de calor em relação aos animais que foram submetidos à redução da temperatura para 23°C, que apresentaram ganho de peso diário igual a 682 g/d e conversão alimentar de 1,40. Os autores discutem que os animais submetidos à temperatura de 23°C usaram energia metabólica para processos de termorregulação.

Na literatura, diversos autores discutem como as oscilações na temperatura ambiente podem acarretar problemas para manter otimizado o desempenho destes animais.

Campos et al. (2008, 2009) observaram que as salas de creche suína com maior amplitude térmica, os animais apresentaram menor ganho de peso diário e maior consumo diário de ração e concluíram que a condição térmica do ambiente interno da sala afetou negativamente o desempenho dos mesmos.

Estudo realizado por Quinioun et al. (2000) comprovou a relação entre temperatura e aumento ou diminuição da ingestão de alimentos em suínos com peso entre 25 e 110 kg e mostrou que quando a amplitude térmica foi de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ou $\pm 4,5^{\circ}\text{C}$ para temperaturas do ar de 24 ou 28 $^{\circ}\text{C}$, respectivamente; ocorreu menor ingestão alimentar e pior desempenho dos animais.

2.4 Variáveis climáticas e conforto térmico em creche suína

Conforme já exposto, as condições climáticas do ambiente de produção em creche suína podem comprometer o conforto e bem-estar dos leitões. Desta forma, é necessário o conhecimento dos limites da zona de conforto térmico dos animais nessa fase de criação.

Segundo Sampaio et al. (2004), as estimativas de transferência de calor por condução, convecção, radiação e evaporação são influenciadas diretamente pela temperatura do ar, sendo esta o principal elemento climático a ser considerado no âmbito de produção de animais em sistemas de produção por confinamento.

Na literatura, há informações conflitantes quanto à temperatura do ar referente à zona de conforto térmico para leitões desmamados. Silva (1999) relata que a temperatura de conforto está entre 20 e 24 $^{\circ}\text{C}$. Moura (1999) afirma que a mesma está entre 18 e 21 $^{\circ}\text{C}$. Baêta e Souza (2010) consideram 22 a 28 $^{\circ}\text{C}$ a faixa ótima de temperatura. No entanto, Sarubbi (2009), em experimentos realizados em creche suína, observou que os leitões ofegavam aos 31 $^{\circ}\text{C}$ e alteravam seu comportamento para evitar a perda de calor aos 27 $^{\circ}\text{C}$, definindo como temperatura máxima de conforto de 30 $^{\circ}\text{C}$ e mínima de 28 $^{\circ}\text{C}$.

A umidade relativa do ar também deve ser avaliada, pois a mesma assume importante papel como facilitador ou como complicador dos mecanismos de dissipação de calor por via evaporativa, podendo comprometer o conforto dos animais (CAMPOS et al., 2009). Desta forma,

os valores de umidade do ar adequados para a fase de creche estão em torno de 50 a 70% (MOURA,1999).

Variáveis climáticas como temperatura e umidade relativa do ar também são utilizadas para o cálculo de alguns índices que avaliam o conforto térmico dos animais, como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e entalpia.

2.5 Índices de conforto térmico

Vários índices avaliam o conforto do animal no ambiente de produção. A maioria destes índices consideram duas ou mais variáveis climáticas. No entanto, há alguns que também consideram outras variáveis, como taxa metabólica, tipo de isolamento e etc (BAÊTA e SOUZA, 2010). Segundo Campos et al. (2008), para caracterizar as condições térmicas do ambiente, índices tem sido utilizados com o intuito de predizer, através de um único valor, as condições térmicas de determinado ambiente.

Os parâmetros ambientais normalmente levados em consideração nos índices de conforto térmico são: temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação incidente, sendo que cada parâmetro possui um determinado peso dentro do índice, de acordo com sua importância em relação ao animal (SAMPAIO et al., 2004). Segundo os mesmos autores, os índices de conforto mais utilizados são: índice de temperatura e umidade (ITU) e índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).

De acordo com Baêta e Souza (2010), o índice de temperatura e umidade (ITU) foi desenvolvido por Thom (1958), originalmente como um índice para avaliar o conforto térmico humano no qual associa temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido. Segundo os mesmo autores, anos depois, Buffington et al. (1981) propôs o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), que foi desenvolvido com base no ITU. Este índice considera, em um único valor, os efeitos de temperatura do ar, umidade relativa, radiação incidente e velocidade do ar (CAMPOS et al., 2008).

Buffington et al. (1981) concluíram que o ITGU seria um indicador mais preciso de estresse, em relação ao ITU, em condições ambientais em que os animais são expostos à radiação solar ou movimentação do ar elevadas, sendo que sob condições moderadas de radiação solar são igualmente eficientes. Além disso, segundo os mesmos, ao comparar ambientes com e sem

cobertura, os ITUs não apresentaram diferenças significativas, o mesmo não ocorreu com o ITGU que apresentou diferença principalmente em ambientes sem cobertura. Estes resultados foram confirmados por Sampaio et al. (2004), que analisaram os índices de ITU e ITGU em ambientes sombreados e não sombreados em fase de crescimento e terminação de suínos. Os autores observaram que no verão o ITU não apresentou diferença significativa entre os ambientes, ao contrário do ITGU, e concluíram que o ITU não foi o mais adequado na indicação de conforto térmico, principalmente para área não sombreada.

Desta forma, para o caso de criação confinada onde não há exposição do animal à radiação solar ou movimentação do ar intensa, como ocorre na creche suína que é uma sala totalmente fechada, o ITU seria o índice mais adequado para expressar a condição de conforto da mesma, devido a sua fácil aplicação. Estudo realizado por Sarubbi (2009) em creche suína revelou ausência de velocidade do ar na sala de creche, confirmando a fraca movimentação de ar em ambiente confinado, o que corrobora para uso de ITU como índice de conforto térmico para este tipo de ambiente.

Além disso, encontram-se na literatura adaptações da equação de ITU para a avaliação das condições de conforto térmico em suínos (ROSSI et al., 2012; SARUBBI, 2009).

Desta forma, os valores ideais de ITU, na fase de creche, variam de 77 a 84, de acordo com Sarubbi et al. (2010).

A entalpia também é bastante utilizada como índice de conforto térmico em ambientes de produção animal (PANDORFI et al., 2004, 2005, 2008; SILVA et al., 2005). Esta variável, quando utilizada como índice de conforto térmico, indica as condições ambientais relacionadas ao estresse térmico sofrido pelos animais (RODRIGUES et al., 2010).

Segundo Silva et al. (2005), a entalpia expressa a quantidade de energia interna da parcela de ar, no microambiente analisado, de uma mistura de ar seco e vapor d'água, considerando-se a temperatura de bulbo seco (°C) e a razão de mistura (kg de vapor d'água/kg de ar seco). Em estudos realizados pelos mesmos autores, os valores de entalpia ideal para os leitões em fase de maternidade, foram calculados com base nas condições de conforto de temperatura e umidade do ar para esta fase de produção.

Por muito tempo vem sendo utilizada a equação desenvolvida por Albright (1990) para estimar a entalpia de um ambiente de produção animal. No entanto, adaptações desta equação vêm sendo desenvolvidas com intuito de facilitar o emprego da mesma. Rodrigues et al. (2010),

por exemplo, realizaram uma adaptação da equação de Albright para que os dados de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica local pudessem ser utilizadas diretamente na equação para o cálculo de entalpia.

Assim, segundo Silva-Miranda et al. (2012), os valores que representam conforto térmico de leitões em fase de creche, com 35 dias de idade, encontram-se dentro da faixa de 48 – 53 kJ. kg⁻¹ ar seco. De acordo com os mesmos, em situações de estresse térmico o valor de entalpia encontra-se acima de 88 kJ. kg⁻¹ ar seco.

2.6 Sistemas de aquecimento

Na fase de creche, os sistemas de aquecimento geralmente utilizados são: lâmpadas infravermelhas ou incandescentes suspensas, resistências elétricas suspensas, piso aquecido com resistências elétricas ou a gás (SARUBBI, 2009). Estas tecnologias podem também ser usadas nos escamoteadores na fase de maternidade. Com exceção do sistema de piso aquecido a gás, todas estas fontes de calor demandam energia elétrica.

No entanto, na literatura há poucos estudos relacionados ao uso de sistemas de aquecimento em creche suína, mesmo havendo influência das baixas temperaturas no desempenho de leitões desmamados. Grande parte dos trabalhos que utilizam sistemas de aquecimento em ambientes de produção suinícolas é realizada em escamoteadores, devido ao aquecimento ser efetuado durante todo o período de confinamento dos animais na fase de maternidade. Na creche, o aquecimento é realizado durante as duas primeiras semanas de confinamento, no período de inverno, com faixa de temperatura de conforto pouco inferior à faixa utilizada na maternidade. Este aquecimento realizado na creche tem o intuito de evitar que os mesmos sofram estresse por frio, pois os leitões ainda estão habituados com as condições térmicas da maternidade. Devido à escassez de estudos abordando o uso de aquecimento em creche suína, foram utilizados alguns trabalhos realizados em maternidade para discutir sobre os diferentes tipos de sistemas de aquecimento.

Em estudo realizado por Sarubbi et al. (2010) em creche suína, foi observado pelos autores que o sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas foi o que melhor atendeu às necessidades térmicas dos leitões, pois foi o que mais se aproximou da faixa de conforto de temperatura de 28°C a 30°C e de ITU de 77 a 84, seguido pelo aquecimento por convecção.

Conforme os autores, o aquecimento por piso aquecido foi o que apresentou os menores valores de temperatura de bulbo seco do ar.

De acordo com análises realizadas por Silva et al. (2005) em escamoteador na fase de maternidade, o aquecimento por resistências elétricas e lâmpadas incandescentes foi o que mais se aproximou da faixa de conforto térmico dos animais (28°C a 32°C) nas duas semanas iniciais, quando comparados com piso aquecido. Segundo os autores, este atendeu as condições de conforto exigidas pelos animais apenas na terceira semana.

Pandorfi et al. (2005), que testaram quatro diferentes sistemas de aquecimento: piso térmico, lâmpada incandescente, resistência elétrica e lâmpada infravermelha, em escamoteador, observaram que a lâmpada incandescente e a resistência elétrica se mostraram mais adequados do ponto de vista térmico em relação aos demais sistemas de aquecimento, pois o aquecimento proporcionado pelos mesmos se aproximou mais da faixa de conforto de 28°C a 32°C. Além disso, os autores observaram que a resistência elétrica foram os tratamentos que melhor se ajustaram à condição ideal de entalpia na segunda e terceira semanas (82 kJ.kg⁻¹ de ar seco e 73,8 kJ.kg⁻¹ de ar seco, respectivamente) e que o piso térmico esteve sempre abaixo da condição ideal.

Além das resistências elétricas serem mais eficientes do ponto de vista térmico, são também mais sustentáveis sob o aspecto de consumo energético. Ao avaliar a eficiência de quatro sistemas de aquecimento em escamoteador, Pandorfi et al. (2005) verificou menor consumo de energia elétrica pela resistência elétrica, seguido da lâmpada incandescente, lâmpada infravermelha e piso aquecido.

2.7 Uso racional de energia elétrica

Na produção intensiva de suínos, vários setores utilizam mecanismos no interior das instalações para manter o conforto térmico e o bem-estar dos animais. Dentre os mecanismos utilizados, grande parte demanda energia elétrica.

Realizando-se uma análise a respeito dos custos com energia elétrica na suinocultura em alguns estados brasileiros, tem-se que em 2011 o custo com energia elétrica na suinocultura no estado de São Paulo, por exemplo, foi cerca de 0,58% do custo final por kg de peso vivo, no Rio Grande do Sul esse custo foi de 0,61% e em Santa Catarina de 0,67% (EMBRAPA SUÍNOS E AVES, 2013). De acordo com os mesmos dados, o peso vivo médio de suíno no abate foi de 115

kg e o custo final total por kg de peso vivo foi de R\$ 2,50 em média. Com isso, tem-se que em SP o custo com energia elétrica para cada suíno abatido em 2011 foi de R\$ 1,67, no RS de R\$ 1,75 e em SC de R\$ 2,00. Considerando que em SP foram abatidos cerca de 1,8 milhões de suínos em 2011, no RS cerca de 7,3 milhões e em SC 9 milhões (IBGE, 2013), tem-se um custo total de energia elétrica para este ano de aproximadamente R\$ 3 Milhões no estado de SP, de R\$ 12, 8 Milhões no RS e de R\$ 18 Milhões em SC.

O consumo de energia elétrica na produção suinícola pode ser reduzido com a utilização de controladores de temperatura, sem alterar as condições de conforto e bem-estar dos animais.

Em estudos com sistemas de climatização em instalações para suínos adultos, Sarubbi et al. (2008) observaram que a utilização de climatização com controle automático melhorou as condições de conforto para os animais em relação ao sistema de climatização com acionamento manual.

Wagenberg e Vermeij (2001) analisaram um sistema de extração de ar por exaustão central, com a utilização de controladores, em instalação de suínos em crescimento e terminação. Os mesmos observaram que havia uma redução de 30% do consumo de energia elétrica, quando comparado ao sistema convencional de ventilação sem utilização de controlador.

Nos últimos anos, algumas granjas comerciais passaram a utilizar em alguns setores da produção suinícola sistemas de controle do tipo on-off, ou seja, termostatos. Este tipo de controle está sendo mais adotado devido a sua simplicidade e baixo custo. No entanto, é necessária a realização de estudos com a aplicação de tecnologias de controle mais inteligentes com o intuito de possibilitar o uso mais racional de energia elétrica neste sistema de produção.

Sarubbi et al. (2010) verificou redução no consumo de energia elétrica proporcionada por controlador com processador eletrônico em piso aquecido apresentando consumo de 0,003 a 0,009 kWh/kg de peso vivo em relação aos sistemas de aquecimento por resistências elétricas suspensas e aquecimento convectivo controlados por termostato no qual apresentaram consumo de 0,068 a 0,131 kWh/kg e 0,129 a 0,217 kWh/kg de peso vivo de leitão produzido, em creche suína. No entanto, não foram realizadas comparações entre os dois sistemas de controle em uma mesma tecnologia de aquecimento.

Além disso, a prática do uso racional de eletricidade pelos produtores suinícolas pode reduzir os custos de produção, uma vez que as tarifas de energia elétrica geralmente aumentam a cada ano. Segundo banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2013) em

2003, por exemplo, a tarifa média de energia elétrica para o meio rural no Brasil era de R\$ 137,99 por MWh e no ano de 2012 a mesma encontrava-se no valor de R\$ 219,80 por MWh, com aumento de 59,3% em nove anos. Na região Sudeste, este aumento corresponde a 39,1% de 2003 a 2012.

Portanto, com o uso racional de energia elétrica e menores gastos no processo produtivo, o criador pode fornecer um produto mais barato e, com isto, tornar seu produto mais competitivo.

2.8 Controle de temperatura

Alguns setores da criação animal vêm adotando o uso de controladores de temperatura nas instalações que não apresentam um ambiente térmico adequado para a produção animal satisfatória.

Esta tecnologia possibilita que as condições de temperatura sejam mantidas dentro dos limites de conforto térmico no ambiente de produção, permitindo corrigir as deficiências no manejo da fonte de climatização com mais eficiência no uso de energia elétrica pelo sistema.

Na literatura, há estudos referentes à utilização de sistemas de controle de temperatura para acionamento de mecanismos de climatização na produção animal Sobestiansky et al. (1987), Wagenberg e Vermeij (2001), Sarubbi et al. (2008, 2010), Rossi et al. (2005), Alves *et al.* (2010) e alguns deles confirmam essas características proporcionadas pelo uso de controladores Sobestiansky et al. (1987), Wagenberg e Vermeij (2001), Sarubbi et al. (2008, 2010).

Além disso, em trabalho realizado por Silva et al. (1998), ao analisarem granjas suínolas no estado do Paraná, os autores observaram que as granjas não possuíam sistema de controle de temperatura e, como consequência, apresentaram elevadas amplitudes térmicas nas maternidades.

A tecnologia de controle mais utilizada no sistema de produção animal é o controle *on-off* (liga-desliga) ou termostato, como também é conhecido. O controle *on-off* é o tipo de controle mais simples que existe e consiste em comparar o sinal de entrada com dois sinais de referência, ou seja, o limite inferior e superior. A diferença entre o limite inferior e superior é chamado de histerese. Quando este sinal de entrada fica abaixo do limite inferior o sistema é acionado e quando o sinal de entrada fica acima do limite superior o sistema é desligado. Desta forma, o controle é baseado na variação entre um valor máximo e mínimo e não estabiliza em nenhum valor específico.

Apesar de ser um tipo de controle simples e de baixo custo, o controlador *on-off* tem uma desvantagem que é a de não manter a variável de interesse estabilizada em um ponto específico, ou seja, ela oscila entre o limite inferior e o limite superior.

Estudos realizados em granjas suinícolas comprovaram que a variação de temperatura no ambiente de produção compromete o desempenho produtivo dos animais (CAMPOS et al., 2008; QUINIOUN et al., 2000).

O intervalo entre o limite inferior e superior ou histerese pode ser reduzida, diminuindo a amplitude das oscilações. No entanto, segundo Ogata (2000), isto implica em aumentar o número de comutações por minuto do chaveamento do controle, reduzindo a vida útil do componente.

Uma solução adequada do ponto de vista técnico para evitar essa oscilação na temperatura ambiente é o uso de um controle do tipo PID (Proporcional, integral e derivativo). O controle PID calcula um valor de atuação sobre o processo a partir dos dados da variável de interesse que deve ser mantida e da variável atual, ou seja, ele faz a correção do erro que há entre o valor desejado e o atual. Desta forma, este tipo de controle permite que a variável de interesse permaneça estabilizada em um valor específico.

Em trabalho realizado por Barros e Rossi (2013) em creche suína, durante o período de verão, os autores observaram que o sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas acionadas com controle PID manteve a temperatura e umidade do ar da baía dentro da faixa de conforto por mais tempo e apresentou melhor desempenho produtivo dos animais em relação aos parâmetros de ganho de peso, mortalidade e conversão alimentar em comparação ao mesmo sistema de aquecimento controlado com termostato.

Coelho e Mariani (2006) afirmam ainda que o controlador PID é o tipo de controle mais popular e bastante utilizado em malhas industriais, principalmente por apresentar facilidade de implementação e por sua vasta aceitação por parte dos operadores, que representa um fator essencial para o sucesso em um ambiente industrial. De acordo com os mesmos autores, o controle do tipo PID apresenta como vantagens baixo custo, simplicidade de implementação e, quando sintonizado de forma adequada, proporciona um bom comportamento dinâmico ao processo controlado.

A maioria dos controladores industriais em uso atualmente utiliza esquemas de controle PID (OGATA, 2003). Além do mais, segundo este autor, a utilidade deste controlador está na sua aplicabilidade à maioria dos sistemas de controle. De acordo com Arruda et al. (2008), com a

migração da tecnologia pneumática e elétrica para digital, o controlador PID pode ser encontrado no mercado sob diversas formas e produtos como, por exemplo, os controladores *single-loop standard*, os componentes de software em controladores lógicos programáveis (CLP) e em sistemas digitais de controle distribuído (SDCD), os controladores embarcados em robôs e veículos autônomos, cd-players e etc.

No entanto, ainda segundo Arruda et al. (2008), os controladores PID apresentam desempenho insuficiente em algumas aplicações. Conforme citado pelo mesmo, tem sido discutido na literatura que uma porcentagem significativa dos controladores instalados operam em modo manual de sintonia e que mais de 50% dos controladores instalados que operam em modo automático de sintonia apresentam grandes variâncias no controle. Este problema de desempenho, na maioria das vezes, é resultante de má sintonia, como por exemplo, utilização de métodos de sintonia genéricos que não são compatíveis com as características dos processos controlados e grande variedade de estrutura de controladores PIDs, no qual levam a erros na aplicação das regras de sintonia.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Local

O experimento foi conduzido em granja suinícola comercial localizada no município de Boituva, estado de São Paulo. O clima da região, de acordo com a classificação de Köeppen, é Cfa - subtropical úmido (CEPAGRI-UNICAMP, 2012). A granja encontra-se situada a 547m acima do nível do mar, na latitude 23°16'27,24''S e longitude 47°43'45,81''O. Os testes foram desenvolvidos entre novembro de 2012 a setembro de 2013.

3.1.2 Descrição das instalações

As edificações da granja possuem orientação Leste-Oeste.

As instalações são de alvenaria, cobertas com telhas de barro. A sala da creche utilizada nos testes tem 10m de comprimento, 6m de largura e pé-direito de 2,8m de altura (Figura 1). A sala possui janelas teladas de 10,8m², localizadas nos dois lados (no sentido da largura), com cortinas de polipropileno.



Figura 1. Sala da creche utilizada no experimento.

Cada leitegada desmamada é colocada em duas salas; uma delas possui duas baias idênticas e a outra possui apenas uma baia. No entanto, as salas não possuem as mesmas dimensões e os

tratamentos estudados devem estar sob as mesmas condições, pois a potência de aquecimento depende da área a ser aquecida. Desta forma, as duas baias localizadas na mesma sala foram utilizadas para os testes em creche suína e para as quais foram avaliadas as condições de conforto térmico, uso de energia elétrica e desempenho produtivo dos animais.

As baias utilizadas no experimento receberam lotes padronizados de leitões e possuem 10m de comprimento e 2,3m de largura totalizando 23m² de área. A área da baia que os leitões utilizam para defecação possui 2m x 2,3m. O piso das baias é formado por: 1/3 de sua área constituída de concreto e 2/3 de plástico vazado (Figura 2). Em cada baia, um forro de polipropileno a 1,85m do piso foi colocado para reduzir a área a ser aquecida. Além disso, uma cortina de polipropileno foi colocada no corredor da sala com o intuito de dividir as duas baias e isolá-las termodinamicamente uma da outra (Figura 3).

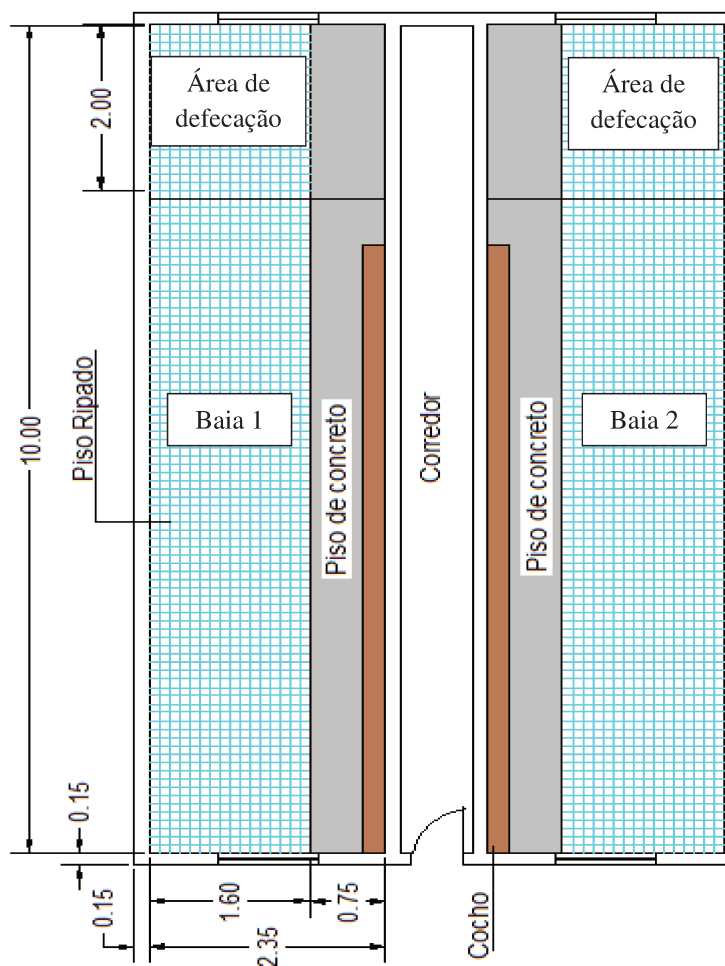


Figura 2. Sala da creche utilizada no experimento.

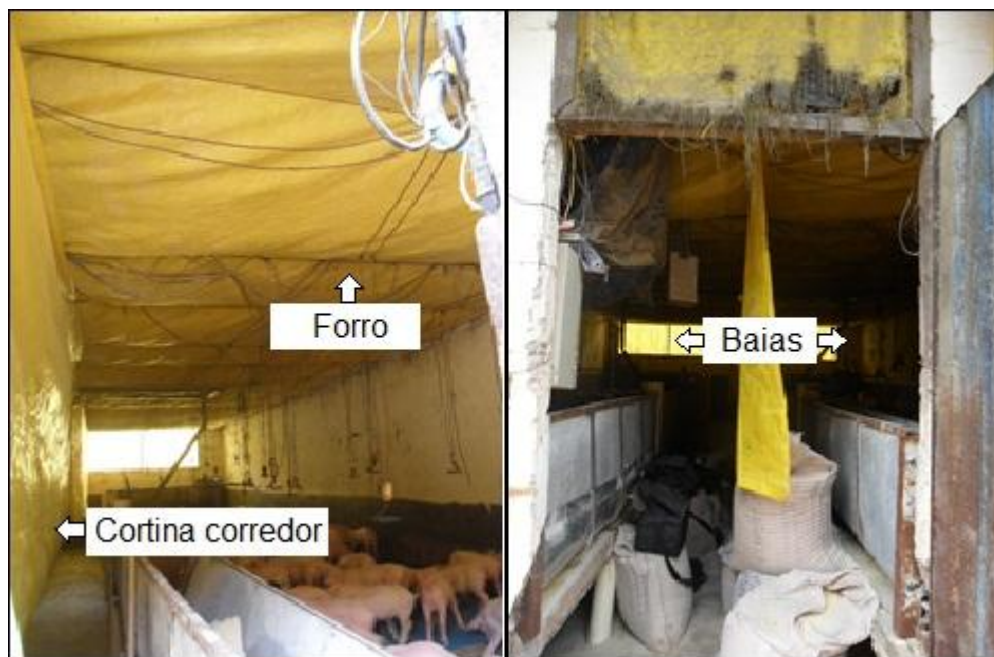


Figura 3: Disposição do forro e cortina de polipropileno no teto e no corredor da sala utilizada no experimento.

3.1.3 Manejo

A granja apresenta criação intensiva confinada, com ciclo completo, organização semanal da produção e manejo *in-out* (todos dentro-todos fora).

A unidade de criação possui 900 matrizes suínas de linhagem híbrida de AGROCERES (C25). O desmame dos leitões é realizado precocemente com idade média de 21 dias.

O sistema de manejo da granja é em lotes. Assim, leitões de idades diferentes não são alocados na mesma instalação. Cada lote de animais desmamados são distribuídos em três baias. Nas baias utilizadas no experimento os animais foram distribuídos ao acaso e receberam em média cerca de 140 animais cada baia. Os leitões permaneceram cerca de 35 dias (5 semanas) na creche.

O manejo das cortinas da sala foi feito pelo funcionário da granja que as abriu no período da manhã e as fechou à tarde. Isto foi realizado com o propósito de aumentar a ventilação das salas para melhorar a qualidade do ar.

Na granja, o aquecimento realizado na fase de creche durante o período de inverno é mantido durante 14 dias (duas semanas) e a faixa de temperatura de conforto utilizada é de 28 a 30°C.

Os animais utilizados no experimento são de mesma genética, receberam o mesmo tipo e quantidade de ração e o manejo foi o mesmo nos dois tratamentos estudados.

As condições de manejo e tamanho dos lotes utilizados na granja foram respeitadas.

3.1.4 Tratamentos

As baias foram submetidas a dois tipos de tecnologias de controle de temperatura:

T1 - aquecimento por resistências elétricas suspensas controladas por controlador PID (Proporcional, integral e derivativo). Localizado na baia 1 (Figura 2).

T2 - aquecimento por resistências elétricas suspensas controladas por termostato digital simples (testemunha). Localizado na baia 2 (Figura 2).

3.1.5 Controladores de temperatura

O controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) utilizado no sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas foi o controlador N1040 PR-F, da empresa NOVUS, com saída PWM – *Pulse Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso). O sensor de temperatura utilizado neste controlador foi a termorresistência Pt100, fabricado e calibrado pela empresa NOVUS. As especificações técnicas estão apresentadas no Anexo I.

O termostato digital utilizado no experimento foi o modelo N321 da empresa NOVUS. O sensor de temperatura utilizado no termostato foi um termistor do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*), fabricado e calibrado pela empresa NOVUS. As especificações técnicas estão apresentadas no Anexo I.

Os sensores dos controladores foram instalados no centro geométrico das baias.

3.1.6 Princípio de funcionamento dos controladores

3.1.6.1 Controlador PID

A atuação do controle PID consiste em ajustar o valor do ciclo ativo do PWM representado pela letra **d** na Figura 4, a partir dos dados da temperatura que deve ser mantida no interior da creche e da temperatura interna atual medida pelo sensor do controlador, ou seja, ele faz a correção do erro que há entre o valor de temperatura desejado e o atual (Figura 4). Desta forma, o controle PID mantém a variável controlada em um valor praticamente constante. O valor do ciclo ativo (**d**) é transformado em um sinal adequado ao relé de estado sólido, controlando o acionamento das resistências elétricas. Esta transformação é realizada pelo PWM.

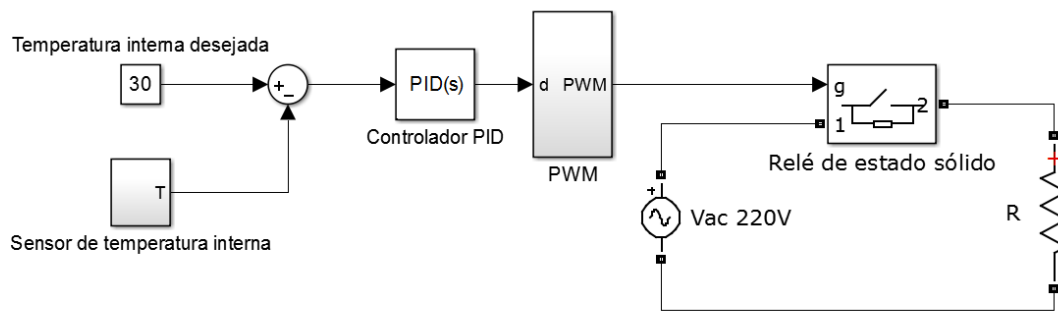


Figura 4. Modelo da ação do controle PID.

3.1.6.2 Termostato

O princípio de funcionamento do termostato tem como base o chaveamento do contator magnético, que foi o atuador utilizado no experimento para este tipo de controle. O termostato realiza o controle do atuador com base na faixa de temperatura desejada (no caso deste experimento é a faixa de temperatura de conforto de leitões desmamados) e na temperatura interna atual. Este sistema apresenta um controle do tipo liga/desliga do contator magnético, acionando as resistências quando a temperatura interna do ambiente está abaixo do limite de temperatura inferior e desligando as resistências quando a temperatura interna atinge valor maior que o limite de temperatura superior (Figura 5).

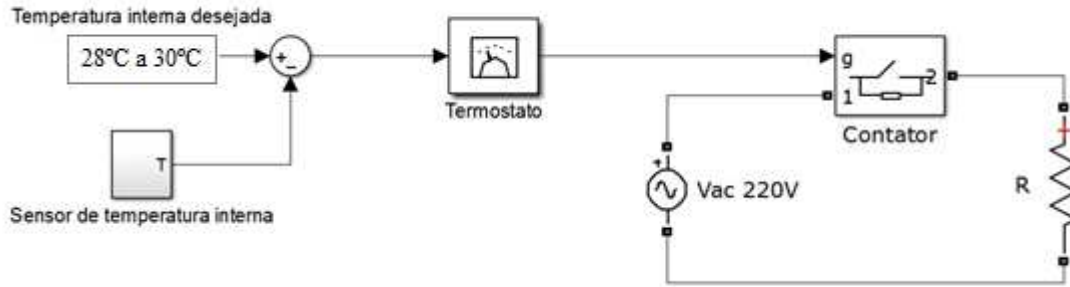


Figura 5. Modelo do controle de temperatura realizado pelo termostato.

3.2 Método

3.2.1 Delineamento experimental

Foram utilizadas 2 baias construtivamente idênticas, de uma mesma sala, contendo lotes com 140 animais cada.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com dois tratamentos, 3 lotes de animais e quatorze dias de duração cada lote.

Os dados climáticos foram analisados sob esquema fatorial de 3 tratamentos (baia com controlador PID, baia com termostato e ambiente externo) x 24 horas.

3.2.2 Testes realizados

3.2.2.1 Teste de interferência

Realizou-se um teste preliminar de interferência para avaliar se havia influência entre as condições térmicas das duas baias utilizadas no experimento. Esse teste foi utilizado como parâmetro para definir se as duas baias de uma mesma sala separadas por cortina de polipropileno poderiam ser utilizadas. O teste foi realizado no período de vazio sanitário das baias que tem duração de sete dias.

No teste, em uma das baias separadas pela cortina de polipropileno o aquecimento permaneceu ligado durante os sete dias de vazio sanitário (TCA – Tratamento com aquecimento),

a outra baia da sala ficou sem aquecimento (TSA – Tratamento sem aquecimento) e uma baia sem aquecimento de outra sala da creche foi utilizada como testemunha (Test.) (Figura 6). Sensores de temperatura foram instalados nas três baias e os dados foram registrados durante 7 dias a cada 15 minutos.

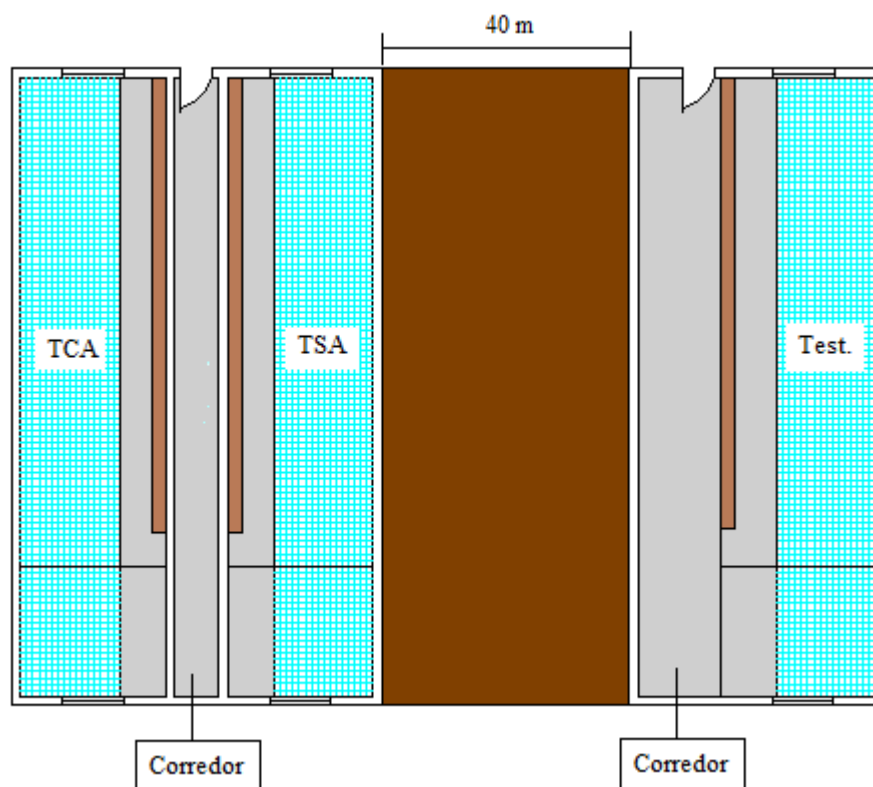


Figura 6. Baias utilizadas no teste de interferência.

3.2.2.2 Teste definitivo

O teste definitivo foi realizado durante o período de inverno, entre os meses de junho a setembro. O teste foi realizado em três lotes e os sistemas de aquecimento das baias permaneceram ligados durante 14 dias em cada lote. Dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e consumo de energia elétrica foram registrados durante todo o período de aquecimento. Os animais permaneceram na creche durante 35 dias e após esse período foi realizada a pesagem dos mesmos, de acordo com o manejo da granja. Os dados obtidos foram analisados quanto ao ambiente térmico, desempenho produtivo dos animais e uso de energia elétrica pelos tratamentos.

Durante o teste definitivo, coleta das condições de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar das baias foram realizadas durante três dias em cada lote para análise da geoestatística. Realizou-se a análise de geoestatística para avaliar a distribuição espacial das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico dentro de cada tratamento.

No Quadro 1 constam o período e a descrição dos testes realizados no experimento.

Quadro 1: Datas e descrições dos testes realizados no experimento.

Teste	Lote	Período	Descrição
Teste de interferência	1	02/04/2013 a 09/04/2013	TCA: Baia da sala utilizada no teste definitivo com aquecimento ligado. TSA: Baia da sala utilizada no teste definitivo sem aquecimento. Test: Baia de uma sala separada sem aquecimento.
		1º Lote	22/05/2013 a 05/06/2013
23/05/2013, 29/05/2013 e 04/06/2013	Coleta dos dados de Tbs e UR para análise de geoestatística.		
24/06/2013	Coleta dos dados de peso dos animais, mortalidade e consumo de ração.		
2º Lote	03/07/2013 a 17/07/2013		Período em que os sistemas de aquecimento permaneceram ligados e de registro dos dados de Tbs, UR e dados de energia elétrica.
	04/07/2013, 10/07/2013 e 16/07/2013		Coleta dos dados de Tbs e UR para análise de geoestatística.
	05/08/2013		Coleta dos dados de peso dos animais, mortalidade e consumo de ração.
3º Lote	14/08/2013 a 28/08/2013		Período em que os sistemas de aquecimento permaneceram ligados e de registro dos dados de Tbs, UR e dados de energia elétrica.
	15/08/2013, 21/08/2013 e 27/08/2013		Coleta dos dados de Tbs e UR para análise de geoestatística.
	16/09/2013		Coleta dos dados de peso dos animais, mortalidade e consumo de ração.

* Tbs: Temperatura de bulbo seco. ** UR: Umidade Relativa do ar.

3.2.3 Dimensionamento do sistema de aquecimento

O dimensionamento do sistema de aquecimento para as baias utilizadas no experimento foi realizado pelo cálculo da carga térmica de inverno. A metodologia utilizada foi a descrita por Abreu et al. (2000), com algumas modificações. A base desta metodologia é a Lei de Conservação de Energia:

$$E_e + E_g = E_s + E_a \quad (1)$$

Onde:

E_e = taxa de calor que entra no sistema;

E_g = taxa de calor gerada pelo sistema;

E_s = taxa de calor que sai do sistema;

E_a = taxa de calor armazenada pelo sistema.

Considerando que:

$$E_e = E_a$$

Tem-se que:

$$E_g = E_s$$

Sendo:

$$E_s = U \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Onde:

E_s = taxa de calor que sai do sistema, W;

U = coeficiente global de transferência de calor, $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$;

A = área total do elemento, m^2 ;

T_1 = temperatura do espaço climatizado, $30^\circ C$;

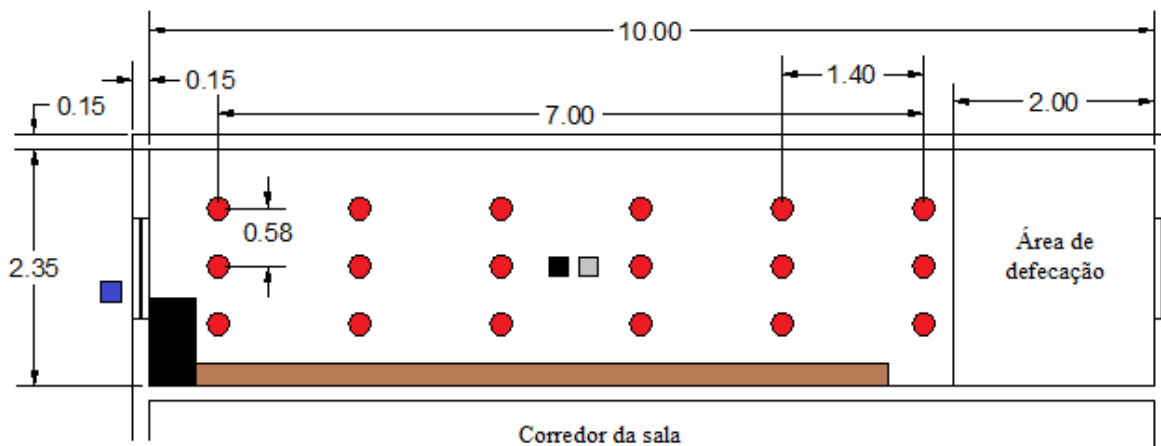
T_2 = temperatura do ar exterior, $10^\circ C$;

Para o ambiente de creche foi definido que o sistema de aquecimento deve manter temperatura máxima em $30^\circ C$, com base nos valores de conforto térmico encontrados na literatura. Para o ambiente externo, adotou-se a menor temperatura com maior probabilidade de ocorrência, de acordo com dados divulgados pelo CEPAGRI (2012).

3.2.4 Determinação da quantidade de resistências para uma baia da creche

Na granja, em cada baia são utilizadas 15 resistências elétricas de 250 W, resultando em uma potência total igual a 3750 W. Na área que os animais elegem para defecação não há instalação do sistema de aquecimento. A mesma equivale a 4,6 m² da área total da baia e a área de ocupação dos leitões, onde as resistências foram instaladas, equivale a 18,4 m² da área total. Desta forma, foi possível estimar a potência máxima ideal para cada baia da granja, sendo a mesma igual a 4500 W.

As resistências foram uniformemente distribuídas no interior das instalações, distando 1m do piso. Estas foram dispostas em 3 fileiras compondo 6 resistências cada, com um total de 18 resistências de 250 W em cada baia (Figura 7).



Legenda:

- Transmissor de temperatura e umidade (RHT-WM)
- Transmissor de temperatura e umidade externo (RHT-WM)
- Sensor de temperatura do sistema de controle
- Resistência elétrica
- Mesa de controle

Figura 7. Desenho da posição dos equipamentos utilizados no interior das baias.

Os equipamentos de medição e armazenamento de dados utilizados no experimento, como transmissor de temperatura e umidade, registrador de dados e medidor de energia, ficaram na

mesa de controle localizada no interior da sala da creche, conforme indicado na Figura 7. Estes aparelhos foram conectados a um computador, que também estava na mesa de controle, para a realização da coleta dos dados. Na área que os leitões elegem para defecação não foram instaladas resistências.

Os sensores dos controladores (PID e termostato) foram instalados entre um conjunto de resistências elétricas no centro da baía, conforme indicado na Figura 7.

As especificações técnicas dos equipamentos estão apresentadas no Anexo II.

3.2.5 Registro dos dados

3.2.5.1 Ambiente térmico

Os dados de temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa do ar (UR) foram medidos através de transmissores de temperatura e umidade (modelo RHT-WM, marca NOVUS) e foram posicionados no centro geométrico da área ocupada pelas resistências, a 0,8 m do piso da baía (Figura 7). Estes transmissores foram conectados a registradores de dados externos (modelo Fieldlogger, marca NOVUS) para armazenamento e aquisição dos dados, que ficaram posicionados na mesa de controle (Figura 7). Desta forma, os dados de Tbs e UR foram obtidos a cada 15 minutos.

Além disso, foram realizadas medições de temperatura e umidade do ambiente externo, no qual um transmissor RHT-WM foi colocado à sombra abrigado pelo beiral do telhado (Figura 7). Com isso, foi possível avaliar a influência do ambiente externo sobre o interior das instalações. O procedimento de medição do ambiente externo foi igual ao realizado para o interior das baias.

Os dados de Tbs e UR foram utilizados para o cálculo dos índices de conforto térmico; ou seja, o Índice de temperatura e umidade (ITU) e Entalpia ($\text{kJ.kg ar seco}^{-1}$).

3.2.5.2 Geostatística das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico

Foi realizada análise geostatística de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, índice de temperatura e umidade e entalpia na área das baias onde foram instalados os tratamentos. Os dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar foram coletados em três dias (2º, 8º

e 14º dia após a entrada dos leitões na creche) e em três horários distintos (às 7h00min, 12h00min e 18h00min) em cada lote para posterior análise da geoestatística (Quadro 1). Realizou-se também medição dos dados de temperatura e umidade do ambiente externo.

As coletas foram realizadas em 80 pontos equidistantes dentro de cada baia, a 0,5 m de altura, por meio de um medidor portátil de temperatura e umidade THDL 400, marca Instrutherm®. A cada ponto foi realizada a medição dos parâmetros e os dados foram anotados imediatamente em planilha. As coletas tiveram duração média de 40 minutos em cada tratamento e observou-se que os valores de temperatura e umidade se alteravam ao longo das coletas dos dados. Desta forma, foi necessário adotar um modelo de ajuste das variáveis de modo a evitar que o tempo de coleta influenciasse na análise dos dados.

Assim, após a coleta dos dados nos 80 pontos, foi realizada novamente a medição do primeiro ponto (P_0) para a realização da correção dos dados, segundo metodologia recomendada por Gabriel Filho et al., (2011) e Barato et al. (2006). Na Figura 8, está representada a metodologia utilizada para coleta dos dados, no qual P_0 indica o ponto inicial da coleta e P_{80} o último ponto. Nas duas baias utilizadas no experimento, a coleta dos dados teve início na lateral das baias mais próxima ao corredor da sala (ponto P_0), conforme ilustrado na figura 8.

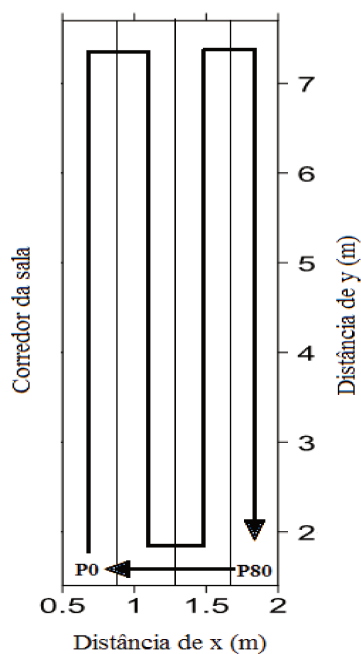


Figura 8: Metodologia da coleta dos dados de Tbs e UR para a análise geoestatística. A distância do eixo x inicia-se na lateral da baia mais próxima ao corredor da sala nos dois tratamentos.

Para a análise geoestatística dos dados, utilizou-se o dia mais crítico, ou seja, o dia mais frio do período (15/08/2013) e os dados coletados nos horários de 7h00min, 12h00min e 18h00min (PANDORFI et al., 2004).

3.2.5.3 Desempenho produtivo

Para avaliar o desempenho dos animais, foram considerados os seguintes índices zootécnicos: ganho de peso médio diário, ganho de peso médio total no período, conversão alimentar e mortalidade dos animais. Para isto, foram coletados dados de pesos de uma amostra aleatória de 42 leitões na entrada da creche e de uma amostra aleatória de 42 animais de cada tratamento ao final de cada lote, ou seja, após 35 dias de confinamento dos animais na creche, respeitando manejo já realizado na granja. As baias que continham os tratamentos foram mantidas sob as mesmas condições de manejo durante todo o período em que os animais de cada lote permaneceram na creche. A ração foi pesada separadamente para cada tratamento. Os mesmos receberam a mesma quantidade de ração em todos os lotes estudados. A ração foi fornecida para os animais dos dois tratamentos sempre nos mesmos horários. Ao final de cada lote, a pesagem da ração que sobrou em cada tratamento foi realizada para a obtenção da quantidade de ração consumida. Esse dado foi utilizado para o cálculo de conversão alimentar. A mortalidade dos animais foi registrada para cada tratamento durante o período em que os animais permaneceram na creche em cada lote analisado.

3.2.5.4 Uso de energia elétrica

A utilização de energia elétrica pelos tratamentos foi avaliada por meio de medidores eletrônicos individuais (SAGA e Embrasul), que foram instalados nas caixas de distribuição dos circuitos localizadas na parede interna da sala de creche (Figura 7). Estes medidores possuem acumuladores ou registradores de dados específicos de acordo com especificações da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O consumo de energia elétrica foi avaliado no mesmo período em que ocorreram as medições de temperatura e umidade, ou seja, durante o período em que o sistema de aquecimento ficou ligado (14 dias). Os dados foram registrados a cada 15

minutos, conforme padrão da ANEEL. Os mesmos foram adquiridos 24 horas por dia e foram coletados por meio de um programa computacional específico para esta finalidade.

As variáveis elétricas que foram utilizadas para comparação entre os tratamentos foram a demanda máxima de potência (kW), o consumo de energia elétrica (kWh), o consumo específico (kWh.kg⁻¹) e o custo específico (R\$.kg⁻¹).

3.2.6 Análise do ambiente térmico

3.2.6.1 Faixa de temperatura de conforto

A faixa de temperatura de conforto recomendada pelo manual de genética Agroceres Pic (2008) para leitões recém desmamados é de 28 a 32°C. No entanto, em pesquisa realizada por Sarubbi (2009) em creche suína, a autora observou que os leitões ofegavam aos 31°C e modificavam seu comportamento aos 27°C, definindo a faixa de temperatura de conforto entre 28°C e 30°C.

Além disso, de acordo com recomendação de Brown-Brandl et al. (2004), apresentada na equação 3, utilizando os pesos médios em que os animais são desmamados na granja (5 a 6 kg) obteve-se como faixa de temperatura ideal os valores de 28 a 29°C para leitões desmamados.

$$T_{\text{ideal}} = 0,0015.m^2 - 0,2969.m + 30,537 \quad (3)$$

Sendo:

T_{ideal} = temperatura ambiente ideal para o animal;

m = peso (kg).

Com base no manual de genética Agroceres Pic (2008) e na recomendação de Brown-Brandl et al. (2004), utilizou-se como zona de temperatura de conforto para a creche os valores de 28 a 30°C, faixa de temperatura já utilizada na granja.

3.2.6.2 Índice de Temperatura e Umidade

Para a análise do conforto térmico, utilizou-se o índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1958).

$$ITU = t + 0,36.t_o + 41,5 \quad (4)$$

Sendo:

ITU= Índice de temperatura e umidade;

t = Temperatura de bulbo seco do ar, °C;

t_o = Temperatura do ponto de orvalho, °C (ALBRIGHT, 1990).

3.2.6.3 Entalpia

A entalpia específica também foi utilizada para a análise do conforto térmico e foi calculada através da equação proposta por Rodrigues et al. (2010).

$$H = 1,006.t + \frac{UR}{P_B} \cdot 10^{\frac{7,5.t}{237,3+t}} \cdot (71,28 + 0,052.t) \quad (5)$$

Sendo:

H = Entalpia (kJ.kg ar seco⁻¹);

t = Temperatura de bulbo seco do ar (°C);

UR = Umidade relativa do ar (%);

P_B = Pressão barométrica local (mmHg).

3.2.7 Análise do desempenho produtivo

3.2.7.1 Ganho de peso

Com os dados de peso dos leitões na entrada e saída da creche foi possível calcular o ganho de peso médio por animal no período em que os leitões permaneceram na creche em cada lote.

Desta forma, foi realizado o cálculo do ganho de peso diário por animal para cada tratamento por meio da equação apresentada a seguir.

$$GPD = \frac{GP}{ND} \quad (6)$$

Sendo:

GPD = Ganho de peso diário, (kg. animal⁻¹.dia⁻¹);

GP = Ganho de peso médio, (kg.animal⁻¹);

ND = Numero de dias que os animais permaneceram na creche, (dias).

3.2.7.2 Conversão alimentar

Para o cálculo de conversão alimentar, foi considerada a quantidade média de ração consumida por cada leitão dividida pelo ganho de peso médio por leitão de cada tratamento.

$$Ca = \frac{Rc}{GP} \quad (7)$$

Sendo:

Ca = Conversão alimentar dos leitões;

Rc= Quantidade média de ração consumida, (kg.animal⁻¹);

GP = ganho de peso médio, (kg.animal⁻¹).

3.2.7.3 Taxa de mortalidade

A taxa de mortalidade foi analisada por meio da relação entre o número de óbitos ocorridos, considerando o período total de cada análise e o número de animais inseridos nos tratamentos, multiplicando por 100.

$$Tm = \frac{NO}{NT} . 100 \quad (8)$$

Sendo:

Tm = Taxa de mortalidade dos animais, (%);

NO = Número de óbitos em cada tratamento;

NT = Número total de animais inseridos em cada tratamento.

3.2.8 Análise do uso de energia elétrica

3.2.8.1 Demanda máxima de potência

A demanda máxima de potência representa o maior valor de demanda de energia elétrica registrado em um determinado período. Desta forma, foi realizada a análise do maior valor de demanda registrado durante o período que o aquecimento permaneceu ligado em cada lote (14 dias).

3.2.8.2 Consumo de energia elétrica

a) Indicador de eficiência elétrica no aquecimento

A quantidade de energia elétrica consumida para o aumento de 1°C em 1m³ de ar das instalações estudadas foi determinada para cada tratamento. Esta análise teve o intuito de avaliar a eficiência dos sistemas de controle.

b) Consumo específico

Para o cálculo do consumo específico, foram utilizados os dados de consumo de energia elétrica pelos tratamentos (kWh) em relação ao produto gerado (ganho de peso diário em cada lote).

$$Ces_i = \frac{CD_i}{GPD_i \cdot N} \quad (9)$$

Sendo:

Ces_i = consumo específico da energia elétrica, (kWh.kg⁻¹ de peso vivo);

CD_i = consumo diário de energia elétrica, (kWh.dia⁻¹);

GPD_i = ganho de peso diário médio, (kg.animal⁻¹ .dia⁻¹);

N = numero de animais.

c) Custo específico

Para a análise do custo específico, foram utilizados os dados de consumo específico (kWh.kg^{-1}) e a tarifa de consumo de energia elétrica vigente para a granja, relativa ao período de maio de 2013 a maio de 2014 ($\text{R}\$.\text{kWh}^{-1}$).

$$Ce_i = Ces_i.T \quad (10)$$

Sendo:

Ce_i = custo específico do lote i, ($\text{R}\$.\text{kg}^{-1}$);

T = tarifa de consumo de energia elétrica, ($\text{R}\$.\text{kWh}^{-1}$).

3.2.9 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, testes de normalidade, análise de regressão e comparação de médias através do teste de Tukey ($P < 0,5$), no qual foram realizados com o auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2000). Para o efeito horas do dia sobre as variáveis climáticas foi realizada análise de regressão escolhendo-se o modelo que apresentou significância e maior R^2 .

Os dados das variáveis de Tbs, UR, ITU e Entalpia foram submetidos à análise geoestatística. A variabilidade das variáveis foi, primeiramente, avaliada pela análise de estatística descritiva dos dados através de média, mediana e coeficiente de variação (C.V.). A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov através do software Minitab.

A dependência espacial foi analisada por ajuste de semivariograma (VIEIRA, 2000), com base na suposição de processo estacionário intrínseco, que é calculado por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (11)$$

Sendo:

$N(h)$ = número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h .

O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h . Do ajuste de um modelo de semivariograma são estimados coeficientes como: efeito pepita, patamar e alcance. O efeito pepita é o valor da semivariância $\hat{\gamma}$ para a distância zero ($h = 0$) e representa o erro analítico, ou seja, indica a variabilidade que não pode ser explicada; o patamar é o valor da semivariância $\hat{\gamma}$ em que a curva estabiliza em um valor constante; o alcance representa a distância entre a origem e o patamar, deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras (TRANGMAR et al., 1985).

O grau de dependência espacial das variáveis foi analisado de acordo com classificação de Cambardella et al. (1994), do qual considera dependência espacial forte os semivariogramas que apresentam efeito pepita $< 25\%$ do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca $> 75\%$.

Os modelos de semivariogramas testados foram o esférico, exponencial e gaussiano por meio do software GS⁺. Após o ajuste dos modelos, estes foram usados para desenvolver os mapas de krigagem. O modelo de semivariograma foi selecionado considerando o coeficiente de correlação maior, obtido pelo método de validação cruzada (CARVALHO et al., 2012). A construção dos mapas foi realizada por meio do software SURFER.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de Interferência

Realizando-se a análise de variância, verificou-se diferença significativa na interação entre tratamentos e horas do dia ($P < 0,01$). Desta forma, realizou-se o desdobramento da interação tratamentos x horas do dia, estudando-se o efeito de cada tratamento dentro de cada hora do dia. As médias de temperatura de bulbo seco (Tbs) estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Médias de Tbs durante 24 horas, em creche suína.

Hora	Tbs (°C)		
	¹ TCA	² TSA	³ Testemunha
0	27,63 a	23,75 b	22,75 b
1	27,25 a	23,63 b	22,63 b
2	27,13 a	23,50 b	22,63 b
3	26,63 a	23,50 b	22,38 b
4	26,88 a	23,13 b	22,00 b
5	26,62 a	23,25 b	22,00 c
6	26,38 a	23,25 b	22,00 c
7	26,25 a	23,00 b	22,25 b
8	26,38 a	23,88 b	23,00 b
9	26,88 a	24,50 b	23,63 b
10	28,00 a	25,13 b	24,75 b
11	29,13 a	26,25 b	25,50 b
12	30,13 a	26,88 b	26,38 b
13	29,25 a	27,50 b	26,75 b
14	30,00 a	27,63 b	26,50 b
15	30,00 a	27,88 b	26,87 b
16	30,38 a	27,25 b	26,63 b
17	29,00 a	25,63 b	24,88 b
18	29,13 a	24,88 b	24,13 b
19	29,00 a	24,75 b	24,00 b
20	28,63 a	24,5 b	24,00 b
21	28,38 a	24,25 b	23,63 b
22	27,75 a	24,25 b	23,38 b
23	27,38 a	24,00 b	23,25 b
Amplitude	4,13	4,88	4,87

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ($P > 0,05$) de acordo com teste de Tukey. ¹TCA: tratamento com aquecimento; ²TSA: tratamento sem aquecimento e ³Testemunha: outra sala sem aquecimento.

Na tabela 1, verifica-se que houve diferença estatística para todos os tratamentos em todas as horas analisadas ($P < 0,05$). Houve diferença significativa para a baia com aquecimento (TCA) em relação à baia sem aquecimento (TSA) e a testemunha, em todo o período de 24 horas, no qual apresentou médias de Tbs mais elevadas. Além disso, o tratamento TCA foi o único que apresentou Tbs médias dentro da zona de conforto térmico de leitões desmamados. O tratamento TSA não diferiu estatisticamente da testemunha durante o período de 24 horas, exceto nos horários de 5h00min e 6h00min. Neste período (5h00min e 6h00min) a diferença numérica entre o tratamento TSA e a testemunha foi de 1,25°C.

Resultados semelhantes também foram observados por Sarubbi (2009), que ao comparar uma baia com resistências elétricas suspensas, uma baia sem aquecimento na mesma sala (separadas por cortina de polipropileno) e uma baia sem aquecimento em outra sala da creche suína, verificou que as médias de Tbs dos ambientes diferiram entre si a 5% de probabilidade. Além disso, a autora também observou que a média de Tbs foi maior no tratamento com aquecimento em relação aos demais e que este tratamento foi o único que apresentou temperatura média dentro da faixa de conforto dos leitões (28 a 30°C).

O estudo do efeito das horas do dia dentro de cada tratamento para a variável Tbs foi analisado por meio de regressão (Figura 9). As equações de regressão ajustadas para cada tratamento estão apresentadas na tabela 2.

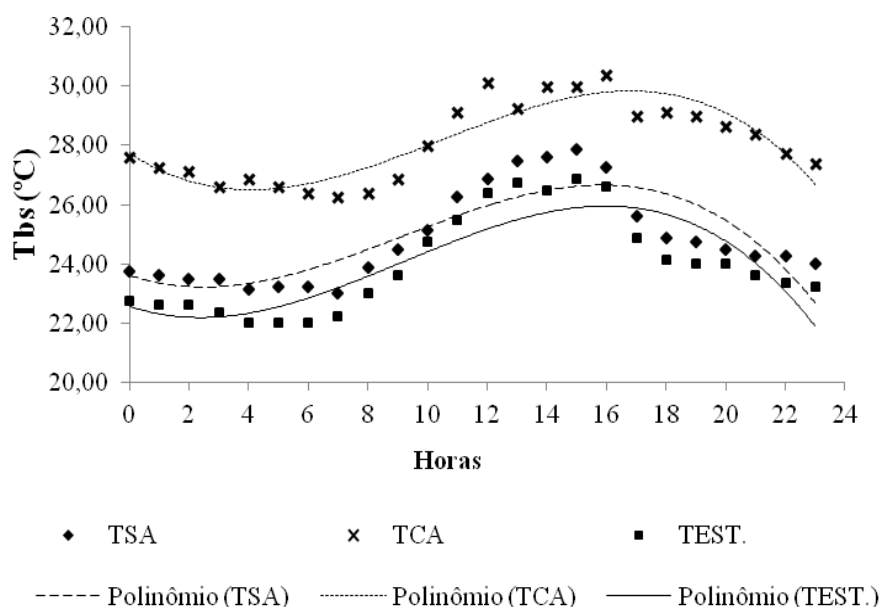


Figura 9. Curvas de regressão de temperatura de bulbo seco (Tbs) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos TCA, TSA e testemunha, em creche suína.

Tabela 2. Modelos de regressão para a estimativa da Tbs, em função das horas do dia (h) e os respectivos coeficientes de determinação (R²).

Tratamento	Modelo	Pr > F	R ²
TCA	$Tbs (°C) = 27,739 - 0,662h + 0,101h^2 - 0,003h^3$	< 0,001**	82%
TSA	$Tbs (°C) = 23,615 - 0,339h + 0,079h^2 - 0,00287h^3$	< 0,001**	71,29%
Testemunha	$Tbs (°C) = 22,568 - 0,34h + 0,0824h^2 - 0,00299h^3$	< 0,001**	74,36%

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade. TCA: tratamento com aquecimento; TSA: tratamento sem aquecimento e Testemunha: outra sala sem aquecimento.

Em relação à análise de regressão apresentada acima, verificou-se que houve efeito significativo das horas sobre a Tbs (P < 0,01). Em todos os tratamentos o modelo que melhor se ajustou aos dados de Tbs foi a regressão polinomial cúbica. O tratamento TCA foi o que apresentou melhor ajuste ao modelo, apresentando coeficiente de determinação igual a 82% (Figura 9 e Tabela 2).

No tratamento TCA, de acordo com as equações de regressão, verificou-se tendência dos valores mínimos de Tbs ocorrerem entre 3h00min e 5h00min e os valores máximos entre 16h00min e 18h00min. No tratamento TSA e na testemunha, verificou-se que os valores mínimos de Tbs ocorreram no intervalo de 2h00 min e 3h00min e os valores máximas no intervalo entre

15h00min e 17h00min (Figura 9 e Tabela 2). Desta forma, é possível observar que o comportamento da temperatura em função das horas do dia foi semelhante em TSA e na testemunha.

Ainda em relação à figura 9, nos tratamentos TSA e testemunha, observa-se que a amplitude média diária dos dados de temperatura foi praticamente a mesma (4,88°C e 4,87°C, respectivamente). No tratamento TCA, a amplitude média foi menor, sendo igual a 4,13°C. Além disso, os valores de Tbs em TCA ficaram aproximadamente 3°C acima em relação aos valores de TSA e 4°C acima em relação aos valores da testemunha em praticamente todo o período de 24 horas.

Sarubbi (2009) verificou mesma amplitude térmica de Tbs em todos os tratamentos (9°C). Além disso, seus resultados mostram que a Tbs média da baía com aquecimento ficou 1,2°C acima da Tbs média da baía sem aquecimento localizada na mesma sala e 0,9°C acima da Tbs média da baía em outra sala.

Desta forma, os resultados apresentados acima indicam que não houve influência significativa das condições de temperatura entre as baias de uma mesma sala, separadas por cortina de polipropileno.

4.2 Teste Definitivo

4.2.1 Ambiente térmico

4.2.1.1 Variáveis climáticas

Realizando-se a análise de variância, verificou-se diferença significativa na interação entre tratamentos e horas do dia ($P < 0,01$) para temperatura de bulbo seco (Tbs) e umidade relativa (UR). Desta forma, realizou-se o desdobramento da interação tratamentos x horas do dia para Tbs e UR, estudando-se o efeito dos tratamentos dentro de cada hora do dia. Na tabela 3, estão apresentadas as médias de Tbs e UR para todo o período do experimento.

Tabela 3. Médias de Tbs e UR durante o período de 24 horas, em creche suína.

Hora	Tbs (°C)			UR (%)		
	¹ T1	² T2	Externo	T1	T2	Externo
0	30,72 a	28,15 b	17,61 c	43,34 c	48,47 b	67,75 a
1	30,50 a	27,88 b	17,17 c	43,28 c	48,60 b	68,42 a
2	30,38 a	27,56 b	16,48 c	43,32 c	48,81 b	69,46 a
3	30,26 a	27,31 b	16,14 c	43,29 c	48,93 b	69,96 a
4	30,03 a	27,03 b	16,05 c	43,51 c	49,12 b	70,37 a
5	29,88 a	26,88 b	15,88 c	43,47 c	49,22 b	70,50 a
6	29,84 a	26,76 b	15,79 c	43,54 c	49,36 b	70,93 a
7	29,82 a	26,91 b	16,42 c	44,37 c	49,72 b	70,31 a
8	30,45 a	27,80 b	18,47 c	45,43 c	50,58 b	68,27 a
9	31,08 a	28,77 b	21,19 c	45,26 c	50,06 b	63,09 a
10	32,09 a	29,99 b	23,32 c	43,56 c	47,51 b	57,37 a
11	32,58 a	30,62 b	25,12 c	43,05 c	46,71 b	52,94 a
12	32,71 a	30,62 b	26,35 c	42,86 c	47,09 b	49,93 a
13	32,65 a	30,73 b	27,08 c	43,78 b	48,08 a	48,60 a
14	32,69 a	31,10 b	27,46 c	43,33 b	46,41 a	47,18 a
15	32,75 a	31,14 b	27,47 c	43,32 b	46,87 a	47,78 a
16	32,75 a	31,07 b	26,67 c	44,32 b	48,05 a	49,84 a
17	32,77 a	30,85 b	24,70 c	44,06 c	48,21 b	53,16 a
18	32,44 a	30,58 b	22,44 c	43,52 c	47,08 b	57,61 a
19	32,21 a	30,15 b	21,31 c	43,25 c	47,21 b	60,10 a
20	31,95 a	29,77 b	20,52 c	43,34 c	47,60 b	62,19 a
21	31,86 a	29,47 b	19,66 c	43,32 c	47,77 b	63,81 a
22	31,59 a	29,16 b	19,21 c	43,19 c	47,60 b	65,10 a
23	31,32 a	28,80 b	18,52 c	43,17 c	47,83 b	66,14 a
Amplitude	2,95	4,38	11,68	2,57	4,17	23,71

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si a ($P > 0,05$) de acordo com teste de Tukey. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID; ²T2: aquecimento resistivo com termostato e ambiente externo.

As médias de Tbs dos tratamentos diferiram estatisticamente entre si em todas as horas do dia a 5% de probabilidade. A baia com controlador PID (T1) apresentou Tbs estatisticamente maior em relação aos demais tratamentos, durante todo o período de 24 horas (Tabela 3). Isso contribuiu para que T1 apresentasse melhor desempenho produtivo e, conseqüentemente, melhor consumo específico de energia elétrica em comparação a T2, conforme observado nas análises dos tópicos 1.2.2 e 1.2.3.

Quanto à umidade relativa do ar (UR), os tratamentos diferiram entre si em todas as horas do dia, exceto de 13h00min as 16h00min, no qual T2 não diferiu do ambiente externo.

O estudo do efeito das horas do dia dentro de cada tratamento (T1, T2 e ambiente externo) para as variáveis Tbs e UR foi analisado por meio de regressão (Figuras 10 e 11). As equações de regressão, das variáveis Tbs e UR, ajustadas para cada tratamento estão apresentadas na tabela 4. Com base nesta análise, foi possível observar o comportamento de Tbs e UR ao longo do dia.

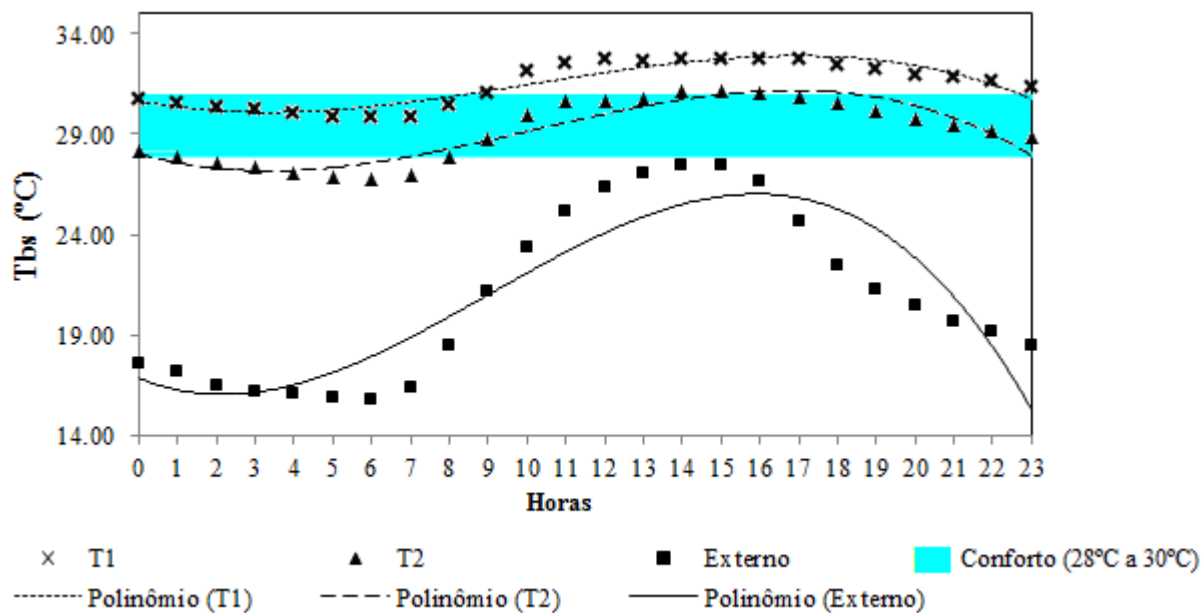


Figura 10. Curvas de regressão de temperatura de bulbo seco (Tbs) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo, em creche suína.

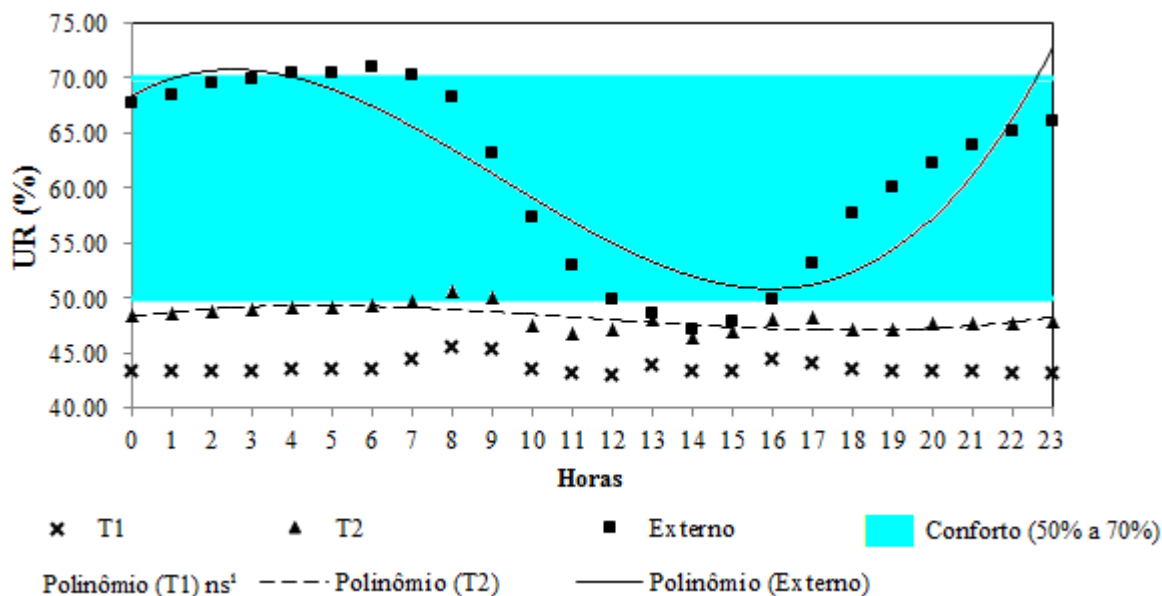


Figura 11. Curvas de regressão de umidade relativa do ar (UR) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T2 e ambiente externo, em creche suína. ¹ns – não significativo para regressão.

Tabela 4. Modelos de regressão para a estimativa de Tbs e da UR, em função das horas do dia (h) e os respectivos coeficientes de determinação (R²).

Tratamento	Modelo	Pr > F	R ²
¹ T1	Tbs (°C) = 30,65 - 0,367h + 0,0667h ² - 0,0022h ³	< 0,001**	86,27%
² T2	Tbs (°C) = 28,034 - 0,552h + 0,0987h ² - 0,00326h ³	< 0,001**	87,64%
Externo	Tbs (°C) = 16,87 - 0,794h + 0,208h ² - 0,0077h ³	< 0,001**	81,64%
T1	UR (%) = 43,05 + 0,25h - 0,021h ² + 0,000435h ³	0,5 ^{ns}	19,85%
T2	UR (%) = 48,33 + 0,467h - 0,064h ² + 0,0019h ³	< 0,0037**	52,82%
Externo	UR (%) = 68,39 + 1,98h - 0,45h ² + 0,016h ³	< 0,001**	80,97%

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID; ²T2: aquecimento resistivo com termostato e ambiente externo.

Quanto à análise de regressão, verificou-se que houve um efeito significativo de horas do dia sobre a Tbs, ao nível de 1% de probabilidade (P < 0,01), para todos os tratamentos. Ou seja, houve variação significativa da temperatura durante o período de 24 horas. Para os dados de UR, os tratamentos T2 e ambiente externo apresentaram regressão significativa ao nível de 1% de probabilidade (P < 0,01). O tratamento T1 não apresentou significância para regressão,

indicando que a UR não apresentou diferença significativa ao longo do dia. Tanto para Tbs quanto para UR, o modelo que melhor se ajustou, nos tratamentos que apresentaram significância para regressão, foi o modelo polinomial cúbico (Tabela 4).

Campos (2006), ao testar dois modelos de creche suína, também verificou significância para regressão cúbica para as variáveis de Tbs e UR, com coeficientes de determinação entre 30 e 70% para UR e entre 70 e 80% para Tbs.

Analisando a figura 10, nota-se que no período de 0h00min a 8h00min, a baia com controlador PID (T1) foi o único tratamento que apresentou valores de Tbs dentro da faixa de conforto de leitões desmamados (28 a 30°C) e a baia com termostato (T2) apresentou valores de Tbs abaixo de 28°C. No intervalo de 9h00min às 13h00min e 17h00min às 23h00min, T2 foi o único tratamento que manteve Tbs dentro da faixa de conforto e T1 apresentou valores acima de 30°C. Entre 14h00min e 16h00min, T1 e T2 apresentaram valores acima da zona de conforto de 28 a 30°C. Em todas as horas do dia, o ambiente externo apresentou Tbs abaixo de 28°C.

Desta forma, os dados observados na figura 10 indicam que o termostato manteve por mais tempo a temperatura de conforto em comparação à baia com controlador PID. No entanto, notou-se que o controlador de temperatura PID foi mais eficiente em manter a temperatura do ambiente da baia dentro da zona de conforto térmico dos leitões no período de temperaturas mais baixas do ambiente externo. O sistema de aquecimento com termostato, ficou dentro da zona de conforto térmico de Tbs apenas nos horários em que a temperatura externa foi mais alta.

Estes resultados diferem do encontrado por Sarubbi et al. (2010), que ao testar sistemas de aquecimento por resistências elétricas suspensas com controle de temperatura por termostato, piso aquecido com controlador com processador eletrônico e aquecimento convectivo com termostato, em creche suína, observaram que as médias de Tbs não ficaram dentro da faixa de conforto térmico (28 a 30°C) em nenhum tratamento. Além disso, observaram que o aquecimento com controlador eletrônico apresentou os menores valores médios de Tbs em relação aos tratamentos com controle de temperatura por termostato. Este resultado pode estar associado ao tipo de aquecimento, no caso o piso aquecido, que não foi o mais adequado para creche suína.

Em relação à eficiência do termostato em manter Tbs dentro da faixa de conforto dos animais, Sobestiansky et al. (1987) também apresentaram resultados diferentes do observado neste trabalho. Os autores testaram vários microambientes para leitões desmamados e constataram que o sistema com lâmpada controlada por meio de termostato do tipo capilar

regulado para 29°C, em escamoteador, manteve a temperatura praticamente constante dentro da faixa de conforto para leitões na fase de maternidade no período estudado de 21 dias.

Com base na figura 11, verifica-se que T1 apresentou valores médios de UR abaixo de 50% em todas as horas do dia e os menores valores em relação aos demais tratamentos. Resultado semelhante também foi observado em T2, com exceção dos horários de 8h00min as 9h00min, que apresentaram UR igual a 50%. O ambiente externo apresentou valores de UR entre 50 e 70% em maior parte do tempo, exceto de 12h00min as 16h00min, no qual apresentou valores abaixo de 50%. Neste período, foram registradas as temperaturas médias mais altas do ambiente externo.

De acordo com Moura (1999), a faixa de UR de conforto para leitões desmamados é de 50 a 70%. Segundo Sampaio et al. (2004), a umidade relativa do ar do ambiente, para suínos, não deve ultrapassar 70%. Campos et al. (2008) afirma que o ambiente de creche não deve apresentar umidade excessiva, atribuindo como valor máximo 70%.

Desta forma, de acordo com Moura (1999), verifica-se na figura 11 que os tratamentos não foram eficientes em proporcionar UR dentro da zona ideal para leitões desmamados. Mas atenderam as recomendações de Sampaio et al. (2004) e Campos et al. (2008).

O tratamento T1 apresentou os maiores valores de Tbs e os menores valores de UR em todo o período analisado. Além disso, os dois tratamentos, T1 e T2, apresentaram valores menores de UR em relação ao ambiente externo, que apresentou os menores valores de Tbs, durante o período de 24 horas.

Analisando as equações de regressão de Tbs e UR apresentadas na tabela 4, verifica-se tendência das temperaturas mais baixas ocorrerem entre 2h00min e 4h00min e das temperaturas mais elevadas ocorrerem entre 16h00min e 17h00min nos tratamentos T1, T2 e no ambiente externo. Quanto à UR, verificou-se tendência dos valores mais baixos ocorrerem entre 16h00min e 18h00min e os valores de UR mais elevados ocorrerem entre 2h00min e 4h00min no tratamento T2 e no ambiente externo (Figuras 10 e 11).

Desta forma, é possível inferir que o comportamento da UR foi oposto ao de Tbs. Além disso, a UR em T2 continuou abaixo da zona de conforto de leitões desmamados (50 a 70%) mesmo nos horários em que UR externa foi mais alta (Figura 11). Estes resultados sugerem que temperaturas mais elevadas provocam redução da umidade relativa do ar.

Resultado semelhante foi observado por Pandorfi et al. (2005), no qual verificou que o escamoteador com sistema de aquecimento por lâmpada infravermelha, promoveu altas

temperaturas no interior do abrigo e conseqüentemente reduziu a umidade relativa do ar. Além disso, os autores discutem que quanto maior a temperatura do ar maior a quantidade máxima saturante de vapor d'água, verificando-se, com isso, baixos valores de umidade relativa do ar para estas situações. Estes resultados também foram encontrados por Abreu et al. (2012), os quais verificaram que o escamoteador com lâmpada incandescente apresentou temperaturas médias maiores e umidade relativa do ar menor em relação ao escamoteador com piso aquecido que apresentou comportamento oposto das variáveis durante todo o período de análise.

Quanto à amplitude térmica, na figura 10 é possível observar que T1 e T2 apresentaram amplitudes médias diárias de Tbs inferiores ao ambiente externo. O tratamento T1 apresentou amplitude média diária de 2,95°C, inferior ao tratamento T2, que apresentou amplitude média diária de 4,38°C. Em relação ao ambiente externo, este apresentou amplitude média diária de aproximadamente 11,68°C. Os valores de amplitude média diária estão apresentados na tabela 3.

Na figura 11, verifica-se que a UR de T2 apresentou menor amplitude média diária (4,17%) em relação ao ambiente externo (23,71%). De acordo com os dados apresentados na tabela 3, verifica-se que o tratamento T1 apresentou amplitude média diária inferior a T2 (2,4%).

Sobestiansky et al. (1987), verificaram amplitude térmica de 1,9°C para o escamoteador com lâmpada infravermelha controlada com termostato do tipo capilar. Campos et al. (2009), encontraram amplitudes médias de Tbs de 8,4°C e 5,8°C e de UR de 28,6% e 22,6% durante o período de 24 h em dois modelos de creche suína sem sistemas de aquecimento.

Desta forma, pode-se inferir que o uso de sistema de aquecimento com controle de temperatura em creche suína reduz a variação térmica no ambiente de criação e que o controle PID proporciona menor variação térmica em relação ao termostato.

Sarubbi (2009) afirma que quanto menor é a amplitude térmica, melhor é o conforto térmico do animal, pois a necessidade de realização de trocas térmicas é menor. Este resultado também foi observado neste trabalho, na análise do desempenho produtivo dos animais (Tópico 1.2.2).

As figuras 12 e 13 ilustram a distribuição da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa do ar (UR) ao longo de todo o período do experimento em que o aquecimento permaneceu ligado.

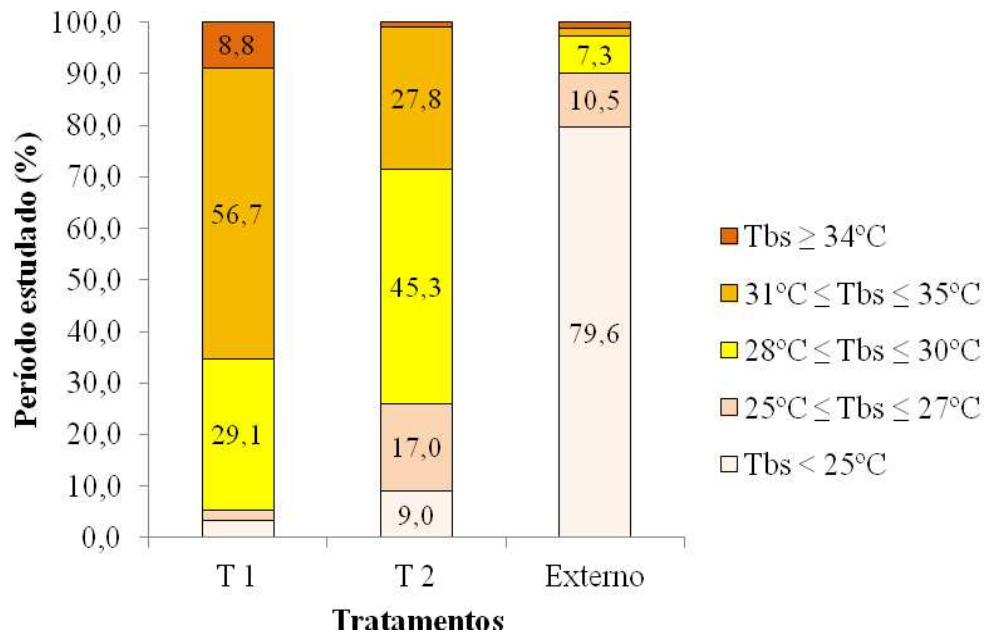


Figura 12. Distribuição da temperatura de bulbo seco (Tbs), durante o período de análise, em creche suína para T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $28^{\circ}\text{C} \leq \text{Tbs} \leq 30^{\circ}\text{C}$.

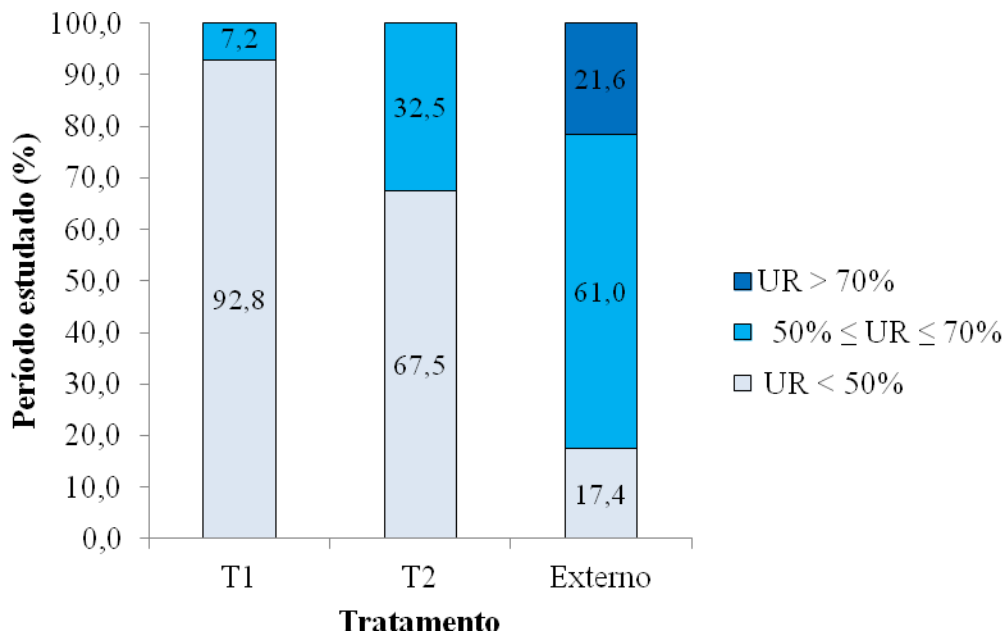


Figura 13. Distribuição da umidade relativa do ar (UR), durante o período de análise, em creche suína, para T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $50\% \leq \text{UR} \leq 70\%$.

Analisando a Figura 12, para Tbs, nota-se que o tratamento T2 manteve os leitões maior parte do tempo (45,3%) dentro da zona de conforto térmico (28 a 30°C) em relação a T1 (29,1%). No entanto, este tratamento também permaneceu mais tempo abaixo da zona de conforto (17% e 9%) quando comparado a T1 (2,2% e 3,2%). Além disso, T2 manteve os animais abaixo da temperatura crítica inferior de 25°C, de acordo com manual da genética Agroceres Pic, (2008), por mais tempo (9%) em relação a T1 (3,2%). Os valores 2,2% e 3,2% não estão visíveis na figura 13 em razão dos baixos valores.

O tratamento T1 manteve os animais acima da zona de conforto térmico por mais tempo (56,7% e 8,8%) em relação a T2 (27,8% e 0,8%) e permaneceu mais tempo acima da temperatura crítica superior de 34°C (8,8%), para leitões desmamados (AGROCERES PIC, 2008), quando comparado a T2 (0,8%). Este comportamento da temperatura está relacionado com o funcionamento inadequado do controlador PID, que apresentou resposta lenta quando a temperatura interna da baia atingiu valores acima do set-point (30°C). Este funcionamento inadequado pode estar associado a problemas inerentes ao tipo de sintonização dos parâmetros de ganho proporcional, tempo integral e tempo derivativo.

Em relação ao ambiente externo, T1 e T2 permaneceram por mais tempo dentro da zona de conforto térmico. Em aproximadamente 80% do tempo, o ambiente externo manteve-se abaixo da zona de conforto térmico para leitões desmamados e acima da faixa de conforto em 19% do tempo analisado (Figura 12).

Sarubbi et al. (2010) observaram que o tratamento com piso aquecido com controle automático de temperatura, em creche suína, foi o menos eficiente quanto a distribuição da temperatura ao longo do tempo analisado em relação ao sistema de aquecimento por resistências elétricas suspensas e aquecimento convectivo, ambos controlados por termostato. Além disso, os autores verificaram que o aquecimento com controle automático de temperatura manteve-se mais tempo (aproximadamente 49%) entre 20 e 24°C, ou seja, abaixo da temperatura crítica inferior. Este efeito verificado pelos autores para o sistema de aquecimento com controle eletrônico pode estar associado ao tipo de aquecimento e não a tecnologia de controle.

Quanto à umidade relativa do ar, o ambiente externo manteve-se por mais tempo (61%) dentro da zona de conforto térmico de 50 a 70%, de acordo com Moura (1999), em comparação a T1 e T2 (Figura 13). O tratamento T2 manteve-se por mais tempo (32,5%) dentro da zona de conforto em relação a T1 (7,2%). Isto ocorreu porque T1 foi o tratamento que apresentou as

temperaturas mais elevadas em relação ao tratamento T2 e ao ambiente externo. Com exceção do ambiente externo, os tratamentos não apresentaram valores de umidade relativa do ar acima de 70%.

A umidade relativa do ar tem um papel importante como facilitador ou complicador no processo de trocas de calor entre o animal e o ambiente por vias evaporativas (CAMPOS et al., 2009).

No entanto, alguns autores discutem sobre a validade da importância da umidade relativa em processos de trocas térmicas.

Morés et al. (2000), em trabalho realizado em creches suína, discute que a umidade relativa do ar elevada sob condições de calor, prejudica a habilidade do suíno em perder calor, além de reduzir a higiene do ar por aumentar a viabilidade de microrganismos patogênicos.

Porém, Sarubbi (2009) afirma que em relação às trocas térmicas entre os animais e o ambiente, a umidade relativa pode não ser tão importante quanto à temperatura, pois, segundo a mesma, há prevalência de trocas térmicas secas e sob condições de pressão constante os animais, não sofrem influência da umidade relativa do ar.

Huynh et al. (2005b), em estudo realizado com suínos em fase de crescimento, concluiu que a temperatura ambiente afeta fortemente as mudanças fisiológicas e o desempenho dos suínos, enquanto que a umidade relativa tem um efeito relativamente menor sobre o estresse dos suínos em crescimento. No entanto, os autores constataram que a combinação de alta temperatura e alta umidade relativa reduziu o ganho de peso diário dos animais.

4.2.1.2 Índices de conforto térmico

Em relação aos índices de conforto térmico, Índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia, houve significância para a interação entre tratamentos e horas do dia ($P < 0,01$). Assim, realizou-se o desdobramento da interação tratamentos x horas do dia para ITU e entalpia, estudando-se o efeito dos tratamentos dentro de cada hora do dia. As médias de ITU e entalpia estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Médias de ITU e entalpia, durante o período de 24 horas.

Hora	ITU			Entalpia (kJ.kg ar seco-1)		
	¹ T1	² T2	Externo	T1	T2	Externo
0	77,91 a	75,13 b	62,91 c	61,53 a	57,79 b	39,33 c
1	77,61 a	74,78 b	62,38 c	60,86 a	57,12 b	38,53 c
2	77,44 a	74,37 b	61,54 c	60,53 a	56,36 b	37,22 c
3	77,28 a	74,05 b	61,12 c	60,19 a	55,73 b	36,57 c
4	77,01 a	73,71 b	61,03 c	59,71 a	55,11 b	36,49 c
5	76,80 a	73,52 b	60,82 c	59,25 a	54,78 b	36,15 c
6	76,76 a	73,37 b	60,72 c	59,21 a	54,50 b	36,05 c
7	76,84 a	73,62 b	61,52 c	59,69 a	55,11 b	37,30 c
8	77,81 a	74,89 b	64,12 c	62,14 a	58,00 b	41,58 c
9	78,63 a	76,13 b	67,32 c	63,79 a	60,35 b	46,44 c
10	79,74 a	77,45 b	69,62 c	65,44 a	62,17 b	49,44 c
11	80,32 a	78,20 b	71,56 c	66,48 a	63,45 a	51,90 b
12	80,46 a	78,24 b	72,83 c	66,70 a	63,70 a	53,41 b
13	80,50 a	78,49 b	73,64 c	67,24 a	64,73 a	54,56 b
14	80,49 a	78,79 b	73,95 c	67,01 a	64,68 a	54,63 b
15	80,57 a	78,88 a	74,03 c	67,20 a	65,12 a	54,96 b
16	80,71 a	78,95 b	73,22 c	67,98 a	65,72 a	54,14 b
17	80,71 a	78,69 b	70,98 c	67,83 a	65,21 a	50,86 b
18	80,21 a	78,19 b	68,45 c	66,43 a	63,64 a	47,20 b
19	79,86 a	77,63 b	67,18 c	65,58 a	62,51 b	45,44 c
20	79,53 a	77,18 b	66,31 c	64,93 a	61,69 b	44,28 c
21	79,41 a	76,79 b	65,31 c	64,64 a	60,95 b	42,81 c
22	79,04 a	76,36 b	64,82 c	63,78 a	59,97 b	42,18 c
23	78,68 a	75,91 b	63,98 c	63,01 a	59,12 b	40,86 c

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ($P > 0,05$) conforme teste de Tukey. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID; ²T2: aquecimento resistivo com termostato e ambiente externo.

Analisando as médias de ITU da tabela 5, verifica-se que houve diferença significativa ($P < 0,01$) entre T1 e T2 em todas as horas do dia, exceto às 15h00min. Além disso, T1 apresentou as maiores médias de ITU, durante as 24 horas, em relação aos demais tratamentos. Os tratamentos T1 e T2 diferiram do ambiente externo em todas as horas do dia, apresentando as maiores médias em todo o período de 24 horas.

Em relação à entalpia, que é um índice que quantifica o calor existente em uma parcela de massa de ar seco, houve diferença significativa ($P < 0,01$) entre T1 e T2, nos horários de 0h00min às 10h00min e 19h00min às 23h00min (Tabela 5), e T1 apresentou os maiores valores de entalpia. No período mais quente (11h00min às 18h00min), os tratamentos T1 e T2 não diferiram

entre si (Tabelas 3 e 5). Isso indica que a quantidade de energia calorífica presente na parcela de ar foi estatisticamente à mesma nos dois tratamentos nos horários mais quentes do dia.

Além disso, os tratamentos T1 e T2 diferiram do ambiente externo ($P < 0,01$) em todo o período analisado (24 h).

O efeito das horas do dia dentro de cada tratamento (T1, T2 e ambiente externo) para os índices de conforto ITU e entalpia foi analisado por meio de regressão (Figuras 14 e 15). As equações de regressão, de ITU e entalpia, ajustadas para cada tratamento estão apresentadas na tabela 6. Com base nesta análise, foi possível observar o comportamento de ITU e entalpia ao longo do dia.

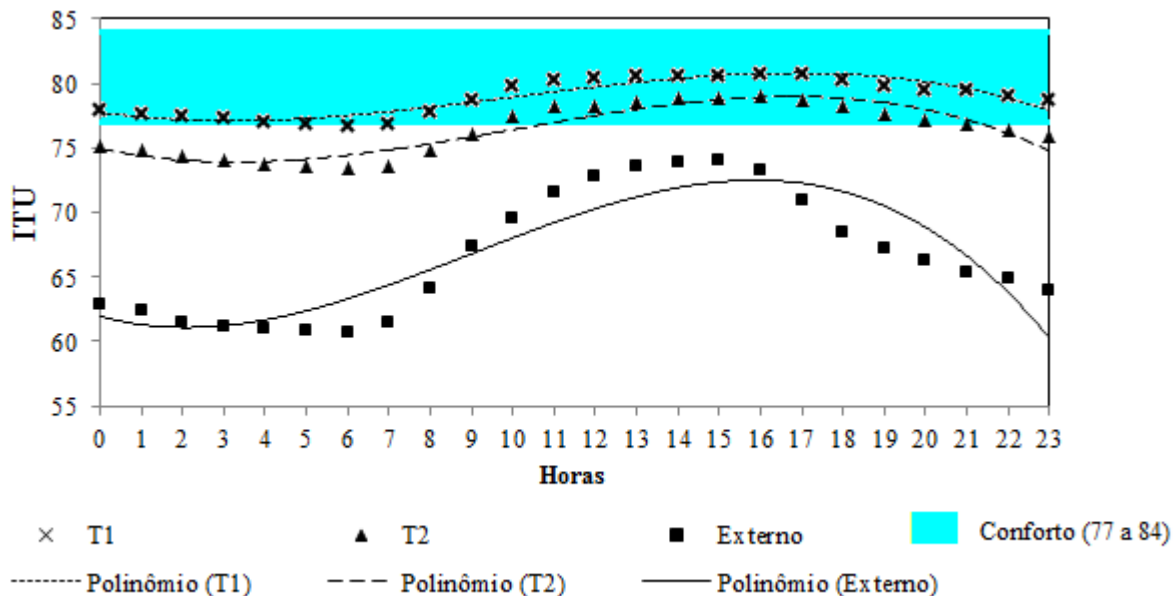


Figura 14. Curvas de regressão do índice de temperatura e umidade (ITU) em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo, em creche suína.

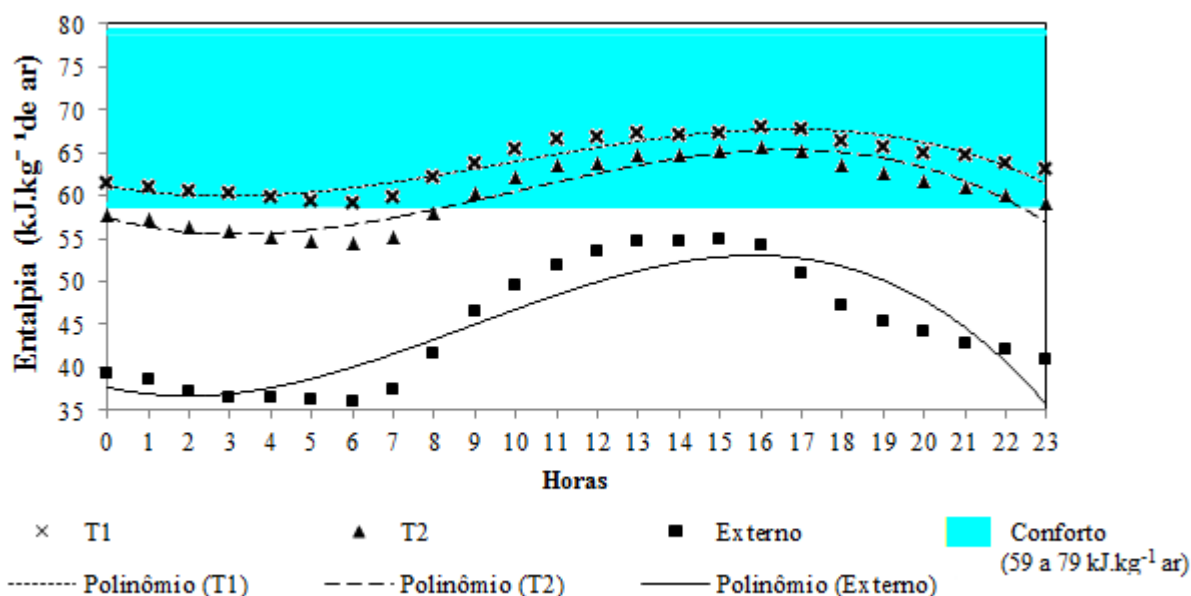


Figura 15. Curvas de regressão de entalpia em função das horas do dia, ajustadas para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo, em creche suína.

Tabela 6. Modelos de regressão para a estimativa do ITU e da Entalpia em função das horas do dia (h) e os respectivos coeficientes de determinação (R²).

Tratamento	Modelo	Pr < F	R ²
¹ T1	ITU = 77,77 - 0,455h + 0,0857h ² - 0,0028h ³	0,0001**	87,56%
¹ T2	ITU = 74,95 - 0,679h + 0,124h ² - 0,0041h ³	0,0001**	88,28%
Externo	ITU = 61,95 - 0,868h + 0,234h ² - 0,0087h ³	0,0001**	81,83%
T1	Entalpia = 61,15 - 0,88h + 0,17h ² - 0,006h ³	0,0001**	88,91%
T2	Entalpia = 57,43 - 1,27h + 0,24h ² - 0,008h ³	0,0001**	89,13%
Externo	Entalpia = 37,72 - 1,13h + 0,32h ² - 0,012h ³	0,0001**	81,77%

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID; ²T2: aquecimento resistivo com termostato e ambiente externo.

De acordo com a análise de regressão, houve um efeito significativo de horas do dia sobre ITU e entalpia, ao nível de 1% de probabilidade (P < 0,01), para todos os tratamentos. Ou seja, houve variação significativa dos índices de conforto térmico, ITU e entalpia, durante o período de 24 horas. Tanto para ITU quanto para entalpia, o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial cúbico (Tabela 6).

Campos (2006), em teste realizado em creche suína, verificou regressão significativa para o índice de ITGU em função das horas do dia, no qual o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o polinomial cúbico, com coeficientes de determinação entre 80 e 90%. Silva-Miranda et al. (2012), observou significância para o modelo de regressão cúbica dos dados de níveis de ruído em função da entalpia, em creche suína, com coeficiente de determinação igual a 86%.

Com base nos valores de referência recomendados por Sarubbi et al. (2010), que utilizou como faixa de conforto as temperaturas de 28 a 30°C e os valores ideais de umidade de 50 a 70%, considerando como zona de conforto térmico de ITU, para leitões em fase de creche, o intervalo de 77 a 84, observa-se que T1 manteve o ambiente dentro da faixa de conforto em praticamente todo o período de 24 horas, de acordo com a figura 14. Quanto à T2, o ambiente da baía manteve-se dentro da faixa de conforto de ITU entre 10h00min e 20h00min. O ambiente externo apresentou médias de ITU fora da zona de conforto em todas as horas do dia.

Nota-se que no período de 9h00min às 23h00min, o tratamento T1 apresentou médias de Tbs acima da faixa de conforto térmico de 28 a 30°C e ao longo de 24 horas apresentou médias de UR abaixo da zona de conforto de 50 a 70% (Figura 10 e 11). No entanto, verificou-se que o mesmo permaneceu dentro dos limites de conforto de ITU em todo o período analisado. Isso indica que pode haver uma compensação entre as variáveis Tbs e UR em relação às condições de conforto térmico, ou seja, quando Tbs encontra-se acima e a UR abaixo da faixa de conforto ou Tbs abaixo e UR acima, os animais podem não estar sob condições de estresse térmico, de acordo com o índice de ITU.

Este resultado corrobora com o encontrado por Sarubbi (2009), que em seu estudo com aquecimento em creche suína, observou que em alguns casos de temperatura abaixo e umidade acima da zona de conforto, ou temperatura acima e umidade abaixo, apresentaram ITU dentro da faixa adequada.

Quanto ao tratamento T2, o intervalo em que as médias de ITU ficaram abaixo da zona adequada (Figura 14) foi o mesmo em que a temperatura ficou abaixo dos limites de conforto térmico (Figura 10).

Quanto a zona de conforto para entalpia, Silva-Miranda et al. (2012) afirmam que a faixa de conforto térmico para leitões em fase de creche, com 35 dias de idade, é de 48 a 52 kJ.kg⁻¹ de ar seco. No entanto, estes valores são estimados com base nos limites de conforto de temperatura

e umidade e os autores adotaram como zona de conforto de temperatura, para a fase de creche, o intervalo de 20 a 30°C e de umidade de 50 a 70%.

Pandorfi et al. (2004) e Silva et al. (2005) também calcularam os valores ideais de entalpia, para leitões lactantes, tomando como base as condições de conforto de temperatura e umidade para a fase de maternidade.

Desta forma, considerando a faixa de conforto utilizada para Tbs neste experimento (28 a 30°C) e a faixa de conforto de UR (50 a 70%) encontrada na literatura (MOURA, 1999), tem-se que a entalpia ideal para leitões em fase de creche encontra-se entre 59 e 79 kJ.kg⁻¹ de ar seco. Com base nesses valores, pode-se observar na figura 15 que T1 ficou dentro da zona de conforto durante todo o período de 24 horas. O tratamento T2 manteve o ambiente dentro da faixa de conforto entre 9h00min e 23h00min. O ambiente externo não apresentou médias dentro da zona de conforto em nenhum horário do dia.

Além disso, os tratamentos T1 e T2 não apresentaram médias acima de 80 kJ.kg⁻¹ de ar seco, de acordo com o recomendado por Silva-Miranda et al. (2012).

Os resultados de ITU obtidos neste trabalho diferem dos encontrados por Sarubbi et al. (2010), no qual o sistema de aquecimento controlado por controlador com processador eletrônico e os sistemas controlados por termostatos, em creche suína, encontraram-se abaixo da zona de conforto de ITU. Além disso, a autora discute que o aquecimento por resistências elétricas suspensas controladas por termostato foi o melhor tratamento e o piso aquecido com controlador eletrônico o pior, em relação a este índice. Este resultado quanto ao controlador eletrônico pode estar relacionado com o sistema de aquecimento utilizado e não com o tipo de controle.

Rossi et al. (2012), observaram que no tratamento com controle automático para acionamento de sistema de ventilação e nebulização em instalações de cachaços, as médias de ITU e de entalpia ultrapassaram os limites de segurança para esta fase (até 70 para ITU e entre 60,44 a 68,62 para entalpia).

As figuras 16 e 17 ilustram a distribuição do ITU e da entalpia ao longo de todo o período do experimento em que o sistema de aquecimento ficou ligado.

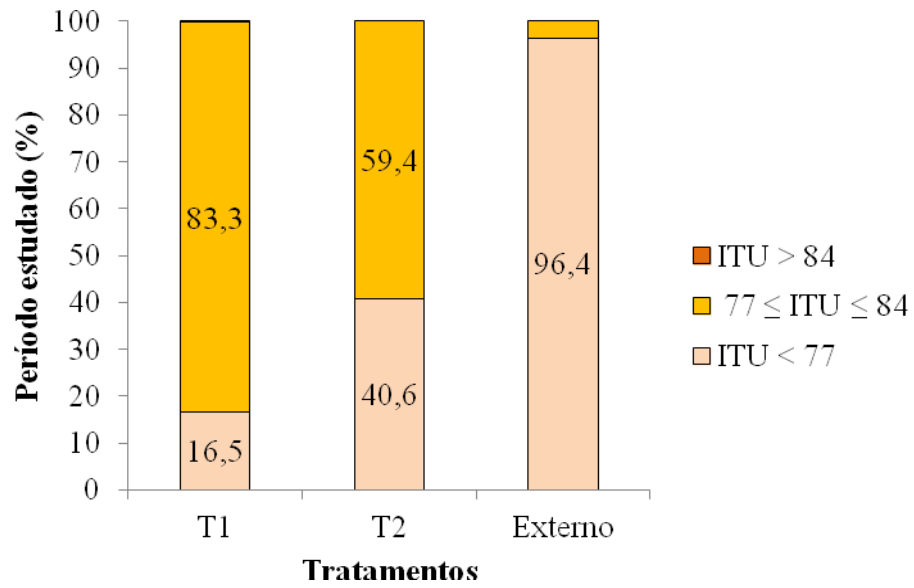


Figura 16. Distribuição do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), durante o período de análise, em creche suína para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $77 \leq \text{ITU} \leq 84$.

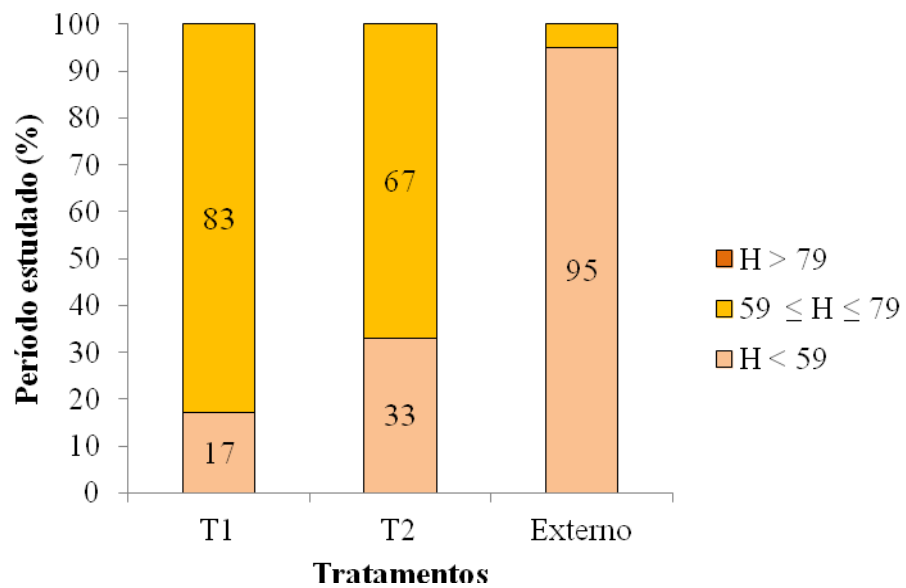


Figura 17. Distribuição da Entalpia (H), durante o período de análise, em creche suína, para os tratamentos T1, T2 e ambiente externo. Conforto: $59 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ ar} \leq H \leq 79 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ ar}$.

Em relação à figura 16, nota-se que o tratamento T1 foi mais eficiente em manter os animais dentro da zona de conforto térmico de ITU (83,3%), em comparação ao tratamento T2 (59,4%). O ambiente externo ficou 96,4% do tempo abaixo da faixa ideal de ITU.

O mesmo foi observado para a entalpia, na figura 17, no qual o tratamento T1 também manteve os leitões por mais tempo dentro da zona de conforto térmico (83%), em relação ao tratamento T2 (67%). O ambiente externo também se manteve maior parte do tempo abaixo da zona adequada (95%).

Estes resultados diferem dos encontrados por Rossi et al. (2012), que ao testar um sistema de climatização com controle automático em instalações de cachaço, verificou que o ITU permaneceu maior parte do tempo (77,8%) dentro da zona crítica de 71 a 78.

No entanto, Sarubbi et al. (2008), em estudos com sistemas de climatização em instalações para suínos adultos, concluiu que a utilização de climatização com controle automático melhora as condições de conforto para os animais.

Desta forma, com base nos índices de conforto térmico analisados e no comportamento das variáveis climáticas, é possível inferir que o sistema de aquecimento com controlador de temperatura do tipo PID foi mais eficiente em proporcionar aos leitões condições de conforto, em comparação ao sistema de aquecimento controlado por termostato.

Além disso, verificou-se que, apesar do controlador PID apresentar a característica de manter a variável controlada praticamente constante ao longo do tempo (OGATA, 2000), as variáveis climáticas variaram de forma significativa durante o período de 24 horas. Porém, o tratamento com controlador PID apresentou menores variações térmicas em comparação ao termostato.

4.2.1.3 Geoestatística das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico

Na tabela 7, estão apresentados os valores de médias, medianas, coeficientes de variação e teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov dos dados de temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia. Estes resultados correspondem à estatística descritiva realizada nos dados coletados em 80 pontos equidistantes dentro da baía de cada tratamento às 7h00min, 12h00min e 18h00min.

Tabela 7. Estatística descritiva de Tbs, UR, ITU e entalpia para os horários de 7h00min, 12h00min e 18h00min.

Variáveis	Trat.	Hora	Média	Mediana	¹ C.V. (%)	² d
Tbs (°C)	³ T1	7	26.08	26.28	12.31	0.083 ^{ns}
		12	29.43	29.76	6.71	0.12
		18	29.37	29.86	6.90	0.12
	⁴ T2	7	27.04	27.43	9.53	0.09 ^{ns}
		12	27.46	27.95	8.31	0.12
		18	29.50	29.71	5.61	0.09 ^{ns}
UR (%)	T1	7	46.95	46.91	3.21	0.075 ^{ns}
		12	40.31	39.49	5.80	0.16
		18	39.83	39.81	4.57	0.05 ^{ns}
	T2	7	41.54	40.84	17.06	0.17
		12	43.04	42.26	5.40	0.17
		18	41.83	41.67	4.40	0.11
ITU	T1	7	72.22	72.33	5.95	0.08 ^{ns}
		12	75.73	76.06	3.38	0.103
		18	75.66	75.92	3.45	0.12
	T2	7	72.74	73.20	3.54	0.09 ^{ns}
		12	73.56	74.03	4.02	0.10 ^{ns}
		18	76.11	76.29	2.82	0.10 ^{ns}
Entalpia (kJ.kg ⁻¹ de ar seco)	T1	7	51.80	51.58	15.90	0.085 ^{ns}
		12	55.86	56.48	8.36	0.12
		18	55.56	56.23	8.68	0.13
	T2	7	50.44	50.68	5.36	0.11
		12	52.79	53.18	10.41	0.12
		18	57.18	57.81	7.39	0.11

¹ C.V. = Coeficiente de variação. ² d = teste de normalidade. ^{ns} não-significativo para o teste de Kolmogorov-Smirnov. ³T1 = aquecimento resistivo com controlador PID, ⁴T2 = aquecimento resistivo com termostato.

Com base nos valores médios obtidos dos dados da distribuição espacial, observou-se que a Tbs ficou dentro da faixa de conforto de 28 a 30°C nos horários de 12h00min e 18h00min no tratamento T1 e apenas às 18 horas no tratamento T2. As médias de UR não ficaram dentro da zona de conforto de 50 a 70% (MOURA, 1999) em ambos os tratamentos. Estes valores de umidade relativa abaixo da zona de conforto, nos tratamentos T1 e T2, já foram evidenciados na análise estatística dos dados coletados durante todo o período do estudo (Tabela 3).

Quanto aos índices de conforto, T1 e T2 não apresentaram médias dentro da faixa de conforto de ITU de 77 a 84 (SARUBBI et al., 2010) e de entalpia de 59 a 79 kJ.kh⁻¹ de ar seco.

De acordo com os resultados obtidos no teste de Kolmogorov-Smirnov, notou-se normalidade para os dados de Tbs apenas às 7h00min no tratamento T1 e às 7h00min e 18h00min no tratamento T2. Quanto a UR, houve normalidade dos dados apenas em T1 às 7h00min e 18h00min. Em relação aos índices de conforto, ITU apresentou normalidade para o tratamento T2 e no tratamento T1 somente houve normalidade dos dados às 7h00min. A entalpia apresentou normalidade apenas no tratamento T1 às 7h00min.

No entanto, os valores de média e mediana são próximos em todas as variáveis estudadas, indicando que os dados não apresentam assimetria acentuada (Tabela 7). De acordo com Little e Hills (1978), quando os valores da média e mediana estão próximos, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Segundo Isaaks e Srivastava (1989) e Warrick e Nielsen (1980), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, porém é conveniente que a distribuição não apresente assimetria acentuada.

O coeficiente de variação (C.V.), quando elevado, pode ser considerado o primeiro indicador da existência de heterogeneidade nos dados (Tabela 7). Ao considerar os critérios de classificação de Warrick e Nielsen (1980), observou-se que os dados de Tbs apresentaram baixa variabilidade (C.V. < 12%) em todos os horários analisados no tratamento T2 e no tratamento T1 às 12h00min e 18h00min. No tratamento T1 às 7h00min os dados apresentaram média variabilidade (12% < CV < 24%). Os dados de UR apresentaram baixa variabilidade em todos os horários estudados em T1 e em T2 às 12h00min e 18h00min. Às 7h00min, os dados de UR em T2 apresentaram média variabilidade. Quanto aos índices de conforto, ITU apresentou baixa variabilidade em todos os horários analisados em T1 e T2; a entalpia apresentou baixa variabilidade em T1 às 12h00min e 18h00min e em T2 apresentou baixa variabilidade em todos os horários analisados. Às 7 horas em T1 os dados apresentaram média variabilidade.

Segundo Vanni (1998), coeficientes de variação acima de 35% representam que a série é heterogênea e que a média tem pouco significado, o que não ocorreu em nenhuma das variáveis analisadas.

Os parâmetros da análise geoestatística, como modelo do semivariograma ajustado, alcance e grau de dependência espacial, estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros dos semivariogramas experimentais de Tbs, UR, ITU e entalpia para os horários de 7h00min, 12h00min e 18h00min.

Variáveis	Trat.	Horário	Modelo	¹ A (m)	² G.D.E. (%)	³ R ²
Tbs (°C)	T1	7	Gaussiano	1.54	0.09	0.99
		12	Esférico	1.91	0.23	0.94
		18	Esférico	1.94	0.23	0.96
	T2	7	Gaussiano	1.54	0.14	0.99
		12	Gaussiano	1.52	0.17	0.99
		18	Gaussiano	1.54	0.03	0.99
UR (%)	T1	7	Gaussiano	3.99	13.89	0.53
		12	Exponencial	4.54	21	0.61
		18	Esférico	3.22	0.21	0.90
	T2	7	Gaussiano	1.63	2.00	0.93
		12	Esférico	3.58	20.13	0.66
		18	Gaussiano	4.82	14.85	0.70
ITU	T1	7	Gaussiano	1.52	0.05	0.99
		12	Gaussiano	1.52	0.14	0.99
		18	Gaussiano	1.51	0.13	0.99
	T2	7	Gaussiano	1.52	0.13	0.99
		12	Gaussiano	1.52	1.02	0.99
		18	Gaussiano	1.52	0.19	0.99
Entalpia (kJ.kg ⁻¹ de ar seco)	T1	7	Gaussiano	1.52	0.10	0.99
		12	Gaussiano	1.54	1.60	0.97
		18	Gaussiano	1.54	1.76	0.99
	T2	7	Gaussiano	1.49	5.28	0.97
		12	Gaussiano	1.54	0.29	0.99
		18	Gaussiano	1.56	3.03	0.97

¹A = alcance. ²G.D.E. = grau de dependência espacial. ³R² = coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada. T1 = aquecimento resistivo com controlador PID. T2 = aquecimento resistivo com termostato.

Os resultados da análise geoestatística mostraram que houve dependência espacial para todas as variáveis analisadas em T1 e T2 (Tabela 8). As variáveis se ajustaram ao modelo de semivariograma gaussiano, com exceção de Tbs no tratamento T1, que se ajustou ao modelo esférico às 12h00min e 18h00min, e de UR, que apresentou ajuste esférico em T1 às 18h00min e em T2 às 12h00min e apresentou ajuste exponencial em T1 às 12h00min.

Segundo Isaaks e Srivastava (1989), estes modelos são transitórios, pois possuem patamar, ou seja, a partir de um determinado valor de distância entre as amostras, não há mais dependência espacial. A essa distância denomina-se alcance.

Quanto ao alcance da dependência espacial (A), o mesmo foi semelhante entre os tratamentos T1 e T2 em todas as variáveis estudadas, com exceção de UR que apresentou maior alcance em T1 às 7h00min e 12h00min em relação a T2 (Tabela 8).

Em relação ao grau de dependência espacial (GDE), este mostrou que houve forte dependência espacial em todas as variáveis analisadas.

Segundo Vieira (2000), quando uma variável apresenta diferença de um local para outro com algum grau de continuidade, expresso pela dependência espacial, a geoestatística permite uma visão espacial útil ao planejamento e ao controle das informações do ambiente de produção, possibilitando a interpolação através da krigagem, que apresenta a vantagem de fornecer mapas de isolinhas precisos.

Os mapas de krigagem de temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa (UR), índice de temperatura e umidade (ITU) e entalpia estão apresentados nas figuras 18, 19, 20 e 21, respectivamente.

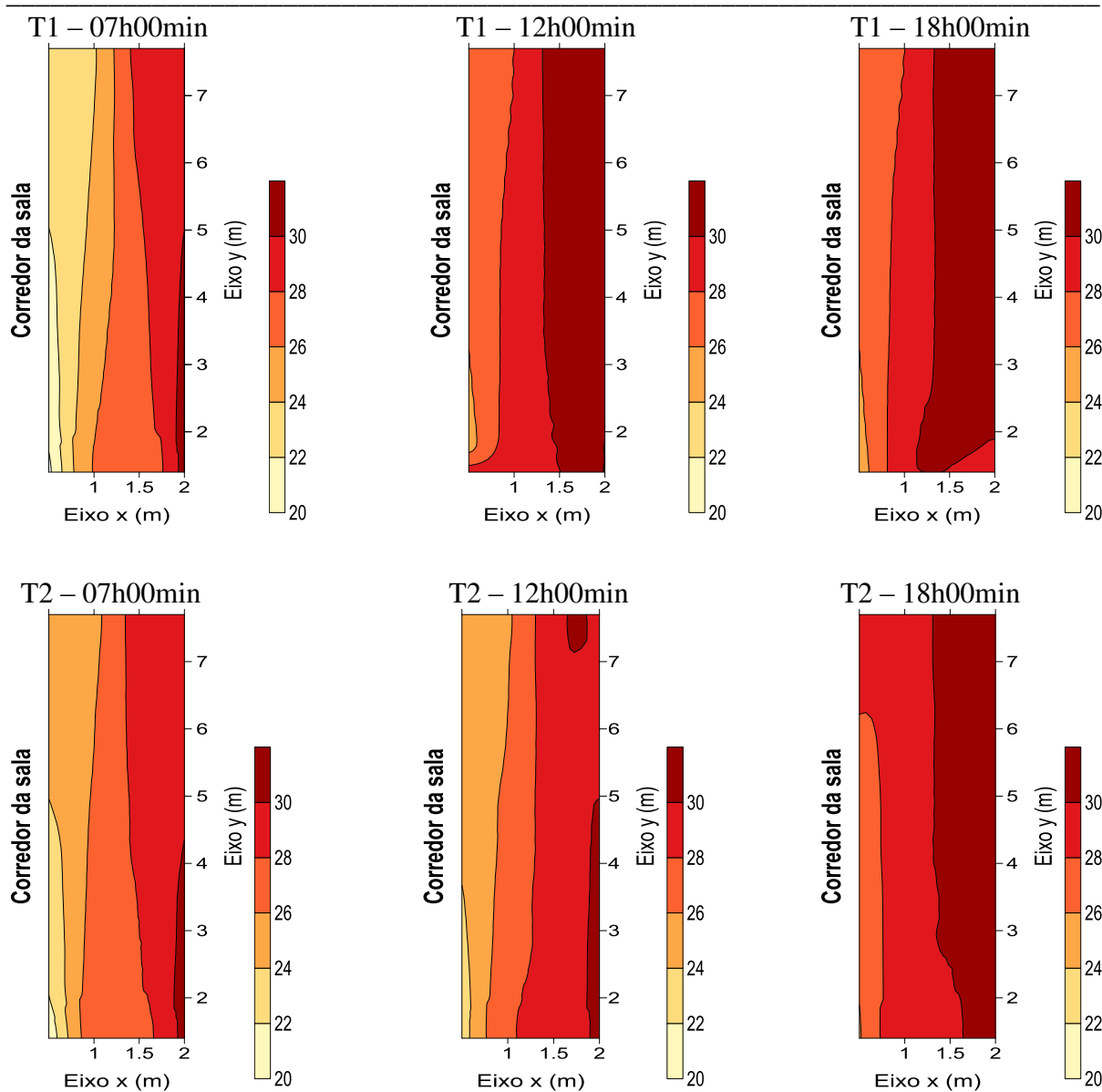


Figura 18. Mapas de krigagem da Tbs (°C) dos tratamentos T1 e T2. A localização do corredor da sala está indicada nos mapas de cada baia. A distância do eixo x inicia-se na lateral da baia mais próxima ao corredor da sala nos dois tratamentos.

Observa-se na figura 18 que em T1 e T2 a temperatura apresentou valores mais baixos na lateral da baia voltada para o corredor da sala e apresentou temperaturas mais elevadas nas áreas da baia mais distantes do corredor da sala. Esses valores mais baixos na lateral voltada para o corredor da sala se deve ao fato da ocorrência de entrada de ar pela porta, no qual essa região não

atingiu a faixa de conforto de 28 a 30°C (SARUBBI et al., 2010) em ambos os tratamentos. Na região onde as temperaturas foram mais elevadas, a temperatura atingiu a faixa de conforto térmico nos dois tratamentos. Pandorfi et al. (2004), em estudo com aquecimento em escamoteador, discutem que a movimentação de ar dentro da instalação pode influenciar a distribuição das isotermas.

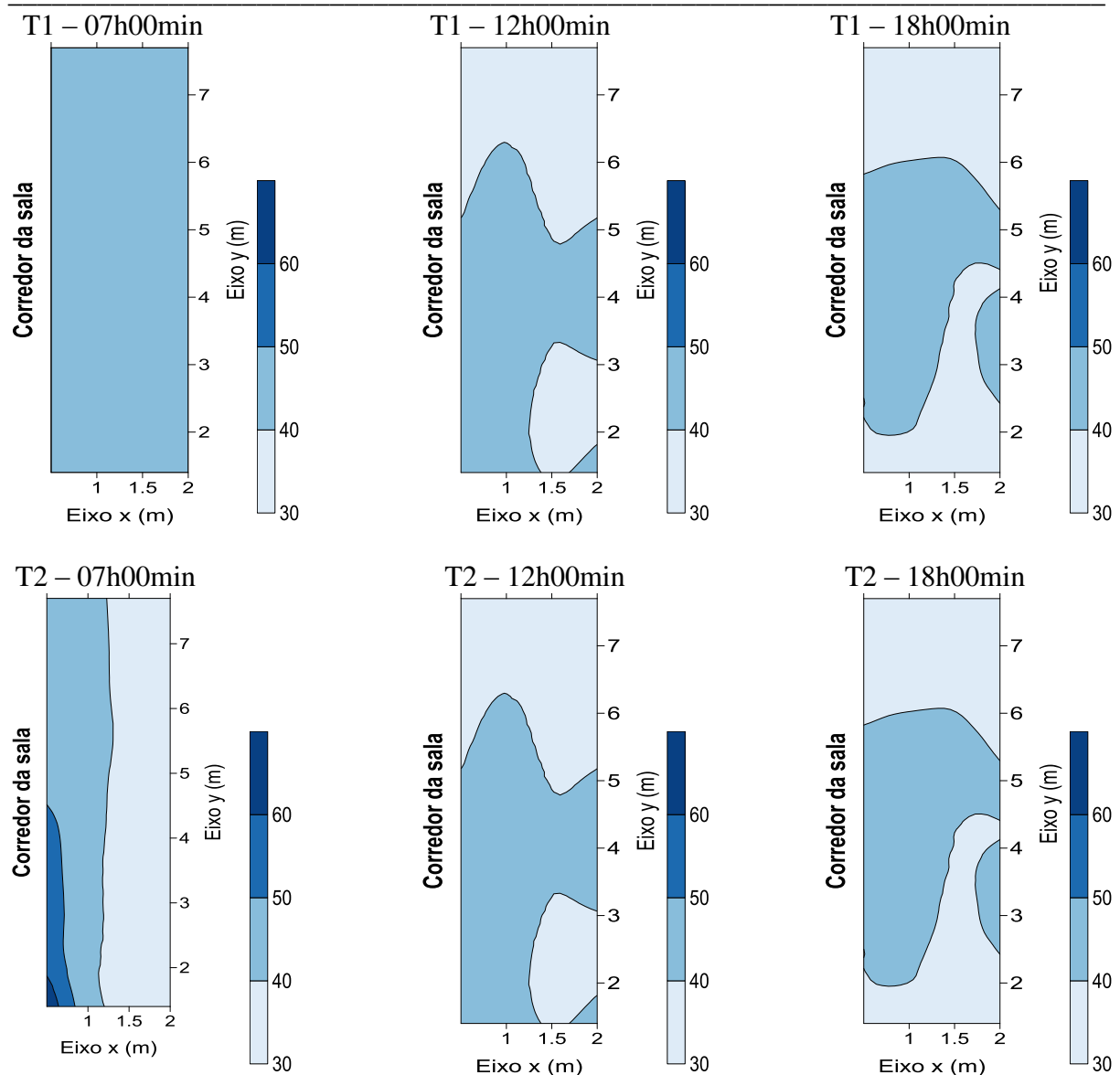


Figura 19. Mapas de krigagem da UR (%) dos tratamentos T1 e T2. A localização do corredor da sala está indicada nos mapas de cada baia. A distância do eixo x inicia-se na lateral da baia mais próxima ao corredor da sala nos dois tratamentos.

A distribuição da UR foi homogênea em T1 e T2 (Figura 19). As baias apresentaram valores de UR entre 30 e 40%, que são considerados baixos em relação à zona de conforto para leitões, que de acordo com Moura (1999) é de 50 a 70%. O uso de sistemas de aquecimento e a manutenção de temperaturas elevadas contribuem para a baixa umidade relativa verificada nos dois tratamentos. Segundo Pandorfi et al. (2004), esta condição torna o ambiente mais seco.

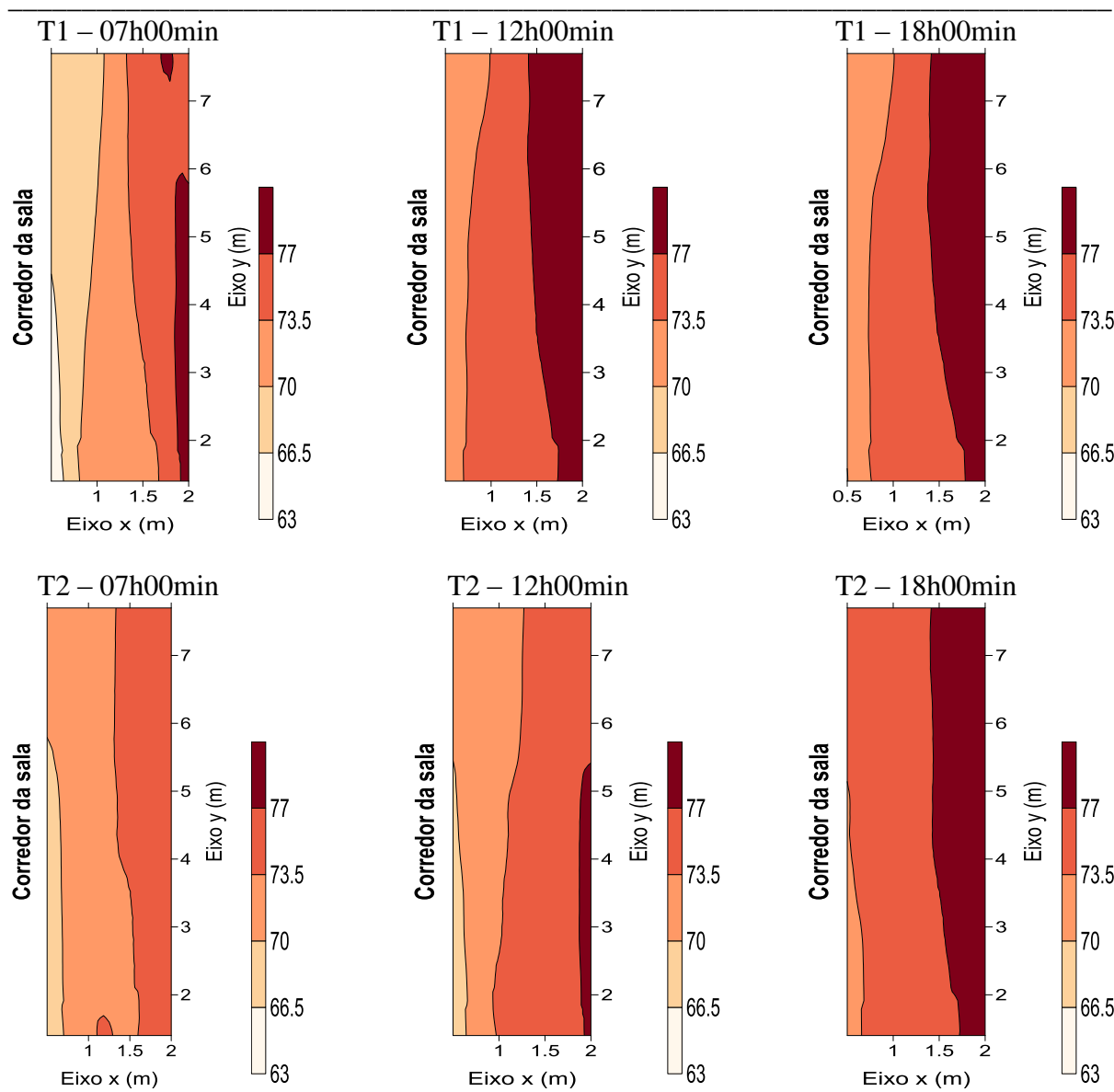


Figura 20. Mapas de krigagem do ITU dos tratamentos T1 e T2. A localização do corredor da sala está indicada nos mapas de cada baia. A distância do eixo x inicia-se na lateral da baia mais próxima ao corredor da sala nos dois tratamentos.

A distribuição espacial do ITU foi semelhante à temperatura (Figura 20), ou seja, apresentou valores mais baixos na região da baía mais próxima ao corredor da sala, em T1 e T2. Em T1, na região da baía onde o ITU apresentou valores mais elevados, este índice alcançou a faixa de conforto térmico de 77 a 84 (SARUBBI et al., 2010), em todos os horários analisados. Em T2, os valores de ITU ficaram abaixo do conforto em toda a área da baía às 7 horas.

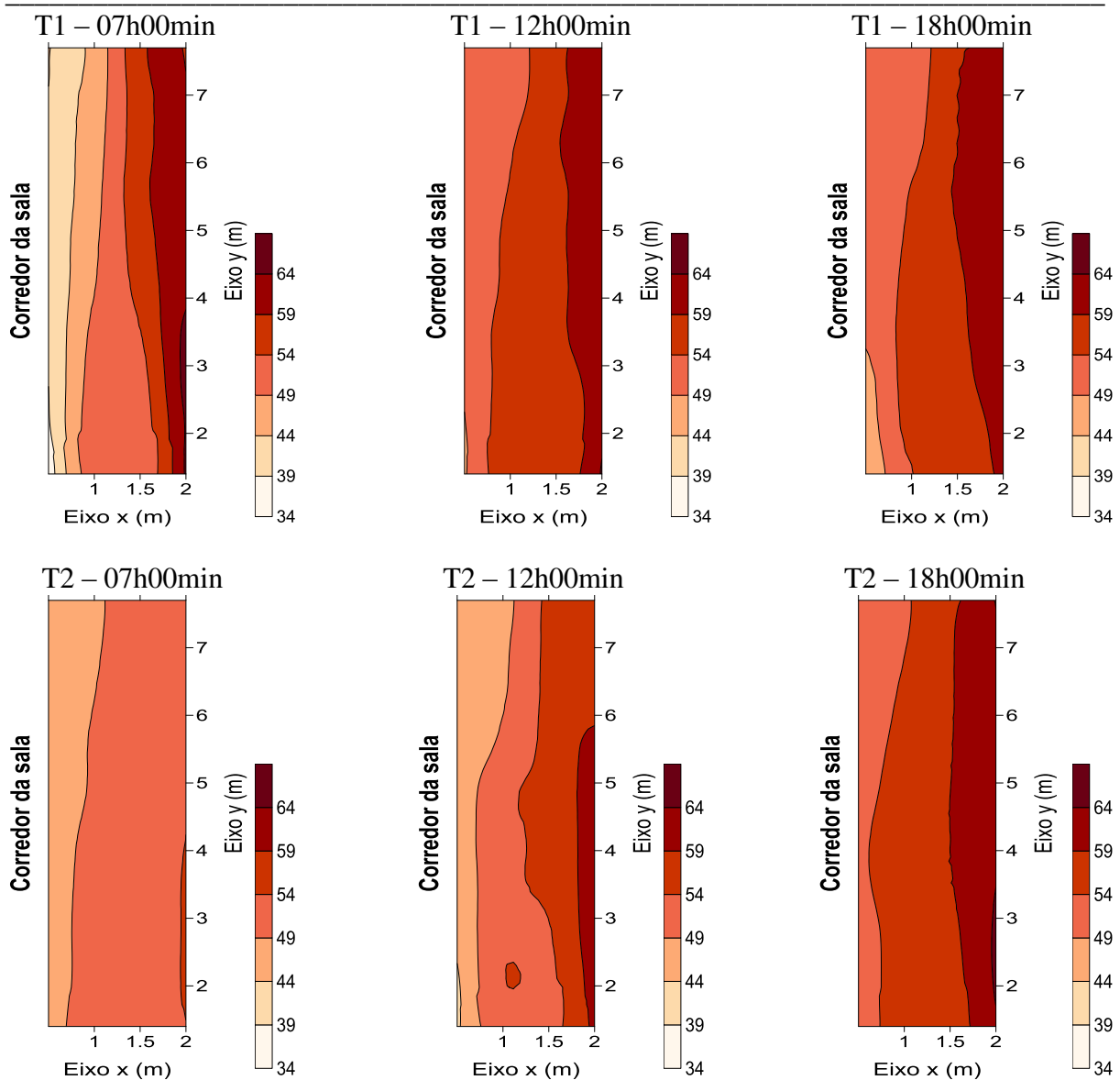


Figura 21. Mapas de krigagem da entalpia (kJ.kg^{-1} de ar seco) dos tratamentos T1 e T2. A localização do corredor da sala está indicada nos mapas de cada baía. A distância do eixo x inicia-se na lateral da baía mais próxima ao corredor da sala nos dois tratamentos.

Analisando a figura 21, observa-se que a entalpia também apresentou distribuição espacial semelhante à temperatura, com valores mais baixos na região da baía próxima ao corredor da sala em T1 e T2. Quanto a faixa de conforto térmico, T1 atingiu a zona de conforto de 59 a 79 kJ.kg⁻¹ de ar seco, na região onde ocorreu os maiores valores de entalpia, em todos os horários estudados. Quanto a T2, apenas nos horários de 12 e 18 horas a entalpia alcançou a faixa de conforto; às 7 horas os valores de entalpia ficaram abaixo da zona de conforto em toda a área da baía.

4.2.2 Desempenho Produtivo

As médias referentes ao peso inicial (peso dos animais ao desmame), peso final (peso 35 dias após o desmame), ganho de peso (GP) e ganho de peso diário (GPD), durante o período analisado, estão apresentadas na tabela 9.

Tabela 9. Médias do peso inicial, peso final, GP e GPD, de leitões em fase de creche.

Tratamentos	Peso Inicial (kg.animal ⁻¹)	Peso Final (kg.animal ⁻¹)	GP (kg.animal ⁻¹)	GPD (kg.dia ⁻¹ . animal ⁻¹)
¹ T1	5,4 (± 0,3) a	12,7 (±0,3) a	7,3 (±0,3) a	0,21 (±0,3) a
² T2	5,6 (± 0,2) a	10,8 (± 0,2) b	5,2 (± 0,2) b	0,15 (± 0,2) b

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre a 5% de probabilidade, de acordo com teste F. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID, ²T2: aquecimento resistivo com termostato.

Os tratamentos T1 e T2 diferiram entre si (P < 0,05) em relação aos dados de peso final, ganho de peso e ganho de peso diário (Tabela 9). Quanto ao peso inicial, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Analisando os dados da tabela 9, verificou-se que os animais do tratamento T1 apresentaram melhor desempenho produtivo em relação ao tratamento T2, com as maiores médias de peso final, ganho de peso e ganho de peso diário.

No entanto, os tratamentos apresentaram valores de peso final e ganho de peso médio diário abaixo do recomendado pelo manual de genética Agroceres Pic (2012), o qual apresenta como valores ideais para leitões aos 35 dias após o desmame, peso final igual a 19,1 kg e ganho de peso diário igual a 0,617 kg.

Além disso, as médias de ganho de peso e ganho de peso diário ficaram dentro da faixa considerada crítica por Kuns et al. (2003) e Amaral et al. (2006), no qual adotam como valores críticos para leitões desmamados aos 21 dias e com idade de 56 dias na saída da creche, os valores de ganho de peso abaixo de 12,9 kg e ganho de peso diário abaixo de 0,37 kg. De acordo com os autores, a meta é atingir valores acima de 13,3 kg de ganho de peso por animal e valores acima de 0,38 kg de ganho de peso diário.

Os resultados de ganho de peso também estão abaixo dos encontrados por Araújo et al. (2011), que em trabalho realizado em creche suína com leitões desmamados aos 21 dias de idade, obtiveram ganho de peso igual a 9,25 kg aos 28 dias após o desmame.

Verificou-se também que o peso inicial dos animais nos dois tratamentos ficou dentro dos limites considerados críticos para leitões com 21 dias de idade, de acordo com Kuns et al. (2003) e Amaral et al. (2006). Os autores adotam como críticos valores abaixo de 5,6 kg de peso ao desmame.

De acordo com dados apresentados por Kummer et al. (2009), os animais com maior peso médio ao desmame, igual a 6,7 kg, apresentaram ganho de peso médio superior, igual a 14,9 kg, 39 dias após o desmame, em comparação aos animais com menor peso médio ao desmame, 4,9 kg, que apresentaram ganho de peso médio igual a 8,6 kg. Além disso, os autores discutem que o peso ao desmame influencia o desempenho dos leitões durante a fase de creche.

Morés et al. (2000), ao estudarem os fatores de risco associados aos problemas de leitões em fase de creche em rebanhos da região Sul, observaram que o peso médio ao desmame inferior a 6,3 kg representou um dos fatores de risco relacionados com a ocorrência de problemas como diarreia, mortalidade e baixo desempenho dos leitões na fase de creche.

Campos et al. (2008), também corrobora com os autores acima, no qual afirma que o peso ao desmame é um forte indicativo do seu peso final.

Desta forma, é possível que o baixo peso dos leitões ao desmame tenha contribuído para a redução no desempenho produtivo dos leitões em fase de creche, nos dois tratamentos.

Na tabela 10, estão apresentadas as médias de conversão alimentar (Ca) e taxa de mortalidade dos animais (Tm) durante o período estudado.

Tabela 10. Médias da conversão alimentar (Ca) e da taxa de mortalidade (Tm), de leitões em fase de creche.

Tratamentos	Consumo diário de ração (kg.animal ⁻¹)	Ca	Tm (%)
¹ T1	0,31 a	1,5 (± 0,3) a	1,69 (± 0,9) a
² T2	0,33 a	2,3 (± 0,5) a	0,49 (± 0,2) a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade, de acordo com teste F. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID, ²T2: aquecimento resistivo com termostato.

Com base na tabela 10, pode-se observar que não houve diferença significativa entre os tratamentos para consumo diário de ração, conversão alimentar e taxa de mortalidade. Observou-se ainda, que os animais do tratamento T1 obtiveram menor consumo diário de ração e maior ganho de peso diário, em relação aos animais de T2 (Tabelas 9 e 10).

A conversão alimentar é uma relação que estima o quanto de ração consumida foi convertida em peso. Desta forma, quanto menor o índice melhor a conversão alimentar dos animais. De acordo com o Manual de Genética Agroceres Pic (2012), na quinta semana pós-desmame, a conversão alimentar dos leitões é 1,33. Assim, é possível observar que o tratamento T1 foi o que apresentou índice mais próximo do recomendado.

Além disso, o tratamento T1 também atendeu as recomendações de Kuns et al. (2003), no qual sugere que a conversão alimentar de leitões em fase de creche não deve ultrapassar o valor de 2,2. Segundo os mesmos autores, o ideal é que os valores sejam menores que 2,0.

Os resultados obtidos para o tratamento T1 também corroboram com as recomendações de Amaral et al. (2006), que considera como críticos valores de conversão alimentar de leitões em fase de creche acima de 1,7 e como ideais valores menores que 1,5.

Main et al. (2002), também encontrou resultado próximo ao obtido no tratamento T1, que ao estudar a influência da idade ao desmame no desempenho de leitões em creche, verificou que os leitões desmamados com 21 dias de idade apresentaram conversão alimentar igual a 1,38.

Araújo et al. (2011) obteve conversão alimentar em torno de 1,5 em estudo realizado em creche suína, com leitões desmamados aos 21 dias de idade.

Com base na literatura, é possível afirmar que o tratamento T2 não atendeu as recomendações de conversão alimentar ideal para leitões em fase de creche. Essa pior conversão alimentar do tratamento T2, pode ter sido influenciada pela maior amplitude térmica verificada

para este tratamento. O tratamento T2 apresentou amplitude média diária de aproximadamente 5°C, enquanto que T1 apresentou amplitude de 3°C.

Resultados semelhantes também foram observados por Campos et al. (2009). Os autores verificaram que na sala da creche com maior amplitude térmica (temperatura mínima igual a 21,1°C e temperatura máxima igual a 29,5°C), os animais apresentaram maior consumo de ração e menor ganho de peso em comparação com a sala com menor amplitude térmica (temperatura mínima igual a 22,8°C e temperatura máxima igual a 28,6°C). Além disso, o modelo de creche com menor amplitude térmica apresentou valores de ITGU mais próximos do conforto térmico para leitões.

Quinioun et al. (2000) constatou que, para suínos entre 25 kg e 110 kg, a variação da temperatura está relacionada com o aumento ou a diminuição da ingestão de alimentos. Os autores verificaram que quando a amplitude térmica foi de $\pm 3^\circ\text{C}$ ou $\pm 4,5^\circ\text{C}$ para temperaturas do ar de 24 ou 28°C, respectivamente, ocorreu menor ingestão alimentar e pior desempenho dos animais, em fase de crescimento. Quando essa variação foi de $\pm 1,5^\circ\text{C}$, não houve efeito negativo no desempenho dos animais.

Além disso, por um lado, foi possível observar que os animais do tratamento T1 apresentaram melhor desempenho produtivo, em comparação a T2, apesar de T1 ter mantido os animais maior parte do tempo acima da temperatura de conforto (65,5%). Por outro lado, verificou-se também que o tratamento T2 manteve os animais mais tempo abaixo da zona de conforto de temperatura e dos índices de conforto térmico, quando comparado a T1 (Figuras 13, 17 e 18). Isto indica que os animais do tratamento T2 podem ter utilizado energia metabólica para a manutenção homeotérmica.

Este resultado está de acordo com o encontrado por Collin et al. (2001), os quais verificaram que os leitões desmamados submetidos a temperatura mais elevada (33°C) apresentaram ganho de peso diário numericamente maior (751 g/d) e conversão alimentar menor (1,27) em relação aos animais que foram submetidos à temperatura mais baixa (23°C), apresentando ganho de peso diário de 682 g/d e conversão alimentar de 1,40. Os autores ainda afirmam que os animais submetidos à temperatura de 23°C usaram energia metabólica para processos de termorregulação.

Desta forma, é possível inferir que esse gasto de energia para a termorregulação verificado em T2 (ver Figuras 13, 17 e 18) provocou redução no desempenho produtivo dos animais.

Quanto à taxa de mortalidade, Kuns et al. (2003) e Amaral et al. (2006) consideram como crítico valores acima de 2,5% e recomendam que a taxa de mortalidade esteja abaixo de 1,5% nesta fase. Desta forma, verifica-se que os tratamentos T1 e T2 estão de acordo com o recomendado pelos autores.

Main et al. (2002), em estudos realizados em creche suína, verificou taxa de mortalidade igual a 0,54% para leitões desmamados com 21 dias de idade.

Todavia, alguns autores discutem que vários são os fatores associados à taxa de mortalidade dos animais.

Kummer et al. (2009) afirma que fatores como idade e peso ao desmame, aspectos sanitários, nutricionais, ambientais e de manejo estão relacionados com a taxa de mortalidade e com desempenho dos animais nas fases de creche.

Morés et al. (2000) verificaram 10 fatores de riscos associados a ocorrência de diarreia, mortalidade e baixo desempenho produtivo dos leitões em creche, em granjas da região Sul do Brasil. Dentre eles, encontram-se o baixo peso ao desmame, desmame de leitões com idade inferior a 25 dias, problemas ambientais como umidade relativa superior a 82%, bebedouros inadequados e entre outros.

Portanto, foi possível observar que apesar dos dados de ganho de peso apresentarem-se abaixo do ideal, os valores de conversão alimentar e de mortalidade, para o tratamento T1, encontram-se de acordo com o recomendado na literatura. No tratamento T2, apenas a taxa de mortalidade ficou dentro dos limites recomendados.

4.2.3 Uso de energia elétrica

O consumo de energia elétrica pelos sistemas de aquecimento foi analisado por meio dos parâmetros de consumo diário de energia elétrica, demanda máxima de potência e energia consumida para aumento de 1°C em 1m³ de ar. As médias destes parâmetros estão apresentadas na tabela 11.

Tabela 11. Médias de consumo diário de energia elétrica (kWh), de demanda máxima de potência (kW) e da energia consumida para aumento de 1°C.m⁻³ de ar (kWh.m⁻³ de ar.°C⁻¹).

Tratamentos	Consumo diário de energia elétrica (kWh)	Demanda máxima de potência (kW)	Energia consumida (kWh) para aumento de 1°C.m ⁻³ de ar
¹ T1	82,6 (± 2,9) a	4,68 (± 0,12) a	0,0767 (± 0,003) a
² T2	80,3 (± 3,0) a	4,64 (± 0,08) a	0,0804 (± 0,004) a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre a 5% de probabilidade, de acordo com teste F. ¹T1: aquecimento resistivo com controle PID, ²T2: aquecimento resistivo com termostato.

Verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto ao consumo diário de energia elétrica, demanda máxima de potência e energia consumida para aumento de 1°C em 1m³ de ar, de acordo com o teste F (Tabela 11). No entanto, verificou-se que T1 foi mais eficiente em comparação a T2, pois consumiu menor quantidade de energia elétrica para elevar 1°C da temperatura em 1m³ de ar.

Sarubbi et al. (2010), verificaram economia de energia de aproximadamente 80% do sistema de piso aquecido com controlador eletrônico em comparação ao aquecimento resistivo com termostato. Quanto à quantidade de energia elétrica para aumento de 1°C em 1m³ de ar, os autores verificaram maior eficiência do aquecimento com controlador eletrônico em relação aos sistemas de aquecimento controlados por termostato (convectivo e resistivo). Estes resultados são semelhantes aos encontrados neste trabalho, com exceção do consumo de energia elétrica.

A eficiência do uso da energia elétrica quanto ao produto gerado (kg de peso vivo) foi avaliada pelos parâmetros de consumo específico (kWh.kg⁻¹ de peso vivo) e custo específico (R\$.kg⁻¹ de peso vivo). Estes parâmetros representam o consumo e o custo de energia elétrica para produzir 1 kg de peso vivo de suíno. Os valores médios estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12. Médias do consumo específico (kWh.kg⁻¹ de peso vivo) e do custo específico (R\$.kg⁻¹ de peso vivo).

Tratamentos	Consumo específico (kWh.kg ⁻¹ de peso vivo)	Custo específico (R\$.kg ⁻¹ de peso vivo)*
¹ T1	2,88 (± 0.12) b	0,75
² T2	3,98 (± 0.19) a	1,03

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre a 5% de probabilidade, de acordo com teste F. T1: aquecimento resistivo com controle PID, T2: aquecimento resistivo com termostato. *A tarifa de energia elétrica da granja utilizada para o cálculo de custo específico foi R\$ 0,26.

Os tratamentos diferiram entre si, quanto ao consumo específico, de acordo com teste F. Verificou-se que o tratamento T1 foi mais eficiente sob o aspecto de uso de energia elétrica, o qual consumiu 1,1 kWh a menos para produzir 1 kg de peso vivo de suíno, em comparação a T2 (Tabela 12). O tratamento T1 também apresentou custo médio de energia elétrica 27% menor em relação a T2, para produzir 1 kg de peso vivo de suíno.

Sarubbi et al. (2010), ao comparar diferentes sistemas de aquecimento com diferentes tecnologias de controles de temperatura, também verificaram que o sistema de aquecimento com controlador eletrônico de temperatura apresentou menor consumo de energia elétrica para produzir 1 kg de peso vivo de suíno em comparação aos sistemas de aquecimento controlados por termostato; sendo o mais eficiente sob o aspecto de uso de energia elétrica.

MacDonald (2002) afirma que a eficiência energética é uma parte importante na produção de suínos, pois melhora o desempenho e o bem-estar dos suínos e ao mesmo tempo reduz os custos de produção.

Gráficos de potência em função da temperatura interna da baia e da temperatura externa foram confeccionados para a análise do comportamento dos tratamentos T1 e T2. Para tanto, elegeram-se dois dias, ou seja, um dia frio (19/08/2013) e um dia quente (25/08/2013) do período estudado no Teste definitivo. Consideraram-se como dia frio e dia quente, respectivamente, um dia no qual a temperatura externa manteve-se abaixo da faixa de conforto dos leitões (28 a 30°C) e um dia em que a temperatura apresentou valores acima da zona de conforto.

Para os dias frio e quente, por meio das figuras 22, 23, 24 e 25 pode-se visualizar o comportamento do sistema de aquecimento resistivo com controlador PID e com termostato ao longo do período de 24 horas.

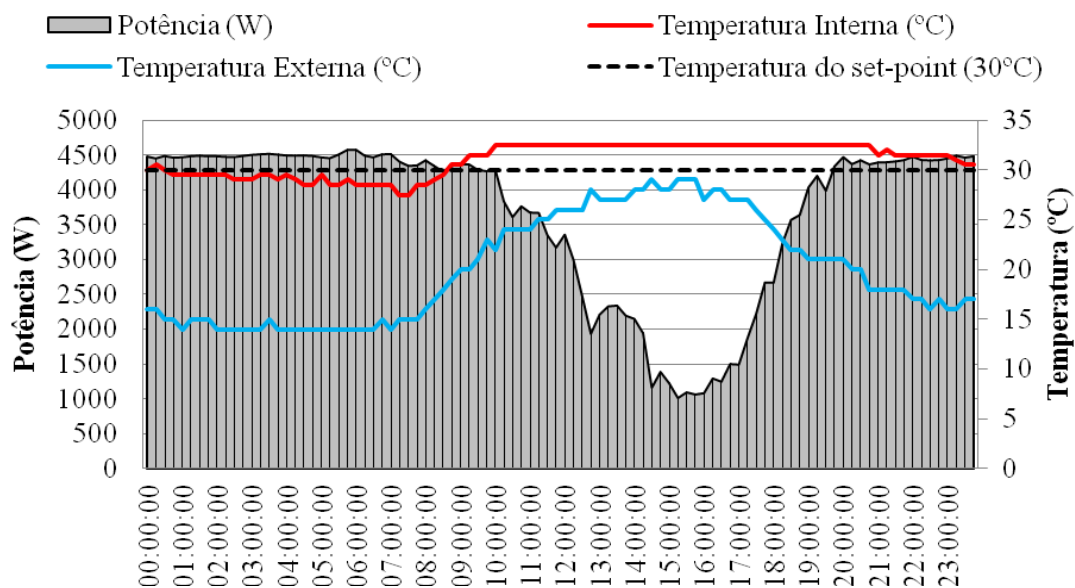


Figura 22. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com controlador PID (T1) durante período de 24 h (dia frio), em função da potência (W), temperatura interna da baía (°C) e temperatura externa (°C).

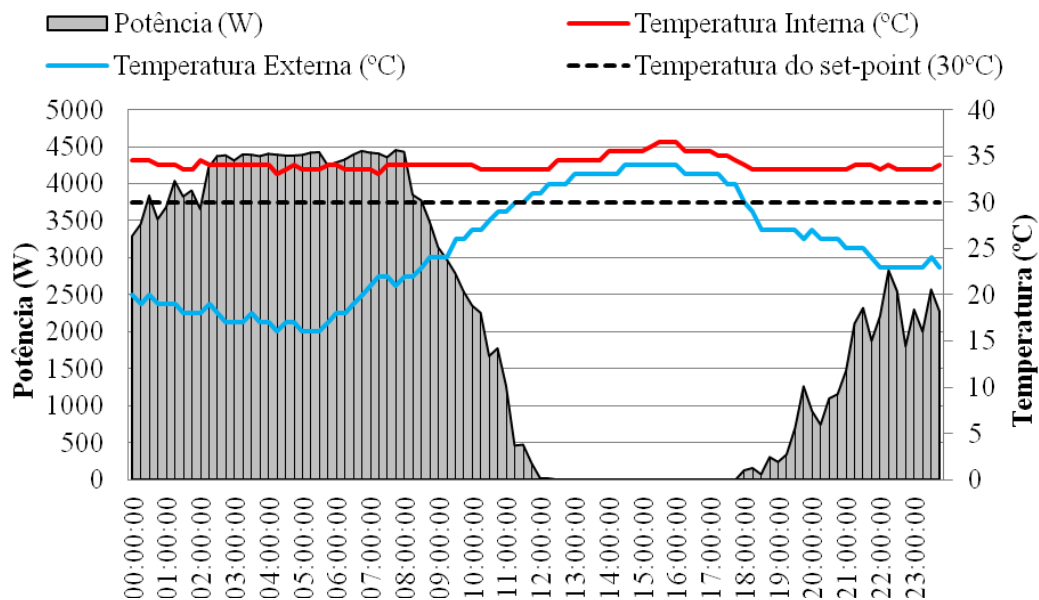


Figura 23. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com controlador PID (T1) durante o período de 24 h (dia quente), em função da potência (W), temperatura interna da baía (°C) e temperatura externa (°C).

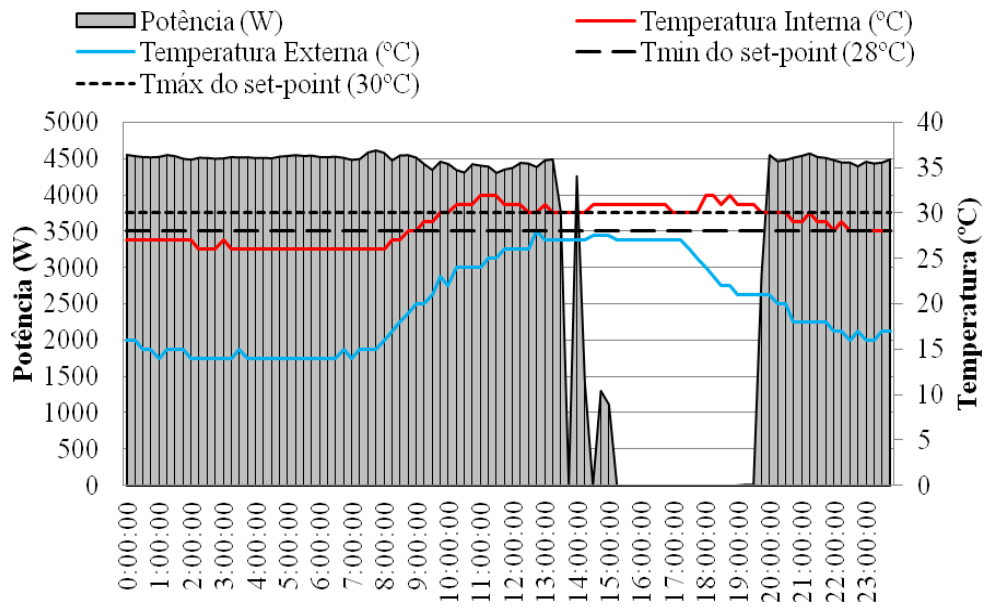


Figura 24. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com termostato (T2) durante o período de 24 h (dia frio), em função da potência (W), temperatura interna da baia (°C) e temperatura externa (°C).

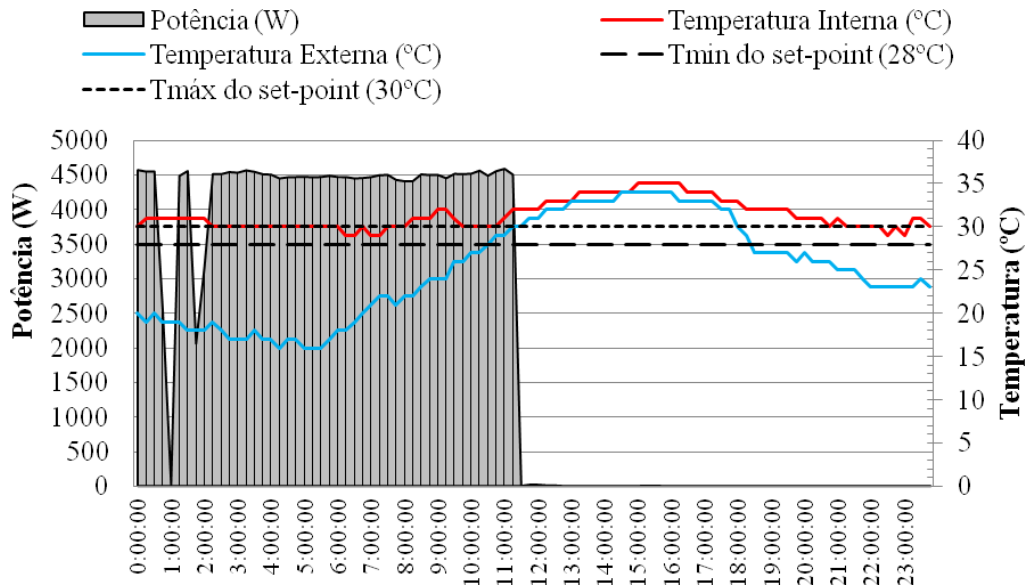


Figura 25. Comportamento do sistema de aquecimento resistivo com termostato (T2) durante o período de 24 h (dia quente), em função da potência (W), temperatura interna da baia (°C) e temperatura externa (°C).

O comportamento do sistema de aquecimento com controle PID foi adequado ao ajuste do *set-point* (30°C) para os dias analisados. Verifica-se que o mesmo manteve-se ligado durante o período em que a temperatura interna foi menor ou igual ao *set-point* e foi reduzida a potência quando a temperatura interna atingiu valores acima do *set-point* (Figuras 22 e 23).

No entanto, observou-se um comportamento inadequado do controlador. Na figura 22, verifica-se que a potência máxima do sistema de aquecimento (4500 W) foi restabelecida quando a temperatura interna ainda estava em 33°C. Além disso, de acordo com o ilustrado na figura 23, nota-se que, entre 2h00min e 8h00min a temperatura interna esteve 4°C acima do *set-point* do controlador e o sistema de aquecimento manteve-se acionado na potência máxima (4500 W). Ou seja, o controlador apresentou resposta lenta quando a temperatura interna da baía atingiu valores acima do *set-point*. Este funcionamento inadequado pode estar associado a problemas de sintonização dos parâmetros de ganho proporcional, tempo integral e derivativo do controlador PID, quando aplicado a controle de temperatura. O controlador utilizado no tratamento T1 apresenta método de sintonia automático.

De acordo com Arruda et al. (2008), os controladores PID apresentam desempenho inadequados em algumas aplicações. Conforme citado pelos mesmos, mais de 50% dos controladores instalados que operam em modo automático de sintonia apresentam grandes variações. Segundo os autores, este problema de desempenho, na maioria das vezes, é resultante de sintonia inadequada, como por exemplo, utilização de métodos de sintonia genéricos que não são compatíveis com as características dos processos controlados e grande variedade de estrutura de controladores PIDs, as quais levam a erros na aplicação das regras de sintonia.

Berto et al. (2004) afirmam haver um relativo atraso em controladores PID com sintonização por metodologia de Ziegler-Nichols, método este bastante utilizado em controladores com sintonia automática. No entanto, ao testarem três métodos de sintonia em controle PID, as quais sejam, Ziegler-Nichols, método da curva de reação do processo e metodologia de Astrom & Hagglund (1984) para aquecimento de água em processos de pasteurização, verificaram que os métodos testados apresentaram funcionamento satisfatório, mas o método de Astrom & Hagglund (1984) foi o que apresentou menores índices de erro e menores oscilações em torno do *set-point*.

Coelho et al. (2006) afirma que o controlador PID quando sintonizado adequadamente, confere um bom comportamento dinâmico ao processo controlado.

Desta forma, pode-se inferir que o sistema de aquecimento com controlador PID teria apresentado maior eficiência no uso de energia elétrica se o mesmo tivesse apresentado funcionamento adequado em relação ao *set-point*. Assim, torna-se necessário o estudo de diferentes tipos de sintonia para o controlador PID quando aplicado ao controle de temperatura do ar.

De acordo com figuras 24 e 25, observa-se que o sistema de aquecimento resistivo com termostato apresentou comportamento semelhante nos dois dias analisados. O mesmo funcionou de forma adequada nos dois dias, ou seja, manteve o sistema de aquecimento ligado durante todo o período em que a temperatura interna apresentou valores abaixo da temperatura máxima da faixa do *set-point* (28 a 30°C). Além disso, quando a temperatura interna ficou acima de 30°C, nota-se que o sistema foi desligado e, quando a mesma ficou abaixo de 28°C, o sistema voltou a ser acionado. Entretanto, verifica-se um valor máximo de 32°C na temperatura interna, nos dois dias, nos quais o termostato não desligou o sistema de aquecimento. Porém, isto ocorreu em um curto espaço de tempo. Além disso, esta diferença de apenas 2°C entre a temperatura interna e o valor máximo do *set-point* do termostato (30°C) pode estar associada a um erro existente entre os sensores do controlador e do transmissor utilizado para as medições de temperatura.

5. CONCLUSÃO

O sistema de aquecimento resistivo com controlador PID foi o que melhor atendeu as condições de conforto térmico dos leitões, foi o mais eficiente quanto ao uso de energia elétrica e o que proporcionou melhor desempenho produtivo dos animais, quando comparado ao sistema de aquecimento com termostato.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPECS. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. Disponível em: <www.abipecs.org.br> Acesso em: 02 set 2013.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; BAÊTA, F. C. Metodologia de Dimensionamento de Sistemas de Aquecimento em Piso, em Função da Temperatura e Espessura de Cama, para Criação de Frangos de Corte. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.2, n.1, jan./abr. 2000.

ABREU, Paulo Giovanni de; ABREU, Valeria Maria Nascimento; COLDEBELLA, Arlei; SABINO, Luana Araújo; SOUSA JÚNIOR, Vilmar Rodrigues de. Evaluation of heating systems creep área for piglets in the winter. In: Ninth International Livestock Environment Symposium Sponsored by ASABE, 2012, Valencia. **Anais...** Spain, 2012.

AGROCERES PIC. **Guia de cuidados iniciais com os leitões**, 16p. 2012. Disponível em: <<http://www.agrocerespic.com.br/>>. Acesso em 10 abril 2013.

AGROCERES PIC. **Guia de manejo de fêmeas**, 2ª ed. 31p. 2008. Disponível em: <<http://www.agrocerespic.com.br/servlet/navSrv?cmd=detNot&id=284&idcat=17>>. Acesso em 18 set. 2013.

ALBRIGHT, Louis D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan. 1990. p.453.

ALVES, Laura Beatriz; CARVALHO, Daniela Corrêa; CARLSON FILHO, Carlos Magnus; DEZANI, Henrique. Lógica fuzzy aplicada ao controle do conforto térmico em granjas de aves comerciais. **Temas em Administração: Diversos Olhares**, Catanduva, v.3, n.1, p. 18-27, 2010.

AMARAL, Armando Lopes do; SILVEIRA, Paulo Roberto S. da; LIMA, Gustavo J. M. M. de; KLEIN, Cátia Silene; PAIVA, Doralice Pedrosa de; MARTINS, Franco; KICH, Jalusa Deon; ZANELLA, Janice Reis Ciacci; FÁVERO, Jerônimo; LUDKE, Jorge V.; BORDIN, Luiz Carlos; MIELE, Marcelo; HIGARASHI, Martha M.; MORÉS, Nelson; COSTA, Osmar A. Dalla; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de; BERTOL, Teresinha Marisa; SILVA, Virginia Santiago. Boas Práticas de Produção de Suínos. **EMBRAPA – CNPSA**, Concórdia, n. 50, p. 1-60, 2006 (Circular Técnica, 50). Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br> Acesso em: 08 mar. 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas Médias por Classe de Consumo/Região (R\$/MWh)**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br>> Acesso em 18 set. 2013.

ARAÚJO, Wagner Azis Garcia de; BRUSTOLINI, PAULO César; FERREIRA, Aloízio Soares; SILVA, Francisco Carlos de Oliveira; ABREU, Márvio Lobão Teixeira de; LANNA, Eduardo Arruda. Comportamento de leitões em função da idade de desmame. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.12, n.3, p.758-769 jul/set, 2011.

ARRUDA, Lúcia Valéria R. de; NEVES JR, Flávio; SWIECH, Maria Cristina Szpak; DELGADO, Myriam Regattieri. Um método evolucionário para sintonia de controladores PI/PID em processos multivariáveis. **Revista Controle e Automação**, v. 19, n. 1, jan./fev., 2008.

ASTROM, K. J.; HAGGLUND, T. Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins. **Automatica**, v. 20, n. 5, p. 645-651, 1984.

BAÊTA, Fernando C.; SOUZA, Cecília F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2010, 246p.

BAPTISTA, Raíssa Ivna Alquete de Arreguy; BERTANI, Giovani Rota; BARBOSA, Clara Nilce. Indicadores do bem-estar em suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.10, p.1823-1830, out, 2011.

BARATO, F.F.; PEREIRA, D.F.; GABRIEL FILHO, L.R.A.; SAMPAIO, F.F. Metodologia para avaliação eficiente do ambiente térmico de galpões de postura. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA DA UNESP, 10., 2008, São José dos Campos. **Anais...** 1 CD- ROM.

BARROS, J. S. G. ; ROSSI, L. A. Diferentes tecnologias de controle de temperatura para sistema resistivo em creche suína. In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza. **Anais...** Ceará, v. 1, p. 1-9, 2013.

BERTO, Maria Isabel; SÁ, Fabiana Rodrigues; SILVEIRA JR, Vivaldo. Avaliação de controles PID adaptativos para um sistema de aquecimento resistivo de água. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 478-485, jul./set., 2004.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suínos**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/suinos>> Acesso em: 02 set. 2013.

BROWN-BRANDL, T. M.; NIENABER, J. A.; XIN, H.; GATES, R. S. A literature review of swine heat production. **Transaction of the ASAE**, v. 47, n. 1, p. 259-270, 2004.

BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D. Black globe humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n. 3, p. 711-714, 1981.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central IOWA soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAMPOS, Josiane Aparecida. **Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho animal em dois tipos de suinoculturas**. 2006. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CAMPOS, Josiane Aparecida; TINÔCO, Ilda de Fátima Ferreira; BAÊTA, Fernando da Costa; SILVA, Jadir Nogueira da; CARVALHO, Cinara Siqueira; MAUIRI, Aldo Luiz Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n.3, p. 187-193, maio/jun. 2008.

CAMPOS, Josiane A.; TINÔCO, Ilda de F. F.; BAÊTA, Fernando da C.; CECON, Paulo R.; MAURI, Aldo L. Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho de suínos criados em creches com dimensões diferentes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.339-347, jul./set. 2009.

CARVALHO, Thayla Morandi Ridolfi de; MOURA, Daniella Jorge de; SOUZA, Zigomar Menezes de; SOUZA, Gustavo Soares de; BUENO, Leda Gobbo de Freitas; LIMA, Karla Andrea Oliveira de. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.41, n.1, Jan, 2012.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/index.html>> Acesso em: 23 mar 2012.

COELHO, Leandro dos Santos; MARIANI, Viviana Cocco. Sistema híbrido neuro-evolutivo aplicado ao controle de um processo multivariável. **Revista Controle & Automação**, v.17, n.1, p. 32-48, 2006.

COLIN, A.; MILGEN, J. V.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. **Journal of Animal Science**, n. 79, p. 1849-1857, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para as Carnes Bovina, de Frango e Suína 2013 – 2014**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 18 set. 2013.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Custos de produção de suínos 2011**. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/?ids=Sn6p54k7p>> Acesso em: 18 set. 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2013: Ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 456, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSC, 2000. p. 225-258.

GABRIEL FILHO, Luís R. A.; PEREIRA, Danilo F.; BARATO, Fernando F.; MAGALHÃES, Marcelo M. de. Method of numerical correction of errors occasioned by delay of records during the monitoring of environmental variables of interest for animal production. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.5, p.835-846, set./out. 2011.

HUYNH, T.T.T.; AARNINK, A. J. A.; GERRITS, W. J. J.; HEETKAMP, M. J. H.; CANH, T.T.; SPOOLDER, H.A.M.; KEMP, B.; VERSTEGEN, M.W.A. Thermal behavior of growing pigs in response to high temperature and humidity. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v. 91, p.1-16, 2005a.

HUYNH, T. T. T.; AARNINK, A. J. A.; VERSTEGEN, M. W. A.; GERRITS, W. J. J.; HEETKAMP, B. K.; CANH, T. T. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. **Journal of Animal Science**, v. 83, p. 1385-1396, 2005b.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

KUMMER, Rafael; GONÇALVES, Márcio Antônio Dornelles; LIPPKE, Ricardo Tesche; MARQUES, Brenda Maria Ferreira Passos e Prado; MORES, Tiago José. Fatores que influenciam o desempenho dos leitões na fase de creche. **Acta Scientiae Veterinariae**, n.37 (Supl 1), p. 195-209, 2009.

KUNS, Airton; GIROTTO, Ademir Francisco; MONTICELLI, Cícero Juliano; KICH, Jalusa Deon; FÁVERO, Jerônimo Antônio; LUDKE, Jorge Vitor; MORÉS, Nelson; ABREU, Paulo Giovanni de; SILVEIRA, Paulo R. S. da. **Sistema de Produção de Suínos**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, jul. 2003. Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/manejoprodu.html>> Acesso em: 8 mar. 2012.

LITTLE, T. M.; HILLS, F. J. **Agricultural experimentation: Design and Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1978. 368p.

MACDONALD, Ron. Saving Money by Maximizing Energy Use Efficiency in Swine Production. **Advances in Pork Production**, v.13, p. 99-105, 2002.

MAIN, R. G.; TOKACH, M. D.; GOODBAND, R. D.; NELSSSEN, J. L.; DRITZ, S. S. Effects of weaning age on pig performance in three-site production. **Kansas Swine Industry Day Report of Progress**, v. 920, p. 35-41, 2002.

MORÉS, N.; SOBESTIANSKY, J.; BARIONI JUNIOR, W.; MADEC, F.; DALLA COSTA, O. A.; PAIVA D. P.; LIMA, G. M. M.; AMARAL, A. L.; PERDOMO, C. C.; COIMBRA, J. B. S. Fatores de risco associados aos problemas dos leitões na fase de creche em rebanhos da região Sul do Brasil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 25, n. 3, 2000.

MOURA, Daniella J. de. Ventilação na suinocultura. In: SILVA, Iran J.O. da. **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. 1ª ed. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 149-179.

OLIVEIRA, C. B. de; BORTOLI, E. C. de; BARCELLOS, J. O. J. Diferenciação por qualidade da carne bovina: a ótica do bem-estar animal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p.2092-2096, out, 2008.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000, p. 808.

PANDORFI, Héilton; SILVA, Iran J. O. da; MOURA, Daniella J.; SEVEGNANI, Kelly B. Análise de imagem aplicada ao estudo do comportamento de leitões em abrigo escamoteador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.274-284, maio/ago. 2004.

PANDORFI, Héilton; SILVA, Iran J. O. da; MOURA, Daniella J. de; SEVEGNANI, Kelly B. Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.99-106, mar. 2005.

PANDORFI, Héilton; SILVA, Iran J. O. ; GUISELINI, Cristiane; PIEDADE, Sonia M. S. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.83-92, jan./abr. 2007..

PANDORFI, Héilton; SILVA, Iran J. O. da; PIEDADE, Sonia M. S. Piedade. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.326-332, maio/jun. 2008.

QUINIOUN, N.; MASSABIE, P.; GRANIER, R. Diurnally variation of ambient temperature around 24 ou 28°: Influence on performance and feeding behavior of growing pigs. In: **PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE**, 1., 2000, Iowa. **Swine Housing...** Iowa, p. 332-339, 2000.

RODRIGUES, Valéria Cristina.; SILVA, Iran José Oliveira da; VIEIRA, Frederico Márcio Corrêa; NASCIMENTO, Sheila Tavares. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, Berlim, v. 55, n. 3, p. 455-459, jul. 2010.

ROSSI, Luiz A.; VELLOSO, Nina M.; LIMA, Marcelo T. de; SARUBBI, Juliana; VIEIRA, Luciano H. S. Análise do desempenho reprodutivo e do uso de energia elétrica em instalações climatizadas de cachaços. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p. 1121-1127, 2012.

ROSSI, LUIZ A.; CARDOSO, PAULO E. DOS R.; BERALDO, ANTONIO L. Avaliação térmica de placas de argamassa de cimento e casca de arroz aquecidas por resistência elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.37-45, jan./abr. 2005.

SABINO, Luana Araújo; ABREU, Paulo Giovanni de; SOUSA JÚNIOR, Vilmar Rodrigues de; ABREU, Valéria Maria Nascimento; LOPES, Letícia dos Santos. Comparação de dois modelos de escamoteadores sobre o desempenho dos leitões. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 21-25, Jan.-Mar., 2012.

SABINO, Luana A.; SOUSA JÚNIOR, Vilmar R. de; ABREU, Paulo G. de; ABREU, Valéria M. N.; LOPES, Letícia dos S.; COLDEBELLA, Arlei. Comportamento suíno influenciado por dois modelos de maternidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n. 12, p.1321-1327, 2011.

SAMPAIO, Carlos Augusto de Paiva; CRISTANI, José; DUBIELA, Juliana Aparecida; BOFF, César Eduardo; OLIVEIRA, Marco Antônio de. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.785-790, maio/jun. 2004.

SARUBBI, Juliana. **Bem-estar dos animais e uso racional de energia elétrica em sistemas de aquecimento para leitões desmamados**. 2009. 190f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SARUBBI, Juliana; ROSSI, Luiz Antonio; LARANJEIRA, Evandro Gomes; OLIVEIRA, Rafael Augustus de; VELLOSO, Nina Miglioranza. Power-saving procedures and animal thermal comfort at a growing/finishing swine production unit. **BioEng**, Campinas, v.2, n.2, p. 185-192, jan./abr. 2008.

SARUBBI, Juliana; ROSSI, Luiz A.; MOURA, Daniella J. de; OLIVEIRA, Rafael A. de; DAVID, Eduardo. Utilização de energia elétrica em diferentes sistemas de aquecimento para leitões desmamados. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1003-1011, dez. 2010.

SILVA, Caio Abércio da; BRITO, Benito Guimarães de; MORES, Nelson; AMARAL, Armando Lopes do. Fatores de risco relacionados com o desempenho de leitões lactantes em granjas de suínos da região norte do Paraná. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 677-681, 1998.

SILVA, Iran José Oliveira da. Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 4., 1999, São Paulo. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1999. p. 108-325.

SILVA, Iran José Oliveira da; PANDORFI, Héilton; PIEDADE, Sônia Maria Stefano. Uso da Zootecnia de Precisão na Avaliação do Comportamento de Leitões Lactentes Submetidos a

Diferentes Sistemas de Aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.34, n.1, p.220-229, jan./fev. 2005.

SILVA-MIRANDA, KESIA O. DA; BORGES, GISELLE; MENEGALE, VINÍCIOS L. DE C.; SILVA, IRAN JOSE O. DA. Efeito das condições ambientais no nível de ruído emitido por leitões. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.435-445, maio/jun. 2012.

SOBESTIANSKY, Jurij; PERDOMO, Carlos C.; OLIVEIRA, Paulo A. V. de; OLIVEIRA, João A. de. Efeito de diferentes sistemas de aquecimento no desempenho de leitões. **EMBRAPA – CNPSA**, Concórdia, n. 122, p. 1-3, set. 1987. (Comunicado Técnico, 122). Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br> Acesso em: 01 mar. 2012.

SUINOCULTURA INDUSTRIAL. **Notícias**. Disponível em: <<http://www.suinoculturaindustrial.com.br/noticia/>> Acesso em: 02 set. 2013.

THOM, E.C. Cooling degree - day air conditioning, heating and ventilating. **Transactions of the ASAE**, v.55, n.7, p.65-72, 1958.

TINÔCO, Ilda de Fátima Ferreira; SOUZA, Cecília de Fátima; OLIVEIRA, Paulo Armando Victoria de; PAULO, Robson Mendes de; CAMPOS, Josiane Aparecida; CARVALHO, Cinara da Cunha Siqueira; CORDEIRO, Marcelo Bastos. Avaliação do índice de temperatura de globo negro e umidade e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação criados em sistemas em camas sobrepostas em condições de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1624-1629, 2007 (supl.).

TOLON, Yamilia B.; BARACHO, Marta S.; NÄÄS, Irenilza de A.; ROJAS, Marcelo; MOURA, Daniella J. de. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.1-13, jan./fev. 2010.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, n.1, p.45-93, 1985.

VANNI, S. M. **Modelos de Regressão**: Estatística Aplicada. São Paulo: Legmar Informática & Editora, 1998. 177p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, 2000, p. 1-53.

WAGENBERG, A. V.; VERMEIJ, I. The use of a Central Extraction Ventilation System for pig facilities, energy saving and economic consequences. In: Annual International Meeting Sponsored by ASAE, 2001, Sacramento. **Anais...** California, USA, 2001.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

ANEXO

ANEXO I - Características técnicas do controlador PID e do termostato.

Controlador PID	
Marca	Novus
Modelo	N 1040 PR-F
Alimentação	100 - 240 Vca
Saída	Relé de estado sólido
Sensor	Pt 100
Capacidade de medição	-200°C a 850°C
Precisão	± 1°C
Relé de estado sólido	
Tensão de entrada	
Tensão de saída	



Termostato	
Marca	Novus
Modelo	N 321
Alimentação	
Saída	Relé eletromagnético
Sensor	NTC
Capacidade de medição	-50°C a 120°C
Precisão	± 1°C
Relé	
Tensão	100 - 240 Vca
Corrente	16 A



ANEXO II - Características técnicas dos equipamentos de medição e armazenamento de dados.

Transmissor de temperatura e umidade	
Marca	Novus
Modelo	RHT-WM
Alimentação	12 a 30 Vcc
Canal de umidade	
Resolução da saída	0,022 mA
Faixa	0 a 100%
Tempo de resposta	4 s com ar em movimento suave
Precisão	± 3%
Canal de temperatura	
Resolução da saída	0,006 mA
Faixa	-40°C a 120°C
Tempo de resposta	até 30 s com ar em movimento suave
Precisão	± 0,5°C



Fieldlogger	
Marca	Novus
Alimentação	100 a 250 Vcc
Canais	oito
Entradas	Termopares J, K, T, E, N, R, S, B, Pt100, 4- 20mA, 0-50mV



THDL 400	
Marca	Instrotherm
Funções	Termômetro, higrômetro, decibelímetro e luxímetro
Alimentação	Bateria 9 V
Termômetro	
Sensor	Termopar tipo K
Resolução	0,1°C
Precisão	± 3% da leitura
Higrômetro	
Resolução	0,1% de UR
Precisão	± 5% de UR
Decibelímetro	
Resolução	0,1 dB
Ponderação	A e C
Precisão	± 3,5dB
Luxímetro	
Precisão	± 5% da leitura
Repetibilidade	± 2%
Fotocélula	Fotodiodo de silício com filtro



Medidor de Energia	
Marca	Embrasul
Modelo	RE6081
Alimentação	80 a 300Vac (trifásico)
Frequência	50/60 Hz
Sinal de tensão	80 a 300Vac
Sinal de corrente	sensor TI1000
Classe de exatidão	0,5% para tensão e corrente
Temperatura de operação	a 60°C
Umidade	0 a 95%



Medidor de Energia	
Marca	ESB
Modelo	SAGA4500
Alimentação	45 a 280 Vac (trifásico)
Frequência	50/60 Hz
Medição de tensão e corrente	sensor tipo alicate
Classe de exatidão	1% para tensão e corrente

