



**VANIA CORRÊA MOTA**

**MODELAGEM *FUZZY*, GEOESTATÍSTICA E ESTATÍSTICA NA  
AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE CONFINAMENTO PARA  
BOVINOS NO MODELO *COMPOST BARN***

**LAVRAS - MG  
2018**

**VANIA CORRÊA MOTA**

**MODELAGEM *FUZZY*, GEOESTATÍSTICA E ESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DE  
SISTEMA DE CONFINAMENTO PARA BOVINOS NO MODELO *COMPOST BARN***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade  
UFLA  
(Orientador)

Dr. Daniel Furtado Leite  
UFLA  
(Coorientador)

**LAVRAS - MG  
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Mota, Vania Corrêa.

Modelagem *fuzzy*, geoestatística e estatística na avaliação de sistema de confinamento para bovinos no modelo *Compost Barn* / Vania Corrêa Mota. - 2018.

232 p. : il.

Orientador: Ednilton Tavares de Andrade.

Co-orientador: Daniel Furtado Leite.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Adubação orgânica. 2. Bovinos Leiteiros. 3. Compostagem. 4. Conforto Animal. 5. Construções Rurais. 6. Instalações para bovinos. 7. Mapa de Krigagem. 8. Modelagem Computacional. 9. Sistemas *Fuzzy*. 10. Sistemas de confinamento. I. Andrade, Ednilton Tavares de. II. Leite, Daniel Furtado. III. Título.

**VANIA CORRÊA MOTA**

**MODELAGEM *FUZZY*, GEOESTATÍSTICA E ESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE CONFINAMENTO PARA BOVINOS NO MODELO *COMPOST BARN***

**FUZZY, GEOSTATISTICAL AND STATISTICAL MODELING FOR THE ASSESSMENT OF CONFINEMENT SYSTEM FOR CATTLE IN THE COMPOST BARN MODEL**

Tese apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Doutor.

APROVADO em 29 de Junho de 2018

Dr.<sup>a</sup>. Giselle Borges de Moura - UFLA

Dr.<sup>a</sup>. Patrícia Ferreira Ponciano Ferraz - UFLA

Dr.<sup>a</sup>. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco - UFV

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade - UFLA  
(Orientador)

Dr. Daniel Furtado Leite - UFLA  
(Coorientador)

**LAVRAS - MG  
2018**

## DEDICO

A

DEUS

Senhor todo poderoso, o Alfa e Ômega.

Autor da minha vida e meu senhor, pela oportunidade de estar aqui, e por ter posto diante de mim essa porta aberta, a qual ninguém pode fechar.

A meus queridos pais, Ailson M. Mota e Oraide C. Pinheiro, pelo amor, apoio, carinho, incentivo e por terem sido pacientes principalmente nesses últimos anos em que estive envolvida com o doutorado e fora de casa.

Ao meu irmão Wagner P. Mota, pelo carinho e incentivo.

Aos meus queridos avós, Antonio Ramos da Motta (*in memorian*) e Eloides Machado (*in memorian*), pelos ensinamentos, amor e pela enorme saudade.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para realização deste novo desafio em minha vida, à realização de um sonho, fica aqui o meu muito obrigada!

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, e a JESUS CRISTO, por me dar sabedoria, saúde, força, coragem e muita persistência para que eu pudesse em meio às lutas ultrapassar todos os obstáculos desta caminhada e conseguir conquistar meu objetivo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), através dos Departamentos de Engenharia Agrícola (DEG), pela oportunidade e ao Departamento de Ciência dos Alimentos (DEA) pelo apoio ao longo do curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Dr. Ednilton Tavares de Andrade, pela orientação, compreensão, confiança e amizade, o meu muito obrigada.

Ao professor Dr. Daniel Furtado Leite, pela paciência, orientação, incentivo, apoio, dedicação, confiança, amizade e principalmente por perder tanto tempo tirando minhas dúvidas, o meu muito obrigada.

Aos professores Dr. Luiz Ronaldo de Abreu, Dr.<sup>a</sup>. Sandra Maria Pinto e Dr. Alex Mota dos Santos, pela colaboração, incentivo e amizade.

Aos professores Dr. Renato Ribeiro de Lima, Dr. Jackson Antônio Barbosa, Dr. Roney Alves da Rocha e Dr.<sup>a</sup>. Giselle Borges de Moura, pelas contribuições e sugestões.

Aos amigos Sérgio Corrêa, Teodora ("Vó Dora"), Creusa ("Mãe preta"), Paulo, Ingá, irmão Ednilson (pelas orações) e Suely ("Mãe Branca") e família, pelo apoio, pelas valiosas sugestões, pelos atendimentos sempre solícitos e pela grande amizade.

Aos amigos, Amanda, Sérgio, Mônica, Henrique, Everton e Suzana pela ajuda nas coletas de dados. A Rogéria, pelo apoio, ensinamentos, amizade e ajuda, os meus sinceros agradecimentos. Ao senhor "Natal" por autorizar a pesquisa em sua propriedade, o meu muito obrigada.

A todos os professores, colegas e técnicos de laboratório e funcionários do Departamentos de Ciência dos Alimentos, pela grata e prazerosa convivência, ensinamentos e cooperação em especial para a Creusa e a Tina pela amizade.

Aos professores, colegas de curso, desenhistas projetistas e funcionários do Departamentos de Engenharia Agrícola.

## EPÍGRAFE

*"O que habita no esconderijo do Altíssimo e descansa à sombra do Onipotente diz ao SENHOR: Meu refúgio e meu baluarte, Deus meu, em quem confio. Pois ele te livrará do laço do passarinho e da peste perniciososa. Cobrir-te-á com as suas penas, e, sob suas asas, estarás seguro; a sua verdade é pavês e escudo.*

*Não te assustarás do terror noturno, nem da seta que voa de dia, nem da peste que se propaga nas trevas, nem da mortandade que assola ao meio-dia. Caiam mil ao teu lado, e dez mil, à tua direita; tu não serás atingido. Somente com os teus olhos contemplarás e verás o castigo dos ímpios.*

*Pois disseste: O SENHOR é o meu refúgio. Fizeste do Altíssimo a tua morada. Nenhum mal te sucederá, praga nenhuma chegará à tua tenda. Porque aos seus anjos dará ordens a teu respeito, para que te guardem em todos os teus caminhos.*

*Eles te sustentarão nas suas mãos, para não tropeçares nalguma pedra. Pisarás o leão e a áspide, calcarás aos pés o leãozinho e a serpente. Porque a mim se apegou com amor, eu o livrarei; pô-lo-ei a salvo, porque conhece o meu nome. Ele me invocará, e eu lhe responderei; na sua angústia eu estarei com ele, livrá-lo-ei e o glorificarei. Saciá-lo-ei com longevidade e lhe mostrarei a minha salvação".*

**Salmo 91**

## **BIOGRAFIA**

Vania Corrêa Mota, filha de Ailson M. Mota e Oraide C. Pinheiro, nasceu em Dourados, MS, em 22 de novembro de 1983. Estudou na escola particular XV de Abril e na escola estadual de 1º e 2º Grau 14 de Fevereiro no município de Pontes e Lacerda, MT. Formou-se em Licenciatura em Matemática pelo Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG, MT, em março de 2004. Nesse mesmo período cursava o curso de Bacharel em Zootecnia pela Universidade do Estado do Mato Grosso – UNEMAT, MT, que teve que ser trancado por ter iniciado em março de 2006 o mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária na Universidade Federal de Lavras - UFLA, MG, defendendo em Fevereiro de 2008.

Em agosto de 2014, ingressou no programa de pós-graduação (Doutorado) em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Lavras - UFLA, MG, submetendo-se a defesa de tese em junho de 2018.



## SÚMARIO

RESUMO GERAL .....	10
GENERAL ABSTRACT .....	11
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	12
LISTA DE TABELAS .....	15
LISTA DE ABREVIATURAS .....	19
LISTA DE SIGLAS .....	22
LISTA DE SÍMBOLOS .....	22
PUBLICAÇÕES .....	23
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	25
1.1 Tema .....	26
1.2 Hipóteses .....	27
1.3. Justificativa .....	27
1.4. Organização .....	27
2. OBJETIVOS .....	29
2.1. Objetivo Geral .....	29
2.2. Objetivos Específicos .....	29
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	30
3.1. Conforto Animal .....	30
3.1.1. Índices de Conforto Animal .....	31
3.2. Sistemas de confinamento para bovinos leiteiros .....	33
3.2.1. <i>Loose Housing</i> .....	33
3.2.2. <i>Tie Stall</i> .....	34
3.2.3. <i>Free Stall</i> .....	35
3.2.4. <i>Compost Barn</i> .....	36
3.2.5. Processo de Compostagem .....	38
3.2.6. Adubação Orgânica .....	41
3.3. Modelagem Computacional .....	42
3.3.1. Modelagem Geoestatística .....	42
3.3.2.1 Métodos de Seleção de modelos de semivariograma .....	47
3.3.2. Aplicação da Geoestatística na área de ambiência animal .....	48
3.3.3. Modelagem <i>Fuzzy</i> .....	48
3.3.3.1. Agrupamento Fuzzy .....	49
3.3.3.2. Algoritmo Fuzzy C-Means (FCM) .....	51
3.3.3.3. Métodos de Validação .....	52
3.3.4. Modelagem <i>Neuro - Fuzzy</i> .....	53
3.3.5. Aplicação dos sistemas <i>Fuzzy</i> na área de ambiência animal .....	54
4. METODOLOGIA .....	55
4.1. Localização e descrição da propriedade .....	55
4.2. Métodos utilizados .....	58
CONCLUSÃO .....	65
REFERÊNCIAS .....	66
SEGUNDA PARTE - Artigos .....	76
ARTIGO 1 .....	77
Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características .....	77

ARTIGO 2 .....	97
Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em confinamento <i>Compost Barn</i> .....	97
ARTIGO 3 .....	120
Sistema de confinamento compost barn: interações entre índices de conforto, características fisiológicas, escore de higiene e claudicação.....	120
ARTIGO 4 .....	146
Modelagem da temperatura da cama em galpões de composto revolvido com enxada rotativa e grade aradora.....	146
ARTIGO 5 .....	165
Adaptive neuro-fuzzy network for the estimation of the overall bacteria count on residuals of Compost Bedded Pack.....	165
ARTIGO 6 .....	188
Use of compost bedded pack barn in maize fertilization for silage.....	188
ARTIGO 7 .....	205
Residue utilization of compost bedded pack barn for organic manure of maize crop .....	205
10 - Apêndice.....	225
Anexo A - Planta baixa do galpão .....	231
Anexo B - Corte AA do galpão .....	232

## RESUMO GERAL

MOTA, Vania Corrêa. **Modelagem fuzzy, geoestatística e estatística na avaliação de sistema de confinamento para bovinos no modelo *Compost Barn***. Lavras: UFLA, 2018. 232p. (Tese - Doutorado em Engenharia Agrícola)<sup>1</sup>

A presente pesquisa teve como objetivos: (i) realizar a modelagem Geoestatística para mapear e representar instalações de confinamento de bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*; (ii) aplicar testes para avaliar o material de cama e os implementos agrícolas utilizados nesse sistema de confinamento; e (iii) desenvolver modelos *Fuzzy* para inferir sobre os fatores da compostagem do material de cama a partir de variáveis mensuráveis da cama propriamente dita. Para isso, partiu-se do pressuposto de que o conhecimento das características da cama e dos fatores climáticos na instalação *Compost Barn* é meio essencial para a sustentabilidade do setor de bovinos leiteiros com respeito às condições de manejo e ambiência. Os dados foram submetidos à modelagem Geoestatística e a interpolação por krigagem. Com respeito à modelagem *Fuzzy* foram considerados modelos funcionais do tipo Takagi-Sugeno com ajuste de parâmetros a partir de dados e do algoritmo C-Means. A pesquisa foi realizada numa propriedade comercial do Estado de Minas Gerais, localizado no município de Três Corações. Os dados considerados foram coletados em oito períodos distintos do verão e do inverno do ano de 2016 e no período de outubro de 2016 a fevereiro de 2017, caracterizando três experimentos. A metodologia utilizada foi a análise quantitativa, com aplicação de teste estatístico para dados pareados e análise de variância. Além disso, as abordagens de modelagem Geoestatística e *Fuzzy* foram desenvolvidas para representar e analisar as questões do material de cama e das condições climáticas nas instalações de bovinos leiteiros. Por fim, os resíduos de cama foram avaliados como adubo orgânico no cultivo do milho para silagem.

**Palavras - chaves:** Adubação orgânica. Bovinos Leiteiros. Conforto Animal. Compostagem. Construções Rurais. Instalações para bovinos. Mapa de Krigagem. Modelagem Computacional. Sistemas *Fuzzy*. Sistemas de confinamento.

---

<sup>1</sup> Comitê de Orientação: Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade – UFLA (Orientador); Prof. Dr. Daniel Furtado Leite – UFLA (Co-orientador).

## GENERAL ABSTRACT

MOTA, Vania Corrêa. **Fuzzy, geostatistical and statistical modeling for the assessment of confinement system for cattle in the compost barn model.** Lavras: UFLA, 2018. 232p. Thesis - PhD in Agricultural Engineering).<sup>2</sup>

The present research is driven by the following objectives: (i) perform Geostatistics modeling to map and represent facilities of confinement of dairy cattle in the Compost Barn model; (ii) apply tests to evaluate bed material and agricultural implements used in this confinement system; and (iii) develop Fuzzy models to infer the composting factors of bed material from measurable variables of the bed itself. To this end, it is assumed that the knowledge of the characteristics of the bed and climatic factors in the Compost Barn installation is an essential means for the sustainability of the dairy cattle sector with respect to the management conditions and ambience. The data were submitted to Geostatistics modeling and interpolation by kriging. With respect to Fuzzy modeling, were consider functional models of the Takagi-Sugeno type with parameter adjustment from the data and of the C-Means algorithm were considered. The experiments were conducted on a rural property in the State of Minas Gerais, located in the city of Três Corações. The data considered were collected in eight distinct periods of the summer and winter of 2016 and in the period from October 2016 to February 2017, featuring three experiments. The methodology used were the quantitative analysis, with application of statistical test for paired data and analysis of variance. In addition, Geostatistics and Fuzzy modeling approaches were developed to represent and analyze bed issues and climatic conditions in dairy cattle facilities. Finally, bed residuals were evaluated as organic fertilizer to grow corn crops.

**Keywords:** Organic fertilizer. Dairy Cattle. Animal Comfort. Composting. Field Building. Installations for Cattle. Kriging Map. Modeling Computational. Fuzzy Systems. Confinement Systems.

---

<sup>2</sup> Advisory Committee: Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade – UFLA (Adviser); Prof. Dr. Daniel Furtado Leite – UFLA (Co - Adviser).

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1	Sistema de confinamento <i>Loose Housing</i> , detalhe da área de descanso.....	34
Figura 2	Ilustração de uma vista frontal de um galpão em sistema <i>Tie Stall</i> .....	35
Figura 3	Ilustração de um galpão em sistema <i>Free Stall</i> .....	36
Figura 4	Ilustração de um galpão para rebanho leiteiro em sistema <i>Compost Barn</i> . a) Detalhe da mureta e da ventilação mecânica; b) Detalhe da pista de alimentação.....	38
Figura 5	Revolvimento da cama no sistema <i>Compost Barn</i> .....	40
Figura 6	Representação gráfica de um semivariograma.....	44
Figura 7	Localização da área em estudo.....	55
Figura 8	Propriedade, vista aerea.....	56
Figura 9	Planta baixa do galpão de compostagem.....	57
Figura 10	Imagens do galpão em sistema <i>Compost Barn</i> . (a) detalhe dos ventiladores; (b) galpão de ordenha.....	57
Figura 11	Implementos agrícolas utilizados para revolver a cama. (a) grade aradora; (b) enxada rotativa.....	58
Figura 12	Implementos agrícolas utilizados no <i>Compost Barn</i> . (a) misturador de ração; (b) trator fazendo o revolvimento da cama.....	58
Figura 13	Malha regular com 36 pontos.....	59

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Figura a	Imagem do resumo do artigo 1 publicado na revista PUBVET.	77
Figura 1	Confinamento no sistema <i>tie-stall</i> com animais da raça Holandesa, município de Ijaci/MG, Brasil. Fonte: <a href="http://www.holandesflamma.com.br/index.php/pt-br/">http://www.holandesflamma.com.br/index.php/pt-br/</a> .....	84
Figura 2	Confinamento no sistema <i>free-stall</i> com animais da raça Holandesa, no município de Ijaci, Minas Gerais, Brasil. Fonte: Autor.....	86

Figura 3	Confinamento no sistema <i>loose housing</i> , detalhe da área de descanso. Fonte: Shri (2012).....	88
Figura 4	Sistema <i>compost barn</i> , município de Três Corações - MG. Fonte: autor.....	89
Figura 5	Revolvimento da cama no sistema Compost Barn - município de Três Corações/MG. Fonte: Autor.....	92
<b>ARTIGO 2</b>		
Figura 1	Planta baixa do galpão <i>compost barn</i> .	101
Figura 2	Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica (CTR) e a Entalpia, com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 9:00 h no verão (VER) de 2016.....	112
Figura 3	Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e Entalpia com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 15:00 h no verão de 2016.....	113
Figura 4	Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e Entalpia com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 9:00 h no inverno de 2016.....	114
Figura 5	Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia, com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 15:00 h no inverno de 2016.....	115
<b>ARTIGO 3</b>		
Figura 1	Planta baixa do galpão <i>Compost Barn</i> .....	126
Figura 2	Detalhe da coleta da temperatura corporal com termômetro infravermelho.	128
Figura 3	Resumo dos escores de claudicação (a) e higiene (b).....	138
<b>ARTIGO 4</b>		
Figura 1	Regular grid with 36 points used to record the bed superficial (S) and 0.15	

	m depth (P) temperatures.	151
Figura 2	Agricultural implements used to turn the bed. (a) disc harrow; (b) rotary hoe.....	152
Figura 3	Variation of temperature (°C) and relative humidity (%) inside the experimental shed in the summer period.....	154
Figura 4	Variation of temperature (°C) and relative humidity (%) inside the experimental shed during the winter period.....	155
Figura 5	Maps of kriging for summer 2016.(a) surface temperature of the bed before being stirred, (b) bed surface temperature after turning, (c) bed 0.15m temperature before turning and (d) 0.15 m temperature of the bed after it was turned.....	160
Figura 6	Maps of winter kriging of 2016.(a) surface temperature of the bed before being stirred (b), bed surface temperature after turning (c) 0.15 m bed temperature before turning and (d) 0.15m temperature of the bed after it was turned.....	161

**ARTIGO 5**

Figura 1	ANFIS architecture.....	170
Figura 2	Detail of the composting shed.....	176
Figura 3	Regular mesh with 36 stitches.....	177
Figura 4	Structure of the ANFIS model.....	179
Figura 5	Graph of the approximate model with five inputs.....	182

**ARTIGO 6**

Figura 1	Curve adjustment by logistic sigmoid model considering plant height (m), stem diameter (mm) and number of leaves. The rows are data related to treatments T, TL, TC, TM, and TF, respectively.....	200
----------	--	-----

**ARTIGO 7**

Sem Figuras      N/A

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1	Detalhamento dos tratamentos utilizados no experimento com adubação orgânica derivado da cama do sistema de confinamento no modelo <i>Compost Barns</i> .....	64
----------	---	----

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Tabela 1	Dimensões para baias individuais do <i>tie-stall</i> .....	85
Tabela 2	Dimensões para baias no sistema <i>free-stall</i> .....	87

#### ARTIGO 2

Tabela 1	Estatística dos índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia (H) estudados em estábulos com sistema modelo <i>Compost Barn</i> no verão de 2016 com os ventiladores ligados e desligados.....	105
Tabela 2	Estatística dos índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia (H) estudados em estábulos com sistema modelo <i>Compost Barn</i> no inverno de 2016 com os ventiladores ligados e desligados.....	107
Tabela 3	Resultado do critério de aproximação de Akaike (AIC) e do grau de dependência espacial (DE) dos modelos e parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais, relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia, com os ventiladores ligados e ventiladores desligados às 9:00 e às 15:00 horas no verão de 2016.....	109
Tabela 4	Resultado do critério de aproximação de Akaike (AIC) e do grau de	



dependência espacial (DE) dos modelos e parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais, relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia, com ventiladores ligados e desligados às 9:00 e às 15:00 horas no inverno de 2016.....	110
--	-----

**ARTIGO 3**

Tabela 1	Estatística das variáveis microclimáticas do estábulo em sistema modelo <i>Compost barn</i> estudadas nas estações de verão e inverno.....	130
Tabela 2	Valores médios de temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória do período da manhã de vacas Holandês em lactação, alojadas em sistema de confinamento <i>Compost Barn</i> .....	133
Tabela 3	Valores médios de temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória do período da tarde de vacas Holandês em lactação, alojadas em sistema de confinamento <i>Compost Barn</i> .....	134
Tabela 4	Resultados dos coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros fisiológicos e os índices de conforto de vacas Holandês em lactação, alojadas em sistema de confinamento <i>Compost Barn</i> .....	136

**ARTIGO 4**

Table 1	Descriptive statistics and paired t-test results( $\alpha = 0.05$ )for the mean values of the eight days of superficial (S) and depth of 0.15m (P) temperature collection of bedding in the compost barn.....	156
Table 2	Estimation of the nugget effect parameters ( $C_0$ ), sill ( $C_0 + C_1$ ), range ( $a$ ), approximation of value of the Akaike Criterion (AIC), degree of spatial dependence (SD), coefficient of determination ( $R^2$ ) and the sum of squares of residues (RSS) of the "spherical" (Sph.), "Gaussian" (Gaus.), "exponential" (Exp.) and "linear" (Lin.) adjusted to the experimental semivariograms, relative to the superficial and 0.15m depth temperatures of the confinement bed for dairy cattle in the compost barn model in the summer of 2016.....	158

Table 3	Estimation of the nugget effect parameters ( $C_0$ ), sill ( $C_0 + C_1$ ), range ( $a$ ), approximation of value of the Akaike Criterion (AIC), degree of spatial dependence (SD), coefficient of determination ( $R^2$ ) and the sum of squares of residues (RSS) of the "spherical" (Sph.), "Gaussian" (Gaus.), "exponential" (Exp.) and "linear" (Lin.) models adjusted to the experimental semivariograms, relative to the superficial temperature and temperature in the 0.15m depth of the confinement bed for dairy cattle in the compost barn model in the winter of 2016.....	159
---------	---	-----

**ARTIGO 5**

Table 1	Mean error root (RMSE) results for the models studied.....	180
Table 2	Rules corresponding to the model with five entries.....	180
Table 3	Rules corresponding to the model with four inputs.....	183

**ARTIGO 6**

Table 1	Physical and chemical characteristics of the organic compost (bed) from the feed system of dairy cattle in the CBP model used in the experiment.....	195
Table 2	Average comparison of treatment levels at each time, and average comparisons of time at each treatment level, for plant height (PH), stalk diameter (SD), number of leaves (NL).....	197
Table 3	Summary of the adjusted parameters for the sigmoid logistic function considering the variables PH, SD and NL.....	198

**ARTIGO 7**

Table 1	Detailing of the treatments used in the experiment with organic manure derived from the bed of the housing system in the compost bedded pack barn model.....	210
Table 2	Physical and chemical characteristics of the organic compost (bed) from the feed system of dairy cattle in the CBP model used in the experiment	211
Table 3	Average values of plant height (PH), stem diameter (SD), number of leaves (NL), shoot green matter (SGM), shoot dry matter (SDM), dry basis moisture (DBM), ear diameter with husk (DESPC), ear diameter	

	without husk (DESPS), ear length with husk (CESPC), and ear length without husk (CESPS) after 77 days of maize germination at silage point.....	215
Table 4	Average values of soil chemical characteristics after maize planting for the different treatments.....	217

## LISTA DE ABREVIATURAS

AL	Aluminum
ANFIS	<i>Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System</i>
A. N.	Ammoniacal nitrogen
AIC	Cr�terio de Akaike
C	Carbon
<i>C</i>	Tara do cadinho
Cu	Copper
Ca	Calcium
CB	<i>Compost Barn</i>
CCS	Contagem de células somáticas
CBP	<i>Compost Bedded Pack Barns</i>
C: N	Rela�o Carbono e Nitrogênio
CTC (T)	Cation exchange capacity at pH 7.0
CTR	Carga Térmica Radiante
C. V.	Coeficiente de Varia�o
DAE	Days after plant emergence
DBM	Dry basis moisture
DE	Dependência espacial
Exp.	Exponencial
FCM	<i>Fuzzy C-Means</i>
Fe	Iron
FIS	Sistema de Inferência Fuzzy
Fig.	Figura
F. M. R.	Fixed mineral residue - Ashes
FR	Frequência respiratória
Gbell	Sino generalizada
GG	<i>Gath-Geva</i>
Gaus.	Gaussiano

GK	<i>Gustafson-Kessel</i>
H	Hora
H	Entalpia
H+Al	Extractor: SMP
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
ITGU	Índice de temperatura de globo negro e umidade
INV	Inverno
K	Potassium
KCL	Potassium chloride
KM	<i>K-Means</i>
Lin.	Linear
M	Aluminum Saturation Index
M	Metro
Mg	Magnesium
Mn	Manganese
NL	Number of leaves
OLS	Mínimos quadrados ordinários
O.M.	Organic Matter
PH	Plant height
P	Phosphorus
<i>P</i>	Massa da amostra úmida
<i>P</i> <sub>1</sub>	Massa da amostra seca
P-Rem	Remaining Phosphorus
<i>P</i> <sub>atm</sub>	Pressão atmosférica
S	Sulfur
SB	Exchangeable bases
SD	Stalk diameter
SDM	Shoot dry mass
SWM	Shoot wet mass
T	Control

<i>T</i>	Peso da cinza mais cadinho
$T_{bs}$	Temperatura de bulbo seco
$T_{bu}$	Temperatura de bulbo úmido
$T_{gn}$	Temperatura de globo negro
<i>TGN</i>	Temperatura de globo negro
Temp.	Temperatura
T A	Temperatura do ar
T. N.	Total Nitrogen
$T_{po}$	Temperatura do ponto de orvalho
TR	Temperatura retal
TRM	Temperatura média radiante
Treat.1-TM	Fresh compost added to the pot 15 days before planting, with nitrogen coverage
Treat.2 -TC	Mature compost for 30 days and added to the pot on the sowing day, with nitrogen coverage
Treat.3 -TF	Fresh compost added to the pot on the sowing day, with nitrogen coverage
Treat.4 -TL	No compost, only with nitrogen coverage - conventional
TS	Temperatura da superfície do animal
T. S.	Total solids
R. H. %	Umidade Relativa
RMSE	Raiz do Erro Médio
RSS	Soma de quadrados de resíduos
S	Temperatura superficial
Sph.	Esférico
SD	Stem diameter
<i>U</i>	Umidade da cama
U R	Umidade Relativa
VER	Verão
v	Velocidade do ar
V	Base Saturation Index

vv	Velocidade do vento
Zn	Zinc

### LISTA DE SIGLAS

OECD - FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO
INMET	National Meteorological Institute

### LISTA DE SÍMBOLOS

$A$	Alcance
$C_I$	Contribuição
$C_0$	Efeito Pepita
$C = C_0 + C_I$	Patamar
Gbell	Sino generalizada
$h$	Distância de separação das observações
$n$	Tamanho da amostra (15 animais)
$N$	Tamanho da população (total de vacas no galpão)
$n_h$	Determinará a amostra do estrato
$N_h$	Tamanho do estrato (divisão da instalação - lote)
$N(h)$	Número de pares possíveis para a distância $h$
$R^2$	Coefficiente de determinação
$\hat{\gamma}(h)$	Semivariância para uma distância $h$
$z(x_j)$ e $z(x_j + h)$	São as observações dos índices de conforto animal separadas pelo vetor $h$
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann

## PUBLICAÇÕES

Além dos 7 artigos científicos que compõem esta tese, durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram concluídos alguns trabalhos que são baseados ou de alguma forma relacionados ao conteúdo desta tese. Eles estão listados abaixo para referência.

### *Periódicos*

**MOTA et. al.** Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características. **PUBVET, Maringá**, v. 11, n. 5, p. 433-442, Mai., 2017. Disponível em:<<http://www.pubvet.com.br/uploads/4a3909e61dd75fd096dbdd72a4b74a43.pdf>>. Acesso em: 5 julho. 2017.

SANTOS A. M. dos, **MOTA V. C.** Análise espacial dos usos e da cobertura da terra no pantanal dos rios Guaporé e Mamoré/Rondônia. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 433-452, jul/set., 2017. Disponível em:< <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5421/4357>>. Acesso em: 21 ago. 2017.

**MOTA V. C.**; DAMASCENO, F. A.; LEITE, D. F. Fuzzy Clustering and Fuzzy Validity Measures for Knowledge Discovery and Decision Making in Agricultural. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 150, p. 118–124. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

### *Conferencias internacionais*

**MOTA, V. C.**; DAMASCENO, F. A.; SOARES, E. A.; LEITE, D. F. Fuzzy Clustering Methods Applied to the Evaluation of Compost Bedded Pack Barns. In: 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2017, Nápoles. 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2017. v. 1. p. 7-12.



SOARES, E. A.; **MOTA, V. C.**; POUCAS, R.; LEITE, D. F. Cloud-Based Evolving Intelligent Method for Weather Time Series Prediction. In: 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2017, Nápoles. 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2017. v. 1. p. 1-6.

**MOTA, V. C.**; LEITE, D. F. Sistema de Inferência Neuro-Fuzzy Adaptativo para Previsão de Temperatura Média Mensal. In: 62a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (62 RBras), 2017, Lavras - MG. 62a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (62 RBras), 2017. v. 1. p. 1-6.

### *Conferencias no Brasil*

**MOTA, V. C.**; CAMPOS, A. T.; DAMASCENO, F. A.; SOARES, E. A.; LEITE, D. F. Métodos de Agrupamento Fuzzy Aplicados à Sistemas de Galpão de Compostagem. In: XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2017), 2017, Maceió - AL. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2017), 2017. v. 1. p. 1-10.

**MOTA, V. C.**; SOARES, E. A.; LEITE, D. F. Modelagem Fuzzy Incremental para Previsão Climática (Tipicalidade e Excentricidade). In: XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2017), 2017, Maceió - AL. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2017), 2017. v. 1. p. 11-20.

SOARES, E. A.; **MOTA, V. C.** Previsão de Temperatura Mensal Utilizando Redes Neuro-Fuzzy Evolutivas., In: 2º SEMINÁRIO DE SISTEMAS FUZZY. Universidade Federal de Lavras - UFLA. Departamento de Engenharia Agrícola - DEG. 2016, Lavras - MG. *Anais...*,2016, 1 CD-ROOM.

**MOTA, V. C.**; Leite, D., Modelagem *Fuzzy* para previsão da temperatura em cidades com padrões climáticos diferenciados, In: 1º SEMINÁRIO DE SISTEMAS FUZZY. Universidade Federal de Lavras - UFLA. Departamento de Engenharia Agrícola - DEG. 2015, Lavras - MG. *Anais...*,2015, 1 CD-ROOM.1

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescente aumento da produção de leite nos últimos anos fez com que o Brasil se tornasse auto suficiente em laticínios. Em particular, o setor de produtos lácteos durante os próximos dez anos serão responsáveis por uma parcela estável de 53% da produção brasileira de leite, com aumento de 2,1%, por ano, na produção de produtos lácteos processados. A produção passou da sexta maior produção do mundo para a quarta maior produção, com 34,255 bilhões de litros. Esse avanço aconteceu em função da ampliação do rebanho bovino e em menor dimensão devido ao acréscimo da produtividade, segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO (OECD/FAO, 2017).

A produtividade do setor está relacionada com o bem-estar e o conforto animal. As instalações devem proteger os animais dos problemas climáticos que eventualmente possam prejudicar a eficiência do processo produtivo. O estudo a respeito do quanto os fatores ambientais e o microclima das instalações de bovinos leiteiros influenciam no desempenho da produção do animal tem ganhado espaço no meio científico e prioridade do ponto de vista dos produtores e investidores. A ideia é que os animais estejam em condições ideais para que possam expressar todo o seu potencial genético.

Dessa forma, tem se tornado um desafio projetar e adequar as instalações existentes ao clima ideal para que as vacas leiteiras desenvolvam alta produção. Similarmente, os custos do processo como um todo não devem aumentar. São diversas as variáveis climáticas envolvidas no processo de produção. Dentre estas variáveis climáticas estão a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do ar, concentração de amônia e dióxido de carbono. Alguns dos maiores problemas enfrentados pelos produtores brasileiros são o microclima das instalações e as altas temperaturas encontradas no país. Por exemplo, as raças com maior desempenho produtivo, como o gado Jersey e o gado Holandês, que são raças de origem européia e, portanto, são mais adaptados ou apropriados ao clima temperado. Os quais têm sua produtividade afetada negativamente nos climas quentes, a exemplo do Brasil.

Bovinos leiteiros são usualmente criados em sistemas de confinamento conhecidos como *Tie Stall* e *Free Stall*. Estes sistemas têm sido adotados por décadas nas propriedades brasileiras. Recentemente, um novo sistema de confinamento chamado *Compost Barn* (CB) (JANNI et al., 2007; LESO et al., 2013; FERREIRA, 2015; GALAMA et al., 2015) tem sido preferido por

produtores.

No sistema de confinamento CB, o principal diferencial está na cama de descanso dos animais. A cama contém nitrogênio derivado da urina e dos dejetos das vacas confinadas no galpão CB. Adicionalmente, a cama contém fontes de carbono provenientes de serragem, cavacos de madeira, palhada de milho picada, casca de amendoim e de café, entre outras (LESO et al., 2013; GALAMA et al., 2015). Nesse sistema, as vacas são alimentadas no cocho, e necessitam de instalações bem planejadas e adequadas para seu bem-estar e para aumento da produtividade (FÁVERO, 2015).

Neste contexto, a necessidade de entendimento, análise e controle do microclima do ambiente interno nas instalações para confinamento de gado leiteiro é a principal razão para se buscar métodos de modelagem matemática e de representação e processamento computacional. Particularmente, os métodos de modelagem, que foram considerados neste trabalho, são métodos de inferência sob regras *Fuzzy* (ZADEH, 1965; SUGENO, 1985), vide exemplos em Perissinotto et al. (2009), Campos et al. (2013) e Mota. et al. (2018). Também foram considerados métodos de modelagem Geoestatística, como aqueles apresentados em Faria et al. (2008); Sales et al. (2011); Silva et al. (2012); Gonçalves; Turco e Ramos, (2016).

As modelagens são de extrema importância no contexto de produção leiteira já que forçam a explicitação dos objetivos; a identificação das iterações entre variáveis; o raciocínio criterioso sobre variáveis; e a identificação de limitações dos valores das variáveis. Além disso, modelos podem ser melhorados com a experiência e a história.

Considerando tais constatações, a presente pesquisa baseia-se no pressuposto que a partir de modelos é possível inferir sobre os principais fatores na compostagem, representar e localizar os pontos críticos das variáveis climáticas no interior de galpões de confinamento de bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*.

## **1.1 Tema**

O tema principal deste trabalho é o estudo de instalações de confinamento de bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn* por meio de modelos *Fuzzy*, Geoestatístico e Estatístico. Visando entender melhor o sistema a partir de formalizações matemáticas, estabelecendo objetivos, correlacionando variáveis, usando métodos existentes e propondo novos métodos de análise.

## 1.2 Hipóteses

- Com a utilização da modelagem Geoestatística, pode-se representar e localizar os pontos críticos dos índices do ambiente térmico no interior de galpões de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*.
- Com a modelagem baseada em sistema de regras *Fuzzy* pode-se inferir sobre fatores que influenciam na compostagem da cama, presente em galpões de confinamento de bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*.
- Com a análise de testes estatísticos pode-se avaliar o desempenho do material de cama e dos implementos agrícolas utilizados no revolvimento da cama do *Compost Barn*.

## 1.3. Justificativa

A presente tese justifica-se pelo estudo do sistema de confinamento modelo *Compost Barn*, com o objetivo de trazer informações úteis e necessárias para os produtores de leite que queiram implantar esse sistema. Isso permite rever a necessidade de elaboração de um projeto de construções rurais adequado, pois o modelo *Compost Barn* proporciona a melhoria na qualidade do processo produtivo do leite, garante a baixa manutenção e a redução de doenças tais como, mastite e afecções podais, além da redução do estresse térmico dos animais.

Os produtores podem se beneficiar da construção de um sistema de confinamento modelo *Compost Barn*. Entre os benefícios estão inclusos a redução de custos de manejo dos dejetos e mão de obra, bem como a não necessidade de um espaço para tratar esses dejetos. O material de cama produzido, originário da mistura de dejetos, urina, serragem ou palhada de milho, entre outros, poderá agregar valor a propriedade.

O *Compost Barn* quando bem planejado e elaborado com manejo e gestão adequados poderão proporcionar às vacas leiteiras conforto, bem estar e um ambiente limpo e seco, com diminuição de perdas prematuras e gastos com medicamentos. Da mesma forma, um bom gerenciamento justifica o investimento nesse tipo de instalação.

## 1.4. Organização

Esta tese está organizada em duas partes, conforme resumido abaixo.

- A primeira, contém uma descrição geral sobre o problema tratado nesta tese, onde será apresentado a introdução, a hipótese, os objetivos e o referencial teórico. Abordou-se, um

referencial teórico, com princípios e conceitos referentes à conforto animal, aos índices de conforto animal e aos diferentes tipos de confinamento para bovinos leiteiros, *Loose Housing, Tie Stall; Free Stall e Compost Barn*. No item 3.3 será apresentado a metodologia computacional utilizada, colocando a pesquisa em uma perspectiva mais ampla, conectando-a à teorias bem estabelecidas de modelagem Geoestatística e Inferência Fuzzy. E o item 4.2 descreve os três (03) experimentos desenvolvidos nesta tese. O último item da primeira parte conclui esta tese e propõe pesquisas futuras.

- Na Segunda parte serão apresentados os artigos com identificação do periódico. Os artigos foram elaborados de acordo com as normas do periódico em questão.
- No artigo 1 é apresentada uma revisão da literatura com o objetivo de descrever os tipos de confinamentos para bovinos leiteiros, existentes no momento. Maior ênfase é dada às características construtivas de cada sistema.
- O artigo 2 descreve e caracteriza a variabilidade espacial do ambiente térmico, por meio de mapas, para localizar e representar as variáveis climáticas, e os índices de conforto térmico, utilizando a modelagem Geoestatística.
- O artigo 3 avalia o conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em instalações *Compost Barn* com base em índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos, escore de higiene e claudicação. Análises estatísticas dão suporte às avaliações.
- O artigo 4 apresenta a caracterização e a variabilidade espacial da temperatura da cama do sistema de confinamento no modelo *Compost Barn*, bem como verifica se existe efeito eficiente no revolvimento da cama baseado em diferentes implementos agrícolas. Os dados foram analisados por meio dos procedimentos da análise de estatística descritiva, teste de médias para dados pareados e modelagem Geoestatística.
- O artigo 5 aborda modelos *Fuzzy* para inferir sobre os principais fatores na compostagem da cama. Estes incluem a composição de comunidades microbianas, umidade, temperatura e pH. Para isso, foram utilizados modelos *Fuzzy* do tipo Takagi-Sugeno desenvolvidos a partir de dados. A construção do modelo Takagi-Sugeno levou em conta algoritmos de agrupamento de dados, como o algoritmo *Fuzzy C-Means*.
- O artigo 6 estuda o efeito de diferentes intervalos de tempo para maturação da cama em galpões de composto para bovinos leiteiros, como adubação orgânica no cultivo de milho

para silagem. A função sigmoidal logística se mostrou adequada para representar o crescimento da planta de milho até o ponto de silagem.

- O artigo 7 apresenta o uso de resíduos orgânicos, provenientes de sistema de confinamento no modelo *Compost Barn*. Além disso, com o constante aumento do consumo de alimentos oriundos da pecuária sustentável, a utilização de adubo gerado da própria propriedade se torna economicamente viável. O solo utilizado no plantio de milho para silagem apresentou aumento significativo nas suas características químicas quando associados à aplicação do material da cama do sistema de confinamento estudado.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos geral e específico desta tese são listados nessa seção.

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral desta tese é:

- Utilizar a modelagem Geoestatística para mapear e representar instalações de bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn* e identificar e localizar os pontos críticos dos índices de conforto animal, aplicar testes para avaliar a cama e os implementos agrícolas, bem como utilizar e implementar abordagens *Fuzzy* para inferir sobre os fatores de compostagem da cama.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Os objetivos intermediários desta tese são:

- Caracterizar a variabilidade espacial do ambiente térmico, por meio de mapas de krigagem, para localizar e representar os índices de conforto térmico, utilizando a modelagem Geoestatística;
- Avaliar o conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em instalações *Compost Barn* com base em índices de conforto térmico e parâmetros fisiológicos;
- Verificar se existe diferença na temperatura da cama do sistema *Compost Barn* baseado no seu revolvimento.
- Desenvolver modelos *Fuzzy* para inferir sobre os principais fatores na compostagem da cama.

- Testar se o material da cama *Compost Barn* pode ser aplicado diretamente no solo, (sem ter sido curtido após retirado da instalação) estando apto para aplicação como adubo orgânico no cultivo do milho.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

Este item trata-se de uma revisão do estado da arte dos assuntos tratados nesta pesquisa.

#### **3.1. Conforto Animal**

Um dos desafios para a produtividade pecuária diz respeito ao monitoramento do estado de bem estar dos animais e controle do estresse térmico. O estresse térmico é capaz de provocar grandes prejuízos ao sistema de produção, como queda na produção de leite e nos índices reprodutivos, sendo que o método de quantificar ou medir a sensação de calor pelo animal ocorre por meio dos fatores ambientais, como: temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do ar, e por fatores individuais, como o metabolismo e o tipo de pelo dos animais (SILVA, 2016; FERREIRA, 2015).

A temperatura ambiente pode influenciar a produtividade das vacas leiteiras, por alterar a troca de calor com o ambiente e a taxa de ingestão de alimento e, simultaneamente, afetar ou mudar as exigências em nutrientes dos animais. Os valores médios de temperatura recomendados para gado leiteiro são de 10 a 24 °C e em uma amplitude maior da temperatura ambiente (5 a 25°C) conhecida como zona termoneutra (NASCIMENTO et al., 2013; PIRES; CAMPOS, 2008).

O segundo fator ambiental é a umidade relativa do ar, que tem efeito na taxa de perda de calor dos animais, principalmente em áreas tropicais quentes com altas temperaturas. Para uma condição de conforto, a umidade relativa do ambiente deve estar na faixa de 40 a 70%, para a maioria das espécies de animais domésticos (FERREIRA, 2015).

A radiação solar está diretamente relacionada à carga de energia radiante sobre o desempenho dos animais durante os períodos de alta umidade relativa e alta temperatura, ou seja, é o calor recebido de tudo que rodeia o animal como, por exemplo, o sol, as paredes da instalação, outros animais, o solo, etc. Essa radiação se transforma em calor quando incide sobre a pele dos animais (PINHEIRO et al., 2015).

A velocidade do ar está pautada na movimentação do ar e seus efeitos em termos de conforto animal. A ventilação do ambiente, mesmo não reduzindo a temperatura do ar, promove

aumento do processo convectivo de troca e, se estiver dentro das recomendações, melhora a sensação térmica do animal. A renovação do ar, beneficia a secagem da cama e a eliminação dos gases excretados (SILVA, 2016), possibilitando, dentro de certos limites, controlar a temperatura do ar e a umidade relativa do ambiente (COSTA; DOURADO; MERVAL, 2012). Em sistemas produtivos para bovinos leiteiros, as instalações têm a função de abrigar os animais e criar um microclima com fatores climáticos amenizados (MOURA et al., 2010).

O estudo da ambiência e das instalações para bovinos leiteiros e o conhecimento dos efeitos dos fatores ambientais, devem ser analisados em conjunto. Existe uma inter-relação entre esses fatores que influenciam o desempenho e a produção dos animais (PINHEIRO et al., 2015). Uma alternativa para minimizar as altas temperaturas, controlar a umidade, a radiação e a velocidade do vento, corresponde ao manejo do microambiente interno das instalações.

### **3.1.1. Índices de Conforto Animal**

Fatores ambientais externos podem interferir no microclima gerado no interior das instalações, causando com isso impacto sobre a produção, com consequentes prejuízos econômicos à exploração leiteira. Uma forma de avaliar as respostas dos animais ao ambiente térmico ocorre por meio de Índices de Conforto Animal e pela observação de alguns parâmetros fisiológicos, tais como a temperatura retal (TR) e a frequência respiratória (FR). A medida da temperatura retal orienta a determinação do equilíbrio entre o ganho e a perda de calor do corpo do animal, (PERISSINOTTO et al., 2009) enquanto a frequência respiratória é um indicativo do seu estresse térmico, sendo que em bovinos adultos a FR varia entre 24 e 36 movimentos respiratórios por minuto ( $\text{mov min}^{-1}$ ) (FERREIRA et al., 2006).

Os Índices de Conforto Animal, mais utilizados para bovinos são: Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que associa a temperatura de bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido; e o Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) (COSTA; SILVA et al., 2010).

O índice de temperatura e umidade (ITU), desenvolvido por THOM (1958), para analisar as condições climáticas e o conforto térmico animal. Seu intervalo se situa entre: menor que 74 o que configura conforto térmico; entre 74 e 79 representando situação de alerta; entre 79 e 84, indicando situação de perigo; e acima de 84 configurando situação de emergência (CARVALHO et al., 2009). Este índice de conforto térmico citado por Baêta e Souza (2010) é determinado pela equação:



$$ITU = 0,7(T_{bs} + T_{bu}) + 40,6 \quad (1)$$

em que  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco (°C); e  $T_{bu}$  é a temperatura de bulbo úmido (°C).

O índice de globo negro e umidade (ITGU) foi desenvolvido como um índice de conforto térmico para vacas leiteiras expostas à radiação solar direta e indireta. O ITGU considera em um único valor os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade do ar, do nível de radiação e da movimentação do ar, citado por Moura et al. (2010) é calculado por:

$$ITGU = T_{gn} + 0,36 T_{po} + 41,5 \quad (2)$$

em que  $T_{gn}$  é a temperatura do globo negro (°C); e  $T_{po}$  é a temperatura do ponto de orvalho (°C).

Os efeitos combinados da radiação, convecção e sua influência no organismo vivo podem ser mensurados pela temperatura do globo negro (°C) (KAWABATA; CASTRO; JÚNIOR, 2005). Desta forma, o ITGU é um índice adequado para predizer as condições de conforto térmico em regiões quentes.

Existem outros índices, utilizados como indicadores das condições microclimáticas de ambientes, tais como o Índice de Carga Térmica Radiante (CTR) que foi desenvolvido por ESMAY (1969) e expõe a radiação total recebida pelo globo negro em toda a vizinhança e a Entalpia (H) definida como a energia contida no ar úmido, por umidade de massa seca, que integra uma parcela de energia passível de ser extraída na forma de calor por meio do ambiente (FERREIRA, 2016)

O Índice de Carga Térmica Radiante (CTR) citado por Avila (2014) é calculado por:

$$CTR = \sigma(TRM)^4 \quad (3)$$

em que  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \times 10^{-8} W.m^{-2}K^{-4}$ , e  $TRM$  é a temperatura média radiante que possui uma equação própria:

$$TRM = 100 \sqrt[4]{2,51\sqrt{vv}(T_g - T_{bs}) + \left(\frac{T_g}{100}\right)^4} \quad (4)$$

em que,  $vv$  é a velocidade do vento ( $m s^{-1}$ );  $T_g$  é a temperatura do globo negro ( $^{\circ}C$ ) e  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ ). Este índice calcula a troca de calor radiante em uma edificação (galpão), sendo que os materiais utilizados na construção influenciam em seu resultado (FERREIRA, 2016)

Já a Entalpia (H) é um índice que correlaciona a  $T_{bs}$  e a umidade relativa. A entalpia citado por Rodrigues et al. (2010) é calculada por:

$$H = 1,006T_{bs} + \left( \frac{UR}{P_{atm}} * 10^{\frac{7.5*T_{bs}}{237.3+T_{bs}}} \right) (71,28 + 0,052T_{bs}) \quad (5)$$

em que  $H$  é a entalpia ( $kJ kg^{-1}$  ar seco);  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ ); e  $UR$  é a umidade relativa (%); e  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica em mmHg.

### **3.2. Sistemas de confinamento para bovinos leiteiros**

No sistema de confinamento, as vacas são alimentadas no cocho, e necessitam de instalações confortáveis e funcionais, que proporcionem um ambiente melhor em termos de conforto térmico, para diminuir o estresse animal e, conseqüentemente, aumentar o seu bem-estar e sua capacidade produtiva. Como sistemas de confinamento para bovinos leiteiros temos: *Loose Housing*, *Tie Stall*; *Free Stall* e *Compost Barn* (ARAÚJO, 2001; PIRES; CAMPOS, 2008; BEWLEY, 2008; ECKELKAMP et al., 2016).

#### **3.2.1. Loose Housing**

No sistema *Loose Housing*, o confinamento dos animais ocorre em estábulos com área de repouso coletivo para o gado leiteiro (Figura 1). Os animais, embora confinados, ficam em áreas livres para os exercícios, e em áreas cobertas para se protegerem do sol forte, chuva e ventos frios. Eles têm liberdade de movimento (VASCONCELLOS, 1975). As vacas são levadas para áreas ou galpões separados para a ordenha e alimentação.

Figura 1 - Sistema de confinamento *Loose Housing*, detalhe da área de descanso.



Fonte: Shri (2012).

Segundo Cleaver (1953), a área de repouso, chamada de área com cama, é um espaço onde as vacas podem descansar ou deitar. A cama é coberta com material seco. Ela deve fornecer abrigo contra ventos frios, neve e chuva; trata-se de instalações cobertas. O chão de terra pode ser satisfatório para áreas de repouso desde que tenham de 0,20 a 0,25 % (graus) de inclinação para proporcionar uma boa drenagem, e com uma faixa pavimentada, ao longo de toda a frente aberta, para que, parte da lama ou esterco escorra para esta parte pavimentada. Equipamentos como tratores podem ser utilizados para a remoção dos dejetos. Esses equipamentos funcionam de forma mais eficaz nesta faixa (CLEAVER, 1953).

### **3.2.2. Tie Stall**

No sistema *Tie Stall* (estabulação total), as vacas são mantidas presas por uma corrente no pescoço, e recebem alimentação 100% no cocho. Geralmente as vacas ficam soltas apenas na hora da ordenha, quando fazem um pouco de exercício (Figura 2). É um sistema que exige mão de obra qualificada, e possui um elevado custo de investimento e infra-estrutura. O sistema é aplicado à vacas de altíssima produtividade (ARAÚJO, 2001). As vacas leiteiras permanecem limpas, mas como é reduzida a sua oportunidade de se exercitarem, aumenta-se a possibilidade de estresse.

O sistema *Tie Stall* é muito utilizado para rebanhos pequenos de até 60 animais em lactação. Para o sucesso deste tipo de instalação as baias devem possuir dimensões adequadas para a movimentação dos animais, sendo construídas de acordo com o tamanho dos animais. O arranjo mais desejável é o de duas fileiras de baias, de modo que as vacas fiquem com a parte posterior (traseira) voltada para o corredor. Essa área é chamada de área de serviço (MATTOS, 1977).

Figura 2 - Ilustração de uma vista frontal de um galpão em sistema *Tie Stall*.



Fonte: <http://www.holandesflamma.com.br/index.php/pt-br/>

### **3.2.3. *Free Stall***

No sistema *Free Stall* (estabulação livre) as vacas ficam soltas dentro de uma área cercada, sendo parte dividida em baias individuais, onde os animais permanecem lado a lado. As baias são forradas com cama, que pode ser de areia ou de borracha, e é destinada ao descanso dos animais. A outra parte é destinada para a alimentação e exercícios (ARAÚJO, 2001).

O sistema *Free Stall* surgiu nos Estados Unidos na década de 1950, e se espalhou rapidamente pelo país devido às suas vantagens de estabulação. As baias individuais devem ser bem dimensionadas, com largura suficiente para o conforto da vaca, sem, entretanto, permitir que a mesma se vire (Figura 3). O comprimento deve ser o mínimo para que o animal, ao deitar-se, permaneça com o úbere e as pernas alojadas internamente ao cubículo, enquanto as dejeções são lançadas no corredor de limpeza ou serviço (CAMPOS; KLOSOWSKI; CAMPOS, 2006).

Figura 3 - Ilustração de um galpão em sistema *Free Stall*.



Fonte: Do autor (2017).

O *Free Stall* foi recomendado e se tornou muito popular entre os produtores, devido ao seu manejo, ou seja, quando as vacas não estão sendo ordenhadas, elas podem ficar vagando livremente em um grande espaço aberto com chão de terra ou concreto. Há acesso fácil para a alimentação, que pode ser de feno ou silagem (PIRES; CAMPOS, 2008).

Segundo Campos et al. (2004), os países em desenvolvimento, cada vez mais, adotam o sistema intensivo de produção animal, sendo o confinamento em galpões com sistema *Free Stall* um dos preferidos pelos produtores para a criação de gado de leite.

#### **3.2.4. Compost Barn**

O *Compost Barn* (CB) é um sistema de confinamento alternativo ao conhecido sistema *Loose Housing*, onde os animais ficam soltos e podem caminhar livremente dentro do galpão CB, que visa primeiramente melhorar o conforto e bem-estar dos animais e, conseqüentemente melhorar os índices de produtividade do rebanho (BLACK et al., 2013).

As instalações em *Compost Barn* são sustentáveis e oferecem benefícios às vacas. Estas têm mais liberdade de movimento para se exercitar em amplo espaço onde podem deitar naturalmente. Nesse sistema, quando as vacas estão em pé, além da maior interação social, elas passam mais tempo em uma superfície mais suave, que são as camas de composto. Isso reflete no bem-estar e na sua saúde do animal. Os galpões em CB, quando são devidamente manejadas,

mantêm seco o material de cama. Revolvendo o mesmo no mínimo duas vezes ao dia, pode-se obter uma diminuição da contagem de células somáticas (CCS) do leite, vacas mais limpas, aumento da produção de leite, e redução da claudicação (PILATTI; VIEIRA, 2017; BLACK et al., 2014)

Nos últimos anos, instalações CB têm sido usadas em várias partes dos Estados Unidos e em outros países, tais como Japão, China, Itália, Holanda, Israel, e recentemente no Brasil. No Brasil segundo Herrero (2012), o sistema *Compost Barn* teria iniciado na fazenda Santa Andrea em Itararé-SP. Contudo existem controvérsias, onde produtores de Piracicaba-SP afirmam que o sistema *Compost Barn* teria iniciado em 2012, naquela região

No final de 2014, o número de instalações CB teve um crescimento superior a trinta instalações. No caso de Minas Gerais, algumas instalações CB já podem ser encontradas nas cidades de Sete Lagoas, Patrocínio, São João Del Rey, Santa Juliana, Lagoa da Prata, Santo Antônio do Monte, Juiz de Fora, Viçosa e Três Corações. Esse crescimento muito significativo ocorreu devido às instalações CB serem ecologicamente corretas e economicamente viáveis para os produtores brasileiros de leite que buscam alternativas para aprimorar e modernizar as instalações de produção de leite.

Produtores de leite de vários países têm discutido diversos conceitos sobre as instalações CB em revistas técnicas especializadas, fóruns, congressos, indicando um enorme interesse sobre este novo sistema de alojamento animal (GALAMA, 2015). Apesar do aumento da popularidade do sistema CB no Brasil, o conhecimento científico sobre este sistema é escasso, necessitando, portanto, de mais estudos que possam auxiliar os produtores no processo de tomada de decisão e planejamento. Além disso, a comunidade científica tem dado ênfase nos processos que influenciam a emissão de gases, dado o atual dilema entre mitigação e adaptação das mudanças climáticas. Nesse sentido, é importante o incentivo à pesquisa relacionada a instalações para bovinos leiteiros no sentido de manter a produção no estado de MG e no Brasil em níveis competitivos.

De acordo com Damasceno (2012), as instalações devem ser bem projetadas e manejadas para terem sucesso, e isso inclui: uma estrutura projetada com um lanternim e muretas laterais, com 1,20 a 1,40 m de altura ao redor de todo galpão. O galpão que é constituído de uma área com material de cama, uma pista de concreto para a alimentação (mínimo 4 m de largura), e um corredor com os bebedouros fora da área com cama (Figura 4).

A ventilação natural deve ser combinada com a ventilação artificial (ventiladores), ou seja, as instalações devem ser abertas, priorizando a ventilação natural. Segundo Janni et al. (2007), uma ventilação adequada deve ser realizada para que ocorra a troca de ar na instalação, sendo essencial para remover o calor das vacas, bem como o calor e umidade em excesso que o material de cama gera, e no inverno, essa troca de ar é necessária para remover a umidade desse material e estender o tempo entre as adições de cama.

Figura 4 - Ilustração de um galpão para rebanho leiteiro em sistema *Compost Barn*. a) Detalhe da mureta e da ventilação mecânica; b) Detalhe da pista de alimentação.



Fonte: Damasceno (2012, p. 106).

Tem sido observado que as instalações *Compost Barn* com corredor de alimentação com piso de concreto tem gerado aproximadamente 30% a menos de efluente líquido, quando comparado com um sistema *Free Stall* tradicional. Neste caso, é necessário a construção de uma lagoa ou tanque para armazenamento deste efluente para depois ser bombeado e lançado no pasto. Por outro lado, alguns projetos têm retirado o corredor de alimentação com piso de concreto, aumentando, assim, a área de cama. Com isso, as instalações ficam com um menor custo inicial e reduzem também o efluente líquido proveniente de fezes e urina dos animais (BRITO, 2016).

### 3.2.5. Processo de Compostagem

Segundo Bewley e Black (2014), a compostagem da cama no sistema *Compost Barn* consiste em uma mistura de fonte de carbono fornecido pela cama e o material orgânico rico em

nitrogênio originário das fezes e da urina. O material de cama oferece condições de porosidade e manutenção do nível de umidade, com rápida degradação de matéria orgânica. Esse processo necessita de um equilíbrio contínuo de oxigênio, carbono e nitrogênio para seu sucesso, sendo que o oxigênio do composto vem do revolvimento da cama e do ar que difunde para a superfície da cama, e essa superfície deve ser fofa para auxiliar na infiltração de ar.

A cama precisa ser revolvida frequentemente. Isto pode ser observado em experiências com CB para vacas leiteiras relatadas em literatura dos EUA, Israel e Itália, entre outras (LESO et al., 2013, BLACK et al., 2014). A temperatura média indicada deve estar entre 54,4 °C a 65,5 °C (JANNI et al., 2007); a umidade ideal da cama deve variar de 40% e 60% (BLACK et al., 2013), a relação C:N de 25:1 - 30:1 e a densidade de animais recomendada é 7,4 a 12,5 m<sup>2</sup> vaca<sup>-1</sup> (JANNI et al., 2007; GALAMA, 2011). Esses valores devem ser controlados, porque, toda a superfície da área de repouso é coberta com um material de cama profundo (leito macio), com que é frequentemente agitado a fim de incorporar estrume fresco nesse material e aumentar a evaporação da água (LESO et al., 2013; GALAMA, 2015).

Observa-se a importância do estudo do material de cama utilizado no *Compost Barn*, e o conhecimento das variáveis, temperatura da cama, umidade, pH, relação C:N, aeração, quantidade de matéria orgânica e atividade das bactérias e dos microorganismos, para com isso analisar e avaliar a qualidade da eficiência da compostagem.

De acordo com Leso et al. (2013), o material de cama deve ser manejado adequadamente para proporcionar uma superfície seca, confortável e saudável em que as vacas possam levantar e andar em uma superfície macia. Os materiais utilizados como cama mais comuns são: serragem, aparas de madeira e cavacos de madeira (PILATTI; VIEIRA, 2017). Materiais de partículas pequenas, como a palha finamente processada, palhada de milho e subproduto de palha de trigo também podem ser utilizados. Entretanto, deve-se ter cuidado com outros tipos de materiais de cama, tais como areia, esterco seco ou solo (GALAMA et al., 2015).

A cama precisa ser revolvida para que ocorra um arejamento (Figura 5), para manter a condição aeróbia da mesma. Esse processo é geralmente realizado quando as vacas vão para a sala de ordenha. A compostagem da cama do CB refere-se à uma mistura de fezes e urina produzida pelas vacas e pelo material de cama orgânica (LESO et al., 2013). A atividade biológica gera calor e ajuda a secar o material de cama e quando esse material começa a aderir às vacas, um material limpo deve ser adicionado a cama (GALAMA et al., 2015).



Figura 5 - Revolvimento da cama no sistema *Compost Barn*.



Fonte: Do autor (2017).

O fornecimento do material de cama deve estar prontamente disponível e limpo para não ser adicionado tarde demais e as vacas se sujarem. O material utilizado deve ser o mais adequado para o conforto dos animais e deve ter um custo acessível para o produtor. O material deve estar disponível próximo à propriedade para facilitar a sua aquisição (BEWLEY, 2008).

Brigatti (2014), ressalta que o sucesso do sistema CB depende principalmente do manejo da cama, que consiste em seu revolvimento, e quando a compostagem é realizada de forma correta ocorre aumento da temperatura da cama, com redução da umidade e melhoria do processo de compostagem.

Os implementos agrícolas utilizados para o revolvimento da cama são: enxada rotativa, escarificador e grade aradora (GALAMA, 2015; FÁVERO, 2015). O subsolador é usado para revolver as camadas mais profundas da cama, evitando que as regiões profundas se tornem anaeróbias, enquanto que a enxada rotativa não revolve as partes mais profundas da cama, mas tem o objetivo de quebrar os materiais que se tornam compactados. Dessa forma, a descompactação de partículas agregadas promove a oxigenação e aumenta a superfície de ação dos microrganismos presentes na cama, ocasionando um aumento na eficiência de compostagem (JANNI et al., 2007; BRITO, 2016).

De acordo com Galama et al. (2011), o material de cama, quando misturado com os

estrumes das vacas, produz um fertilizante com quantidade de matéria orgânica para melhorar a fertilidade do solo. Black et al. (2013) acrescentam que um fator muito importante nesse sistema é manter as características físico-químicas adequadas no substrato da cama a fim de promover a atividade microbiana aeróbia.

Dentro deste contexto, entende-se que a compostagem é uma ferramenta indispensável para os produtores que trabalham com bovinos leiteiros, por auxiliar na tomada de decisões sobre uma ampla diversidade de opções de utilização desta cama, que pode ser aplicada no ambiente urbano (doméstico em hortas e jardins) ou rural. Percebe-se, então, a necessidade de conhecer esse processo de compostagem, em relação ao seu uso, manuseio, e benefício para o produtor, que poderá agregar valor à sua propriedade.

### **3.2.6. Adubação Orgânica**

O adubo orgânico pode ser definido como substâncias de origem vegetal ou animal contendo um ou mais fertilizantes, em geral disponíveis mais lentamente para a planta. Essas substâncias denominadas nutrientes, e os seus componentes que possuem carbono servem de alimento para microorganismos do solo. Podem ser aplicadas diretamente no solo por meio de sua ação como diluentes volumosos em terrenos compactados ou indiretamente quando produtos da atividade de animais, conseqüentemente o adubo orgânico melhora a estrutura do solo, conseguindo aumentar a retenção de água, drenagem e aeração, auxiliando no aumento e crescimento das raízes (BOT; BENITES, 2005).

De acordo com Bulegon (2012), um dos aspectos determinantes nos custos de produção está relacionado com a adubação da cultura, e com a substituição de fertilizantes minerais por orgânicos, que pode ser uma alternativa para a redução dos custos de produção. O uso de resíduos orgânicos, como o esterco bovino, representa uma forma equilibrada de propriedades de nutrição mineral às plantas. Essas propriedades poderiam ser aplicadas no cultivo do milho para silagem, que é muito utilizado na alimentação dos rebanhos leiteiros, proporcionando melhor condicionamento do solo, tornando-o, a longo prazo, menos propenso aos efeitos negativos do cultivo intensivo.

A influência de diferentes doses de esterco bovino aplicados na linha de semeadura, com e sem aplicação de nitrogênio em cobertura, no desenvolvimento e produtividade do milho, foi avaliada por Cancellier (2011), que verificou que quando não se aplicou adubação nitrogenada

em cobertura, a adubação química produziu massa verde e grãos equivalente as maiores doses de esterco, e na aplicação de N em cobertura às maiores doses de esterco proporcionaram produtividades superiores à adubação química. Os autores acrescentam que têm sido recomendados como manejo alternativo, o uso combinado de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, possibilitando a manutenção de altas produtividades com estabilidade de produção.

Segundo Malavolta (1981), o esterco é um corretivo resultante da fermentação de uma mistura de cama (palhas e serragem) e de excreções animais sólidas e líquidas, que fornece elementos nutritivos de forma gradual, mesmo depois que as aplicações cessaram exibe um efeito acentuado na produção.

### **3.3. Modelagem Computacional**

A modelagem computacional é uma ferramenta muito importante para as engenharias, pois trata da simulação de soluções de problemas científicos, desenvolvendo modelos matemáticos para a sua descrição e elaborando diversos códigos computacionais para se obter resultados satisfatórios visando resolver tais problemas (SAMPAIO, 2009). Modelos têm ampla aplicação na engenharia agrícola (ambiência). Eles são úteis para estimar o conforto e o bem-estar dos animais, a partir de parâmetros climáticos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar) e a partir de parâmetros inerentes aos animais como, comportamento, temperaturas de superfície, temperatura retal, entre outros, no intuito de manter a sustentabilidade e a lucratividade da produção.

Os modelos são importantes para a representação de problemas localizados, auxiliando na implantação de métodos de controle, com o intuito de diminuir perdas produtivas. Com isso, a modelagem matemática e computacional constituem parte fundamental de uma zootecnia de precisão, que é cada vez mais presente nas propriedades rurais brasileiras.

#### **3.3.1. Modelagem Geoestatística**

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando Krige (1951), trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que as covariâncias de duas amostras dependiam da distância entre elas. Segundo Pontes (2002), a geoestatística é baseada, fundamentalmente, em apenas dois conceitos: o do semivariograma, que tem o papel de descrever a estrutura da variabilidade espacial dos dados estudados e o da krigagem, que serve para estimar, não - tendenciosamente e

com variância mínima, os valores não observados no experimento.

O semivariograma é uma ferramenta essencial, ou seja, e a base da geoestatística (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Serve para caracterizar a estrutura e a magnitude da continuidade espacial da variável avaliada, porque exige uma estacionaridade menos restritiva, a hipótese intrínseca (MELLO, 2004). A hipótese intrínseca, não requer a existência de uma média constante e variância finita para a função aleatória estudada, mas apenas que os incrementos da função aleatória sejam estacionários de 2ª ordem (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Considerando, então, todos os pares de pontos medidos, a variável aleatória de interesse, separados por um vetor  $h$  dentro da área  $P$  estudada,  $\{[z(x_j + h) - z(x_j)], j = 1, 2, 3, 4, \dots, n\}$  como um conjunto de repetições, temos uma função que depende da distância  $h$ . As diferenças quadráticas entre valores levam em conta a distância  $h$  que os separa e permite a construção do semivariograma (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

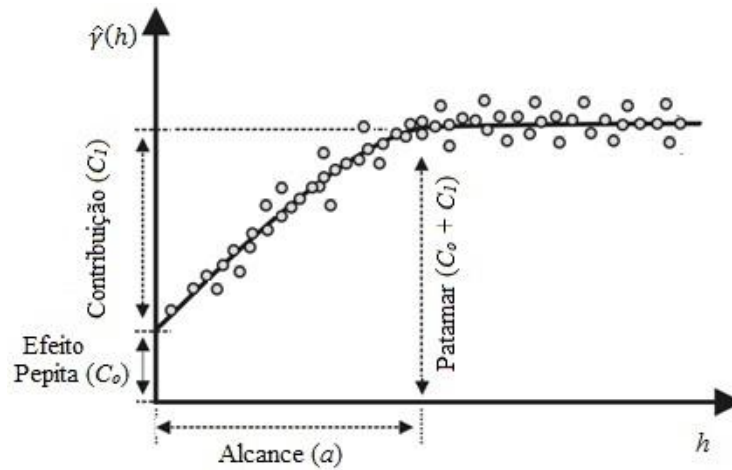
O semivariograma, é estimado por meio do semivariograma experimental. O semivariograma experimental pode ser obtido por meio do estimador clássico de Matheron e do estimador robusto de Cressie (CRESSIE, 1993), nessa pesquisa será apresentada apenas o estimador clássico de Matheron que será utilizado para as análises. De acordo com Burrough & McDonnell (1998) e Soares, (2006), o estimador clássico é calculado por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{j=1}^{N(h)} [z(x_j + h) - z(x_j)]^2 \quad (6)$$

em que  $N(h)$  é o número de pares possíveis para a distância  $h$ ;  $\hat{\gamma}(h)$  é a semivariância para uma distância  $h$ ;  $h$  é a distância de separação das observações; e  $z(x_j)$  e  $z(x_j+h)$  são as observações da variável aleatória regionalizada nas posições  $x_j$  e  $x_j+h$ , respectivamente.

A característica ideal do semivariograma, seria se o mesmo conseguisse representar o que se espera dos dados amostrados, ou seja, que o seu comportamento fosse o mais realístico possível (Vieira, 2000), conforme Figura 6.

FIGURA 6 Representação gráfica de um semivariograma.



Fonte: Adaptado de Mota (2008).

Os parâmetros do semivariograma, representados na Figura 6, são definidos abaixo como:

- alcance ( $a$ ) ou amplitude (*range*): é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente (VIEIRA, 2000; BRITO et al., 2013);
- patamar ( $C = C_0 + C_1$ ) ou soleira (*sill*): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance ( $a$ ) e coincide com a variância a priori do conjunto de dados analisados (ANDRIOTTI, 2004; YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência entre as amostras;
- contribuição ( $C_1$ ): é a diferença entre o patamar ( $C$ ) e o efeito pepita ( $C_0$ ).
- efeito pepita ( $C_0$ ): reflete um fenômeno que não é totalmente conhecido, por falta de informação, mas não necessariamente um fenômeno espacial aleatório (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Também revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte dessa descontinuidade pode ser devida a erros de medição (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). O termo efeito pepita deve ser aplicado sempre que essa descontinuidade da origem do semivariograma acontecer, independentemente do tipo de variável estudada.

Outra característica que deve ser observada no gráfico do semivariograma experimental e a direção, caso apresente e exiba o mesmo comportamento em todas as direções consideradas, ele é chamado isotrópico (omnidirecional), caso contrário, é chamado anisotrópico (SOARES, 2006).

A partir do gráfico plotado entre  $\hat{\gamma}(h)$  e a distância  $h$  (figura 6) ajusta-se um semivariograma teórico (ou modelo teórico) ao semivariograma experimental que melhor

descreva o desempenho dos dados no espaço (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1991). Os métodos de ajustes de modelos mais comuns e utilizados na modelagem Geoestatística são: o método dos mínimos quadrados ordinários, método dos mínimos quadrados ponderados, máxima verossimilhança, entre outros (BRITO et al., 2013).

Como exemplos de modelos teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais temos o esférico, gaussiano, exponencial e linear (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; BURROUGH & MCDONNELL, 1998, YAMAMOTO & LANDIM, 2013) definidos como:

Modelo Esférico

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (7)$$

Modelo Gaussiano

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - \exp \left( -3 \left( \frac{h^2}{a^2} \right) \right) \right), \text{ se } 0 \leq h \leq d \quad (8)$$

Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ 1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)} \right] & \text{para } 0 < h < a \\ C_0 + C & \text{para } h > a \\ 0 & \text{para } h = a \end{cases} \quad (9)$$

Modelo Linear

$$\gamma(h) \begin{cases} C_0 + \frac{C}{a}h & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (10)$$

em que:  $\gamma(h)$  é a semivariância para a distância  $h$ ;  $C_0$  é o efeito pepita;  $C_0 + C$  é o patamar;  $a$  é o alcance da dependência espacial e  $\frac{C}{a}$  é o coeficiente angular para  $0 \leq h \leq a$ . Todos os cálculos

posteriores dependem dos resultados dos parâmetros do modelo, de tal maneira que, erros de ajustes poderão comprometer as inferências indispensáveis para a realização da krigagem.

A krigagem é um método de interpolação de valores em qualquer posição no campo de estudo, associado a uma medida de qualidade da estimativa, do tipo BLUE (*'best linear unbiased estimator'*) (ANDRIOTTI, 2004; WEBSTER; OLIVER, 2001). Todos os estimadores de krigagem são variantes do estimador básico de regressão linear para maiores detalhes ver Goovaerts (1997). A estimação (interpolação) dos dados não amostrados por meio da krigagem baseia-se na minimização da estimativa da variância do erro, sob a suposição de não-tendenciosidade, isto é, que as diferenças sejam mínimas, ponto por ponto, entre o valor estimado e o observado, e que, em média, a diferença entre valores estimados para o mesmo ponto seja nula (VIEIRA, 2000).

As estimativas Geoestatísticas podem ser feitas diretamente sobre os dados originais, ou sobre os dados transformados. Isso depende da natureza dos dados e se são variáveis contínuas ou discretas. Isso é verificado na análise de estatística descritiva (comportamento do histograma) (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). Existem vários tipos de krigagem: krigagem ordinária (KO), krigagem simples (KS), krigagem em blocos (KB), krigagem multigaussiana (KM), krigagem lognormal (KL) e krigagem indicadora (KI).

A krigagem ordinária é o método geoestatístico univariado que tem sido utilizado por muitos autores no estudo da distribuição espacial de variáveis climáticas relacionadas ao conforto animal em sistemas de criação intensivos, como sistemas envolvendo aves (CARVALHO et al., 2011; QUEIROZ et al., 2017) suínos (SALES, et al., 2011; MEDEIROS et al., 2014) e bovinos leiteiros (FARIA et al., 2008; SILVA et al., 2012; GONÇALVES; TURCO; RAMOS, 2016). A KO estima valores em qualquer lugar da área analisada, exceto nos locais onde se dispõem de observações de campo, nos quais ela reproduz o valor medido (ANDRIOTTI, 2004).

Segundo Goovaerts (1997), na krigagem ordinária, as flutuações locais da média são consideradas, limitando-se o domínio de sua estacionaridade para a vizinhança local. A média é constante, mas desconhecida. É um método local de estimativa, sendo o mais usado, pela simplicidade e resultados que proporciona. Dessa forma, a estimativa de um ponto não amostrado resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança imediata (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). O estimador linear é definido pela Eq. 11:

$$Z_{KO}^*(x) = \sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j(x) z(x_j) \quad (11)$$

em que,  $Z_{KO}^*(x)$  é o valor estimado para o ponto  $x$ ;  $\lambda_j(x)$  são os pesos de krigagem definidos conforme os parâmetros do semivariograma e  $z(x_j)$  são os valores observados nos pontos amostrados (vizinhança de krigagem). Para  $\sum_{j=1}^{n(x)} \lambda_j(x) = 1$ , sendo os  $n(x)$  os pesos, e  $\lambda_j(x)$  determinados de tal maneira que a variância do erro seja mínima (Goovaerts, 1997). Para determinar o ponto de mínimo, utiliza-se a técnica dos multiplicadores de Lagrange. Esses pesos são obtidos por meio do sistema de equações lineares, o qual é conhecido por ‘sistema de krigagem ordinária’ (VIEIRA, 2000, ANDRIOTTI, 2004):

Para verificar se a krigagem ordinária descreve adequadamente a variabilidade espacial das variáveis estudadas, normalmente é aplicado o método de validação cruzada (“cross-validation”). Com esse método podem-se avaliar algumas suposições sobre o modelo de semivariograma. Seus parâmetros são ajustados ao semivariograma experimental (MELEM, 2002). Como critérios para a validação cruzada, utiliza-se o RSS (soma de quadrados de resíduos) e o  $R^2$  (coeficiente de determinação). O melhor ajuste se obtém quando os coeficientes de correlação e de determinação são próximos de 1, o intercepto próximo de zero, e o coeficiente angular próximo de 1 (MOTA, 2008).

### 3.3.2.1 Métodos de Seleção de modelos de semivariograma

Do conjunto de resultados obtidos, pelos estimadores clássico, para os modelos teóricos, esférico, exponencial, gaussiano e linear, são estimados seus parâmetros e selecionado o melhor modelo. Dentre os métodos de seleção de melhor modelo de semivariograma estão a aproximação para o valor do Critério de Akaike (AIC) e a análise do grau de dependência espacial (DE). A aproximação para o valor do Critério de Akaike (AIC) foi proposta por Webster & Oliver (2001), e é dado por:

$$|AIC| = 2p + n \cdot \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) \quad (12)$$

em que  $n$  é o numero de observações,  $p$  é o número de parâmetros e  $RSS$  é a soma de quadrados de resíduos e será considerado como o melhor modelo aquele que apresentar menor valor de AIC.



A relação:

$$\left( \frac{C_0}{C_0+C_1} \right) \times 100 \quad (13)$$

foi proposta por Cambardella et al. (1994) e é utilizada para avaliar o grau de dependência espacial (DE) das variáveis, que classifica como forte, moderada e fraca DE, quando tem um efeito pepita < 25%, entre 25 e 75 %, e acima de 75% do patamar, respectivamente. Se a relação for maior que 100% a variável é considerada independente espacialmente.

### **3.3.2. Aplicação da Geoestatística na área de ambiência animal**

A geoestatística é uma ferramenta auxiliar muito importante para se avaliar o ambiente interno de instalações zootécnicas, principalmente por permitir a determinação de valores onde há a impossibilidade de instalação de sensores (SALES et al., 2011). A temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, luminosidade e o Índice de temperatura e umidade (ITU) foram avaliadas por Faria et al. (2008), que por meio da modelagem geoestatística e da interpolação por krigagem concluíram que a descrição quantitativa da variabilidade espacial de atributos climáticos de galpões de confinamento para gado leiteiro em sistema *Free Stall*, auxiliam no manejo correto desses animais.

Silva et al. (2012), afirmam que o estudo da variabilidade espacial da temperatura do ar e a construção de mapas de krigagem podem auxiliar no manejo correto dos sistemas de climatização em currais de pré-ordenha para bovinos leiteiros. Os autores registraram, em 35 pontos equidistantes de 1m, na forma de malha, para o estudo da variabilidade espacial e construção de mapas e verificaram que o uso da geoestatística possibilitou definir áreas específicas com diferentes variabilidades para a temperatura do ar. Esses resultados corroboram com Gonçalves; Turco e Ramos (2016), que ao estudarem a variabilidade espacial da temperatura do ar de um galpão *Free Stall*, utilizado para confinamento de bovinos leiteiros, verificaram que o uso da modelagem geoestatística, pode definir áreas específicas no *Free Stall* que apresentaram valores de temperatura acima do recomendado para o conforto térmico.

### **3.3.3. Modelagem Fuzzy**

A teoria de conjuntos *fuzzy* e os conceitos de lógica *fuzzy* são ferramentas que podem ser

aplicadas para transformar em termos matemáticos a informação imprecisa inerente às situações do cotidiano. Essa teoria ficou conhecida a partir de 1965 quando Lofti Zadeh publicou o artigo *Fuzzy Sets* (ZADEH, 1965).

Em um sistema *fuzzy*, o conhecimento é representado por conjuntos de regras que são proposições condicionais na forma: Se < antecedente > ENTÃO < consequente >, e são uma relação R. É possível obter valores de pertinência de dados em conjuntos *fuzzy* e graus de ativação ou verdade de regras (NEUGEBAUER; SOLOWIEJ; PIECHOCKI, 2014), ou seja, é o grau que indica o quanto uma regra é considerada verdadeira para uma certa amostra de dados.

Um conjunto *fuzzy*  $A$  é definido por um conjunto de pares ordenados:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x): X \rightarrow [0,1]\} \quad (14)$$

em que  $\mu_A(x)$  é a função de pertinência;  $X$  é o universo de discurso e  $x$  é um elemento. Um conjunto é totalmente caracterizado por sua função de pertinência.

O universo de discurso de uma variável representa o intervalo numérico de todos os possíveis valores reais que uma variável específica pode assumir (SHAW; SIMÕES, 1999).

As funções de pertinência mais utilizadas são: função triangular, trapezoidal e Gaussiana e sua escolha deve refletir a natureza do problema e o nível de detalhe a ser capturado. Em resumo um sistema *fuzzy* consiste em três operações básicas, fuzzificação, inferência e defuzzificação (SUGENO, 1985).

### 3.3.3.1. Agrupamento *Fuzzy*

Os métodos de modelagem baseados em agrupamento *fuzzy* originaram-se a partir de análises de dados e reconhecimento de padrões, em que o conceito de pertinência *fuzzy* é usado para representar o grau em que uma amostra de dados é pertinente em um grupo *fuzzy*. O grau de semelhança entre amostra e objeto pode ser calculado usando uma medida de distância ou similaridade adequada. Isso significa, que as amostras de dados são agrupadas de tal modo que amostras dentro de um grupo são tão semelhantes quanto possível, e amostras de diferentes grupos são tão diferentes quanto possível (BABUSKA; VERBRUGEM, 2003).

Para sistemas complexos não lineares e multivariáveis é interessante o particionamento de bases de dados por meio da técnica de agrupamento *fuzzy*. Os grupos reduzem o problema da

dimensionalidade, principalmente quando o conjunto de dados de entrada contém muitas variáveis e/ou muitas amostras. O agrupamento *fuzzy* reduz o número de regras *fuzzy* produzidas e permite melhor interpretabilidade do modelo resultante (SILVA; SILVA; TEIXEIRA, 2012). Estudos sobre agrupamento *fuzzy* são motivados pela necessidade de melhorar os resultados em questões complexas de classificação e agrupamento de dados. Os métodos de agrupamento não-*fuzzy* existentes possuem limitações de desempenho e restrições de aplicação relacionadas a limites de decisão lineares (divisões abruptas) entre as classes, ou seja, cada elemento pertence totalmente a uma única classe ou não (MIYAMOTO ICHIHASHI; HONDA, 2008; LEITE; COSTA; GOMIDE, 2013). A distinção fundamental entre aglomeração *fuzzy* e aglomeração não-*fuzzy* refere-se à noção de associação parcial suportada por conjuntos *fuzzy*.

Grupos *fuzzy* apresentam características importantes para descrever grânulos de informação. Cada amostra de dados constituintes podem pertencer à várias classes simultaneamente, com diferentes valores de pertinência. Esses grânulos ou *clusters* evitam a especificação de fronteiras sólidas entre dados por meio de limites (LEITE; COSTA; GOMIDE, 2013; BABUSKA, 1998).

Um cluster geralmente é formado agrupando amostras de dados semelhantes ao redor de um centro, chamado centróide ou protótipo (CHATTOPADHYAY; PRATIHAR; SARKAR, 2011). Métodos baseados em lógica *fuzzy* e agrupamentos neuro-*fuzzy* têm sido estudados para modelagem e validação, com a finalidade de resolver problemas em diversas áreas, como áreas da computação, engenharia, medicina, entre outras (SILVA et al., 2012). Alguns autores propõem o uso de técnicas de agrupamento *fuzzy*, utilizando os algoritmos *Fuzzy C-Means* (FCM), entre outros, para identificação da parte antecedente de modelos de regras do tipo Takagi-Sugeno.

O algoritmo FCM será brevemente apresentados a seguir. Ele segue os seguintes procedimento: (i) estabelecimento de parâmetros iniciais e centros de agrupamento; (ii) cálculo das distâncias entre amostras de dados e centros de agrupamento; e (iii) atualização de uma matriz de partição com centros de cluster e parâmetros associados. Os últimos passos são repetidos até que algum critério de parada seja satisfeito. Como este algoritmos já foi extensivamente discutidos na literatura, vide, por exemplo BABUSKA (1999), apenas uma breve revisão será apresentada.

### 3.3.3.2. Algoritmo Fuzzy C-Means (FCM)

O algoritmo FCM é um dos mais conhecidos na comunidade de inteligência e tem sido uma ferramenta de modelagem muito importante em várias áreas (GIUSTI; LIBELLI, 2010). FCM é baseado em aprendizagem não-supervisionada; ele lida com problemas de múltiplas classes que são difíceis de definir fronteiras de decisão (BABUSKA, 1999). Uma família de algoritmos de agrupamento *fuzzy* baseia-se na minimização do funcional:

$$J(X; U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m \|x_k - v_i\|_A^2 \quad (15)$$

onde  $X$  é o conjunto de dados;  $x_k \in \mathbb{R}^n, k = 1, \dots, N$ , é uma amostra;  $v_i \in \mathbb{R}^n, i = 1, \dots, c$ , são os centros de grupos obtidos por:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m} \quad (16)$$

sendo  $n$  é o número de varáveis, i.e., o número de elementos de  $x_k$  e  $v_i$ ;  $N$  é o número de amostras;  $c$  é o número de clusters;  $m \in [1, \infty]$  é a constante de fuzzicidade; e  $\mu_{ki}$  é o grau de pertinência da  $k$ -ésima amostra no  $i$ -ésimo cluster.

Seja

$$U = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1i} & \dots & \mu_{1c} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \mu_{k1} & \dots & \mu_{ki} & \dots & \mu_{kc} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \mu_{N1} & \dots & \mu_{Ni} & \dots & \mu_{Nc} \end{bmatrix} \quad (17)$$

a matriz de partição de  $X$ ; onde  $\mu_{ki} \in [0,1] \forall k, i$ ;  $\sum_{i=1}^c \mu_{ki} = 1 \forall k$ ; e  $0 < \sum_{k=1}^N \mu_{ki} < N \forall i$ . Os elementos da matriz de partição são determinados por:

$$\mu_{ki} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left( \frac{D_{ki}}{D_{kj}} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (18)$$

Além disso,  $V = [v_1, \dots, v_i, \dots, v_c]$ ,  $V \in \mathbb{R}^{n \times c}$ , é o conjunto dos centros dos grupos, e

$$\|x_k - v_i\|^2 = D_{ik}^2 = (x_k - v_i)^T (x_k - v_i) \quad (19)$$

é o quadrado da distância entre  $x_k$  e  $v_i$ , que é dado pelo produto interno da diferença.

O valor da função de custo (15) é a medida da variância total entre  $x_k$  e  $v_i$ ,  $\forall k, i$ ; que se pretende minimizar. Os centros dos clusters convergem para uma posição no espaço de dados quando não se observa qualquer variação significativa da matriz de partição, isto é,  $\|\Delta U\| < \varepsilon$ , em que  $\varepsilon$  é um limiar.

### 3.3.3.3. Métodos de Validação

Uma medida de validação interna é usualmente empregada para identificar as melhores partições obtidas por métodos de agrupamento (PAL et al., 1995; WANG et al., 2009). Algumas medidas mais usuais são descritas a seguir.

i) Critério Xie - Beni (XB) - o número ideal de grupos pode ser determinado pela procura do valor mínimo para o critério XB (XIE; BENI, 1991):

$$XB = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m \|x_k - v_i\|_2}{N \min_{\forall k, i} \|x_k - v_i\|_2} \quad (20)$$

Pequenos valores de XB são esperados para a boa compactação dos grupos. Os valores de XB dependem da constante de fuzzicidade  $m$ , que é definida como 2 por *default*.

ii) Coeficiente de Partição (PC) - mede a quantidade de sobreposição entre os clusters (BEZDEK, 1981). Sua equação é dada por:

$$PC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^2. \quad (21)$$

Os valores de PC variam em  $\left[\frac{1}{c}; 1\right]$ . Quanto mais próximo da unidade é o coeficiente, menos *fuzzy* (crisp) é o agrupamento. Um valor próximo de  $\frac{1}{c}$  indica que não há uma tendência de agrupamentos ou o algoritmo não foi capaz de revelar isto. O número ideal de grupos gera o maior valor de PC.

iii) Índice de partição (SC) - consiste na relação da soma de capacidade e separação de clusters (BENSAID et al., 1996). O índice é dado por:

$$SC = \sum_{i=1}^c \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m \|x_k - v_i\|_2}{N_i \sum_{j=1}^c \|x_j - v_i\|_2}, \quad (22)$$

onde  $N_i$  é o número de amostras no  $i$ -ésimo cluster. SC é útil quando se compara partições com um número similar de clusters. Um valor menor de SC sugere uma melhor partição dos dados.

### 3.3.4. Modelagem *Neuro - Fuzzy*

Os sistemas adaptativos neuro - fuzzy unem a flexibilidade dos sistemas fuzzy, provida por regras, com a arquitetura de Redes Neurais que propicia o aprendizado adaptativo por meio de dados de treinamento, ajustando adaptativamente os parâmetros das funções de pertinência. Como exemplo de sistemas adaptativos neuro - fuzzy tem-se o ANFIS (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System) que se fundamenta no modelo fuzzy do tipo Takagi-Sugeno (TAKAGI; SUGENO, 1985).

O ANFIS é usado para definir funções de pertinência e gerar regras fuzzy baseadas no treinamento e validação dos pares de vetores/rótulos (JANG, 1993). É uma rede neural composta de 5 camadas (LUDWIG JÚNIOR; SCHNITMAN; LEPIKSON, 2004). Detalhes sobre a arquitetura da rede e suas camadas estão descritos abaixo:

Camada 1: calcula-se o grau de pertinência de cada entrada ( $x$  corresponde às variáveis de entrada), de acordo com a função de pertinência escolhida;

Camada 2: nesta camada cada nó corresponde a uma regra e os neurônios executam a operação de produto (T-norm), i. e. multiplicam todos os sinais de entrada e os enviam para a saída;

Camada 3: ocorre a normalização dos valores, e cada nó calcula a razão entre o valor de disparo da regra e a soma dos valores de todas as regras;

Camada 4: as saídas dos neurônios são calculadas pelo produto entre os níveis de disparo normalizados e o valor das regras do consequente da regra em si.

Camada 5: o nó desta última camada da arquitetura calcula a saída precisa do sistema e, juntamente com os nós das camadas 3 e 4, promove a defuzzyficação ou soma total de todos os

sinais de entrada.

O ANFIS possui uma única variável de saída que pode ser constante (modelo de ordem zero) ou linear (modelo de primeira ordem). Trabalha em duas etapas. Primeiramente, ele inicializa um sistema de inferência fuzzy (FIS) com variáveis linguísticas, conjuntos fuzzy, funções de pertinência e regras fuzzy. Em seguida, aplica-se o método de descendente de gradiente de propagação (backpropagation) reversa para treinar parâmetros de função de pertinência FIS para emular um determinado conjunto de dados de treinamento.

### **3.3.5. Aplicação dos sistemas *Fuzzy* na área de ambiência animal**

Os sistemas *fuzzy* foram utilizados por Santos et al. (2009), Perissinotto et al. (2009), Campos et al. (2013) e Mota et al. (2018) no desenvolvimento de modelos matemático-computacionais para estimar o bem estar do gado leiteiro. No trabalho de Campos et al. (2013), os autores usaram como variáveis de entrada: a temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ , °C); temperatura de bulbo úmido ( $T_{bu}$ , °C), e temperatura de globo negro ( $T_{gn}$ ) para desenvolver um modelo *Fuzzy* para prever a taxa de ocupação de baias (TO, %) em instalações para gado de leite do tipo *Free Stall*, auxiliando na otimização do dimensionamento de projetos. Observaram que a predição da taxa de ocupação de baias, propicia o planejamento e a elaboração de projeto para instalações *Free Stall* a partir das estimativas.

Perissinotto et al. (2009), verificaram que o uso da lógica *fuzzy* permitiu estabelecer alguns parâmetros ideais de conforto aos bovinos leiteiros da raça Holandesa em lactação, manejados em condição de confinamento total, e utilizaram para modelar esta sensação de conforto, as variáveis fisiológicas temperatura retal (TR) e frequência respiratória (FR), determinando os intervalos críticos dessas variáveis. Já Santos et al. (2009), utilizaram a modelagem *fuzzy* para estimar a presença de cio em vacas da raça Holandesa e concluíram que é possível a construção de um modelo baseado na lógica *fuzzy* e dados de ambiência, além de informações fornecidas por especialista, que estime a taxa de detecção de cio.

Mota et al. (2018) estudou a aplicação de métodos de agrupamento *fuzzy* na avaliação de confinamentos *Compost Barn* (CB), para auxiliar a tomada de decisão no que diz respeito ao controle de variáveis, como a umidade, temperatura e aeração da cama de compostagem. Utilizaram para a análise os métodos de agrupamento *K-Means* (KM), *Fuzzy C-Means*(FCM), *Gustafson-Kessel* (GK) e *Gath-Geva* (GG) e a eficiência dos métodos foi determinada pelos

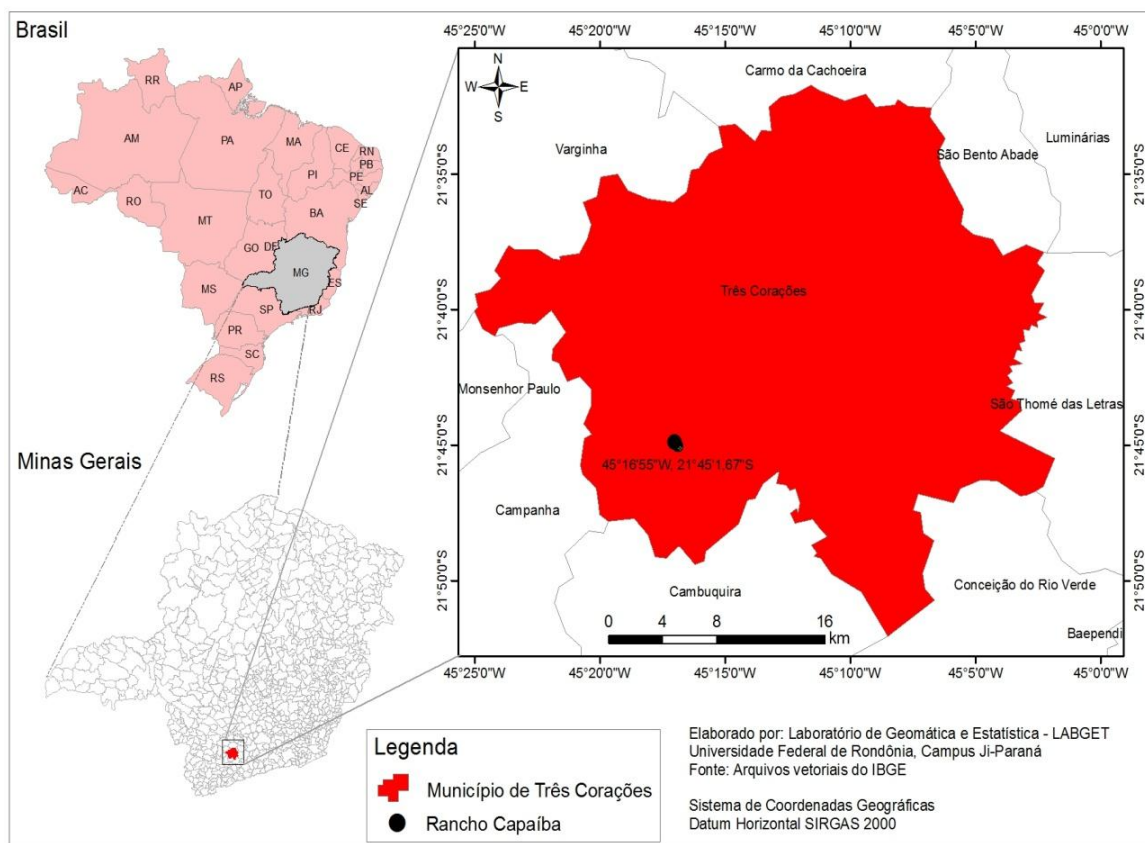
índices de validação *Xie-Beni*, *Partition Coeficient*, *Partition Index* e *Dunn Index*. Os autores identificaram seis classes nos dados. As classes se referem ao grau de estabilidade, maturidade e atividade do composto, e a concentração bacteriana. Concluíram que os resultados de modelagem *fuzzy* e as informações linguísticas mostraram-se úteis para auxiliar na tomada de decisão em fazendas que adotam CBP como sistema de confinamento para bovinos leiteiros.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Localização e descrição da propriedade

O presente estudo foi realizado numa propriedade rural, no município de Três Corações - MG, (Latitude: 21° 45' 01,67"; Longitude: 45° 16' 55,00", clima Tropical de Altitude Cwa) (Figura 7).

Figura 7 - Localização da área em estudo.



Fonte: Arquivos vetoriais do IBGE.



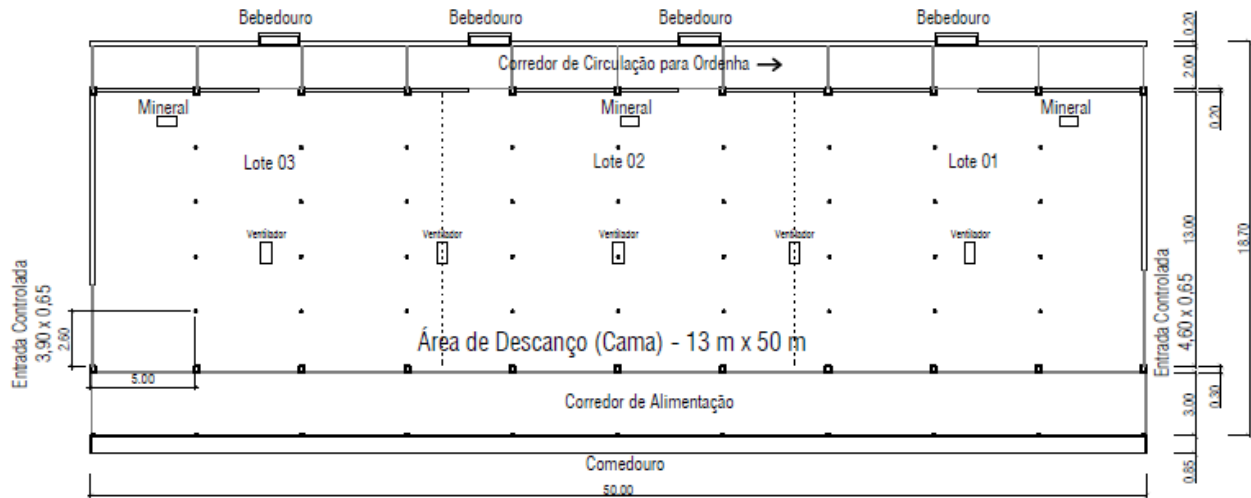
A propriedade tem 33 hectares, sendo 20 hectares destinados à produção de leite, entre cultivo de milho, pasto e instalações (Figura 8). Possui um galpão em sistema *Compost Barn* com orientação Noroeste/Sudoeste, medindo 18,70 metros de largura por 50 metros de comprimento, pé direito 4 metros, e cumeeira de 6 metros (ver Anexo A e B). Sendo 13 m x 50 m destinados à área de descanso com cama, divididos em 3 lotes (alta produção de leite, média produção de leite e baixa produção de leite), separados por meio de cerca elétrica (Figura 9). Um corredor de alimentação medindo 3 m x 50 m com um comedouro (cocho de volumoso) em toda a extensão do galpão. E um outro corredor medindo 2 m x 50 m, com 4 bebedouros medindo 0,50 m x 2 m (fundo formato trapézio) com capacidade para 300 litros de água (Figura 9). Possui 3 cocho de mineral e cinco ventiladores centralizados a uma altura de 3,20 metros na área de descanso (com 6 hélices) da marca Roster que proporciona uma vazão de 48.000 m<sup>3</sup> de ar por hora cada um (Figura 10 - a).

Figura 8 - Propriedade, vista aerea.



Fonte: Google earth - figura ilustrativa escala aproximada 1/800.

Figura 9- Planta baixa do galpão de compostagem.



Fonte: Do autor (2017).

O galpão em sistema *Compost Barn* tem capacidade para 65 vacas da raça Holandesa. São realizadas duas ordenhas por dia, às 6:00 horas e às 16:00 horas (Figura 10b). A ração utilizada é a silagem de milho, trigo e soja em proporções diferentes de suplemento para cada lote e de acordo com as necessidades das vacas.

Figura 10- Imagens do galpão em sistema *Compost Barn*. (a) detalhe dos ventiladores; (b) galpão de ordenha.



(a)

(b)

Fonte: Do autor (2017).

A cama utilizada no sistema é a pré-limpeza do milho, fornecida pela própria fazenda, e serragem que também é adicionada quando necessário. A cama é revolvida duas vezes ao dia

(manhã e tarde, na hora da ordenha), por meio de um trator da marca *John Deere* modelo 5303, e de uma grade aradora da marca Santa Isabel, com 28 discos e de uma enxada rotativa, da marca Selectatilh, com 7 facas de corte (Figura 11). O mesmo trator é utilizado para os tratos dos animais, sendo acoplado um vagão misturador/dieta total, marca Agrimax, para espalhar o alimento no cocho (Figura 12).

Figura 11 - Implementos agrícolas utilizados para revolver a cama. (a) grade aradora; (b) enxada rotativa.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 12 - Implementos agrícolas utilizados no *Compost Barn*. (a) misturador de ração; (b) trator fazendo o revolvimento da cama.



Fonte: Do autor (2017).

## 4.2. Métodos utilizados

### ➤ Coleta

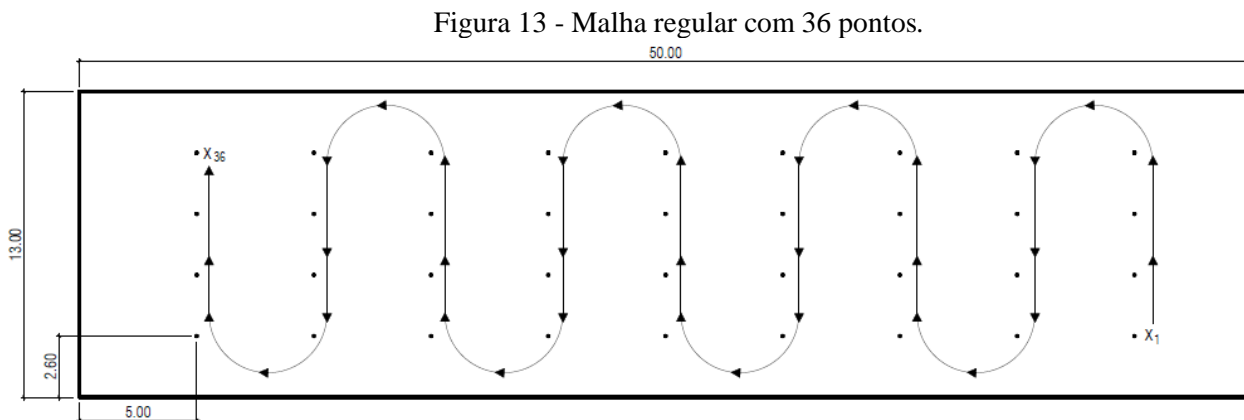
A pesquisa foi conduzida durante o Verão de 2016 (Tratamento VER), Inverno de 2016

(Tratamento INV) e no período de outubro de 2016 a fevereiro de 2017 caracterizando três (03) experimentos. Os experimentos estão apresentados e explicados abaixo. Os dados coletados foram utilizados para elaborar os artigos que estão na segunda parte da tese.

#### i) Experimento 1-

O primeiro experimento foi dividido em 6 períodos (P1, P2 e P3 no VER e P4, P5 e P6 no INV). Os registros de dados foram realizados em janeiro de 2016, nos dias 17 no P1; 24 no P2; 31 no P3 e no mês de julho, nos dias 17 no P4; 24 no P5; 31 no P6. As coletas foram divididas em 3 etapas:

- 1ª etapa) Foram coletadas 36 amostras, para as variáveis, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, ponto de orvalho e temperatura do globo negro, em uma malha regular com 36 pontos georeferenciados, distribuídos uniformemente ao longo do galpão com espaçamento de 2,6 m por 5 m (Figura 13).



Fonte: Do autor (2017).

As medidas foram realizadas a 1,8 m do piso (cama), em cada posição da malha regular de pontos. As coletas de dados foram feitas no sistema *Compost Barn*, duas vezes ao dia, com início nos horários de 9 horas e de 15 horas. Inicialmente foram coletados os dados com os ventiladores ligados e em seguida com os ventiladores desligados. A partir dos dados coletados nos horários pré-determinados foram calculados os índices de conforto animal (Eq. 1 a 5) O equipamento utilizado para o registro de dados foi o sensor portátil da marca Kestrel<sup>®</sup>, modelo

3000, com faixa de registro de velocidade do ar e umidade com precisão de  $\pm 3\%$  da leitura; temperatura (precisão de  $\pm 1$  °C), ponto de orvalho (precisão de  $\pm 3$  °C) e temperatura do bulbo úmido (precisão de  $\pm 2$  °C). A temperatura do globo negro foi registrada por meio de um medidor de temperatura digital, sensor externo (Termopar tipo K) inserido no centro do globo negro (esfera oca com 7 cm de diâmetro e pintada de preto fosco). Utilizou-se a correção numérica para variáveis ambientais, adaptado da metodologia citada em Curi (2014).

• 2ª etapa). Foram coletados os parâmetros fisiológicos, frequência respiratória (FR), temperatura da superfície do animal (TS) e temperatura retal (TR) duas vezes ao dia selecionando 15 animais de acordo com uma amostragem aleatória estratificada proporcional, em cada divisão da instalação (lotes) (Figura 9), determinada pela seguinte equação (FEREIRA, 2005):

$$n_h = \frac{N_h}{N} \cdot n \quad (23)$$

em que:  $n_h$  determina a amostra do estrato;  $N_h$  é o tamanho do estrato (divisão da instalação);  $n$  é o tamanho da amostra (15 animais); e  $N$  é o tamanho da população (total de vacas no galpão). Nesta etapa também foram avaliados os escores de limpeza e de locomoção (COOK; REINEMANN, 2007).

• 3ª etapa). Nesta etapa foi realizada a análise microbiológica da cama. Foram realizadas seis coletas de amostras de material de cama (profundidade de 0,15 m), durante todo o período do experimento. A coletas foram realizadas nos períodos P1 (dia 17 de janeiro); P2 (dia 24 de janeiro); P3 (dia 31 de janeiro); P4 (dia 17 de julho); P5(dia 24 julho) e durante o último período P6 (dia 31 de julho).

Foram coletadas três amostras uma em cada divisão da instalação (3 lotes), a partir de 10 locais distribuídos uniformemente ao longo do galpão, que foram bem misturados num recipiente plástico para criar uma amostra composta e representativa de todo o sistema *Compost Barn*, retirando-se uma amostra para ser enviada ao Laboratório de Microbiologia da UFLA. Foram utilizadas amostras compostas para análise bacteriana, onde foi determinada a contagem de bactérias totais (bactérias: *streptococci*, *staphylococci*, *Bacillus spp.*, *coliformes* e *Escherichia coli*), e a contagem de enterobactérias.

## ii) Experimento 2

O experimento 2 constitui de oito dias de coletas no Verão de 2016 utilizando para revolver a cama a grade aradora (Figura 11 (a)), e oito dias de coleta no Inverno de 2016 sendo empregada, para tal fim a enxada rotativa (Figura 11(b)). Foi dividido em 2 etapas:

• 1ª etapa) As amostras foram coletadas a partir dos 36 pontos de cada linha seguindo a malha regular (Figura 13) para as seguintes variáveis:

- temperatura superficial da cama, utilizando para registro o termômetro sem contato com mira laser I. R. Thermometer, modelo GM-300, com faixa de temperatura de -50 a 380 °C e precisão de -50 a 0 °C, +/- 2 °C - (0 a 380 °C) +/- 1,5 °C.

- temperatura da cama com profundidade de 0,15 m, utilizando para registro o termômetro tipo vareta ICEL Manaus TD-100;

• 2ª etapa). Foram coletadas 9 amostras da cama antes e depois da mesma ser revolvida durante a segunda ordenha no turno da tarde (16:00 horas). As amostras foram coletadas a partir dos quatro pontos de cada linha seguindo a malha regular (Figura 13), que foram bem misturadas num recipiente plástico para criar uma amostra composta e representativa de todo o sistema *Compost Barn*, para as seguintes variáveis:

- Umidade da cama com profundidade de 0,15 m. A amostra de cama coletada foi pesada e depois levada a estufa a 105 °C por 24 horas (MAPA, 2007). O procedimento utilizado foi colocar a amostra, com ou sem estrutura deformada, em cadinho numerado e de peso conhecido. Depois a amostra foi pesada e transferida para estufa a 105-110 °C, deixando nesta condição durante 24 horas em seguida a mesma foi retirada da estufa, colocada em dessecador, para esfriar e novamente ser pesada. O cálculo foi determinado pela seguinte equação (MAPA, 2007):

$$U = \frac{(P-P_1)}{P} \times 100 \quad (23)$$

em que  $U$  é a umidade da cama;  $P$  é a massa da amostra úmida (kg),  $P_1$  é o massa da amostra seca (kg).

- Proteína, Nitrogênio Total e Amoniacal com profundidade de 0,15 m, utilizando para sua determinação o método de Kjeldahl. O método de Kjeldahl, consiste em três principais fases que

são: digestão, destilação e titulação (HOEHNE, 2016);

- pH da cama com profundidade de 0,15 m. O valor de pH foi medido pelo pHmêtro de mesa da marca pH tec (ph 100), pela dissolução de 5 g de amostras, em 50 mL de água a temperatura ambiente;

- Matéria Orgânica (M. O.) e Carbono orgânico (C). Para a determinação do teor de matéria orgânica foi utilizado o pelo método da mufla, com as seguintes modificações proposta por Carmo e Silva (2012): secagem prévia das amostras em estufa a 105 °C, por um período de 24 horas, visando eliminar toda a água presente nos resíduos e após esse período, os cadinhos com as amostras foram acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados a uma temperatura de 550 °C, por 3 horas. Posteriormente, o conjunto (cadinho mais resíduos) foi acondicionado em dessecador e, em seguida, pesado. O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105 °C a 550 °C, conforme a equação:

$$M. O. (\%) = \frac{(P-(T-C) \times 100)}{p}, \quad (24)$$

em que  $P$  é o peso da amostra (kg) depois de aquecida a 105 °C;  $C$  é a tara do cadinho (kg); e  $T$  é a peso da cinza mais cadinho (kg) (CARMO; SILVA, 2012).

O Carbono Orgânico (C) foi determinado dividindo-se o valor de M. O. encontrado por 1,724 (DIAS; LIMA, 2004).

- Relação C:N para as profundidades de 0,15 m, com base nos valores obtidos acima.

Nessa etapa também foram utilizados a temperatura superficial e a temperatura da cama com profundidade de 0,15 m. Porém, nesse caso, foi utilizada a média dos quatro pontos coletados;

Foi instalado durante os dias de coleta dos dados uma estação meteorológica portátil modelo No. ITWH - 1080 da Instrutemp (precisão de  $\pm 1$  °C; 5% UR; e  $\pm 1$  m/s) a 100, de metros da instalação, com sensores apropriados para coletar e armazenar os dados. A estação foi posicionada em um local aberto, plano, com cobertura de gramíneas, protegida de animais, livre de construções e de árvores. A temperatura do globo negro para o ambiente externo foi determinada pela equação:

$$TGN = -0,9387 + 0,8562 T_{bs} + 0,0162 T_{bs}^2 \quad (25)$$

em que  $TGN$  é a Temperatura de globo negro em °C; e  $T_{bs}$  = Temperatura de bulbo seco em °C, proposta por Abreu et al. (2011).

### iii) Experimento 3

O experimento foi realizado entre os meses de novembro de 2016 a fevereiro de 2017. Foi desenvolvido em casa de vegetação, no Departamento de Oleicultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA.

A cultivar de milho (*Zeamays* L.) híbrido (Roundup Ready<sup>®</sup> - NK 603) será semeado no dia 18 de novembro de 2016, com três sementes por vaso, na profundidade de 0,05 m. O delineamento experimental utilizado será em blocos casualizados com cinco tratamentos (Tabela 1) e cinco repetições. A parcela experimental foi constituída por uma planta em cada vaso, sendo empregado 5 repetições, totalizando 25 parcelas experimentais.

Os dados também foram avaliados pelo delineamento experimental em blocos casualizados em parcela subdividida no tempo com cinco tratamentos, seis tempos de coletas e cinco repetições, totalizando 150 observações para cada variável. Na parcela principal, foram avaliados cinco tratamentos (Tabela 1). A sub-parcela foi constituída das épocas de avaliação. A primeira coleta ocorreu 7 dias após a emergência da planta (DAE), as demais coletas ocorreram nos dias 22, 35, 49, 63 e 77 DAE. As parcelas foram representadas por vasos com capacidade de 15 dm<sup>3</sup>, preenchidos com uma mistura de solo e areia lavada, na proporção de 3:1, respectivamente.

Os tratamentos consistiram de doses de 24.87 ton. ha<sup>-1</sup> do composto proveniente da cama do sistema de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn* e adubação química com doses de nitrogênio em cobertura. Seguiu as orientações da 5<sup>a</sup> aproximação de Minas Gerais (ALVES et al., 1999) para correção e adubação nitrogenada por cobertura com recomendações de 180 ton. ha<sup>-1</sup> de Nitrogênio (N) dividida em três aplicações.



Tabela1. Detalhamento dos tratamentos utilizados no experimento com adubação orgânica derivado da cama do sistema de confinamento no modelo *Compost Barn*.

Tratamento	Descrição
Trat. 1 -TM	Composto fresco adicionado ao vaso 15 dias antes de efetuar o plantio, com cobertura nitrogenada
Trat. 2 -TC	Composto curtido por 30 dias e adicionado no vaso no dia da semeadura, com cobertura nitrogenada
Trat. 3 -TF	Composto fresco adicionado no vaso no dia da semeadura, com cobertura nitrogenada
Trat. 4 -TL	Sem composto, apenas com cobertura nitrogenada (convencional)
Trat.5- T (Testemunha)	Solo corrigido sem cobertura nitrogenada Obs.: mesmo solo utilizado nos 4 tratamentos anteriores

Fonte: Do autor (2017).

Foram coletadas para avaliação as seguintes variáveis no momento em que o milho se encontrar em ponto de silagem:

- Altura da planta: foi realizada medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha utilizando-se trena graduada;
- Diâmetro do colmo: foi medido com paquímetro a 0,03 m do solo;
- Números de folhas total;
- As variáveis altura da planta (AP), Diâmetro do colmo (DC) e número de folhas (NF) também foram avaliadas ao longo do tempo em blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo.
- Massa seca da parte aérea (MSPA): as plantas foram cortadas rente ao solo. As plantas foram colocados em sacos plásticos, identificadas e transferidas para estufa a 65 °C até obtenção de massa constante; (Peso Inicial e Peso Final);

- Comprimento da espiga com e sem casca: foi utilizada uma régua milimétrica e diâmetro da espiga com e sem casca;
- Análise química do solo após colheita do milho.

Nessa análise foi realizada uma amostragem composta considerando as cinco repetições de cada tratamento. A amostra foi misturada em um balde plástico para ser retirada uma amostra simples que será enviada ao Laboratório de Análise de Solos da UFLA, totalizando cinco amostras, que, por fim, foram comparadas com as características químicas do solo determinadas antes da instalação do experimento.

## CONCLUSÃO

Com a pesquisa foi possível observar que a tendência é aumentar o número de confinamento no Brasil e no mundo devido à falta de grandes áreas de terras disponíveis próximas aos grandes centros urbanos, e devido as exigências dos consumidores.

A modelagem geoestatística mostrou-se eficiente para representar e estudar o microclima no interior de um galpão no modelo *Compost Barn*. Com os mapas dos índices de Temperatura e Umidade (ITU), temperatura de globo negro e umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR) e Entalpia estimados por krigagem ordinária foi possível visualizar melhor a condição do ambiente interno na área de descanso (cama) dos animais no confinamento *Compost Barn*. A análise mostrou pontos específicos de desconforto para as vacas leiteiras.

Não foi verificado estresse térmico nos animais na estação de verão e inverno. Os parâmetros fisiológicos se encontraram dentro dos limites de conforto animal. Para a análise dos escores, as vacas apresentaram uma melhoria na limpeza e um número reduzido de vacas com problemas de cascos.

Os resultados do teste t - pareado ao nível de significância de 5% indicam que depois de revolver a cama com a grade aradora ou enxada rotativa os valores das temperaturas foram significativamente menores. Verificou haver dependência espacial nos dados, com os mapas de krigagem pode visualizar melhor a condição da temperatura da cama do *Compost Barn*, observando-a superficialmente e na camada de 0,15 m. Observa-se que a construção e orientação do galpão influenciou na temperatura da cama no período de revolvimento vespertino, ocorrido na hora da segunda ordenha.

O estudo mostrou que o sistema de inferência adaptativo *neuro-fuzzy* (ANFIS) pode ser

usado para desenvolver uma função de aproximação da contagem total de bactérias da cama (área de repouso) do confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*, avaliado durante o verão e inverno de 2016. O modelo com quatro entradas, pH da cama, umidade da cama (%), temperatura superficial da cama (°C) e temperatura da cama a 0,15 m é mais compacto que o modelo com cinco entradas e apresenta uma interpretação mais simples, fácil e barato para o produtor, e apresentou melhor ajuste da função de pertinência sino generalizada (*gbell*), com saída linear. O ANFIS apresentou desempenho satisfatório. Para trabalhos futuros, sugere-se coletar dados por um período de tempo mais longo em outras propriedades que adotam o sistema de confinamento no modelo *Compost Barn* com materiais de cama diferentes.

Os tratamentos TC, TF e TM apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea quando comparado com os tratamentos sem uso de composto. Para a altura da planta do milho e diâmetro do colmo, estudados ao longo do tempo, foi observado que a partir dos 35 dias após a germinação das plantas, as alturas e os diâmetros médios foram considerados superiores para os tratamentos que receberam o material de cama de galpões de compostagem. A função sigmoideal logística se mostrou adequada para representar o crescimento da planta do milho até o ponto de silagem.

O solo utilizado no plantio teve uma melhoria significativa de suas características químicas quando associado à aplicação do material de cama do sistema de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*.

O material da cama do *Compost Barn* pode ser aplicado diretamente no solo, estando apto para o plantio do milho para silagem. Não há necessidade de maturação do composto. Conclui-se que o aproveitamento do material da cama de galpões de compostagem, como adubo orgânico, é recomendável como uma alternativa sustentável no reuso e tratamento de dejetos da produção leiteira. Em longo prazo, o material da cama incorpora nutrientes ao solo, aumenta a produção agrícola e agrega valor à propriedade.

## REFERÊNCIAS

ABONYI, J.; BABUSKA, R.; SZEIFERT, F. Modified Gath-Geva fuzzy clustering for identification of Takagi-Sugeno fuzzy models. In: IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics) 32. 2002. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/citations?user=0orN2FUAAAAJ&hl=pt-BR>>. Acesso em: 5 maio. 2017.

ABREU, P. G. et al. Estimativa da temperatura de globo negro a partir da temperatura de bulbo

seco. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v. 19, n. 6, p.557-563, 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/273>>. Acesso em: 2 maio. 2017.

ALVES, V. M. C. et al. Milho. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.

ANDRIOTTI, J. L. S., **Fundamentos da Estatística e Geoestatística**, São Leopoldo – RS - Brasil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Ed. Unisinos, 2004, 165 p.

ARAÚJO, A. P. de, **Estudo comparativo de diferentes sistemas de instalações para produção de leite tipo B, com ênfase nos índices de conforto térmico e na caracterização econômica**. 2001. 69 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, 2001.

AVILA, A. S. de et al. Evaluation and correlation of physiological parameters and bioclimatic indexes holstein cows in different seasons. **REGET**, Santa Maria, v. 14, n.14, p. 2878-2884, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010747>

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações Rurais: conforto térmico animal**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 246 p.

BABUŠKA, R. Fuzzy Clustering Algorithms. In: *Fuzzy Modeling for Control*. International Series in Intelligent Technologies, v. 12. Springer, Dordrecht, 1998. p. 49-74.

BABUŠKA, Robert. **Computational intelligence in modeling and control**. 1999. 197 p.

BABUŠKA, R.; VERBRUGGEN, H., Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification. **Annual Reviews in Control**, v. 27, n.1, p.73-85, 2003. Disponível em: <<http://sci2s.ugr.es/keel/pdf/specific/articulo/19-E.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2017.

BENSAID, A. et al. Validity-Guided (Re) Clustering with Applications to Image Segmentation. In: *IEEE TRANS. FUZZY SYST*, 4. 1996. p. 112-123. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/3335639\\_VValidity-uided\\_Re\\_Clustering\\_with\\_applications\\_to\\_image\\_segmentation](https://www.researchgate.net/publication/3335639_VValidity-uided_Re_Clustering_with_applications_to_image_segmentation)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

BEZDEK, J. C. **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms**, 1st ed. Springer US, 1981. 255 p.

BEWLEY, J. Think it Through Before Building a Compost Bedded Pack Barn, **Kentucky Dairy Notes**. 2008. Disponível em: <<http://www.uky.edu/Ag/AnimalSciences/dairy/dairysystems/Think%20it%20Through%20Before%20Building%20a%20Compost%20Bedded%20Pack%20Barn.pdf>>. Acesso em: 20 out. de 2017.

BEWLEY, J.; BLACK, R. Compost Bedded Pack Barn: características e considerações sobre o

manejo (Parte 1) University of Kentucky, **Tradução e adaptação Equipe. Universidade do Leite**. Reprodução não permitida. Publicado em: 07/04/2014. Disponível em: <<http://www.universidadedoleite.com.br/artigo-compostbedded-pack-barn-caracteristicas-e-consideracoes-sobre-o-manejo-parte-1#3845732982907377>>. Acesso em: 10 out. de 2015.

BOT, A.; BENITES, J. The importance of soil organic matter Key to drought-resistant soil and sustained food production. **FAO**, Roma. 2005, p. 95. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-a0100e.pdf>>. Acesso em: 10 set. de 2017.

BULEGON, G. et al. Análise econômica na cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à mineral. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Valinhos, v. 16, n. 2, p. 81-91, 2012. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/ensaio-ciencia/article/viewFile/2808/2662>>. Acesso em: 3 out. 2016.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

BLACK, R. A. et al. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 8060-8074, 2013. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(13\)00723-6/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(13)00723-6/abstract)>. Acesso em: 5 jun. 2016.

BLACK, R. A. et al. The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. **Journal of Dairy Science**. 2014, v. 97, p. 2669–2679. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00184-2/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00184-2/pdf)>. Acesso em: 5 jun. 2016.

BRIGATTI, A. M. Compost Barn e a produtividade leiteira. IEPEC - Instituto de Estudos Pecuários. 2014. Disponível em: <<http://iepec.com/compost-barn-e-produtividade-leiteira/>>. Acesso em 14 de ago. de 2016.

BRITO, E. C. **PRODUÇÃO INTENSIVA DE LEITE EM COMPOST BARN: Uma avaliação técnica e econômica sobre a sua viabilidade**, 2016, 57 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados da) - Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, 2016.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511. 1994. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/43269985\\_Field-Scale\\_Variability\\_of\\_Soil\\_Properties\\_in\\_Central\\_Iowa\\_Soils](https://www.researchgate.net/publication/43269985_Field-Scale_Variability_of_Soil_Properties_in_Central_Iowa_Soils)>. Acesso em: 11 out. 2016.

CAMPOS, A. T. et al. Caracterização do microambiente em secção transversal de um galpão do tipo "free-stall" orientado na direção norte-sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 1-8. 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162004000100001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162004000100001)>. Acesso em: 11 out. 2016.

CAMPOS, A. T.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T. de. CONSTRUÇÕES PARA GADO DE LEITE: Instalações para Novilhas. 2006. **Artigo em Hypertexto**. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/artigos/zootecnia/constleite/index.htm>>. Acesso em: 9 ago. 2015.

CAMPOS, A. T. et al. Prediction of free-stall occupancy rate in dairy cattle barns through fuzzy sets. **Eng. Agríc.** [online], Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1079-1089, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162013000600001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162013000600001)>. Acesso em: 11 out. 2016.

CANCELLIER, L. L. et al. Adubação orgânica na linha de semeadura no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 527-540, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/3825/8413>>. Acesso em: 3 out. 2016.

CARVALHO et al. Zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo no sudeste brasileiro R. Bras. **Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p.358-366, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n3/v13n03a20.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2016.

CARVALHO et al. Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento de frangos de corte, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.351-361, 2011. . Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n4/03.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2016.

CHATTOPADHYAY, S.; PRATIHAR, D. K.; SARKAR, S. C., A comparative study of fuzzy c-means algorithm and entropy-based fuzzy clustering algorithms. **Computing and Informatics**, v. 30, p. 701-720. 2011. Disponível em: <<http://www.cai.sk/ojs/index.php/cai/article/download/191/161>>. Acesso em: 12 out. 2016.

COSTA, E. M. S.; DOURADO, L. R. B.; MERVAL, R. R. Medidas para avaliar o conforto térmico em aves. **PUBVET**, Londrina, v. 6, n. 31, p. 1-20, 2012. Disponível em: <<http://pubvet.com.br/uploads/fe2366b3bee041c79690dfe74f637380.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2017.

COSTA E SILVA, E. V. da et al. Efeito do manejo e de variáveis bioclimáticas sobre a taxa de gestação em vacas receptoras de embriões. **Ciência Animal Brasileira**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 280-291, 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/3166/8152>>. Acesso em: 09 out. 2017.

COOK, N. B.; D. REINEMANN. A tool box for assessing cow, udder and teat hygiene In: NMC. ANNU.MTG. NATIONAL.MASTITIS COUNCIL.(NMC). 2007. Inc., Verona, WI. 2007. p. 31-43. Disponível em: <<http://milkquality.wisc.edu/wp-content/uploads/2011/09/toolbox-for-assessing-cow-udder-and-teat-hygiene.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

CLEAVER, T. Loose housing for dairy cattle. [Washington, D.C.]: U.S. Dept. of Agriculture .p. 1-16. 1953. Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=CAT872104>>

34&content=PDF>. Acesso em: 18 ago. 2016.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: J. Wiley. 1993. 900 p.

CURY, T. M. R. de C. **Avaliação do sistema de ventilação em instalações para frangos de corte através de diferentes modelagens**. 2014. 295 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, Campinas, SP, 2014.

DAMASCENO, F. A. **Compost Bedded Pack Barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model**. 2012. 391 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, MG, 2012.

ECKELKAMP, E. A. et al. Sand bedded freestall and compost bedded pack effects on cow hygiene, locomotion, and mastitis indicators, **Livestock Science**, v. 190, p. 48–57, 2016. Disponível em: <[http://www.livestockscience.com/article/S1871-1413\(16\)30127-5/fulltext.](http://www.livestockscience.com/article/S1871-1413(16)30127-5/fulltext.)>. Acesso em: 20 out. 2017.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI, 1969. 325 p.

FARIA, F. de F. et al. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2498-2505, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n9/a13v38n9.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2015.

FÁVERO, S. **Fatores associados a qualidade do leite, higiene animal e concentração bacteriana na cama de vacas leiteiras confinadas no sistema de compostagem**. 2015. 107 p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2015.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 1. ed. Lavras: Ed. Ufla, 2005. 664 p.

FERREIRA, R. A. **Maior Produção com Melhor Ambiente: Para Aves, Suínos e Bovinos**. Viçosa, MG, 3ª ed. Aprenda Fácil, 2015. 526 p.

FERREIRA et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** [online]., v. 58, n. 5, p. 732-738. 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-09352006000500005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352006000500005)>. Acesso em: 15 jun. 2016.

GALAMA, P. et al. **Prospects for bedded pack barns for dairy cattle**. Wageningen UR Livestock Research. 2011. Disponível em: <[http://www.vrijloopstallen.nl/documenten/Prospects\\_for\\_bedded\\_pack\\_barns\\_for\\_dairy\\_cattle.pdf](http://www.vrijloopstallen.nl/documenten/Prospects_for_bedded_pack_barns_for_dairy_cattle.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2016.

GALAMA, P. et al. **Aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands**, Wageningen UR Livestock Research. 2015. Disponível em: <<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/489726>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

GONÇALVES, I. C. M.; TURCO, S. H. N.; RAMOS, C. M. C. Variabilidade espacial da temperatura do ar de um *Free- Stall* na região semiárida nordestina do Brasil. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**. [online], v. 20, n. 1, p. 67-71. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662016000100067&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662016000100067&script=sci_abstract&tlng=pt)> Acesso em: 25 fev. 2017.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 512 p.

HERRERO, N. Produzir muito leite com Simental e Cruzamentos. **Balde Branco**, 28-31. 2012.

HOEHNE, L. et al. A. Avaliação das técnicas de determinação de nitrogênio por cromatografia iônica (IC) e por teor de nitrogênio total (TN) por quimiluminescência, **Tecno - Lógica**, Santa Cruz do Sul. v. 20, n. 1, p. 09-13. 2016. Disponível em: <<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/6230>> Acesso em: 25 fev. 2017.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JANG, J.-S. R. Anfis: Adaptive-network-based fuzzy inference system. In: IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics, v. 23, n. 3, p. 665–685, 1993. Available in: <<https://www.dca.ufrn.br/~meneghet/FTP/anfis%2093.pdf>>. Accessed on: 05 Apr. 2018

JANNI, K. A. et al. Compost dairy barn layout and management recommendations. **Appl. Eng. Agric.**, v. 23. n. 1, p. 97-102. 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/270615141\\_Compost\\_Dairy\\_Barn\\_Layout\\_and\\_Management\\_Recommendations](https://www.researchgate.net/publication/270615141_Compost_Dairy_Barn_Layout_and_Management_Recommendations)>. Acesso em: 5 mar. 2017.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, CH. J. **Mining Geostatistics**. London: Academic, 1991. 600 p.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal Chemical Metallurgical Mining Society of South Africa**, Johannesburg, v. 52, n. 9 p. 119-139, 1951. Disponível em: [http://journals.co.za/content/saimm/52/9/AJA0038223X\\_4858](http://journals.co.za/content/saimm/52/9/AJA0038223X_4858)>. Acesso em: 5 ago. 2016.

KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C. de; JÚNIOR, H. S. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 25, n. 3, p. 598-607. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162005000300004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000300004)>. Acesso em: 5 ago. 2016.

LEITE, D.; COSTA, P.; GOMIDE, F. Evolving granular neural networks from fuzzy data streams. **Neural Networks**, v. 38 n. 1, p. 1-16, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608012002791>>. Acesso em: 3 ago. 2015.



LESO, L. et al. Survey of Italian compost dairy barns. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 44, n. 3. 2013. Disponível em: <<http://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/jae.2013.e17>>. Acesso em: 5 ago. 2016.

LUDWIG JÚNIOR, O.; SCHNITMAN, L.; LEPIKSON, H. Uma Arquitetura Neural Híbrida para Extração de Regras Nebulosas. In: IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, v. 2, n. 2, 2004. Available in: <[https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo\\_Ludwig/publication/3454944\\_A\\_hybrid\\_neural\\_architecture\\_for\\_fuzzy\\_rules\\_extraction/links/54a606f50cf257a63608d92c/A-hybrid-neural-architecture-for-fuzzy-rules-extraction.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo_Ludwig/publication/3454944_A_hybrid_neural_architecture_for_fuzzy_rules_extraction/links/54a606f50cf257a63608d92c/A-hybrid-neural-architecture-for-fuzzy-rules-extraction.pdf)>. Accessed on: 16 May.2018

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3.ed. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1981. 594 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: MAPA, 2007. 141p. Available in:<[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in\\_28\\_07\\_anexo.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in_28_07_anexo.pdf)>.Accessed on: 10 ago. 2016.

MATTOS, W. R. S. Sistemas de estabulação livre para bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE PECUÁRIA LEITEIRA, 1., 1977, Águas da Prata. **Anais**. Campinas: Fac. Med. Vet. e Zootécnia USP, 1977. p. 123-139.

MELEM, V. M. **Utilização da geoestatística na construção de mapas de temperatura média mensal para o estado do Paraná**. 2002. 125 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, Botucatu. SP. 2002.

MELLO, J. M. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 122 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais/Silvicultura e Manejo Florestal) Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba. SP. 2004.

MEDEIROS, B. B. L. et al . Uso da geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema "wean to finish" na fase de terminação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal , v. 34, n. 5, p. 800-811, Oct. 2014 . Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162014000500001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162014000500001&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em:13 jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000500001>.

MIYAMOTO, S.; ICHIHASHI, H.; HONDA, K. **Algorithms for Fuzzy Clustering-Methods in c-Means Clustering with Applications**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg - Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2008. 229 p.

MOURA, A. K. et al. Influências bioclimáticas e de ambiência no bem-estar de vacas leiteiras. **PUBVET**, Londrina, v. 4, n. 32, Ed. 137, Art. 926, 2010. Disponível em:<<http://www.pubvet.com.br/uploads/3457b8131de045cd52b3bb3917a9f10f.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2016.

MOTA, V. C. **Metodologia geoestatística para caracterizar a variabilidade temporal de elementos climáticos de Juiz de Fora - MG**. Lavras. 111p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

MOTA, V. C.; DAMASCENO, F. A.; LEITE, D. F. Fuzzy clustering and fuzzy validity measures for knowledge discovery and decision making in agricultural engineering. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 150, p. 118–124. 2018. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/324744091\\_Fuzzy\\_clustering\\_and\\_fuzzy\\_validity\\_measures\\_for\\_knowledge\\_discovery\\_and\\_decision\\_making\\_in\\_agricultural\\_engineering](https://www.researchgate.net/publication/324744091_Fuzzy_clustering_and_fuzzy_validity_measures_for_knowledge_discovery_and_decision_making_in_agricultural_engineering)>. Acesso em: 26 May. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

NASCIMENTO G. V. do, et al. Indicadores produtivos, fisiológicos e comportamentais de vacas de leite, **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.9, n.4, p 28-36, 2013, Disponível em: <<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/viewFile/349/pdf> .> .Acesso em: 15 set. 2017.

NEUGEBAUER, M.; SOŁOWIEJ, P.; PIECHOCKI, J. Fuzzy control for the process of heat removal during the composting of agricultural waste. **J. Mater Cycles Waste Manag.**, v. 16, p. 291–297. 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-013-0188-8>>. Acesso em: 16 set. 2017.

OECD/FAO (2017), “Dairy and Dairy Products”, in OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026, OECD Publishing, Paris.

PAL, N. R.; BEZDEK, J. C., On cluster validity for the Fuzzy C-Means model. In: IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, v. 3, n. 3, 1995. p. 370-379. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/413225/>>. Acesso em: 3 jun. 2016.

PERISSINOTTO, M. et al., Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos *fuzzy*. **Ciência. Rural** [online]. v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782009000500029](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000500029)>. Acesso em: 3 jun. 2015.

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal Animal Behaviour Biometeorology**. v. 5, p. 97-105. 2017.

PINHEIRO, A. da C. et al. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 280-293, 2015. Versão Online. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/at/index>> Acesso em: 3 jun. 2015.

PIRES, M. de F. A.; CAMPOS, A. T. **Conforto animal para maior produção de leite**. Viçosa-MG, CPT, 2008, 252 p.

PONTES, J. M. **A Geoestatística: Aplicações em experimentação de campo**. 2002. 82p.

Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, 2002.

QUEIROZ, M. L. de V. Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização, **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 586-595, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v48n4/1806-6690-rca-48-04-0586.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2018.

RODRIGUES, V. C. et al. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, v.55, n.3, p. 455 - 459, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>

SALES, F. A. de L. et. al. Monitoramento Ambiental do Perfil Horizontal de Um Galpão para Suínos na fase de Gestação, Utilizando Zootecnia de Precisão. **Rev. Cient. Prod. Animal**, v. 13, n. 1, p. 7-12, 2011. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/rcpa/article/view/2851>>. Acesso em: 3 jun. 2015.

SANTOS R. C. et al. Aplicac o da lógica nebulosa na simulacão de estro de vacas leiteiras. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Goiânia, v. 5, n. 8, 2009. Disponível em:<<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009B/estro%20de%20vacas.pdf>> Acesso em: 16 out. de 2015.

SILVA, S. **Comportamento e bem - estar de animais: a importância do manejo adequado para os animais de produc o**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2016. 310 p.

SILVA,I.; SILVA, A.; TEIXEIRA, M. **Modelagem Fuzzy com Técnicas de Agrupamento Fuzzy e Estruturas Neuro-Fuzzy**. p. 903-909, 2012. Disponível em:<<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/cbsf/2012/0071.pdf>> Acesso em: 14 out. 2015.

SILVA, I. M. da, et al. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pr -ordemha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** [online]. v. 16, n. 8, p. 903-909, 2012. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000800013&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000800013&script=sci_abstract&tlng=pt)>.Acesso em: 3 jun. 2015.

SHAW, I. S.; SIM E, M. G. **Controle e Modelagem Fuzzy**. Ed. Edgard Blucher: FAPESP, 1999. 165 p.

SOARES, A. G. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: IST , 2006. 186 p.

SUGENO, M. **Industrial applications of fuzzy control**, 1. ed. Elsevier Science Ltda., 1985. 278 p.

SHRI.B. B. G. **Modern Loose housing system with Sugarcane trash as a bedding material forcrossbredcows**.1. 2012. Disponível em: <[file:///C:/Users/vania/Downloads/2Loose\\_housing\\_system.pdf](file:///C:/Users/vania/Downloads/2Loose_housing_system.pdf)>.Acesso em: 14 ago. 2016.

TAKAGI, T.; SUGENO, M, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control”, In: IEEE - TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, v. SMC - 15, n. 1, p. 116 - 132 1985. Available in: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6313399/>>. Accessed on: 16 May. 2017.

THOM, E.C. **Cooling degree: day air conditioning, Heating, and ventilating.** In: Transaction of the American Society of Heating, Wellington, v. 55, p. 65-72, 1958.

VASCONCELLOS, P. M. B. **Guia prático para o fazendeiro.** Ed. NBL, São Paulo. 1977. 405 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, MG: SBCS, 2000. v. 1, p. 1-54.

XIE, X., BENI, G.A. Validity Measure for Fuzzy Clustering. In: IEEE TRANS. PATTERN ANAL. MACH. INTELL., v. 13, n. 8, p. 841-847, 1991. Disponível em: <<http://cs.haifa.ac.il/hagit/seminars/segmentation-III/Xie91.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Editora Oficina de Letras, 2013. 215 p.

WANG, K.; WANG, B.; PENG, L. CVAP: Validation for cluster analyzes. **Data Science Journal**, v. 8, n. 1, p. 88-93, 2009. Disponível em: <<file:///C:/Users/vania/Downloads/222-427-1-SM.pdf>> Acesso em: 14 ago. 2016.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists.** John Wiley & Sons Inc, 2001, 271p.

ZADEH, L.A. “**Fuzzy Sets, Information and Control**”, v. 8, 1965, p. 338-353. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001995586590241X>> Acesso em: 14 ago. 2016.

## **SEGUNDA PARTE - Artigos**

## ARTIGO 1

### Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características

Este artigo foi publicado na Revista Científica PUBVET e está Disponível em: <<http://www.pubvet.com.br/uploads/4a3909e61dd75fd096dbdd72a4b74a43.pdf>>

Figura a - Imagem do resumo do artigo 1 publicado na revista PUBVET.



### Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características

Vania Corrêa Mota<sup>1\*</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>2</sup>, Flávio Alves Damasceno<sup>3</sup>, Everton Augusto de Melo Resende<sup>4</sup>, Creuza Pedrosa do Amaral Rezende<sup>5</sup>, Luiz Ronaldo de Abreu<sup>6</sup>, Teodora Vareiro<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções Rurais e Ambiente, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: [vaniamota13@gmail.com](mailto:vaniamota13@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: [campos@deg.ufla.br](mailto:campos@deg.ufla.br)

<sup>3</sup>Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: [flavio@ufla@gmail.com](mailto:flavio@ufla@gmail.com)

<sup>4</sup>Graduando em Agronomia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: [resendeeverton@outlook.com](mailto:resendeeverton@outlook.com)

<sup>5</sup>Técnica em Leite e Derivados, Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG - Brasil. E-mail: [creuza@idca.ufla.br](mailto:creuza@idca.ufla.br)

<sup>6</sup>Professor Titular, Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: [lraabreu@idca.ufla.br](mailto:lraabreu@idca.ufla.br)

<sup>7</sup>Zootecnista, Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Mato Grosso- Pontes e Lacerda/MT - Brasil. E-mail: [teodorazootecnia@hotmail.com](mailto:teodorazootecnia@hotmail.com)

\*Autor para correspondência

**RESUMO.** O regime de confinamento para a exploração de carne e leite, é prática comum, recorrente e necessária em muitos países. Nos últimos tempos tornou-se crescente a preocupação com o planejamento das instalações destinadas aos confinamentos para bovinos leiteiros para melhorar o conforto e bem-estar dos animais. Dessa forma, esta revisão tem por objetivo descrever os tipos de confinamentos para bovinos leiteiros, existentes no momento, dando maior ênfase para as características construtivas de cada sistema. Os animais confinados podem ter um padrão aceitável de bem-estar e conforto à medida que instalações adequadas sejam fornecidas junto com boas práticas de manejo e sanidade animal. Com a pesquisa foi possível observar que a tendência é aumentar o número de confinamento no Brasil e no mundo devido à falta de grandes áreas de terras disponíveis próximas aos grandes centros urbanos, e devido as exigências dos consumidores.

**Palavras Chave:** Conforto animal, planejamento de instalações, sistemas de produção

Fonte: Revista Pubvet, 2017.

## Confinamento para bovinos leiteiros: histórico e características

Vania Corrêa Mota<sup>(1)\*</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>(2)</sup>, Flávio Alves Damasceno<sup>(3)</sup>, Everton Augusto de Melo Resende<sup>(4)</sup>, Creuza Pedrosa do Amaral Rezende<sup>(5)</sup> Luiz Ronaldo de Abreu<sup>(6)</sup> Teodora Vareiro<sup>(7)</sup>

<sup>(1)</sup> *Doutoranda em Engenharia Agrícola, área de concentração Construções Rurais e Ambiente, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: vaniamota33@gmail.com\**

<sup>(2)</sup> *Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: campos@deg.ufla.br*

<sup>(3)</sup> *Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: flavioufla@gmail.com.*

<sup>(4)</sup> *Graduando em Agronomia, Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: resende.everton@outlook.com.*

<sup>(5)</sup> *Técnica em Leites e Derivados, Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: creuza@dca.ufla.br.*

<sup>(6)</sup> *Professor Titular, Departamento de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras/MG - Brasil. E-mail: Irabreu@dca.ufla.br.*

<sup>(7)</sup> *Zootecnista, Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Mato Grosso- UNEMAT, Pontes e Lacerda/MT - Brasil. E-mail: teodorazootecnista@hotmail.com*

**RESUMO.** O regime de confinamento para a exploração de carne e leite, é pratica comum, recorrente e necessária em muitos países. Nos últimos tempos tornou-se crescente a preocupação com o planejamento das instalações destinadas aos confinamentos para bovinos leiteiros para melhorar o conforto e bem estar dos animais. Dessa forma, esta revisão tem por objetivo descrever os tipo de confinamentos para bovinos leiteiros, existentes no momento, dando maior ênfase para as características construtivas de cada sistema. Os animais confinados podem ter um padrão aceitável de bem estar e conforto à medida que instalações adequadas sejam fornecidas junto com boas práticas de manejo e sanidade animal. Com a pesquisa foi possível observar que a tendência é aumentar o número de confinamento no Brasil e no mundo devido a falta de grandes áreas de terras disponíveis próximas aos grandes centros urbanos, e devido as exigências dos consumidores.

**Palavras Chaves:** conforto animal, planejamento das instalações, sistemas de confinamento.

## **Confinement for dairy cattle: history and characteristics**

**ABSTRACT.** The confinement regime for the exploration of meat and milk is a common, recurrent and necessary practice in many countries. In recent times there has been growing concern about the planning of facilities for confinement for dairy cattle to improve comfort and well being of the animals. The purpose of this review is to describe the types of feed lots for dairy cattle, currently available, giving greater emphasis to the constructive characteristics of each system. Confined animals may have an acceptable standard of well-being and comfort as appropriate facilities are provided along with good animal health and management practices. An increasing trend of the number of confinement in Brazil and in the world could be noted based on this study. The reason for that is the lack of large areas of available land near urban centers and due to exigencies of consumers.

**Keywords:** animal comfort, facility planning, confinement systems.

## **El confinamiento de ganado lechero: historia y características**

**RESUMEN.** El sistema de contención para la explotación de la carne y la leche, es una práctica común, recurrente y necesario en muchos países. Los últimos tiempos se ha convertido en una preocupación creciente para la planificación de las instalaciones para el confinamiento del ganado lechero para mejorar la comodidad, bien estar y salud de los animales. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo describir el tipo de restricciones al ganado lechero, existente en el momento, dando mayor énfasis a las características de construcción de cada sistema. Animales confinados pueden tener un nivel aceptable de bien estar y comodidad, instalaciones adecuadas se proporcionan junto con las buenas prácticas de gestión de la salud y de los animales. Con la investigación se observó que la tendencia a aumentar el número de confinamiento en Brasil y en el mundo debido a la falta de grandes extensiones de tierra disponible cerca de los grandes centros urbanos, y debido a las exigencias de los consumidores.

**Palabras llaves:** confort animal, planificación de instalaciones, sistemas de confinamiento.



## **Introdução**

O regime de confinamento para a exploração de carne e leite é pratica comum recorrente e necessária em muitos países como: EUA, Israel, Japão entre outros. A principal razão para o uso desse sistema nesses países, ocorreu devido as áreas limitadas e altos custos de terras próximas às áreas metropolitanas, bem como, o potencial limitado e a estacionalidade das pastagens para sustentar altas produções com rebanhos geneticamente melhorados (Novaes, 1993).

No Brasil, os sistemas de confinamento de bovinos ainda tem pouco significado em relação à produção total, a qual é tradicionalmente dependente do desenvolvimento das pastagens na época da estação chuvosa. Em contraste, os países recordistas em produção de leite têm no confinamento a forma mais racional de exploração.

Certamente, os sistemas de confinamento, em muito se diferenciam daqueles onde os animais têm acesso a pastagens (Head, 1996). No sistema de confinamento, as vacas são alimentadas no cocho, e necessitam de instalações confortáveis e funcionais que proporciona um ambiente melhor em termos de conforto térmico, para diminuir o estresse animal e conseqüentemente aumentar o seu bem-estar e sua capacidade produtiva.

No entanto, com os sistemas de confinamento para bovinos leiteiros, surgem novas dificuldades, como a elevação do custo de produção e a necessidade de mão de obra especializada, mas também aparecem novas oportunidades para manejar esse rebanho com conforto para permitir altas produções de leite sem implicar os aspectos reprodutivos e de saúde total dos animais. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo, fazer uma revisão bibliográfica dos confinamentos para bovinos leiteiros, bem como, descrever sucintamente os tipos de confinamentos existentes no momento, dando maior ênfase para as características construtivas de cada sistema.

## **Confinamento para bovinos leiteiros -histórico**

A partir de 1946, a tendência da grande maioria dos produtores de leite era a manutenção de seus animais em algum tipo de confinamento. Porém, os galpões para criação de bovinos, teve seu início muito antes de 1880, nesse período já existia indícios desse tipo de construção que era utilizado para armazenar a colheita e o gado. Esta prática de utilização de celeiros era suficiente para iniciar uma nova tendência em direção a construir galpões para animais cada vez maiores, para o armazenamento de toda a colheita e de todo o gado sob o mesmo teto, e isso continuou até

os galpões se tornarem cada vez mais extensos com dimensões acima que 25 m (Head, 1996).

Entretanto, os conflitos durante a II Guerra Mundial motivaram muitos agricultores a manter seus rebanhos em galpões. Nesse período, as fazendas eram historicamente baseadas na criação a pasto, porém com o inverno, devido a neve e ventos que prejudicavam os animais, forçou os produtores a melhorar o sistema de criação utilizado. Essa época se tornou um marco histórico que fornece um ponto de referência para a mudança na indústria de laticínios, pois a mecanização tornou-se popular em muitas indústrias, e para produtos lácteos não foi exceção (Rezelman, 1993).

Na década de 50, os agricultores começaram a fornecer às vacas uma área de descanso chamada *loose housing*. Este método de manejo cresceu e se tornou muito popular, mas muitas propriedades de Minnesota e Wisconsin não aderiram, devido a adições frequentes de cama que eram necessárias a fim de manter as vacas limpas. E nesse período, muitas fazendas aderiram o confinamento durante todo o ano, usando pasto apenas para alimentar novilhas de reposição e vacas secas (Misa, 2007).

O sistema de confinamento *tie-stall* foi facilmente adaptado aos estados de Minnesota e Wisconsin, em parte devido à tradição de silos verticais e descarregadores de silo que se tornou a solução tradicional para o armazenamento e a entrega de alimentos para os animais (Reis & Combs, 2001; Misa, 2007).

Em meados do século XX, muito resultados de estudos fornecidos aos produtores de leite sobre instalações animais, eram recomendadas para galpões com área de cama, onde todos os animais poderiam descansar. No entanto, pesquisadores e engenheiros procuravam outra alternativa para o rebanho diferente deste processo. Devido a isso, o *free-stall* foi criado (Misa, 2007). Com isso os galpões do tipo *free-stall* tornaram-se altamente recomendado por especialistas e se espalhou por vários países.

No Brasil nos anos 1980, a Embrapa Gado de Leite decidiu desenvolver sistemas de produção de leite no intuito de disponibilizar metodologias orientadas para a instalação e avaliação de modelos físicos como instrumento de pesquisa, de tal modo que entre 1982 e 1985, cerca de 20 sistemas de produção de leite foram instalados nas cinco regiões fisiográficas do Brasil, dentre estas destaca-se a instalação em 1983, no Distrito Federal, em uma área de 100 ha cedida pela Embrapa Hortaliças, de um modelo de produção de leite com rebanho Holandês em regime de confinamento. Este sistema representava um esforço para assegurar a presença desta

unidade de pesquisa no Centro Oeste (Embrapa, 2006).

No início de 1990, a Embrapa Gado de Leite instala um modelo físico de sistema de produção com um rebanho de gado Holandês em confinamento total, no Campo experimental de Coronel Pacheco. O sistema contava com o uso de tecnologias arrojadas para condições médias brasileiras, com animais de alto potencial genético para produção de leite, confinados em galpões do tipo *free-stall* (Embrapa, 2006).

Em meados de 1994 a 1997, em parceria com oito unidades de pesquisa da Embrapa e de cinco empresas estaduais, foi criado o projeto "Modelos Físicos de Sistema de produção de Leite", totalizando 18 sistemas de produção, sendo quatro em confinamento *free-stall*, que tinha como objetivo demonstrar a viabilidade econômica de sistemas inovadores de produção a produtores que queriam evoluir, e a partir de 1998, com o encerramento do projeto, os modelos físicos passaram a ser administrado pela gerência do Campo Experimental de Coronel Pacheco (Embrapa, 2006).

Com a ajuda da Embrapa alguns produtores aderiam ao sistema de confinamento, e o modelo *free-stall* logo ganhou destaque sendo construído em várias regiões, o modelo *tie-stall*, também foi construído em algumas propriedades, porém com menor relevância.

No ano de 2001, em Minnesota surge uma alternativa ao sistema *loose housing*, chamado *compost barn*. O *compost barn* surgiu devido à procura de produtores da região por um sistema que visasse mais o bem-estar dos animais e que fossem mais sustentável. Esse sistema possui uma área de cama que é revolvida no mínimo duas a três vezes ao dia, para manter a aeração aeróbia da compostagem. Desde então, instalações *compost barn* têm sido usadas em várias partes dos Estados Unidos e em outros países tais como o Japão, China, Itália, Holanda, Israel e recentemente no Brasil (Damasceno, 2012).

No Brasil, o sistema *compost barn* iniciou na fazenda Santa Andrea em Itararé – SP. Existem controvérsias, onde produtores de Piracicaba-SP afirmam que o sistema *compost barn* iniciou em 2012, naquela região.

A principal particularidade do sistema *compost barn* é o processo de compostagem aeróbia da cama, que é induzida pela constante homogeneização dos dejetos animais associados a aeração da cama orgânica. Segundo Herrero (2012), os proprietários da fazenda Santa Andrea investiram na produção leiteira, com sistema *compost barn* devido ao menor custo de instalação e melhor conforto e bem-estar animal.

O sucesso foi tão grande que no final de 2014, o número de instalações *compost barn* teve um crescimento superior à trinta instalações no Brasil. No caso de Minas Gerais, algumas instalações *compost barn* já podem ser encontradas nas cidades de Sete Lagoas, Patrocínio, São João Del Rey, Santa Juliana, Lagoa da Prata, Santo Antônio do Monte, Juiz de Fora e Três Corações.

Esse crescimento, muito significativo ocorreu devido às instalações *compost barn* serem mais ecologicamente corretas e economicamente viáveis para os produtores de leite brasileiros que buscavam alternativas para aprimorar e modernizar suas instalações de produções.

Produtores de leite de vários países têm discutido diversos conceitos sobre as instalações *compost barn* em revistas técnicas especializadas, fóruns, congressos, indicando um enorme interesse sobre este novo sistema de alojamento animal. Apesar do aumento da popularidade do sistema *compost barn* no Brasil, o conhecimento científico sobre este sistema é escasso, necessitando, portanto, de mais estudos que possam auxiliá-los no processo de tomada de decisão e planejamento.

### **Tipos de confinamento para bovinos leiteiros**

Como sistemas de confinamentos para bovinos leiteiros temos: baias individuais, denominado *Tie Stall (TS)*, e os sistemas de estabulação livre com os modelos, *Loose Housing (LH)* e o *Free Stall (FS)*, que são os mais conhecidos pelos produtores, e o mais recente, *Compost Barn (CB)*.

#### *a)Tie-stall*

No sistema *tie-stall* as vacas permanecem lado a lado, contidas em baias individuais a maior parte do tempo e são mantidas presas por uma corrente no pescoço, e recebem alimentação 100% no cocho; e, geralmente ficam soltas apenas na hora da ordenha quando fazem um pouco de exercício (Figura 1). É um sistema de alto investimento por animal alojado e de pouca eficiência de trabalho como limpeza, distribuição de alimentos e ordenha. O sistema de alimentação mais utilizado é o do fornecimento de alimentos concentrados separados da forragem, em função da dificuldade de mecanização. Normalmente são utilizados em rebanhos menores, onde a mão-de-obra é familiar (Reis & Combs, 2001).



**Figura 1.** Confinamento no sistema *tie-stall* com animais da raça Holandesa, município de Ijaci/MG, Brasil.

**Fonte:** <http://www.holandesflamma.com.br/index.php/pt-br/>

Myrrha (1998) explica que essa contenção, que prende os animais pode ser feita com canzais de madeira ou de tubos metálicos chumbados diretamente no piso de concreto, e ressalta que em geral a altura do pé-direito do galpão deve ser de, no mínimo 3 metros.

Segundo Mattos (1977), a água deve ser fornecida em bebedouros, que pode servir até dois animais, e a alimentação pode ser manualmente ou mecanicamente, até duas vezes ao dia, sendo que parte do concentrado pode ser fornecida na sala de ordenha. O autor ainda acrescenta que neste sistema a cama não precisa ser trocada diariamente, mas que as dejeções que caem em canaletas localizadas atrás dos animais devem ser limpas todos os dias para controle da higiene.

O sistema *tie-stall* é muito utilizado para rebanhos pequenos de até 60 animais em lactação, e para o sucesso deste tipo de instalação as baias devem possuir dimensões adequadas para a movimentação dos animais, sendo construídas de acordo com o tamanho dos animais, e o arranjo mais desejável é o de duas fileiras de baias, de modo que as vacas fiquem com a parte superior voltada para o corredor, chamada de área de serviço (Mattos, 1977). O tamanho recomendado para baias individuais do sistema *tie-stall* em relação ao peso da vaca, pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões para baias individuais do *tie-stall*.

Tamanho da vaca (Kg)	Largura da baia (cm)	Comprimento da baia (cm)
350	110	140
450	115	150
550	120	160
650	130	170
750	140	180

Fonte: Adaptado de (Mattos, 1977).

O *tie-stall* é um sistema que exige mão de obra qualificada, e possui um elevado custo de investimento e infra estrutura, sendo utilizado com vacas de altíssima produtividade (Araújo, 2001). As vacas leiteiras permanecem limpas, mas como é reduzida a sua oportunidade de se exercitarem, aumenta a possibilidade de estresse.

#### b) *Free-stall*

No sistema *free-stall*, as vacas ficam soltas dentro de uma área cercada, sendo parte dividida em baias individuais, onde os animais permanecem lado a lado, e são forradas com cama que pode ser areia ou borracha triturada. As baias são destinadas ao descanso dos animais (Figura 2), e a outra parte da instalação é destinada para a alimentação e exercícios (Araújo, 2001).

O tamanho recomendado para baias do sistema *free-stall* em relação ao tamanho da vaca, pode ser observado na tabela 2. O comprimento deve ser o mínimo para que o animal, ao deitar-se, permaneça com o úbere e as pernas alojadas internamente ao cubículo, enquanto as dejeções são lançadas no corredor de limpeza ou serviço (Campos et al., 2006). Mattos (1977) ainda reforça que quando bem dimensionadas, estas sempre permanecem secas e limpas por longo período (10 a 15 dias), de modo a gerar uma economia, do material de cama e da mão de obra.

Cecchin et al., (2014) estudou o uso de camas em baias de um sistema *free-stall*, comparando o uso de colchão de borracha e de areia no recobrimento das baias, e verificou que houve maior preferência dos animais pela cama de areia para os comportamentos deitada em ócio e deitada ruminando, sendo que as vacas permaneceram mais tempo deitadas em cama de

borracha somente nos períodos mais frescos (noite e madrugada), devido à temperatura da cama.

De acordo com Mattos (1977) o complexo de construção de uma instalação do tipo *free-stall* é constituída de quatro áreas, interligadas e independentes, que são: área de repouso, alimentação, ordenha e exercício. Na área de repouso que são construídas as baias individuais, com cama de material seco e macio de espessura de 10 cm e é na área de exercício que os animais devem dispor de uma área externa, com 10 m<sup>2</sup> por vaca, construída de piso de concreto para facilitar a limpeza e melhorar a higiene dos animais.



**Figura 2.** Confinamento no sistema *free-stall* com animais da raça Holandesa, no município de Ijaci, Minas Gerais, Brasil.

**Fonte:** Autor.

O sistema *free-stall* foi recomendado e se tornou muito popular entre os produtores, devido ao seu manejo, ou seja, quando as vacas não estão sendo ordenhadas, elas podem ficar vagando livremente em um grande espaço aberto com chão de terra ou concreto e acesso fácil para a alimentação que pode ser de feno ou silagem. Na hora da ordenha, as vacas podem ser treinadas para andar em uma sala de ordenha separada, onde terão acesso aos alimentos concentrados, enquanto estavam sendo ordenhadas.

Tabela 2 - Dimensões para baias no sistema *free-stall*.

Tamanho da vaca (Kg)	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)
365-454	100	183	100
454-500	107	198	102
500-545	112	208	104
545-682	117	213	112
>685	122	228	112

Fonte: Adaptado de Head (1996).

Segundo Campos et al., (2004) os países em desenvolvimento, cada vez mais, adotam o sistema intensivo de produção animal, sendo o confinamento, em galpões com sistema *free-stall*, um dos preferidos pelos produtores para a criação de gado de leite.

Head (1996), afirma que uma das funções mais importantes de instalações do tipo *free-stall* é a de interceptar a radiação solar para reduzir a carga térmica no animal e permitir o manejo adequado para auxiliá-lo a manter homeotermia e, portanto, conforto para que o consumo de alimentos seja maximizado. As instalações adequadas permitem manter animais saudáveis e com mínimo de stress.

Nesse sentido, alguns pontos devem ser observados na construção desse tipo de estábulos que são: declividade do telhado, tipo de telha, altura do pé direito, espaço/animal, tipo de piso e ranhura, largura de corredores e etc. O projeto da instalação deve ser planejado de forma adequada, para permitir o máximo de conforto, movimentação tranquila e sua contenção prática e rápida, além de permitir a expansão para um número maior de animais.

### c) *Loose Housing*

No sistema *loose housing*, o confinamento dos animais ocorre em estábulos com área de repouso coletivo para gado leiteiro (Figura 3). Os animais embora confinados, ficam em áreas livres, para os exercícios com áreas cobertas para se protegerem do sol forte, chuva violenta e ventos frios, podendo ter liberdade de movimento e de direção (Vasconcellos, 1975). As vacas



são levadas para áreas ou galpões separados para a ordenha e alimentação.

O sistema *loose housing*, por sua vez, é bastante popular em regiões mais secas dos Estados Unidos. Exige menor nível de detalhamento do sistema quando comparado ao *free-stall*, pois os animais permanecem em grandes currais equipados com área de descanso comum e sombreados. Nesse sistema, o capital investido por animal alojado é menor, sendo bastante difundido na região oeste dos Estados Unidos (Reis & Combs, 2001).



**Figura 3.** Confinamento no sistema *loose housing*, detalhe da área de descanso.

**Fonte:** Shri (2012).

De acordo com Vasconcellos (1975), no sistema *loose housing*, as construções devem ter boa iluminação natural e boa aeração. Os animais devem ficar protegidos da incidência dos ventos do Sul. O pé-direito deve ter de 2,50 a 4,00 m, possuir o piso de concreto armado ou concreto rústico (areia grossa), com espessura de 12 cm e declive de 4%, na direção contrária à construção coberta.

Segundo Cleaver (1953) a área de repouso, chamada de área com cama, é um espaço onde as vacas podem descansar ou deitar em uma cama coberta com material seco. Ela deve fornecer abrigo contra os ventos frios, neve e chuva, que são as instalações cobertas que ficam nessa área. O chão de terra pode ser satisfatório para áreas de repouso, desde que tenham de 0,20 a 0,25 % (graus) de inclinação para proporcionar uma boa drenagem, e com uma faixa pavimentada, ao longo de toda a frente aberta, sendo que a maior parte da lama ou esterco nos pés das vacas vão cair sobre esta abordagem pavimentada. Equipamentos como tratores podem ser utilizados para a remoção dos dejetos que funcionam de forma mais eficaz sobre esta faixa (Cleaver, 1953).

A retirada do esterco da parte coberta deverá ser feita diariamente e da parte aberta

somente o excesso, devendo-se deixar que o esterco cubra todo o piso, para evitar que o mesmo desgaste muito os cascos dos animais. Para melhor eficiência, deve-se passar diariamente uma enxada rotativa puxada por um pequeno trator, na parte com serragem.

Os cochos devem ser todos colocados do lado de fora e cobertos, de maneira, a não atrapalhar a passagem do trator com carretas distribuidoras de alimentos secos e verdes, que deverá ser feita com rapidez e máxima facilidade. A retirada do esterco e a reposição da serragem molhada e suja deverão ser feitas diariamente, sem exceção (Vasconcellos, 1975).

Segundo Myrrha (1998), as áreas mínimas necessárias por animal no sistema *loose housing* deve ser de 2,8 m<sup>2</sup> para a área coberta, 6,0 m<sup>2</sup> para área de repouso, 8 m<sup>2</sup> para área descoberta e para exercícios e 16,8 m<sup>2</sup> para o total da construção.

#### d) *Compost barn*

O *compost Barn* é um sistema de confinamento alternativo do conhecido sistema *loose housing*, onde os animais ficam soltos e podem caminhar livremente dentro do galpão (Figura 4), visando primeiramente melhorar o conforto e bem-estar dos animais e, conseqüentemente melhorar os índices produtividade do rebanho (Damasceno, 2012; Black et al., 2013).



**Figura 4.** Sistema *compost barn*, município de Três Corações - MG.

**Fonte:** autor.

Segundo Damasceno (2012), as instalações *compost barn*, são sustentáveis e oferecem benefícios para as vacas, que têm mais liberdade de movimento (exercitar) e um amplo espaço onde podem deitar naturalmente. Nesse sistema quando as vacas estão em pé, além da maior interação social, elas passam mais tempo em uma superfície mais suave, que são as camas e com isso melhora o bem-estar da vaca e a sua saúde. O autor ainda acrescenta, que quando são devidamente conduzidos, mantendo o material de cama seco e revolvendo o mesmo no mínimo duas vezes ao dia, pode resultar em diminuição da contagem de células somáticas (CCS) do leite, vacas mais limpas, aumento da produção de leite e redução da claudicação.

O *compost barn*, assim como todo sistema de confinamento para bovinos leiteiros, exige cuidados e a observação de orientações técnicas para que sejam obtidos resultados positivos do ponto de vista produtivo e econômico, pode ser considerado para produtores que não possuem grandes áreas disponíveis para desenvolver a atividade leiteira como uma boa opção, sobretudo em locais onde a agricultura familiar é dominante (Brigatti, 2014).

Neste sistema, as instalações devem ser bem projetadas e manejadas para terem sucesso, e isso inclui: uma estrutura bem projetada e um bom manejo da cama.

Normalmente, a instalação deve conter abertura na cumeeira, muretas laterais, um corredor de alimentação com piso de concreto (mínimo 4 m), bebedouros fora da área de cama, dentre outros. As instalações devem ser abertas, priorizando a ventilação natural. Segundo Endres & Janni (2007), uma ventilação adequada deve ser realizada para que ocorra a troca de ar na instalação, sendo essencial para remover o calor das vacas bem como o calor e umidade que o material de cama gera, e no inverno essa troca de ar é necessária para remover a umidade desse material e estender o tempo entre as adições de cama.

A cama precisa ser revolvida freqüentemente, a umidade ideal da cama e a densidade de animais devem ser controladas, e o material de cama tem que ser o apropriado para o conforto do animal e adequado para o produtor, com um custo acessível e disponível próximo a propriedade para facilitar a sua aquisição (Damasceno, 2012).

De acordo com Leso (2013), o material de cama deve ser manejado adequadamente para proporcionar uma superfície seca, confortável e saudável em que as vacas possam levantar e andar em uma superfície macia, os materiais de cama mais comumente usados são serragem, aparas de madeira e cavacos de madeira. Materiais de partículas pequenas, como a palha

finamente processada, palhada de milho e subproduto de palha de trigo também podem ser utilizados. Entretanto, deve ter cuidado com outros tipos de materiais de cama, tais como areia, esterco seco ou solo.

O material de cama deve ser revolvido para que ocorra um arejamento (Figura 5), para manter a condição aeróbia. Esse processo é geralmente realizado quando as vacas vão para a sala de ordenha (Fávero, 2015). Esse material chamado de compostagem da cama refere-se a uma mistura de fezes e urina produzida pelas vacas e pelo material de cama orgânica (Leso, 2013). A atividade biológica gera calor e ajuda a secar a cama e quando a cama começa a aderir às vacas, um material limpo deve ser adicionado a cama. O fornecimento de material de cama deve estar prontamente disponíveis e limpo para não ser adicionado tarde demais e as vacas ficarem sujas.

De acordo com Galama (2011) o material de cama, quando misturado com as fezes das vacas, produz um fertilizante com quantidade de matéria orgânica para melhorar a fertilidade do solo. Black et al., (2013) acrescenta que um fator muito importante nesse sistema é manter as características físico - químicas adequadas no substrato da cama a fim de promover a atividade microbiana aeróbia.

Tem sido observado que as instalações *compost barn* com corredor de alimentação com piso de concreto tem gerado aproximadamente 30% a menos de efluente líquido, quando comparado com um sistema *free-stall* tradicional. Neste caso, é necessária a construção de uma lagoa ou tanque para armazenamento deste efluente para depois ser bombeado e lançado no pasto. Por outro lado, alguns projetos têm retirado o corredor de alimentação com piso de concreto, aumentando, assim, a área de cama. Com isso, as instalações ficam com um menor custo inicial e reduzem também o efluente líquido proveniente de fezes e urina dos animais. Entretanto, o produtor deve ficar mais atento a região de alimentação, pois normalmente existe a necessidade de maior manejo da cama nesta área.



**Figura 5.** Revolvimento da cama no sistema *compost barn* - município de Três Corações/MG. **Fonte:** Autor.

Brigatti (2014) ressalta que o sucesso do sistema depende principalmente do manejo da cama, que consiste em seu revolvimento, e quando a compostagem é realizada de forma correta ocorre aumento da temperatura da cama, com redução da umidade e melhoria do processo de compostagem.

Os implementos agrícolas utilizados para o revolvimento da cama são: enxada rotativa, escarificador e grade aradora. Fávero (2015) destaca que o subsolador é usado para revolver as camadas mais profundas da cama, evitando que as regiões profundas se tornem anaeróbias, enquanto que a enxada rotativa não revolve as partes mais profundas da cama, mas tem o objetivo de quebrar os materiais que se tornam compactados, dessa forma, essa descompactação de partículas agregadas promove a oxigenação e aumenta a superfície de ação dos microrganismos presentes na cama, ocasionando um aumento na eficiência de compostagem.

### **Vantagens e desvantagens dos sistemas de confinamentos para bovinos leiteiros**

Os sistemas de confinamento para bovinos leiteiros têm vantagens e desvantagens que serão descritas logo abaixo para os sistemas *loose housing*, *tie-stall*, *free-stall* e *compost barn*.

No sistema *loose housing*, o custo de construção é significativamente menor quando comparado aos demais. Neste sistema é possível fazer uma expansão da construção sem muita mudança.

Ademais, existe a facilidade da detecção de animais no cio (Pradesh, 2005). Os animais ficam livres no interior da instalação, podendo expressar mais facilmente comportamentos naturais, tais como correr, deitar, levantar, dentre outros. Entretanto, esse sistema apresenta problemas com o escoamento dos dejetos da cama, caso a inclinação do piso na área de descanso não seja construída de forma adequada, podendo apresentar infestação de moscas (Cleaver, 1953).

No sistema *tie-stall* podem ser encontradas as seguintes vantagens: vacas apresentam mais limpas; possibilidade de maior atenção a todos os animais; fácil mecanização; situação de trabalho do funcionário confortável; prático manejo, principalmente para rebanhos menores. Por outro lado, como desvantagens tem-se maior mão-de-obra no manejo dos animais; redução da oportunidade das vacas se exercitarem; alto custo de construção das instalações; possui pouca separação de vacas por lotes, com maior possibilidade de estresse animal.

No caso do sistema *free-stall*, são vistas como vantagens a fácil mecanização, com custo operacional melhor; os animais se exercitam regularmente e apresenta uma alta flexibilidade para organizar diferentes manejos de alimentação e grupos. Como desvantagens, apresentam um custo de construção alto; menor atenção individual para o animal; maior competição entre os animais e vacas mais sujas por falha no manejo de limpeza (Araújo, 2001).

No sistema *compost barn*, as vantagens são: as vacas possuem maior liberdade de escolha para movimentar e deitar na região da cama; os animais possuem menor possibilidade de apresentar problemas nos cascos, devido a instalação apresentar menor área com piso de concreto; e redução de dejetos líquidos (House, 2015; Damasceno, 2012). Ocorre também um aumento da detecção de cio, menor odor dos dejetos, diminui a incidência de moscas, além de fornecer melhores condições de trabalho aos produtores (Brigatti, 2014). Conseqüentemente, reduz os custos com o armazenamento de dejetos, sendo uma fonte poluidora menor, reduzindo a poluição do ar e da água. Para Galama (2011) o sistema *compost barn* vem com oportunidades para melhorar a sustentabilidade na pecuária leiteira, tendo como desafio combinar mais espaço para os animais com menores emissões de gases e, ao mesmo tempo com um preço de custo reduzido (ou, pelo menos, um preço de custo estabilizado).

Como desvantagens, tem-se a grande densidade por animal necessária (acima de 10 m<sup>2</sup>/vaca), que pode se tornar um problema para o produtor caso ele queira trabalhar com um número muito grande de animais; dificuldade em encontrar material para a cama; e dependendo do projeto adotado pelo produtor, esse precisará manejar duas formas de dejetos (sólidos e

líquidos) (House, 2015).

### **Considerações Finais**

Há tendência a aumentar o número de confinamento no Brasil e no mundo devido a falta de grandes áreas de terras disponíveis próximas aos grandes centros urbanos, e devido as exigências dos consumidores.

O conforto animal deve ser considerado, levando em conta o planejamento das instalações destinadas ao confinamento para bovinos leiteiros, o efeito do estresse térmico no desempenho e no comportamento animal, e o trabalho em equipe entre mão de obra especializada, pesquisadores e produtores. As vacas leiteiras confinadas podem ter um padrão aceitável de bem estar e conforto, à medida que instalações adequadas sejam fornecidas junto com boas práticas de manejo e sanidade animal.

A eficiência dessas instalações vai depender da elaboração de um projeto adequado a cada região e situação, da construção, da manutenção, da escolha do tipo de instalação, principalmente, os custos, a durabilidade e a funcionalidade do sistema

### **Referências bibliográficas**

- Aland, A., Lidfors, L. & Ekesbo, I. 2002. Diurnal distribution of dairy cow defecation and urination. *Applied Animal Behaviour Science*, 78, 43-54.
- ARAÚJO, A. P. de, Estudo comparativo de diferentes sistemas de instalações para produção de leite tipo B, com ênfase nos índices de conforto térmico e na caracterização econômica. 2001. 69p. Dissertação (Mestrado) - *Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo - USP*.
- Black R. A., Taraba, J. L. , Day, G. B. , Damasceno, F.A. Compost bedded pack dairy barn management, performance and producer satisfaction. *Journal of Dairy Science*, 96, 8060–8074.
- Brigatti, A. M. 2014. *Compost Barn e a produtividade leiteira, IEPEC. 1-3*.
- Campos, A. T., Klosowsk, E. S., Campos A. T. 2006. CONSTRUÇÕES PARA GADO DE LEITE: Instalações para Novilhas. *Artigo em Hypertexto*.1-6.
- Campos, A. T., Klosowsk, E. S., Santo S,W. B. R., Gasparino, E., Campos, A. T. de. 2004. Caracterização do microambiente em secção transversal de um galpão do tipo "free-stall" orientado na direção norte-sul. *Eng. Agríc.[online]*. 24, 1, 1-8.

- Cecchin, D., Campos, A. T., Pires, M. de F. A., Lima, R. R., Yanagi Junior, T. Souza, M. C. M. 2014. Avaliação de diferentes materiais para recobrimento de camas embaías de galpão modelo free-stall. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental.* [online], 18, 1, 109-115.
- Cleaver, T. 1953. Loose housing for dairy cattle. [Washington, D.C.]: U.S. Dept. of Agriculture.p.1-16.
- Damasceno, F. A. *Compost Bedded Pack Barns system and computational simulation of airflow through naturally ventilated reduced model.* 2012. 391f. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa - UFV.
- Endres, M. I., Janni, K. A. 2007. *Compost Bedded Pack Barns for Dairy Cows.* 1-9.
- EMBRAPA. 2006. *Embrapa Gado de Leite: 30 anos de pesquisa e conquistas para o Brasil.* 1. ed. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 262.
- Fávero, S. *Fatores associados a qualidade do leite, higiene animal e concentração bacteriana na cama de vacas leiteiras confinadas no sistema de compostagem.* 2015. 107p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Medicina Veterinária. Universidade Estadual Paulista - UNESP/Botucatu.
- Galama, P. 2011. Prospects for bedded pack barns for dairy cattle. *Wageningen UR Live stock Research, Lelystad, The Netherlands.* 1-70.
- Head, H. H. Manejo de animais em sistema de estabulação livre visando maximizar conforto e produção. In: *MOURA, et. al. Congresso Brasileiro de Gado Leiteiro - Conceitos Modernos de Exploração Leiteira.* Anais... Piracicaba: FEALQ. 1996. p. 41- 67.
- House, H. K. 2015. Compost Bedding Pack Barns. *FACTSHEET.* 1-5.
- Herrero, N., 2012. Produzir muito leite com Simental e Cruzamentos. *Balde Branco,* 28-31.
- Leso, L., Uberti, M., Morshed, W., Barbari M. 2013. A survey of Italian compost dairy barns, *Journal of Agricultural Engineering,*44. 17.
- Mattos, W. R. S.1977. Sistema de estabulação livre para bovinos. In: *VIEIRA, R. Simpósio sobre Pecuária Leiteira,* Campinas, SP., Anais... Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia: USP. 123 - 141.
- Myrrha, M. A. de L. e. 1998. Guia de construções rurais: à base de cimento: benfeitorias para bovinocultura. São Paulo: ABCP, 1998. 3. 62.
- Misa, 2007. Dairy Your Way, *The Minnesota Department of Agriculture.*1-106.
- Novaes, L. P. 1993. Confinamento para bovinos Leiteiros. In: *PEIXOTO et. al. Bovino cultura Leiteira; Fundamentos da Exploração Racional.* Piracicaba: FEALQ. 171 - 297.



Pradesh, A. 2005. *Dairy Animal Management*. 1-94.

Reis, R. B., Combs, D. K. 2001. Atividade Leiteira nos Estados Unidos da América. In: Fernando Enrique Madalena; Leovegildo Lopes de Melo; Evandro Vasconcelos Holanda Júnior. (Org.). *Produção De Leite E Sociedade: Uma Análise Crítica Da Cadeia Do Leite No Brasil*. 1ed. Belo Horizonte: FEPMVZ, 1, 179-194.

Rezelman, J. A. 1993. *History of Barns, The crooked lake review*. 1-4.

Shri. B. B. G. 2012. *Modern Loose housing system with Sugar cane trash as a bedding material for cross bred cows*.1.

Souza, L. D. N. de. 1989. *Criação de Bovinos em Confinamento*. São Paulo: Tecno print. S.A., 1989. 103.

Vasconcellos, P. M. B. 1975. *Guia prático para o fazendeiro*. AMPUB Comercial Ltda., 1975. São Paulo: Nobel, Reimpressão 2007, 408.

## **ARTIGO 2**

Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em confinamento

*Compost Barn*

Este artigo é uma versão preliminar, enviado a Revista Científica PUBVET, o conselho editorial poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.

## **Caracterização da variabilidade espacial dos índices de conforto animal em sistemas de confinamento *Compost Barn***

### **Resumo**

O estudo a respeito do quanto os fatores ambientais e o microclima das instalações de bovinos leiteiros influenciam no desempenho da produção do animal tem ganhado espaço no meio científico e prioridade do ponto de vista dos produtores e investidores. Este estudo tem como objetivo utilizar a modelagem geoestatística para representar e localizar os pontos críticos dos índices de conforto animal do ambiente térmico no interior de galpões de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*. A pesquisa foi realizada em um confinamento *Compost Barn* localizado no município de Três Corações em Minas Gerais durante o verão e o inverno de 2016. Foram determinados os índices de temperatura e umidade, temperatura de globo negro, carga térmica radiante e entalpia. Os resultados foram submetidos à análise geoestatística para verificação da variabilidade espacial dos dados por meio de semivariogramas e mapas de krigagem. A modelagem geoestatística mostrou-se eficiente para representar e estudar o microclima no interior de galpões. Os mapas dos índices estimados por krigagem ordinária permitiu visualizar a condição do ambiente interno na área de descanso do gado em confinamento *Compost Barn*. Os mapas mostram pontos específicos de desconforto para vacas leiteiras.

**Palavras - chaves:** ambiência, bem estar animal, bovinos leiteiros, modelagem geoestatística.

## **Characterization of the spatial variability of animal comfort indices within *Compost Barn* containment systems**

### **Abstract**

The study about how environmental factors and the microclimate of dairy cattle facilities influence the performance of the animal's production has gained space in the scientific environment and priority from the point of view of producers and investors. The objective of this article is to use geostatistical modeling to represent and locate the critical points of the indices of animal comfort of the thermal environment inside confinement sheds for dairy cattle in the *Compost Barn* model. This research was carried out in a *Compost Barn* confinement, located in the municipality of Três Corações in the state of Minas Gerais during the summer and winter of 2016. The temperature and humidity, black globe temperature and humidity indices, radiant thermal charge and enthalpy were determined. The results were subject to geostatistical analysis to verify the spatial variability of the data, through the use of semivariograms and kriging maps. Geostatistical modeling proved to be efficient to represent and study the microclimate inside sheds. Maps of indices estimated by ordinary kriging allow visualization of internal environment conditions in the cattle resting area considering *Compost Barn* confinement. The maps show specific points of discomfort for dairy cows.

**Keywords:** ambience, animal welfare, dairy cattle, geostatistical modeling.

## **Caracterización de la variabilidad espacial de los índices de conforto animal en sistemas de confinamiento Compost Barn**

**RESUMEN.** El estudio acerca de cuánto los factores ambientales y el microclima de las instalaciones de bovinos lecheros influyen en el desempeño de la producción del animal ha ganado espacio en el medio científico y prioridad desde el punto de vista de los productores. Este estudio tiene como objetivo utilizar el modelado geoestadístico para representar y localizar los puntos críticos de los índices de confort animal del ambiente térmico en el interior de galpones de confinamiento para bovinos lecheros en el modelo Compost Barn. La investigación fue realizada en un confinamiento Compost Barn ubicado en el municipio de Tres Corazones en Minas Gerais durante el verano y el invierno de 2016. Se determinaron los índices de temperatura y humedad, temperatura de globo negro, carga térmica radiante y entalpía. Los resultados fueron sometidos al análisis geoestadístico para verificar la variabilidad espacial de los datos por medio de semivariogramas y mapas de kriging. El modelado se mostró eficiente para representar y estudiar el microclima en el interior de galpones. Los mapas de los índices estimados por kriging ordinario permitieron visualizar la condición del ambiente interno en el área de descanso del ganado en confinamiento Compost Barn. Los mapas muestran puntos específicos de incomodidad para las vacas lecheras. **negrito**

**Palabras clave:** ambiente, bienestar animal, bovinos lecheros, modelado geoestadístico

### **Introdução**

Um crescente aumento da produção de leite nos últimos anos fez com que o Brasil se tornasse auto-suficiente em laticínios. Em particular, o setor de produtos lácteos durante os próximos dez anos serão responsáveis por uma parcela estável de 53% da produção brasileira de leite, com aumento de 2.1% ao ano na produção de produtos lácteos processados. Esse avanço aconteceu em função da ampliação do rebanho bovino e em menor dimensão devido ao acréscimo da produtividade segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - FAO (OECD/FAO, 2017).

A produtividade do setor está relacionada com o bem-estar e o conforto animal. As instalações devem proteger os animais dos problemas climáticos que eventualmente possam prejudicar a eficiência do processo produtivo. O estudo a respeito do quanto os fatores ambientais e o micro-clima das instalações de bovinos leiteiros influencia no desempenho da produção animal tem ganhado espaço no meio científico e prioridade do ponto de vista dos produtores e

investidores. A idéia é que os animais sejam alojados sob condições ideais para que possam expressar todo o seu potencial genético.

Dessa forma, tem se tornado um desafio projetar e adequar as instalações existentes ao clima ideal para que as vacas leiteiras desenvolvam alta produção. Similarmente, os custos do processo como um todo não devem aumentar.

Em sistemas de confinamento, as vacas são alimentadas no cocho, e necessitam de instalações confortáveis e funcionais, que proporcionem um ambiente melhor em termos de conforto térmico. O objetivo é diminuir o estresse do animal e, conseqüentemente, aumentar o seu bem-estar e sua capacidade produtiva. Sistemas de confinamento para bovinos incluem: *Loose Housing*, *Tie Stall*, *Free Stall* e *Compost Barn* (ECKELKAMP et al., 2016; MOTA et al., 2017). O modelo *Compost Barn* (CB) (LESO et al., 2013; GALAMA et al., 2015; FERREIRA, 2016; MOTA et al., 2018) tem sido o modelo preferido por produtores.

Apesar do aumento da popularidade do sistema CB no Brasil, o conhecimento científico sobre esse sistema é escasso, necessitando, portanto, de mais estudos que possam auxiliar os produtores de leite no processo de tomada de decisão e planejamento. Neste contexto, a necessidade de entendimento, análise e controle do microclima do ambiente interno nas instalações para confinamento de gado leiteiro é a principal razão para se buscar métodos de modelagem matemática e de representação e processamento computacional. Particularmente, os métodos de modelagem a serem considerados neste artigo são métodos de modelagem geoestatística, como aqueles apresentados em Faria et al. (2008); Silva et al. (2012) e Gonçalves, Turco e Ramos (2016).

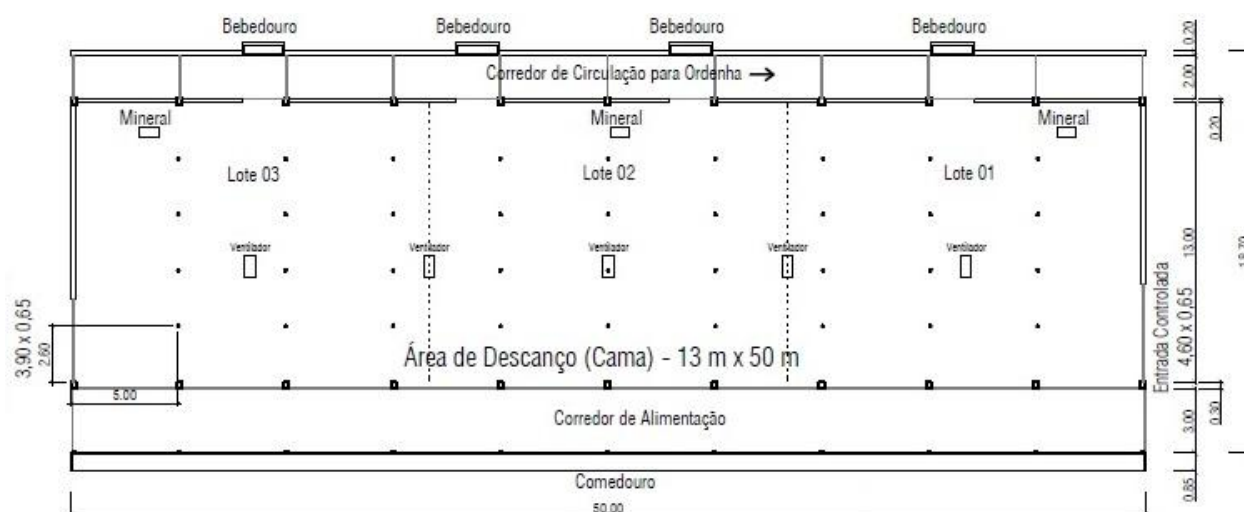
Estudar e avaliar a variabilidade espacial do microclima de galpões de confinamento é necessário para controlar e corrigir problemas de instalação e para monitorar as condições de estresse térmico (MEDEIROS et al., 2014; GONÇALVES; TURCO; RAMOS, 2016). Diante disso, este artigo tem como objetivo, utilizar a modelagem geoestatística, para representar e localizar os pontos críticos dos índices de conforto animal do ambiente térmico no interior de galpões de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn*.

## **Material e Métodos**

A pesquisa foi realizada em um confinamento para bovinos leiteiros em uma propriedade rural do município de Três Corações em Minas Gerais. Segundo a classificação internacional de

Köppen, o clima da região é do tipo CWA, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca e de menores temperaturas, que se estende de maio a setembro, e outra úmida e de temperaturas mais elevadas, de outubro a abril. A temperatura média anual é de 20.2 °C, e a precipitação anual é de 1.401 mm.

A temperatura média do ar e a umidade relativa externa do galpão durante os dias de coleta dos dados foram obtidos por meio da estação meteorológica portátil modelo No. ITWH - 1080 da Instrutemp (precisão de  $\pm 1$  °C; 5% UR; e  $\pm 1$  m/s) com sensores apropriados para coletar e armazenar os dados. O galpão, em sistema de confinamento modelo *Compost Barn* (CB) com orientação Noroeste/Sudoeste, possui 18.70 metros de largura por 50 metros de comprimento, pé direito 4 metros, e cumeeira de 6 metros. Destes, 13 m x 50 m são destinados à área de descanso com cama. Esta área é dividida em 3 lotes (alta, média e baixa produção de leite), separados por meio de cerca elétrica. Esta é a área utilizada para análise. Há ainda um corredor de alimentação, medindo 3 m x 50 m, com um comedouro (cocho de volumoso) em toda a extensão do galpão; e outro corredor medindo 2 m x 50 m, com 4 bebedouros medindo 0.50 m x 2 m (fundo formato trapézio) com capacidade para 300 litros de água. Existem 3 cochos de mineral e 5 ventiladores de 6 hélices centralizados, a 3.20 metros de altura, na área de descanso que proporcionam uma vazão de 48.000 m<sup>3</sup> de ar por hora cada (Figura 1).



**Figura 1.** Planta baixa do galpão *Compost Barn*.

O experimento foi conduzido durante o verão de 2016 - tratamento (VER) - e inverno de

2016 - tratamento (INV) - e foi dividido em 6 períodos com 3 dias de coleta em VER (P1, P2 e P3) e 3 dias de coleta em INV (P4, P5 e P6). Os registros de dados foram realizados em janeiro de 2016, nos dias 17 no P1; 24 no P2; 31 no P3; e no mês de julho, nos dias 17 no P4; 24 no P5; 31 no P6, duas vezes ao dia, nos horários de 9 horas e de 15 horas, com os ventiladores ligados e desligados. Foram coletadas 36 amostras, para as variáveis, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, ponto de orvalho e temperatura do globo negro, em uma malha regular (YAMAMOTO; LANDIM, 2013) com 36 pontos georeferenciados. Os pontos são distribuídos uniformemente ao longo do galpão com espaçamento de 2.6 m por 5 m. Para a realização das medições das variáveis climáticas, os equipamentos estavam a 1.8 m do piso (cama), em cada posição da malha regular de pontos (Figura 1).

O equipamento utilizado para o registro de dados foi o sensor portátil da marca Kestrel<sup>®</sup>, modelo 3000, com faixa de registro de velocidade do ar e umidade com precisão de  $\pm 3\%$  da leitura; temperatura (precisão de  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ponto de orvalho (precisão de  $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e temperatura do bulbo úmido (precisão de  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A temperatura do globo negro foi registrada por meio de um medidor de temperatura digital, sensor externo (Termopar tipo K) inserido no centro do globo negro (esfera oca com 7 cm de diâmetro e pintada de preto fosco), coletados manualmente.

A partir dos dados medidos nos horários pré-determinados, foram obtidos os índices de Temperatura e Umidade (ITU), que associam a temperatura de bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido; o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR), e a Entalpia (H).

O índice de temperatura e umidade (ITU) de conforto térmico foi determinado pela seguinte equação citado por Avila et al. (2013):

$$ITU = 0,7(T_{bs} + T_{bu}) + 40,6 \quad (1)$$

em que  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ); e  $T_{bu}$  é a temperatura de bulbo úmido ( $^{\circ}\text{C}$ ).

O índice de globo negro e umidade (ITGU) foi desenvolvido como um índice de conforto térmico para vacas leiteiras expostas à radiação solar direta e indireta, e sua formula é dada conforme citado em Moura et al. (2010):

$$ITGU = T_g + 0,36 T_{po} + 41,5, \quad (2)$$

em que  $T_g$  é a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ); e  $T_{po}$  é a temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ).

O Índice de Carga Térmica Radiante (CTR) foi calculado segundo citação de Avila et al. (2013):

$$CTR = \sigma(TRM)^4, \quad (3)$$

em que  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann,  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ , e  $TRM$  é a temperatura média radiante definida por:

$$TRM = 100 \sqrt[4]{2,51 \sqrt{vv} (T_g - T_{bs}) + \left(\frac{T_g}{100}\right)^4}, \quad (4)$$

em que,  $vv$  é a velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ );  $T_g$  é a temperatura do globo negro ( $^{\circ}\text{C}$ ); e  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ). Já a entalpia foi calculada a partir da Eq. 5 citado por Rodrigues et al. (2010) e Piazzentin et al. (2017):

$$H = 1,006T_{bs} + \left(\frac{UR}{P_{atm}} * 10^{\frac{7.5 * T_{bs}}{237.3 + T_{bs}}}\right) (71,28 + 0,052T_{bs}), \quad (5)$$

onde  $H$  é a entalpia ( $\text{kJ kg}^{-1}$  ar seco);  $T_{bs}$  é a temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}\text{C}$ ); e  $UR$  é a umidade relativa (%),  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica em mm Hg.

Inicialmente os dados para todos os dias de coleta do verão e do inverno foram analisados por meio dos procedimentos da análise de estatística descritiva, sendo determinado a média, o desvio padrão, o coeficiente de variação e os valores de máximo de mínimo (BANZATTO; KRONKA, 2015). Posteriormente, os resultados dos índices foram submetidos à modelagem geoestatística para verificar a variabilidade espacial dos dados, por meio da construção dos semivariogramas e de mapas de krigagem.

Os semivariogramas foram estimados por meio dos estimadores clássico de Matheron conforme (SOARES, 2006):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{j=1}^{N(h)} [z(x_j + h) - z(x_j)]^2, \quad (6)$$

em que  $N(h)$  é o número de pares possíveis para a distância  $h$ ;  $\hat{\gamma}(h)$  é a semivariância para uma distância  $h$ ;  $z(x_j)$  e  $z(x_j + h)$  são as observações dos índices de conforto animal separadas pelo vetor  $h$ ; e  $h$  é a distância de separação das observações.

Para o ajuste do semivariograma teórico, foi utilizado o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). Os modelos estatísticos isotrópicos comparados foram: esférico, gaussiano, exponencial e linear, conforme (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Do conjunto de resultados obtidos pelos estimadores clássicos para os três modelos, foram estimados seus parâmetros e selecionado o melhor modelo, de acordo com a aproximação para o valor do Critério de Akaike (AIC) proposta por Webster e Oliver (2001). AIC é dado por:



$$|AIC| = 2p + n \cdot \ln\left(\frac{RSS}{n}\right), \quad (7)$$

em que  $n$  é o número de observações;  $p$  é o número de parâmetros; e  $RSS$  é a soma dos quadrados dos resíduos. O melhor modelo apresentar menor valor de AIC. A relação

$$\left(\frac{Co}{Co+C1}\right) \times 100, \quad (8)$$

em que  $Co$  é o efeito pepita;  $Co + C$  é o patamar; foi utilizada para avaliar o grau de dependência espacial (DE) das variáveis, conforme Cambardella et al. (1994). Este classifica como forte, moderada e fraca a DE, quando tem-se um efeito pepita < 25%, entre 25 e 75 %, e acima de 75% do patamar, respectivamente. Se a relação for maior que 100%, então a variável é considerada independente espacialmente.

Havendo dependência espacial, o interesse está na estimação de valores não amostrados, sem tendência e com variância mínima. O objetivo é obter um detalhamento da variável por meio de mapas suavizados. Nestes casos, é preciso utilizar algum interpolador geoestatístico para gerar essa superfície suavizada dos mapas de contorno. Dentre os diversos interpoladores existentes na literatura foi utilizado a krigagem ordinária (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). As análises foram realizadas no software GS + (GAMMA 2010).

## Resultados e discussão

Os índices indicadores das condições microclimáticas foram calculados com o intuito de se avaliar a adequação do ambiente térmico à zona de conforto predefinida para as vacas leiteiras no ambiente da instalação em modelo *Compost Barn*. Os valores médios de temperatura externa no verão e inverno de 2016 foram de 26.5 °C e 21.2 °C, respectivamente, e os valores médios de umidade foram 72% no verão e 58% no inverno.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da estatística descritiva dos dados. A variabilidade dos dados é relativamente baixa para os índices ITGU, ITU CTR e a H, com valores variando de 0.7% a 7.0% para a CTR no verão às 9:00 horas com ventiladores ligados. Para os ventiladores desligados às 9:00 e às 15:00 horas, os valores do coeficiente de variação se encontram nesse intervalo.

Os valores de máximo e mínimo para a ITGU no verão indicam que os animais encontram-se em situação de perigo podendo acarretar baixo rendimento (MOURA et al., 2010), isso foi verificado às 9:00 horas e às 15:00 horas, porém no período da tarde o maior valor de ITGU foi

observado com os ventiladores desligados, o que reforça a importância da utilização da ventilação forçada (mecânica).

Os ventiladores são recomendados para sistemas de confinamento no modelo *Compost Barn*, para auxiliarem na circulação do ar no interior do galpão, na área de descanso dos animais, removendo o calor e a umidade, além de ser indicado para ajudar a secar o material de cama utilizado nesse sistema (ENDRES, 2009). Um material de cama mais seco retardará o crescimento bacteriano e manterá as vacas mais limpas, uma vez que as camas secas não aderem às superfícies das tetas ou as pernas dos animais (RENEAU, 2004).

**TABELA 1** - Estatística dos índices de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia (H) estudados em estábulos com sistema modelo *Compost Barn* no verão de 2016 com os ventiladores ligados e desligados.

Verão								
Estatísticas	9:00 h- Vent. ligados				9:00 h - Vent. desligados			
	CTR	ITGU	Entalpia	ITU	CTR	ITGU	Entalpia	ITU
Média ( $\bar{x}$ )	468.6	80.7	66.1	72.7	463.1	80.7	67.1	72.7
S	32.9	1.9	1.3	0.5	26.2	1.56	1.63	0.6
C. V.	7.0	2.4	1.9	0.7	5.6	1.9	2.43	0.8
Mínimo	441.4	79.2	63.9	71.7	439.3	79.0	63.6	71.7
Máximo	568.0	85.0	68.9	73.7	535.1	85.1	71.0	74.1
15:00 h - Vent. ligados								
15:00 h - Vent. desligados								
Média ( $\bar{x}$ )	476.8	82.8	68.4	74.5	471.7	83.9	70.7	75.5
S	18.3	1.0	4.2	1.5	15.9	1.7	2.9	0,9
C. V.	3.8	1.3	6.2	1.9	3.4	2.1	4.1	1.2
Mínimo	448.8	81.3	58.7	70.5	396.8	77.9	66.2	74.0
Máximo	576.7	85.2	81.1	79.2	508.7	90.1	77.3	77.4

C. V. = Coeficiente de Variação, S = Desvio padrão.

Adotou-se a tabela de ITU para bovinos leiteiros de alta produção proposta por Ferreira (2016) em que, ITU abaixo de 68 indica sem estresse; de 69 a 71 indica um leve estresse; de 72

a 79 indica um estresse ameno; de 79 a 89 indica um estresse moderado; e de 90 a 98 indica um estresse grave.

O valor médio de ITU às 9:00 h foi de 72.7, valor este similar ao encontrado tanto em situações de ventilação forçada. O ITU apresentou um conforto térmico para os animais, com um estresse considerado ameno (FERREIRA, 2016). Porém quando foi observado os valores de máximo e mínimo, verificou-se que existe pontos na área de descanso que representa situação de alerta (AVILA et al., 2013). Às 15:00 h, os valores de ITU aumentaram representando situação de alerta, porém com valores médios ainda no intervalo de estresse ameno. O valor de máximo apresentou um estresse moderado podendo ocasionar baixo rendimento na produção de leite.

As trocas térmicas por radiação entre o animal e o ambiente é avaliada pela CTR. No verão os valores médios de CTR, como descritos na Tabela 1, foram registrados nos horários das 9:00 e 15:00 h. Semelhante ao que ocorreu com o ITGU e o ITU, houve um aumento da CTR entre às 9:00 e 15:00 h, que passou de  $468.6 \text{ W m}^{-2}$  às 9:00 h, para  $476.8 \text{ W m}^{-2}$  às 15:00 h com os ventiladores ligados e de  $463.1 \text{ W m}^{-2}$  para  $471.7 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente às 9:00 e 15:00 h para os ventiladores desligados. Esses dados se assemelham aos encontrados por Kawabata, Castro e Júnior (2005) que cita valores médios de CTR no horário das 8:00 h que variaram de 454.84 a  $484.30 \text{ W m}^{-2}$ .

No inverno os resultados do coeficiente de variação foram semelhantes aos resultados do verão (Tabela 2). Existe uma baixa dispersão em torno da média, o que representa uma baixa variabilidade dos dados. Os valores de C. V. para o CTR, ITGU e ITU, tanto as 9:00 h quanto às 15:00 h com os ventiladores ligados e desligados se encontram abaixo de 11.9%, enquanto que, para a H foram encontrados valores de C. V. de 10.2% no período da tarde.

Em relação ao ITGU, o valor médio e o valor de mínimo às 9:00 h com e sem o uso da ventilação estão abaixo do intervalo de alerta, mas o valor de máximo encontra-se no intervalo de situação de perigo para os animais. Valores nessa faixa de perigo também foi encontrado por Araujo et al. (2016) ao estudar vacas mestiças (Holandesas e Gir) em lactação. Os autores recomendam que, em tais situações, existe a necessidade de intervenção humana, sendo esta por meio de instalações que promovam um ambiente de conforto para os animais, para que os mesmos respondam positivamente, expressando o seu máximo potencial na produção.

Já para o ITGU, às 15 horas foram encontrados valores médios de 82.8, considerados como sendo situação de alerta nas situações de ventiladores ligados e valores médios com ventiladores

desligados de 83.9 que também se encontram em situação de alerta, reforçando a necessidade da ventilação para melhorar a qualidade do ambiente interno do galpão (AVILA, 2013). Os valores de máximo com e sem a utilização da ventilação se encontra em situação de perigo para as vacas leiteiras.

Os valores de ITU se encontram abaixo de 71, o que configura conforto térmico com estresse leve para os animais às 9:00 e às 15:00 h, com e sem o uso da ventilação. De um modo geral, no inverno pode-se considerar que os animais se encontravam em condições sem estresse, de acordo com os valores de referência de ITU para bovinos leiteiros de alta produção (FERREIRA, 2016). Apenas quando não se utilizou a ventilação às 15:00 h, verificou-se um pequeno aumento do índice de estresse.

**TABELA 2** - Estatística dos índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia (H) estudados em estábulos com sistema modelo *Compost Barn* no inverno de 2016 com os ventiladores ligados e desligados.

Estatísticas	Inverno							
	9:00 h- Vent. ligados				9:00 h- Vent. desligados			
	CTR	ITGU	Entalpia	ITU	CTR	ITGU	Entalpia	ITU
Média ( $\bar{x}$ )	485.4	73.9	44.4	63.8	460.9	73.4	43.9	63.1
S	57.8	2.5	1.1	0.6	38.9	2.4	2.1	1.0
C. V.	11.9	3.3	2.4	0.9	8.4	3.2	4.8	1.6
Mínimo	404.7	70.8	41.9	61.9	415.5	70.5	40.8	61.6
Máximo	614.0	79.1	46.5	64.6	568.7	80.5	50.7	66.2
Estatísticas	15:00 h- Vent. ligados				15:00 h- Vent. desligados			
	CTR	ITGU	Entalpia	ITU	CTR	ITGU	Entalpia	ITU
	Média ( $\bar{x}$ )	451.6	75.4	46.6	65.5	448.8	78.0	55.8
S	17.4	0,7	2.1	1.0	7.2	1.3	5.7	2.0
C. V.	3.8	1.0	4.5	1.5	1.6	1.7	10.2	2.9
Mínimo	365.6	73.2	43.6	63.6	438.8	76.1	47.4	65.8
Máximo	475.9	76.9	51.7	67.8	469.6	81.5	68.2	72.8

C. V. = Coeficiente de Variação, S = Desvio padrão.

Durante o período da manhã foram encontrados valores médios de CTR de  $485.4 \text{ W m}^{-2}$  e  $460.9 \text{ W m}^{-2}$  com ventiladores ligados e desligados respectivamente, estes valores foram maiores que os encontrados à tarde, de modo geral são desejáveis os menores valores possíveis de CTR. Os materiais utilizados na construção da instalação influenciam nos resultados da CTR, bem como os efeitos dos ventos e da temperatura (FERREIRA, 2016), neste caso são indicados à construção de instalações bem planejadas, seguindo os critérios para a orientação da construção do galpão.

Em resumo, observou-se aumentos no período da tarde nos resultados de ITU, ITGU e H em consequência ao aumento da temperatura nas duas estações analisadas. Houve também uma pequena elevação desses índices no verão em relação ao inverno, refletindo a alteração climática, o que já era esperado.

Devido à ocorrência de estressores ambientais em instalações animais em sistemas intensivos de produção, muitos estudos têm investigado o estresse térmico da produção leiteira por meio da modelagem geoestatística. Na tabela 3 e 4 estão apresentados os resultados dos parâmetros dos semivariogramas isotrópicos, i.e. idênticos em todas as direções, para as variáveis estudadas que apresentaram os menores valores de aproximação do critério de Akaike (AIC).

Para o ITGU, CTR, H e o ITU no verão de 2016 às 9:00 h, obtidos com os ventiladores ligados, foi verificada uma forte dependência espacial, com melhor ajuste dos modelos gaussiano para a CTR e esférico para as demais variáveis estudadas. Ajustes de modelos esféricos estão de acordo com resultados encontrados em Silva et al. (2012) que, estudando a temperatura do ar na sala de pré-ordenha de um confinamento *Free-Stall* com sistema adiabático evaporativo, obtiveram melhor ajuste para este modelo teórico.

Nesse mesmo horário (9:00 h) com os ventiladores desligados verificou-se melhor ajuste do modelo exponencial para o ITGU, com moderada dependência espacial, e para o ITU, CTR e entalpia observou-se uma forte dependência espacial conforme classificação de Cambardella et al. (1994), com melhor ajuste dos modelos gaussiano, exponencial e gaussiano respectivamente.

Verificou-se não haver dependência espacial para o CTR às 15:00 com e sem o uso da ventilação, para o ITGU com os ventiladores ligados também ocorreu o efeito pepita puro. Concluiu-se portanto que a distribuição espacial para CTR e ITGU no interior do galpão nesse horário é aleatória e as amostras, para a malha amostrada são independentes. Já o ITGU com o uso da ventilação forçada apresentou moderada dependência espacial com valor de 33.76% e ajuste do modelo exponencial.

**TABELA 3** - Resultado do critério de aproximação de Akaike (AIC) e do grau de dependência espacial (DE) dos modelos e parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais, relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia (H), com os ventiladores ligados e ventiladores desligados às 9:00 e às 15:00 horas no verão de 2016.

Índices	Método	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance	DE (%)	AIC
Verão - 9:00 horas - Ventiladores ligados							
CTR	OLS	Gaus.	148.00	1139.00	4.07	12.99	427.62
ITGU	OLS	Sph.	0.15	3.90	4.39	3.84	20.19
H	OLS	Sph.	0.011	1.85	4.18	6.43	6.59
ITU	OLS	Sph.	0.01	0.29	5.20	3.45	-199.64
Verão - 9:00 horas - Ventiladores Desligados							
CTR	OLS	Exp.	1.00	614.00	4.71	0.16	477.04
ITGU	OLS	Exp.	0.74	2.81	20.67	26.33	84.17
H	OLS	Gaus.	0.001	2.64	4.18	0.04	8.86
ITU	OLS	Gaus.	0.001	0.38	5.65	0.26	-86.58
Verão - 15:00 horas - Ventiladores ligados							
CTR	OLS	EPP	-	-	-	-	-
ITGU	OLS	Gaus.	0.53	1.57	29.30	33.76	-55.14
H	OLS	Exp.	7.59	36.17	33.76	20.98	48.3
ITU	OLS	Sph.	0.001	1.73	6.99	0.06	-2.85
Verão - 15:00 horas - Ventiladores desligados							
CTR	OLS	EPP	-	-	-	-	-
ITGU	OLS	EPP	-	-	-	-	-
H	OLS	Lin.	5.99	8.77	17	68.30	24.3
ITU	OLS	Sph.	0.30	1.87	152.07	16.04	-93.30

Sph. = esférico, Gaus.= gaussiano, Exp. = exponencial, Lin.= linear; EPP = efeito, pepita puro, OLS = mínimos quadrados ordinários.

Os resultados da análise geoestatística no inverno de 2016 às 9:00 h com os ventiladores ligados mostraram que as variáveis apresentaram forte DE com melhor ajuste do modelo esférico

para a CTR e o ITU e para a entalpia verificou melhor ajuste do modelo gaussiano (Tabela 4).

**TABELA 4** - Resultado do critério de aproximação de Akaike (AIC) e do grau de dependência espacial (DE) dos modelos e parâmetros ajustados aos semivariogramas experimentais, relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia, com ventiladores ligados e desligados às 9:00 e às 15:00 horas no inverno de 2016.

Índices	Método	Modelo	Efeito pepita	Patamar	Alcance	DE (%)	AIC
Inverno - 9:00 horas- Ventiladores ligados							
CTR	OLS	Sph.	200.00	3563.00	5.59	5.61	633,83
ITGU	OLS	Lin.	5.66	6.47	16.9	87.48	183.64
Entalpia	OLS	Gaus.	0.001	1	2.98	0.1	6.41
ITU	OLS	Sph.	0.001	0.25	5.45	0.40	-121.95
Inverno - 9:00 horas- Ventiladores desligados							
CTR	OLS	EPP	-	-	-	-	-
ITGU	OLS	EPP	-	-	-	-	-
Entalpia	OLS	EPP	-	-	-	-	-
ITU	OLS	Lin.	0.001	0.84	2.60	0.12	22.24
Inverno - 15:00 horas - Ventiladores ligados							
CTR	OLS	Exp.	10.2	285.3	5.04	3.57	372,69
ITGU	OLS	Exp.	0.131	0.65	4.83	20.15	-35,47
Entalpia	OLS	EPP	-	-	-	-	-
ITU	OLS	EPP	-	-	-	-	-
Inverno - 15:00 horas - Ventiladores desligados							
CTR	OLS	Gaus.	5.6	72.2	22.9	7,76	203,45
ITGU	OLS	Sph.	0.35	2.17	14.51	16,13	-8,20
Entalpia	OLS	Gaus.	4.5	37.84	4.83	11.89	149
ITU	OLS	Sph.	0.01	5.39	16.23	0.18	34,05

Sph. = esférico, Gaus.= gaussiano, Exp. = exponencial, Lin.= linear; EPP = efeito pepita puro, OLS = mínimos quadrados ordinários.

O ITGU ajustou-se ao modelo linear com fraca dependência espacial. Nesse horário, quando utilizou o sistema de ventilação o modelo apropriado para descrever o comportamento espacial da ITGU e da CTR foi o modelo de efeito pepita puro. O efeito pepita puro reflete um fenômeno que não é totalmente conhecido, por falta de informação, como variações locais, erros de amostragem entre outros e também revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. (SILVA et al., 2012; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O ITU apresentaram forte dependência espacial, que pode ser descrita pelo modelo gaussiano. O modelo exponencial foi ajustado ao ITGU e ao CTR quando os ventiladores estavam ligados às 15:00 h, enquanto o ITU e a entalpia apresentaram efeito pepita puro nessas condições. Quando os ventiladores foram desligados, verificou-se melhor ajuste dos modelos, esférico para o ITGU e o ITU e gaussiano para a CTR e entalpia. A relação entre o efeito pepita e o patamar, indica que a dependência espacial é forte às 15:00 horas.

Os resultados que indicaram não haver dependência espacial, optou-se pela elaboração de mapas no intuito de auxiliar a visualização da condição microclimática na área de descanso do *Compost Barn*.

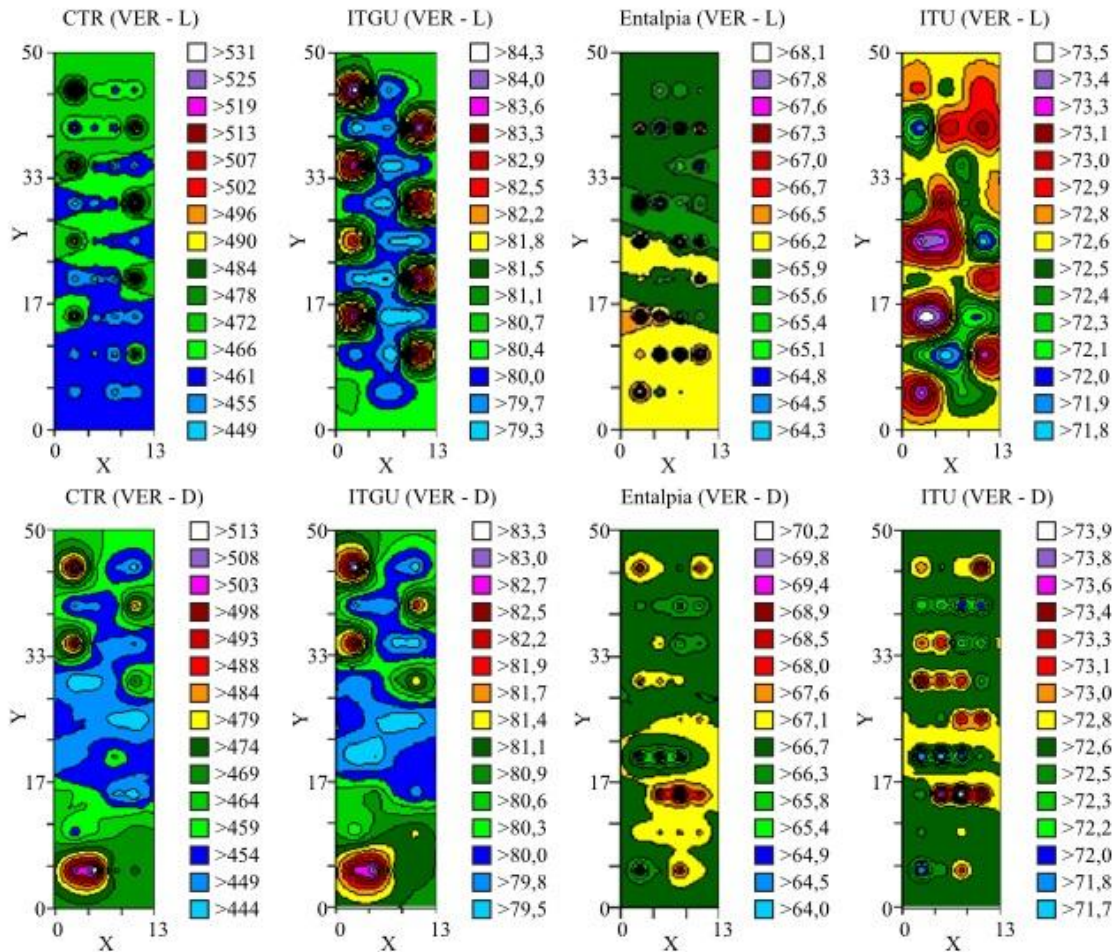
A krigagem ordinária utilizada para interpolar os dados não amostrados produziu estimativas suavizadas para as índices ITGU, ITU, CTR e a entalpia. Esse efeito ocorre porque os valores mais altos são subestimados e os valores mais baixos, superestimados (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Os mapas de krigagem mostram essa suavização das estimativas para os índices de conforto animal, ITGU, ITU, CTR e da entalpia, no interior do galpão do sistema de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn* (Figs. 2, 3, 4 e 5).

Com base nos mapas da figura 2, observou-se que valores de ITGU mais baixos, nas tonalidades de azul, se encontram na região central do galpão onde estão instalados os ventiladores, isso ocorre porque o ITGU, combina os efeitos da temperatura, da umidade, da radiação e do vento em valor único (FERREIRA, 2016). Quando os ventiladores foram desligados ocorre um espalhamento das tonalidades de azul, diminuindo às áreas com menores valores de ITGU. Verificou-se nos mapas de CTR características semelhantes aos mapas de ITGU, quando não utilizou a ventilação. Para o ITU observou-se a formação de ilhas próxima a lateral da instalação quando os ventiladores estavam ligados e um padrão em quase toda a área

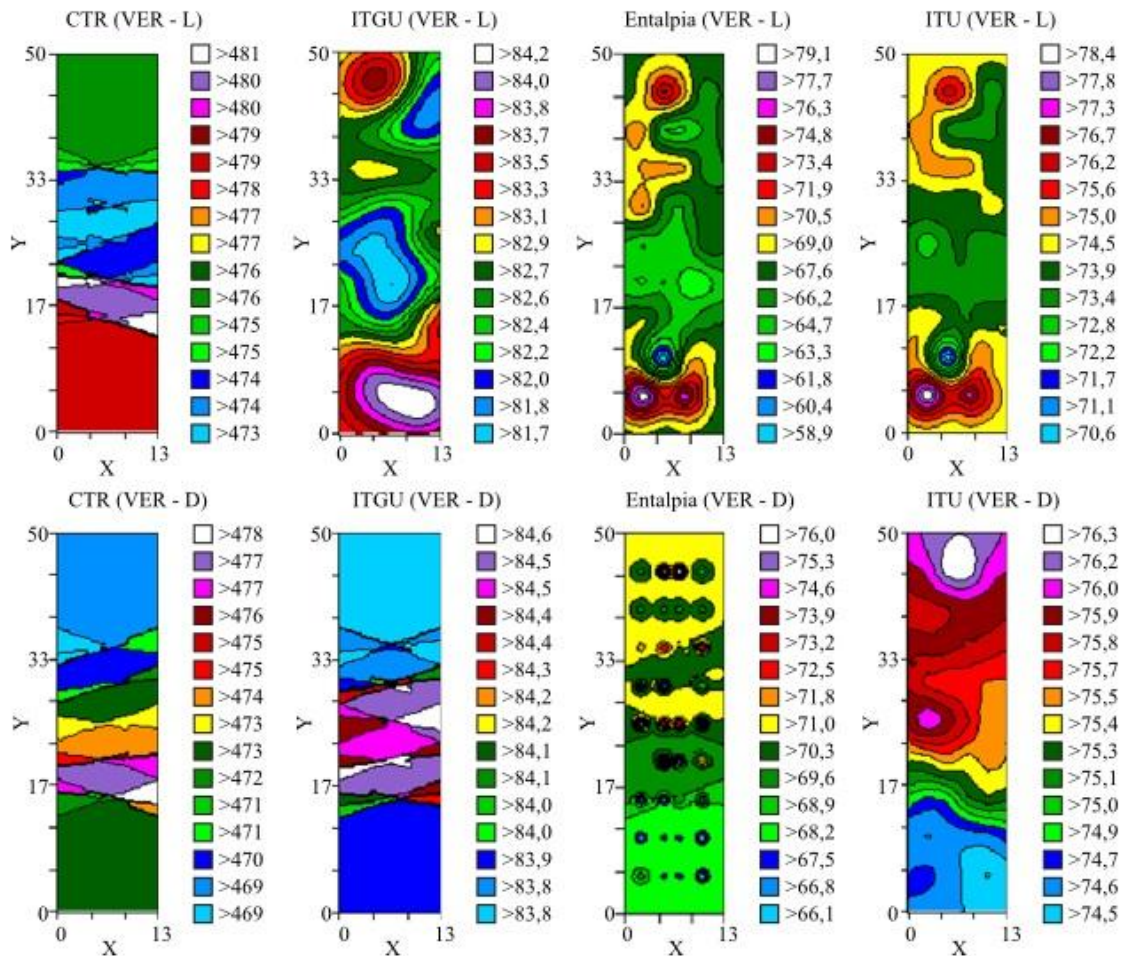


quando não tinha ventilação forçada. A entalpia foi a que visualmente menos sofreu alteração no mapa, isso ocorreu devido a baixa variabilidade dos dados.



**Figura 2** - Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia, com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 9:00 h no verão (VER) de 2016.

Pode-se observar na figura 3, que mesmo ligando os ventiladores para o CTR, entalpia, ITGU e ITU ocorre um desconforto maior na área de descanso para os animais que vai do ponto inicial (zero) até aproximadamente 17 m, mesmo havendo uma pequena variação dos valores de CTR. Sem a ventilação forçada, verifica-se certa padronização nos mapas com maiores valores de entalpia e ITU depois dos 33 m de comprimento do galpão. Para a CTR e ITGU confirma a homogeneidade dos dados devido a ausência de dependência espacial.



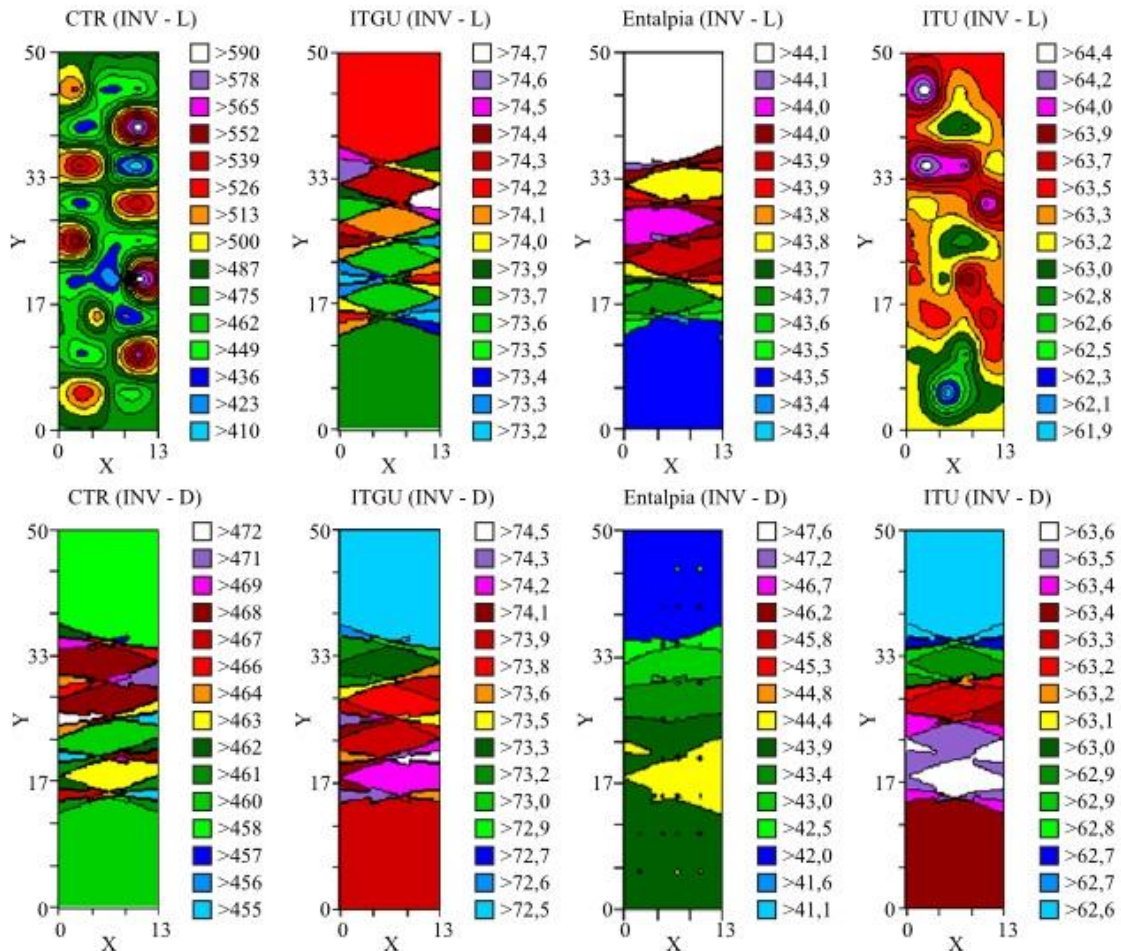
**Figura 3** - Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e Entalpia com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 15:00 h no verão de 2016.

No inverno, (figura 4) às 9:00 h, com os ventiladores ligados, pode-se verificar maiores valores de CTR próximos as laterais da área de descanso, com menores valores de CTR na região que existe maior circulação do ar. Isto comprova a influência da orientação da construção do galpão. A ITU apresenta ilhas, cor lilás a branca, com valores mais altos próximo aos 33 m. Abaixo de 17 m são encontrados valores de entalpia menores, em azul. A entalpia correlaciona a temperatura e umidade no ambiente (FERREIRA, 2016). Assim, quanto menor for o valor desse índice, menor será o calor no interior no galpão.

Quando a ventilação não existia, a CTR e o ITGU não apresentaram variação nos valores, com valores de ITU maiores, mas dentro do intervalo de conforto animal, próximo a entrada do

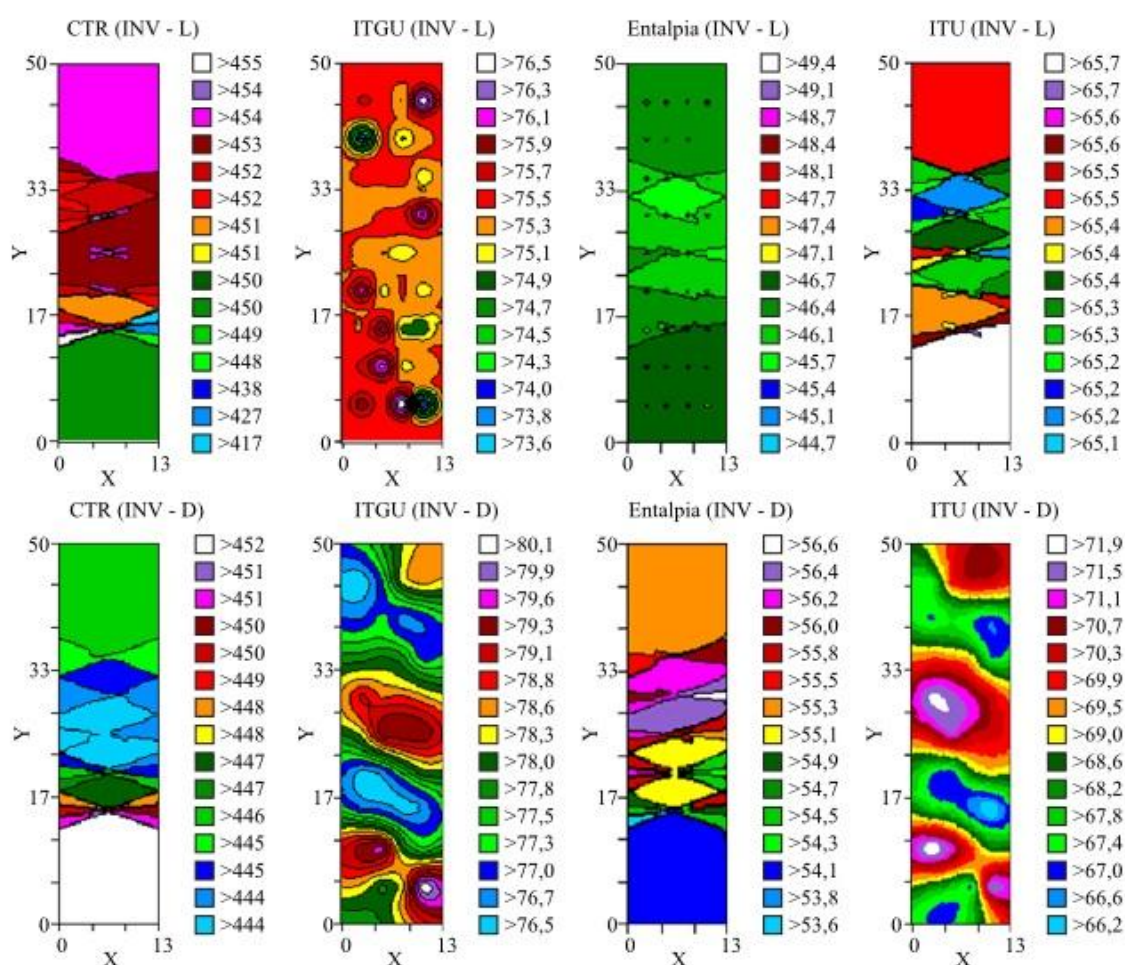
galpão. A entalpia e o ITU apresentaram menores valores, indicando área de maior conforto para a vacas, na outra extremidade do galpão, onde existe uma baixa incidência dos raios solares nesse horário. Resultados semelhantes foram encontrados às 15:00 h, conforme pode ser verificado na figura 5. Com os ventiladores ligados, ocorre maior circulação do ar. Por exemplo, para ITGU, quase toda a área do mapa apresentou a coloração próxima do tom vermelho, valores próximos da média, 75.4.

O ITU apresentou homogeneidade nos dados. Quando foram desligados os ventiladores, os resultados apresentaram pontos específicos, em branco, com maiores valores de ITU e ITGU, representando locais de desconforto para os animais. Maior valor de CTR foi encontrado na entrada do galpão, onde o sol da tarde alcança.



**Figura 4** - Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e Entalpia com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 9:00 h no inverno de 2016.

Nos mapas de krigagem gerados (Figs. 2, 3, 4 e 5). é possível identificar as características dos índices avaliados, assim como fazer a análise de sua distribuição no interior do galpão ao longo da malha regular definida. Identificaram-se pontos críticos fora dos padrões de conforto e bem-estar animal usualmente recomendados. Estes resultados corroboram com os resultados encontrados em Faria et al. (2008), que por meio da modelagem geoestatística e da interpolação por krigagem concluíram que a descrição quantitativa da variabilidade espacial de atributos climáticos de galpões de confinamento para gado leiteiro em sistema *Free Stall* auxiliam no manejo correto desses animais.



**Figura 5** - Mapas de krigagem relativos ao índice de Temperatura e Umidade (ITU), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de Carga Térmica Radiante (CTR) e a Entalpia, com ventiladores ligados (L) e desligados (D) às 15:00 h no inverno de 2016.

Gonçalves, Turco e Ramos (2016), também ao estudarem a variabilidade espacial da

temperatura do ar de um galpão *Free Stall*, utilizado para confinamento de bovinos leiteiros, verificaram que o uso da modelagem geoestatística, pode definir áreas específicas que apresentaram valores de temperatura acima do recomendado para o conforto térmico. Dessa forma, pode-se afirmar que a modelagem se torna relevante para o estudo de variáveis climáticas e índices de conforto no interior de galpões para confinamento de gado.

Resultados semelhantes de benefício da modelagem geoestatística foi observado por Silva et al. (2012). Estes afirmam que o estudo da variabilidade espacial da temperatura do ar e a construção de mapas de krigagem podem auxiliar no manejo correto dos sistemas de climatização em currais de pré-ordenha para bovinos leiteiros. Os autores, verificaram também que a construção de mapas possibilitou definir áreas específicas com diferentes variabilidades para a temperatura do ar.

## **Conclusão**

Com base nos resultados pode-se concluir que a modelagem geoestatística mostrou-se eficiente para representar e estudar o microclima no interior de um galpão *Compost Barn*. Co base nos mapas dos índices de Temperatura e Umidade (ITU), Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica Radiante (CTR) e Entalpia (H) estimados por krigagem ordinária foi possível visualizar melhor a condição do ambiente interno na área de descanso do gado, no sistema de confinamento modelo *Compost Barn*, tendo-se identificado pontos específicos de desconforto para as vacas leiteiras.

## **Referencias**

ARAUJO, J. I. M. Efeitos das variáveis climáticas sobre características fisiológicas de vacas mestiças (Holandês x Gir) em lactação, **Rev. Acad. Ciênc. Anim.** v. 14, p. 185-193. 2016. Doi:10.7213/academica.14.2016.20

AVILA, A. S. de et al. Evaluation and correlation of physiological parameters and bioclimatic indexes holstein cows in different seasons. **REGET**, Santa Maria, v. 14, n.14, p. 2878-2884, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117010747>

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**, 4ª ed. 5ª Impressão.

Jaboticabal, Funep, 2015. 237 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5 p. 1501-1511, 1994. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x .

ECKELKAMP, E. A. et al. Sand bedded freestall and compost bedded pack effects on cow hygiene, locomotion, and mastitis indicators. **Livestock Science**, v.190, p. 48–57. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.06.004>

ENDRES, M. I. Compost Bedded Pack Barns – Can They Work For You? WCDS. **Advances in Dairy Technology**, v. 21, p. 271-279. 2009.

FARIA F de F. et al. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505. 2008.

GALAMA P, et al. **Aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands**, Wageningen UR Livestock Research. 2015.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+:Geostatistics for the Environmental Sciences. Version 10. **Gamma Design Software**, Plainwell, Michigan USA, 2018. Disponível em: < <http://www.gammadesign.com/> >. Acesso em: 03 mar. 2018.

GONÇALVES, I. C. M.; TURCO, S. H. N.; RAMOS, C. M. C. Variabilidade espacial da temperatura do ar de um *Free-Stall* na região semiárida nordestina do Brasil. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental** [online], v. 20, n. 1, p. 67-71. 2016.

KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C. DE; JÚNIOR, H. S. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas, **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 598-607. 2005

LESO, L. et al. Survey of Italian compost dairy barns. **Journal of Agricultural Engineering**. v.

44, n.3, p. 120-124. 2013.

MOTA, V. C. et al. Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características. **PUBVET**, Maringá, v. 11, n. 5, p.433-442. 2017. DOI: [HT TP: / /DX.DOI .ORG/ 1 0 .2 2 2 5 6 /PUBVE T.V11N5 .4 3 3 -4 4 2](https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.433-442)

MOTA, V. C.; DAMASCENO, F. A.; LEITE, D. F. Fuzzy clustering and fuzzy validity measures for knowledge discovery and decision making in agricultural engineering. *Computers and Electronics in Agriculture* v. 150, p. 118–124. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

MOURA, A. K. et al. Influências bioclimáticas e de ambiência no bem-estar de vacas leiteiras. **PUBVET**, Londrina, v. 4, n. 32, Ed. 137, Art. 926. 2010.

OECD/FAO (2017), “**Dairy and Dairy Products**”, in *OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026*, OECD Publishing, Paris.

PILATTI, J. A.;VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal Animal Behaviour Biometeorology**, v. 5, p. 97-105. 2017.

PIAZENTIN, J. C., et al. Avaliação dos indicadores de conforto térmico para comparação da performance de galpões de produção de ovos. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 14, n. 25; p. 221 - 231, 2017.

RENEAU, J. Bugs, bedding and the composting bedded pack barn, **Dairy Star**, p. 1- 2. 2004. <http://www.extension.umn.edu/agriculture/dairy/facilities/bugs-and-bedding/>

RODRIGUES, V. C. et al. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, v.55, n.3, p. 455 - 459, 2010b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0344-y>

SILVA, I. M. da et al. Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordenha de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** [online] v. 16, n. 8, p. 903-909. 2012. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800013>.

SOARES, A. G. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. Lisboa: IST, 2006. 186 p.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for Environmental Scientists**. John Wiley & Sons Inc, 2001. 271 p.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Editora Oficina de Letras, 2013. 215 p.



### **ARTIGO 3**

Sistema de confinamento compost barn: interações entre índices de conforto, características fisiológicas, escore de higiene e claudicação

Este artigo é uma versão preliminar, enviado a Revista Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR o conselho editorial poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.

# **SISTEMA DE CONFINAMENTO *COMPOST BARN*: INTERAÇÕES ENTRE ÍNDICES DE CONFORTO, CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, ESCORE DE HIGIENE E CLAUDICAÇÃO**

**RESUMO:** O objetivo desse artigo é avaliar o conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em instalações *Compost Barn* com base em índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos, escore de higiene e claudicação, por meio de análises estatísticas. A pesquisa foi realizada, em uma propriedade comercial do município de Três Corações no estado de Minas Gerais no período de verão e inverno de 2016. As variáveis microclimáticas e os escores de limpeza e de locomoção foram analisadas por meio dos procedimentos da análise de estatística descritiva. Os parâmetros fisiológicos foram submetidos a um delineamento experimental em blocos casualizados em parcela subdividida no tempo, por meio da análise de variância e teste de Scott-Knott. Aplicou-se a análise de correlação de Pearson. Não foi verificado estresse térmico nos animais na estação de verão e inverno. Os parâmetros fisiológicos se encontraram dentro dos limites de conforto animal. Existe um relacionamento maior entre a frequência respiratória, temperatura superficial e temperatura retal e os índices de conforto animal no verão, quando comparada com o inverno. Para a análise dos escores, as vacas apresentaram uma melhoria na limpeza e um número muito baixo de vacas com problemas de cascos.

**PALAVRAS - CHAVES:** Conforto animal. Estresse térmico. Fatores ambientais. Análise estatística.

# **HOUSING SYSTEMS COMPOST BARN: INTERACTIONS BETWEEN COMFORT INDEXES, PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS, SCORE OF HYGIEN AND LAMENESS**

**ABSTRACT:** The objective of this article is to evaluate the thermal comfort of dairy cattle confined in compost barn facilities based on thermal comfort indexes, physiological parameters, hygien score and lameness, through statistical analyzes. The research was carried out in a commercial property of the municipality of Três Corações in the state of Minas Gerais during the summer and winter of 2016. The microclimatic variables and the cleaning and locomotion scores were analyzed through the procedures of the descriptive statistics analysis. The physiological parameters were submitted to an experimental design in randomized blocks in a subdivided plot, using analysis of variance and Scott-Knott's test. Pearson's correlation analysis was applied. No thermal stress was observed in the animals during the summer and winter seasons. There is a greater relationship between respiratory rate, surface temperature and rectal temperature, and animal comfort indexes in summer compared to winter. For the analysis of the scores, the cows showed an improvement in cleaning and a very low number of cows with hoof problems.

**KEYWORDS:** Animal comfort. Thermal stress. Environmental factors. Statistical analysis.

## **SISTEMA DE CONFINAMIENTO COMPOST BARN: INTERACCIONES ENTRE ÍNDICES DE COMODIDAD, CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS, PUNTUACIÓN DE HIGIENE Y CLAUDICACIÓN**

**RESUMEN:** El objetivo de este artículo es evaluar el confort térmico de bovinos lecheros confinados en instalaciones compost barn con base en índices de confort térmico, parámetros fisiológicos, puntuación de higiene y claudicación, por medio de análisis estadísticos. La investigación fue realizada en una propiedad comercial del municipio de Tres Corazones en el estado de Minas Gerais en el período de verano e invierno de 2016. Las variables microclimáticas y los scores de limpieza y de locomoción fueron analizadas por medio de los procedimientos del análisis de estadística descriptiva. Los parámetros fisiológicos fueron sometidos a un delineamiento experimental en bloques casualizados en parcela subdividida en el tiempo, por medio del análisis de varianza y prueba de Scott-Knott. Se aplicó el análisis de correlación de Pearson. No se verificó el estrés térmico en los animales en la estación de verano e invierno. Los parámetros fisiológicos se encontraron dentro de los límites de confort animal. Hay una relación mayor entre la frecuencia respiratoria, la temperatura superficial y la temperatura rectal y los índices de confort animal en el verano, en comparación con el invierno. Para el análisis de los scores, las vacas presentaron una mejora en la limpieza y un número muy bajo de vacas con problemas de cascos.

**PALABRAS CLAVES:** Comodidad animal. Estrés térmico. Factores ambientales. Análisis estadístico.

## **Introdução**

Um dos desafios para a produtividade pecuária diz respeito ao monitoramento do estado de bem estar dos animais e controle do estresse térmico. O estresse térmico é capaz de provocar grandes prejuízos no sistema de produção, como queda na produção de leite e nos índices reprodutivos, sendo que o método de quantificar ou medir a sensação de calor se dá por meio dos fatores ambientais, como: a temperatura do ambiente, a umidade relativa do ar, a radiação solar, a velocidade do vento, e por fatores individuais, como o metabolismo e o tipo de pelame dos animais (FERREIRA, 2015; SILVA, 2016).

O estudo da ambiência e das instalações para bovinos leiteiros, e o conhecimento dos efeitos dos fatores ambientais e fisiológicos, devem ser analisados em conjunto, pois existe uma inter-relação entre esses fatores que influenciam no desempenho e na produção dos animais (BERTONCELLI et al., 2013; PINHEIRO et al., 2015). Alguns dos maiores problemas enfrentados pelos produtores brasileiros são o micro clima das instalações e as altas temperaturas encontradas no país. Por exemplo, as raças com maior desempenho produtivo, como o gado Jersey e o gado Holandês, que são raças de origem européia e, portanto, são mais adaptados ou apropriados ao clima temperado.

A temperatura ambiente pode influenciar a produtividade das vacas leiteiras, por alterar a troca de calor com o ambiente e a taxa de ingestão de alimento e, simultaneamente, afetar ou mudar as exigências em nutrientes dos animais.

Devido à grande variação de microclimas e a grande diversidade de raças produtoras de leite, o estudo da influência dos fatores ambientais em torno das vacas leiteiras, tem se tornado um dos aspectos mais pesquisados, no intuito de melhorar a produtividade desse setor no Brasil (PINHEIRO et al., 2015). Particularmente, as variáveis fisiológicas, (temperatura retal,

temperatura superficial e frequência respiratória), variáveis de bem estar animal (escore de higiene e claudicação) e os fatores ambientais que influenciam na adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical, a serem considerados neste trabalho, são tema de pesquisa de diversos autores, tais como Avila et al. 2013; Black et al. 2014; Zero e Melo, 2015; Pinheiro et al. 2015; Araujo et al. 2016; Eckelkamp et al. 2016; Costa et al. 2018, entre outros. Diante do exposto, o objetivo desse artigo é avaliar o conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em instalações *compost barn* com base em índices de conforto térmico, parâmetros fisiológicos, escore de higiene e claudicação, por meio de análises estatísticas.

## **Material e Métodos**

A pesquisa foi realizada em um confinamento para bovinos leiteiros no modelo *compost barn*, em uma propriedade rural do município de Três Corações no estado de Minas Gerais. Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo CWA, caracterizado por duas estações bem definidas: uma seca e de menores temperaturas, que se estende de maio a setembro, e outra úmida e de temperaturas mais elevadas, de outubro a abril. A temperatura média anual é de 20,2 °C e a precipitação anual é de 1,401 mm.

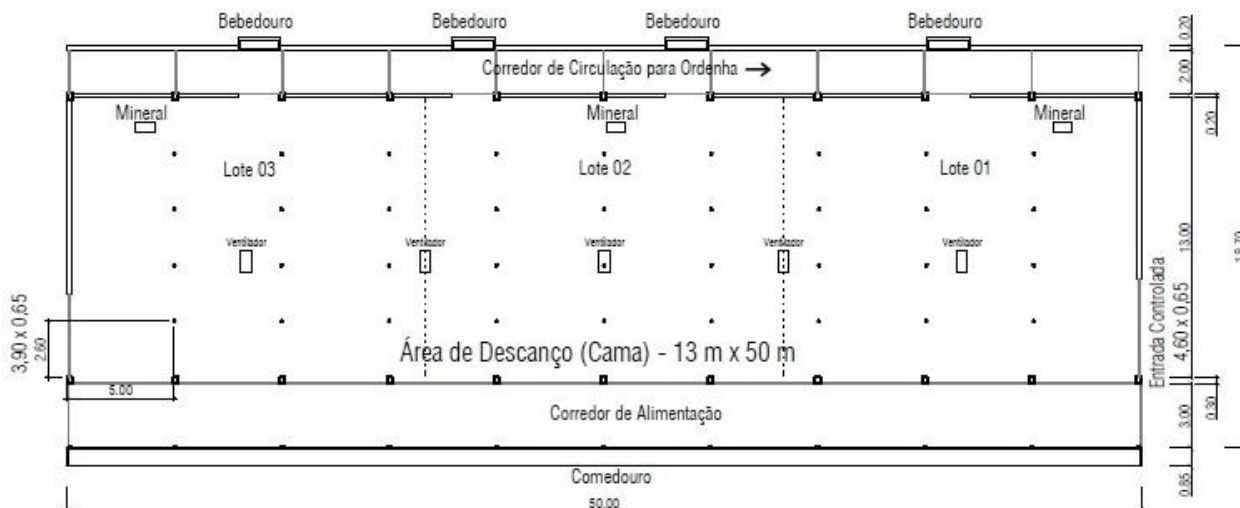
A temperatura média do ar e a umidade relativa externa do galpão durante os dias de coleta dos dados foram obtidos por meio da estação meteorológica portátil modelo No. ITWH - 1080 da Instrutemp (precisão de  $\pm 1$  °C; 5% UR; e  $\pm 1$  m/s) com sensores apropriados para coletar e armazenar os dados.

O galpão, em sistema de confinamento modelo *Compost Barn* (CB), com orientação Noroeste/Sudoeste, possui 18,70 metros de largura por 50 metros de comprimento, pé direito 4 metros, e cumeeira de 6 metros. Sendo 13 m x 50 m destinados à área de descanso com cama,

divididos em 3 lotes (alta produção de leite, média produção de leite e baixa produção de leite), separados por meio de cerca elétrica, sendo esta área utilizada para análise (Figura 1).

O galpão possui um corredor de alimentação medindo 3 m x 50 m com um comedouro (cocho de volumoso) em toda a extensão do galpão. E um outro corredor medindo 2 m x 50 m, com 4 bebedouros medindo 0,50 m x 2 m (fundo formato trapézio) com capacidade para 300 litros de água. Possui 3 cocho de mineral e cinco ventiladores centralizados a uma altura de 3,20 metros na área de descanso (com 6 hélices) da marca Roster que proporciona uma vazão de 48,000 m<sup>3</sup> de ar por hora cada um.

**Figura 1:** Planta baixa do galpão *Compost Barn*.



#### •Descrição - coleta de dados

A pesquisa foi conduzida: durante o Verão de 2016 - Tratamento VER e Inverno de 2016 Tratamento INV. Os registros de dados foram realizados em janeiro de 2016, nos dias 17 no P1; 24 no P2; 31 no P3 e no mês de julho, nos dias 17 no P4; 24 no P5; 31 no P6. As coletas foram divididas em 2 etapas:

1ª etapa: Foram coletadas 36 amostras, para as variáveis, temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), velocidade do ar (v), temperatura do ponto de orvalho ( $T_{po}$ ) e temperatura do globo negro ( $T_{gn}$ ), em uma malha regular com 36 pontos georeferenciados, divididos em 12 pontos por lote, distribuídos uniformemente ao longo do galpão com espaçamento de 2,6 m por 5 m. Considerou-se para análise os valores médios das variáveis.

As medidas foram realizadas a 1,8 m do piso (cama), em cada posição da malha regular de pontos. As coletas de dados foram feitas no sistema de confinamento no modelo *Compost Barn*, duas vezes ao dia, com início nos horários das 9:00 e 15:00 h, com os ventiladores ligados (Figura 1).

O equipamento utilizado para o registro de dados foi o sensor portátil da marca Kestrel®, modelo 3000, com faixa de registro de velocidade do ar e umidade com precisão de  $\pm 3\%$  da leitura; temperatura (precisão de  $\pm 1$  °C), ponto de orvalho (precisão de  $\pm 3$  °C) e temperatura do bulbo úmido (precisão de  $\pm 2$  °C). A temperatura do globo negro foi registrada por meio de um medidor de temperatura digital, sensor externo (Termopar tipo K) inserido no centro do globo negro (esfera oca com 7 cm de diâmetro e pintada de preto fosco), que foram coletados manualmente.

A partir dos dados medidos nos horários pré-determinados foram obtidos os índices de temperatura e umidade (ITU) (AVILA et al., 2013); o Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) (MOURA et al., 2010) e a Índice de Carga Térmica Radiante (CTR) (AVILA et al., 2013).

2ª etapa: Foram coletados os parâmetros fisiológicos, frequência respiratória (FR), temperatura da superfície do animal (TS) e temperatura retal (TR) duas vezes ao dia escolhendo 15 animais de acordo com uma amostragem aleatória estratificada proporcional em cada divisão



da instalação (lotes), determinada pela seguinte Eq. 1 (FERREIRA, 2005):

$$n_h = \frac{N_h}{N} \cdot n \quad (1)$$

em que  $n_h$  determina a amostra do estrato;  $N_h$  é o tamanho do estrato (divisão da instalação - lote);  $n$  é o tamanho da amostra (15 animais); e  $N$  é o tamanho da população (total de vacas no galpão).

A FR foi mensurada pela contagem dos movimentos do flanco, durante 20 segundos e o valor foi multiplicado por três para se obter a frequência dos movimentos respiratórios por minuto (AVILA et al., 2013). Para aferição da TR, utilizou-se um termômetro digital, inserido aproximadamente 5 cm no reto do animal. A TS foi obtida pela média da temperatura corporal coletada com um termômetro de infravermelho em quatro pontos do animal, frente, cernelha, virilha e jarrete (Figura 2).

**Figura 2:** Detalhe da coleta da temperatura corporal com termômetro infravermelho.



Nesta etapa também foram avaliados os escores de limpeza e de locomoção dos animais

(COOK; REINEMANN, 2007). A claudicação foi avaliada observando as vacas andando, por meio do sistema de pontuação de locomoção de Sprecher et al. (1997), onde 1 é igual a normal, 2 é igual a levemente coxo, 3 é igual a moderadamente coxo, 4 é igual a coxo e 5 é igual a severamente coxo. A observação da locomoção foi realizada estimulando o animal a se mover e com isso avaliar pernas e partes posteriores. Vacas com escore de locomoção  $\geq 3$  foram classificadas como clinicamente manca (ECKELKAMP et al., 2016). A higiene foi avaliada usando um sistema variando de 1 a 4, onde 1 significa limpo e 4 significa imundo e sujo, analisando a limpeza do úbere e pernas traseiras (COOK; REINEMANN, 2007).

As variáveis microclimáticas coletadas no verão e no inverno foram analisadas por meio dos procedimentos da análise de estatística descritiva, sendo determinado a média, desvio padrão, coeficiente de variação e valores de máximo e de mínimo (BANZATTO; KRONKA, 2015). Os dados referentes aos parâmetros fisiológicos inicialmente foram submetidos à análise de resíduos, considerou-se um delineamento experimental em blocos casualizados em parcela subdividida no tempo com dois tratamentos (estação - VER e INV), três tempos de coletas (dias 17, 24 e 31) e quinze repetições, totalizando 90 observações para cada variável. Os dados foram analisados pelo software SISVAR 5.1 (FERREIRA, 2011) por meio da análise de variância, e teste de Scott-Knott para a comparação de médias, adotando um nível de significância de 5%. Posteriormente aplicou-se aos dados a análise de correlação de Pearson entre as variáveis analisadas, parâmetros fisiológicos dos animais (FR, TS e TR) e os índices de conforto animal CTR, ITU e ITGU. Para os escores de limpeza e de locomoção aplicou-se uma análise descritiva dos dados.

## **Resultados e discussão**

Os valores médios de temperatura externa no verão e inverno de 2016 foram de 26,5 °C e

21,2 °C respectivamente e os valores médios de umidade foram 72% no verão e 58% no inverno.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da estatística descritiva das variáveis microclimáticas. A variabilidade dos dados foi baixa para a temperatura do ar e para os índices CTR, ITGU e ITU, com valores de coeficientes de variação menor que 4% às 15:00 h.

**Tabela 1:** Estatística das variáveis microclimáticas do estábulo em sistema modelo *Compost Barn* estudadas nas estações de verão e inverno de 2016.

Estatísticas	Verão - 9 horas				Inverno - 9 horas			
	TA	CTR	ITGU	ITU	TA	CTR	ITGU	ITU
$\bar{x}$	24,15	468,6	80,7	72,7	18,59	485,4	73,9	63,8
S	0,21	32,9	1,9	0,5	0,37	57,8	2,5	0,6
C. V. (%)	0,90	7,0	2,4	0,7	2,01	11,9	3,3	0,9
Mín.	23,73	441,4	79,2	71,7	17,86	404,7	70,8	61,9
Máx.	24,6	568,0	85,0	73,7	19,4	614,0	79,1	64,6
Estatísticas	Verão - 15 horas				Inverno- 15 horas			
	T A	CTR	ITGU	ITU	TA	CTR	ITGU	ITU
$\bar{x}$	27,31	476,8	82,8	74,5	23,23	451,6	75,4	65,5
S	0,82	18,3	1,0	1,5	0,22	17,4	0,7	1,0
C. V. (%)	3,93	3,8	1,3	1,9	0,95	3,8	1,0	1,5
Mín.	24,93	448,8	81,3	70,5	22,9	365,6	73,2	63,6
Máx.	30,47	576,7	85,2	79,2	23,7	475,9	76,9	67,8

$\bar{x}$  = Média, C. V. = Coeficiente de Variação, S = Desvio padrão, Mín. = Mínimo, Máx. = Máximo. T. A. (°C) = Temperatura do ar, CTR = Índice de Carga Térmica Radiante, ITGU = Índice de temperatura de globo negro e umidade, ITU = Índices de temperatura e umidade.

Verificou-se que a temperatura do ar aumentou no período da tarde, tanto no verão quanto no inverno, porém os valores permaneceram dentro do limite de conforto animal no inverno, que para bovinos em lactação é recomendável estar abaixo de 24 °C (AVILA et al. 2013), apenas no turno da tarde do verão os animais não estiveram dentro desse limite de conforto. A média da umidade relativa do ar (UR) no verão foi de 63,4% e no inverno de 58,8%, apresentando valores abaixo do valor considerado limite (70%) para vacas lactantes em clima quente (PINHEIRO et al., 2015). Esses valores de TA e UR corroboram com os encontrados por Araujo et al. (2016), que pesquisaram essas variáveis pelo turno da manhã, das 09h00min às 10h00min e pelo turno da

tarde, das 15h00min às 16h00min. e encontraram valores médios de 25.59 °C e 57.69% para vacas mestiças (Holandesas x Gir) em lactação durante os anos de 2010 a 2013, em Bom Jesus-PI.

Os valores dos índices de conforto animal acompanharam os valores de TA apresentaram aumentos no período da tarde para as duas estações analisadas. Adotou-se a tabela de ITU para bovinos leiteiros de alta produção proposta por Ferreira (2016) em que, ITU abaixo de 68 indica sem estresse; de 69 a 71 indica um leve estresse; de 72 a 79 indica um estresse ameno; de 79 a 89 indica um estresse moderado; e de 90 a 98 indica estresse grave). Dessa forma, observou-se que no inverno o ITU apresentou, em média, um ambiente sem estresse e de conforto para os animais. No verão este índice foi maior à tarde estando dentro da faixa de estresse ameno.

No verão, os resultados de máximo e mínimo do ITGU indicam que os animais encontram-se em situação de perigo podendo acarretar baixo rendimento, na produção de leite (MOURA et al., 2010), isso foi verificado às 9:00 horas e às 15:00 horas. Já no inverno, o valor médio e o valor de mínimo às 9:00 horas de ITGU estão abaixo do intervalo de alerta, mas o valor de máximo encontra-se no intervalo de situação de perigo para os animais (AVILA et al., 2013). Valores semelhantes foram encontrados em Araujo et al. (2016) que recomendam em tais situações a necessidade de intervenção humana, sendo esta por meio de instalações, sistemas de climatização (ventiladores, nebulizadores, entre outros) que promova um ambiente de conforto para os animais.

A ventilação do ambiente, mesmo não reduzindo a temperatura do ar, promove aumento do processo convectivo de troca e, se estiver dentro das recomendações, melhora a sensação térmica do animal. A renovação do ar beneficia a secagem da cama e a eliminação dos gases excretados (SILVA, 2016), possibilitando, dentro de certos limites, controlar a temperatura do ar

e a umidade relativa do ambiente. Em sistemas produtivos para bovinos leiteiros, as instalações têm a função de abrigar os animais e criar um microclima com fatores climáticos amenizados (MOURA et al., 2010).

Segundo Leso et al. (2017) em climas mais quentes, as características dos materiais normalmente usados na construção dos telhados pode representar um desafio para manter a temperatura interna adequada durante os meses de verão. Os autores ressaltam que uma cobertura verde, com vegetação, pode ter um papel importante no desenvolvimento futuro de sistemas de criação intensivo de vacas leiteiras, e apesar de existir algumas questões relativas à sua utilização, esse tipo de cobertura tem o potencial para reduzir os custos de produção, melhorar o bem-estar animal e reduzir o impacto do calor na produção leiteira. Verificaram, em seu estudo, que o uso da cobertura verde melhora o desempenho térmico do ambiente e tem o potencial de reduzir a energia para fins de refrigeração e acrescentam que mais pesquisas são necessárias para desenvolver soluções construtivas sustentáveis e adequadas para a pecuária.

O índice CTR, tem seus resultados influenciados pelos materiais utilizados na construção da instalação, bem como os efeitos dos ventos e da temperatura (SILVA, 2016). Nesse estudo, no verão os valores médios de CTR, como descritos na Tabela 1, foram registrados nos horários das 9 e 15h. Semelhante ao que ocorreu as demais variáveis, houve um aumento da CTR entre às 9 e 15h, que passou de  $468.6 \text{ W m}^{-2}$  às 9 h, para  $476.8 \text{ W m}^{-2}$  às 15 h com os ventiladores ligados. Esses valores se assemelham aos encontrados por Kawabata et al. (2005) que cita valores médios de CTR no horário das 8 h que variaram de  $454.84$  à  $484.30 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto no inverno a CTR no período da manhã apresentou valores médios de  $485.4 \text{ W m}^{-2}$ , estes valores foram maiores que os encontrados a tarde, de modo geral são desejáveis os menores valores possíveis de CTR.

Com base na análise de resíduos, verificou-se que a análise de variância realizada é

aceitável, isso significa que as pressuposições sobre os erros foram satisfeitas, isto é, os erros são variáveis aleatórias independentes, a variância é constante e a distribuição dos erros é normal ou aproximadamente normal (BANZATTO; KRONKA, 2015). De modo geral, o experimento apresentou uma boa precisão, com coeficientes de variação abaixo de 11.9 %.

Observou-se com os resultados da análise de variância que a interação entre os tratamentos (estação VER e INV) versus o tempo (dias de coleta) para TS e a FR no período da manhã e da tarde foi significativo, dessa forma procedeu-se com o desdobramento das duas estações dentro dos três dias de coleta. Já para a TR no período da manhã o teste F da análise de variância não foi significativo, i. e., não houve diferença estatística entre os valores médios de TR para as duas estações (Tabela 2), e para essa variável no período da tarde a interação foi significativa e aplicou-se o desdobramento.

**Tabela 2:** Valores médios de temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória do período da manhã de vacas Holandesas em lactação, alojadas em sistema de confinamento *Compost Barn*.

Estação	Temperatura Retal (°C)		
	Coleta - dia 17	Coleta - dia 24	Coleta - dia 31
Verão	38.30 a A	37.95 a A	38.40 a A
Inverno	38.31 a A	38.10 a A	38.09 a A
Estação	Temperatura Superficial (°C)		
	Coleta - dia 17	Coleta - dia 24	Coleta - dia 31
Verão	29.43 a A	26.65 a A	30.69 a A
Inverno	25.34 b B	26.84 b A	27.94 b B
Estação	Frequência Respiratória (mov.min. <sup>-1</sup> )		
	Coleta - dia 17	Coleta - dia 24	Coleta - dia 31
Verão	50.60 a A	41.80 a A	42.80 a A
Inverno	41.20 b B	43.60 b A	39.8 b B

a,b,... - em cada estação, médias de cada dia de coleta seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem (Scott-Knott 5%).

A,B, ... - em cada dia de coleta, médias da estação seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem (Scott-Knott 5%).

O valor médio de TR no verão foi de 38.15 °C e no inverno de 38. 27 °C, estes valores

estão de acordo com valores normais de temperatura retal para bovinos que está em torno de 38.3°C (ARAÚJO et al., 2016).

A temperatura superficial (°C) dos animais foi maior no verão com valores médios de 28.92 °C do que no inverno no período da manhã (Tabela 2). Verificaram-se para o período da manhã e da tarde diferença significativa entre as estações, verão e inverno. No período da tarde no dia de coleta 17 não foi verificado diferença entre as estações, no entanto, nos dias 24 e 31 observou tal diferença, de acordo com o teste de Scott-Knott (5%), com valores mais elevados da temperatura superficial das vacas no verão (Tabela 3). Os valores de temperatura superficial não indicaram sofrimento por estresse térmico no ambiente analisado, pois o resultado se encontra entre 31.6 a 34.7 °C (ZERO; MELLO, 2015).

**Tabela 3:** Valores médios de temperatura retal, temperatura superficial e frequência respiratória do período da tarde de vacas Holandesas em lactação, alojadas em sistema de confinamento *Compost Barn*.

Estação	Temperatura Retal (°C)		
	Coleta - dia 17	Coleta - dia 24	Coleta - dia 31
Verão	38.56 a A	39.59 a A	39.09 a A
Inverno	37.66 a B	38.04 a B	38.54 a B
Estação	Temperatura Superficial (°C)		
	Coleta - dia 17	Coleta - dia 24	Coleta - dia 31
Verão	30.85 a A	33.06 a A	34.72 a A
Inverno	30,86 b A	31.12 b B	31.49 b B
Estação	Frequência Respiratória (mov.min. <sup>-1</sup> )		
	Coleta - dia 17	Coleta - dia 24	Coleta - dia 31
Verão	46.60 a A	43.60 a A	58.20 a A
Inverno	43.00 b B	45.8 b A	46.40 b B

a,b,... - em cada estação, médias de cada dia de coleta seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem (Scott-Knott 5%).

A,B, ... - em cada dia de coleta, médias da estação seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem (Scott-Knott 5%).

A frequência respiratória faz referência ao número de respirações ou ciclos por minuto e é usada como variável fisiológica para analisar a termorregulação animal (PILATTI;VIEIRA,

2017). A FR tanto no horário da manhã quanto no horário da tarde, apresentou maiores valores no verão quando comparados com valores do inverno. Apresentou valor médio de FR no verão de 45.6 e 49.5 mov. min.<sup>-1</sup> de manhã e tarde respectivamente, e no inverno verificou valor médio de 41.5 mov. min.<sup>-1</sup> no período da manhã e 45.07 mov. min.<sup>-1</sup> à tarde.

Valores semelhantes foram observados em Araujo et al. (2016) que verificaram valores médios de frequência respiratória no verão e no inverno de 43.22 mov. min.<sup>-1</sup> ao trabalharem com vacas mestiças. Essa diferença entre as estações pode ser atribuída à adaptação dos animais a temperatura ambiente que normalmente no verão encontra-se aumentada, devido à maior influência da radiação solar (PINHEIRO et al., 2015).

Os valores de FR ultrapassando os 120 mov. min.<sup>-1</sup> indicam que o animal está sofrendo com a carga excessiva de calor e, acima de 160 mov. min.<sup>-1</sup>, medidas de emergência devem ser tomadas, a fim de amenizar o estresse térmico (ARAUJO et al., 2016). Dessa forma, percebe-se que durante os dias de coletas deste trabalho, os animais nas estações de verão e inverno estiveram dentro dos níveis de conforto.

Os parâmetros fisiológicos de temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), temperatura superficial da pele (TS) sofrem influência do turno do dia, uma vez que à tarde a temperatura do ar é geralmente mais elevada que durante a manhã, promovendo uma elevação dessas variáveis fisiológicas (SOUZA et al., 2012). Temperaturas elevadas comprometem negativamente a temperatura retal e a frequência respiratória (KAWABATA et al., 2005).

Com o interesse de conhecer o tipo de relacionamento existente entre os parâmetros fisiológicos dos animais (FR, TS e TR) e os índices de conforto animal CTR, ITU e ITGU nas duas estações, calcularam-se os coeficientes de correlação de Pearson que estão apresentados na tabela 4.



A configuração nos resultados sugere a existência de um relacionamento maior entre a FR, TS e TR e os índices CTR, ITU e ITGU no verão. A frequência respiratória foi à variável fisiológica que apresentou uma correlação maior com os índices de conforto animal. No verão a correlação da FR foi positiva com o ITGU e ITU de 0.45 e 0.40 respectivamente. Já no inverno essa variável não sofreu alteração e a correlação foi fraca quando relacionada com os índices, verificando correlações negativas entre o ITGU e ITU. Tal fato pode ser justificado levando em conta que os resultados da FR das vacas confinadas no *compost bar* estavam dentro da faixa de conforto, e o ambiente apresentava conforto para os animais, não havendo a necessidade de uma alteração da frequência respiratória que de acordo com Zero e Mello (2015) atua como um mecanismo de adaptação dos animais ao estresse térmico.

**Tabela 4:** Resultados dos coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros fisiológicos e os índices de conforto de vacas Holandesas em lactação, alojadas em sistema de confinamento *Compost Barn*.

	VERÃO				INVERNO		
	CTR	ITGU	ITU		CTR	ITGU	ITU
FR	0.16	0.45	0.40	FR	0.02	- 0.11	- 0.11
TR	0.27	0.01	- 0.06	TR	0.06	- 0.21	0,25
TS	- 0.27	- 0.25	- 0.10	TS	0.10	- 0.12	- 0.34

A temperatura retal também apresentou uma fraca correlação com os índices, sendo que no verão apresentou uma correlação positiva com a CTR e ITGU e negativa com o índice ITU. No inverno também verificou-se correlações fracas, porém, apenas com valores negativos para a ITGU. Esses resultados corroboram com os encontrados em Avila et al. (2013), que verificaram correlação negativa, e não significativa ( $P > 0,05$ ) em relação aos índices bioclimáticas ITU, ITGU e CTR. Relatam ainda que tal fato deva ter ocorrido porque que a TR não acompanhou as

variações de aumento dos índices ao longo o dia.

A temperatura superficial da pele dos animais, também apresentou uma fraca correlação com os índices, sendo apenas correlacionada positivamente no inverno com a CTR, com os demais índices para as duas estações o relacionamento foi negativo, indicando que nesse estudo, o valores dos índices de conforto animal não influenciaram nos valores de TS.

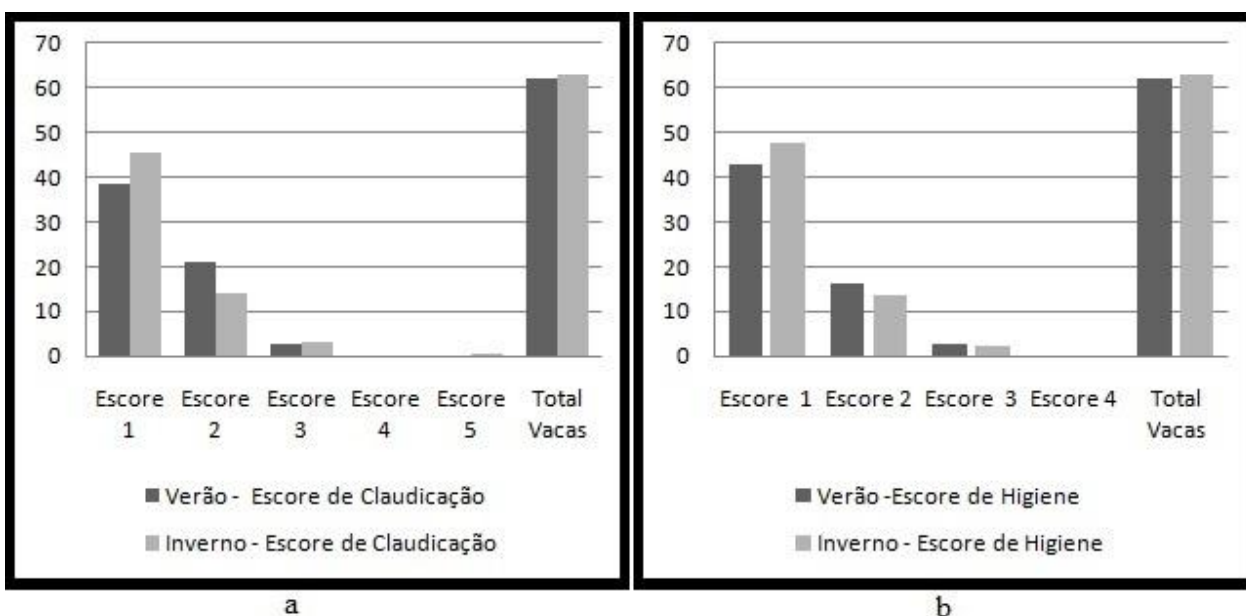
Deve-se ressaltar que nos horários estudados, o galpão de *Compost Barn* apresentou, de modo geral, condições de conforto aos animais, isso de alguma forma pode ter influenciado nos resultados das correlações, indicando que o clima ameno não afetou os parâmetros fisiológicos. Salienta-se que a técnica foi adequada e trouxe informações úteis, mostrando que os valores da temperatura, umidade e velocidade do ar do ambiente estando dentro dos desejáveis para o bem estar animal, exige pouca variação nos parâmetros fisiológicos dos animais, i. e., os animais com temperatura ambiente controlada, por exemplo, podem diminuir o ritmo da frequência respiratória para perder calor, que nesse caso é considerado uma estratégia energética, que torna a vida desses animais mais confortável (PINHEIRO et al., 2015).

Para os aspectos de higiene e claudicação, verificou-se que 69.3% e 75.4% dos animais apresentam escore 1 de higiene para o verão e inverno respectivamente e 61.8% de escore de claudicação 1 para o verão, e no inverno 72.2% das vacas apresentaram escore 1, dessa forma, nesse estudo o sistema *Compost Barn* proporciona condições de conforto para que as vacas leiteiras expressem um elevado nível de bem-estar animal (Figura 3).

O escore um (1) de higiene indica que as vacas estão limpas, aparentemente com os úberes e a parte trazeira sem sujeira, e o escore um (1) de claudicação sugere um rebanho com postura normal, passos firmes e distribuição uniforme do peso e apoio. Animais limpos fornecem informações sobre a limpeza do ambiente, que nesse sistema de confinamento é a área de

descanso, onde estão às vacas. Mostram que o manejo do material de cama esta sendo eficiente. Esses resultados vão ao encontro de resultados de Back et al. (2013) que ao estudar o conforto de vacas em lactação confinadas em sistema *Compost Barn* verificaram que a área de descanso desse sistema proporciona melhoria na higiene dos animais se bem manejadas. Os autores relatam que a maior frequência e a profundidade do revolvimento da cama, aumenta a sua temperatura e diminui a sua umidade, e acrescentam que profundidades de revolvimento maiores que 0,203 m apresentam melhores resultados.

**Figura 3:** Resumo dos escores de claudicação (a) e higiene (b).



Muitos fatores influenciam a claudicação e a prevalência de lesões em bovinos leiteiros como, a genética dos animais, o tipo de cama, entre outros (COSTA et al., 2018). No caso do *free stall*, verifica-se as dimensões das baias e se utiliza areia ou borracha, no caso do *Compost Barn*, e observado o tipo de material de cama (serragem, palhada de milho, etc.), fatores estes que podem ser controlados.

Pode se observar que os escores 3 de higiene ficou abaixo de 10%, o que representa vacas limpas para os dois períodos estudados. Já o escore de claudicação apresentou 33.9% de animais com escore dois (2) no verão e 22.3% no inverno, verificou-se uma redução com os passar dos meses de animais com postura arqueada em estado de locomoção com ligeira alteração dos passos. Nenhum animal com escore três (3) nas duas estações foi observado, mas apresentou apenas 01 (um) animal no inverno com escore cinco (5). O animal apresentava incapacidade de sustentação do peso dos membros lesionados e recusa para se locomover-se. De modo geral, os resultados indicam um número muito baixo de animais com problemas de cascos, com pequeno aumento no inverno de animais com postura arqueada. Esse fato ocorreu segundo o proprietário devido à falta de mão de obra especializada pra realizar o casqueamento dos animais, haja vista a troca de funcionários nesse período.

Nesse sentido, vale ressaltar a importância de realizar o casqueamento das vacas de forma periódica, pois as lesões nos cascos diminuem o consumo de alimentos e os animais com dificuldade de se locomover procuram menos o cocho e, conseqüentemente ocorre perdas na produção de leite. De acordo com Bond et al. (2012) o animal afetado pela claudicação distribui o peso corporal de maneira desigual entre os quatro membros, levando a alterações na locomoção.

Recomenda-se realizar avaliações de escore de claudicação e higiene nos animais periodicamente, para avaliar o grau de injurias e limpeza dos animais confinados e com isso verificar o conforto dos animais na área de descanso (cama), ou seja, conferir se existe ou não a necessidade de adicionar mais material de cama (como a serragem), ou se a mesma precisa ser trocada. As fazendas onde os casos de claudicação são identificados e gerenciados de forma eficaz, ou seja, os animais tratados e cuidados são menos propensos a ter desempenho reprodutivo reduzido devido à claudicação, do que as fazendas onde a claudicação é

insuficientemente gerenciada (SOMERS et al., 2015).

Em resumo, para a análise dos escores de higiene e claudicação, com o passar dos meses, as vacas em lactação alojadas no sistema de confinamento no modelo *Compost Barn* apresentaram uma melhoria na limpeza e um número muito baixo de vacas com problemas de cascos, sendo as primeiras coletas realizadas no verão de 2016, e as demais coletas ocorridas no inverno de 2016. Vale ressaltar que está é uma análise pontual, realizada no sul de Minas Gerais, e que necessitam de mais pesquisas e amostras de outras fazendas que adotaram o modelo *Compost Barn* na região e no estado, portanto, não é representativa de todas as propriedades leiteiras dentro do estado de Minas Gerais - Brasil.

Em síntese, pode-se alegar que um sistema de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *compost barn* se bem administrado, com um manejo adequado da cama, uma boa combinação da ventilação natural com a ventilação forçada (ventiladores) têm uma alta possibilidade de proporcionar bem-estar e conforto às vacas confinadas. Black et al. (2014) afirma que modelo de confinamento *Compost Barn* fornece um ambiente confortável às vacas, mas deve ser cuidadosamente gerenciado para garantir que a saúde do úbere não seja comprometida. Esses autores recomendam um controle da umidade, temperatura, relação C: N da cama e o espaço por vaca na cama, para ajudar a reduzir algumas contagens de espécies bacterianas e a contagem de células somáticas.

Os bovinos leiteiros alojados em sistema de confinamento *Compost Barn* reduziu as lesões de claudicação e jarretes em comparação com aqueles alojados em sistemas de confinamento *free stall* (ROYÓN et al., 2013). Resultados semelhantes também foram encontrados em um estudo na região do Paraná, onde foi comparada a prevalência de claudicação e lesões nas pernas dos animais em lactação confinados em sistema *free stall, compost-bedded*

*packs*, e uma combinação desses dois sistemas no Brasil (COSTA et al., 2018). Os autores verificaram uma menor prevalência de claudicação e lesões no jarrete e no joelho dos animais em fazendas usando apenas *compost - bedded pack* sem comparação com aqueles que usam apenas *freestall* ou as fazendas de *freestall* que usaram um *compost -bedded packs* estrategicamente para vacas vulneráveis. Relataram que apesar da previsão original do estudo não foi encontrado benefício fornecido pelo *compost -bedded packs* para vacas vulneráveis em conjunto com o uso *free stall* (COSTA et al., 2018).

## **Conclusão**

Não foi verificado estresse térmico nos animais alojadas no confinamento no modelo *Compost Barn* na estação de verão e do inverno. Os parâmetros fisiológicos de temperatura retal, frequência respiratória e temperatura superficial da pele, se encontraram dentro dos limites de conforto animal. Existe um relacionamento maior entre a FR, TS e TR e os índices de conforto animal no verão, quando comparada com o inverno. Para a análise dos escores de higiene e claudicação, com o passar dos meses, as vacas em lactação alojadas nesse sistema apresentaram uma melhoria na limpeza e um número muito baixo de vacas com problemas de cascos.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) por apoio financeiro.

## **Referencias**

ARAÚJO, J. I. M. et al. Efeitos das variáveis climáticas sobre características fisiológicas de vacas

mestiças (Holandês x Gir) em lactação. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 14, p. 185-193, 2016.

AVILA, A. S. de et al. Evaluation and correlation of physiological parameters and bioclimatic indexes holstein cows in different seasons. **REGET**, Santa Maria, v. 14, n.14, p. 2878-2884, 2013.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**, 4ª ed. 5ª Impressão. Jaboticabal, Funep, 2015. 237 p.

BERTONCELLI, P. et al. Conforto térmico alterando a produção leiteira. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17, p. 762 - 777, 2013.

BLACK, R. A. et al. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v. 96, p. 8060-8074, 2013.

BLACK, R. A. et al. The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 2669–2679.2014.

BOND, G. B. et al. Métodos de diagnóstico e pontos críticos de bem-estar de bovinos leiteiros. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1286-1293, jul. 2012.

COOK, N.B.; REINEMANN D. A tool box for assessing cow, udder and teat hygiene, In: 46th NATL. MASTITIS COUNC. MTG. PROC. San Antonio, Texas. Natl. **Mastitis Council Inc.**,

Madison, Wis., 2007. p. 31-43.

COSTA, J. H. C. et al. Prevalence of lameness and leg lesions of lactating dairy cows housed in southern Brazil: Effects of housing systems, **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 3, p. 1 - 12, 2018.

ECKELKAMP, E. A. et al. Sand bedded free stall and compost bedded pack effects on cow hygiene, locomotion, and mastitis indicators, **Livestock Science**, v. 190, p. 48–57, 2016.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 1. ed. Lavras: Ed. Ufla, 2005. 664 p.

FERREIRA, D. F. 2011. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v.35, n. 6, p. 1039-1042.

FERREIRA, R. A. **Maior Produção com Melhor Ambiente: Para Aves, Suínos e Bovinos**. Viçosa, MG, 3ª ed. Aprenda Fácil, 2015. 526 p.

LESO, L. et al. Evaluating thermal performance of experimental building solutions designed for livestock housing: the effect of greenery systems **Agronomy Research**, v. 15, n.1, p. 239–248, 2017.

KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C. DE; JÚNIOR, H. S. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 598-607. 2005



MOURA, A. K. et al. Influências bioclimáticas e de ambiência no bem-estar de vacas leiteiras. **PUBVET**, Londrina, v. 4, n. 32, Ed. 137, Art. 926. 2010.

PILATTI, J. A.;VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal Animal Behaviour Biometeorology**, v. 5, p. 97-105. 2017.

PINHEIRO, A. da C. et al. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 280-293, 2015.

SILVA, S. **Comportamento e bem - estar de animais: a importância do manejo adequado para os animais de produção**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2016. 310 p.

SOUZA, P. T. de; SALLES, M. G. F.; ARAUJO, A. A. de. Impacto do estresse térmico sobre a fisiologia, reprodução e produção de caprinos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42,n. 10,p. 1888-1895, out. 2012.

ROYÓN, F. D.; ENDRES, M. I.; GARCÍA, Á. D. Cross-Ventilated Barns for Dairy Cows: New Building Design with Cow Comfort in Mind. **eXtension**, p. 1-14, 2013. Disponível em: <<http://articles.extension.org:80/pages/68439/cross-ventilated-barns-for-dairy-cows:-new-building-design-with-cow-comfort-in-mind>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

SOMERS, J. R. et al. The effect of Lameness before and during the breeding season on fertility in 10 pasture-based Irish dairy herds. **IRISH VETERINARY JOURNAL**, v. 68, n.14, p. 1-7. 2015.

SPRECHER, D. J.; HOSTETLER, D. E.;KANEENE, J. B.A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. **Theriogenology**, v. 47, n. 6 p. 1179–1187. 1997.

ZERO, R. C.; MELLO S. de P. Fatores ambientais na resposta fisiológica e comportamental de vacas leiteiras, **Nucleus Animalium**, v. 7, n. 2, 2015.

#### **ARTIGO 4**

Modelagem da temperatura da cama em galpões de composto revolvido com enxada rotativa e grade aradora

Este artigo é uma versão preliminar, enviado a Revista Científica Engenharia Agrícola (Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering), o conselho editorial poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.

## **Temperatura da cama em galpões de composto revolvido com enxada rotativa e grade aradora**

**RESUMO** - O sucesso do confinamento para bovinos leiteiros no modelo *compost barn* depende principalmente do manejo da cama, que consiste em seu revolvimento. Este trabalho tem como objetivo caracterizar a variabilidade espacial da temperatura da cama do confinamento de bovinos no modelo *compost barn*, bem como verificar se existe efeito eficiente no revolvimento da cama baseado em diferentes implementos agrícolas. O experimento foi conduzido durante o verão e inverno do ano de 2016, com 8 dias de coleta em cada período. Os dados foram analisados por meio de métodos de estatística descritiva e submetidos à modelagem geoestatística via semivariogramas e mapas de krigagem. Os resultados do teste t-pareado ao nível de significância de 5% indicam que depois de revolver a cama com a grade aradora ou enxada rotativa, os valores das temperaturas foram significativamente menores, dessa forma, verificou-se efeito eficiente no revolvimento da cama baseado em diferentes implementos agrícolas. Observou-se haver dependência espacial nos dados, com melhor ajuste dado por um modelo Gaussiano. Com os mapas de krigagem foi possível caracterizar a variabilidade espacial da temperatura da cama e visualizar sua condição no sistema *compost barn* ao longo da superfície e a 0.15 m de profundidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** aeração/oxigenação da cama, bovinos leiteiros, confinamento, implementos agrícolas, variabilidade espacial

## **Bed temperature in compost barns turned rotary hoe and offset disc harrow**

**ABSTRACT** - The success of confinement for dairy cattle in the Compost Barn model depends mainly on the management of the bed, which consists of its revolving. This paper aims to characterize the spatial variability of the bed temperature considering the Compost Barn confinement model, as well as to verify if there is an efficient effect in the bed revolving based on different agricultural implements. The experiment was conducted during the summer and winter of 2016, with 8 days of collection in each period. Data were analyzed through descriptive statistics methods and submitted to Geostatistical modeling semivariograms and kriging maps. The results of the t-test at the significance level of 5% indicated that after turning the bed with the plow or rotary hoe, the temperature values were significantly lower. Spatial dependence was observed on the data, with better adjustment given by a Gaussian model. Kriging maps allowed visualization of temperatures across the Compost Barn bed at the surface and at a 0.15 m depth. The construction and orientation of the shed influenced the temperature of the bed during the evening stirring period, which occurred in the second daily milking.

**KEYWORDS:** aeration / oxygenation of the bed, dairy cattle, confinement, agricultural implements, spatial variability

### **INTRODUCTION**

The confinement of dairy cattle in a compost barn (CB) is an alternative system of the Loose Housing system, where the animals stay loose and can walk freely inside a shed (rest area), influencing the welfare of the animals and, consequently, improving herd productivity levels (Black et al., 2013, Mota et al., 2018).

The success of the system depends mainly on the proper handling of the bed, which consists of its turning (Mota et al., 2017, Pilatti & Vieira, 2017). The management of bedding material provides a dry, comfortable and healthy environment in which cows can stand and walk on a soft surface (Leso et al., 2013). The most common materials used as bedding are sawdust and wood chips (Pilatti & Vieira, 2017). Small particulate materials such as finely processed straw, corn straw and wheat straw by products can also be used. However, care should be taken with other types of bedding materials, such as sand, dry manure or soil (Galama et al., 2015).

The bed needs to be turned frequently and this can be observed in CB experiments for dairy cows reported in the literature of USA, Israel and Italy, among others (Leso et al., 2013, Black et al., 2014). The indicated average temperature should be between 54.4 °C and 65.5 °C; the ideal bed humidity should range from 40 and 60% (Black et al., 2013), the C: N ratio should be 25–30:1 and the recommended animal density is 7.4–12.5 m<sup>2</sup> cow<sup>-1</sup> (Galama et al., 2015). These values should be controlled because the entire surface of the resting area is covered with a deep bed material (soft bed), which is often agitated by agricultural implements to incorporate fresh manure into that material and increase water evaporation (Leso et al., 2013; Galama et al., 2015).

This process of bed turning is necessary for aeration to occur, and this maintains its aerobic condition. The process is usually carried out when the cows go to the milking parlour. Normally the agricultural implements used for bed turning are rotary hoes, subsoilers and offset disc harrows (Galama et al., 2015, Mota et al., 2017).

The harrow revolves the bed through the discs that are widely spaced, and when cutting the bedding material, the disc plough removes semi-circular sections that help in the incorporation of oxygen to that material. The subsoiler is used to turn the deeper layers of the bed, preventing the deeper regions from becoming anaerobic, while the rotating hoe does not turn the deeper parts of the bed, but breaks up the materials that become compacted. In this manner, this decomposition of aggregate particles promotes oxygenation and increases the surface action of the microorganisms present in the bed, causing an increase in composting efficiency (Mota et al., 2017).

The composting bed CB refers to a mixture of faeces and urine produced by cows and organic bedding material (Leso et al., 2013). The biological activity generates heat and helps to dry the bedding material, and when this material begins to adhere to the cows, a clean material should be added to the bed (Galama et al., 2015).

Despite the increasing popularity of the CB system in Brazil, the scientific knowledge about this system is scarce and consequently requires more studies that can assist the milk producers in the process of decision making and planning. Therefore, it is important to encourage research related to dairy cattle facilities to maintain production at competitive levels. The objective of this research was to characterise the spatial variability of the bed temperature in the confinement system in the compost barn model, as well as to verify if there was an effect on bed turning efficiency based on different agricultural implements.

## **MATERIAL AND METHODS**

The research was carried out in a compost barn confinement for dairy cattle, on a rural property in the municipality of Três Corações in the state of Minas Gerais. According to the Köppen international classification, the climate of the region is of the Cwa type, characterised by two well-defined seasons: a dry and cooler temperature, which extends from May to September, and a humid and warmer temperature from October to April. The average annual temperature is 20.2 °C, and the annual rainfall is 1.401 mm.

The experiment was conducted during the summer (VER treatment) and winter (INV treatment) of 2016 and was divided into 8 days of collection each for the VER and the INV. The data recording was carried out on January 10, 13, 17, 20, 24, 27, 31 and February 3 for summer and on July 10, 13, 17, 20, 24, 27, 31 and August 3 for winter. Data were recorded using a model 3000 Kestrel<sup>®</sup> brand portable data recorder that measured relative air humidity with  $\pm 3\%$  reading accuracy and temperature (accuracy  $\pm 1$  °C). The average air temperature and the external relative humidity of the shed during the data collection days were obtained with a model TTWH-1080 Instrutemp portable weather station with appropriate sensors to collect and store the data.

The shed in system compost barn (CB) with a Northwest to Southwest orientation, was 18.70 m wide by 50 m long, with a 4 m right foot, and a 6 m ridge. A 13  $\times$  50m rest area with beds was divided into 3 lots (high milk production, average milk production and low milk production), separated by means of electric fencing, and this was the area used for analysis. The shed had a feeding corridor measuring 3  $\times$  50 m with a feeder (trough of bulk) throughout the length of the shed. There was another corridor measuring 2  $\times$  50 m with four drinking troughs measuring 0.50  $\times$  2 m (trapezoidal bottoms) with the capacity for 300 L of water. The shed also had three mineral troughs and five centralised fans at a height of 3.20 m in the Roster seating area

(with six propellers). Each fan provided a flow of 48,000 m<sup>3</sup> of air per hour.

The superficial temperature data (S) of the CB bed were collected using a model GM-300 laser sight IR thermometer, with a temperature range of -50–380 °C (-50 at 0 °C) +/- 2 °C and (0 to 380 °C) +/- 1.5 °C. The bed temperature data for the CB at a depth of 0.15 m (P) were collected by a model ICEL Manaus TD-100 thermometer. There were 36 systematic samples collected for S and P, before and after to be the bed was turned during the afternoon period, at the time of the second milking at 16:00 hours, in a regular grid (Yamamoto & Landim, 2013) with 36 georeferenced points, distributed evenly along the shed with a 2.6 × 5 m spacing (Figure 1).

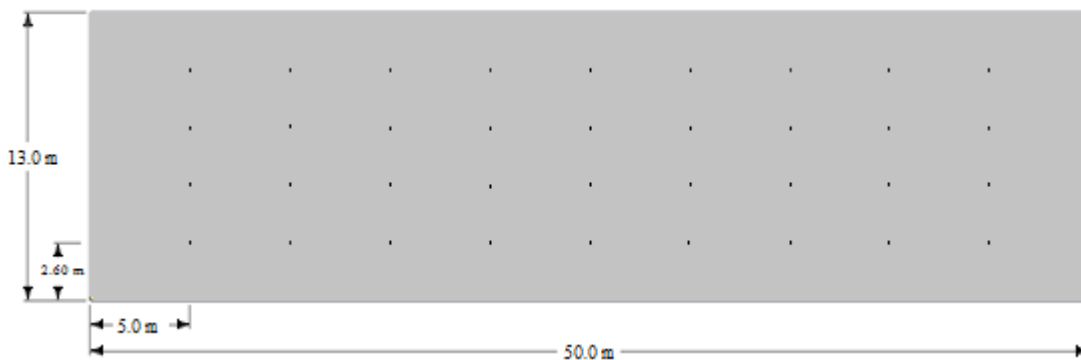


FIGURE 1 - Regular grid with 36 points used to record the bed superficial (S) and 0.15 m depth (P) temperatures.

The agricultural implements evaluated were a Santa Isabel model harrow with 28 discs angled of approximately 20° that were set to a 0.20 m depth and a Selecta tilth model rotary hoe with seven cutting knives, with a depth adjustment of 0.0–0.20m. There were eight days of sample collections in the summer of 2016, using the harrow for turning the bed (Figure 2a) and eight days of collection in the winter of 2016 using the rotary hoe (Figure 2 b).





FIGURE 2 - Agricultural implements used to turn the bed. (a) disc harrow; (b) rotary hoe.

Initially, data for all collection days and the data average for the eight days each of summer and winter collection were analysed using descriptive statistics analysis procedures. The objective was to visualise the general behaviour of the data, determining position and dispersion measures, such as the mean, median, maximum (max) and minimum (min) values, standard deviation and coefficient of variation (Silva et al., 2012). Then the Shapiro Wilk test was applied to verify the normality of the data, the F test to compare two variances and the means test to compare paired data (Torman et al., 2012, Oliveira et al., 2014). There was a level of significance of  $\alpha > 0.05$  for all of the tests mentioned. Subsequently, only the data referring to the average of the eight days of summer collection and the average of the eight days of winter collection were submitted to geostatistical modelling to verify the spatial variability of the data. This was done through the construction of semivariograms and kriging maps.

The semivariograms were estimated using the classical Matheron estimators, given by (Yamamoto & Landim, 2013):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{j=1}^{N(h)} [z(x_j + h) - z(x_j)]^2 \quad (1)$$

where  $N(h)$  is the number of possible pairs for the distance  $h$ ,  $\hat{\gamma}(h)$  is the semivariance for a distance  $h$ ,  $z(x_j)$  e  $z(x_j + h)$  are the observations, surface temperature and temperature at 0.15 m separated by the vector  $h$  and  $h$  is the separation distance of the observations.

For the adjustment of the theoretical semivariogram, the OLS method was used. The spherical, Gaussian, exponential and linear isotropic statistical models were compared according to Yamamoto & Landim (2013), and they are defined by:

Spherical Model

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + Ch & h > a \end{cases} \quad (2)$$

Gaussian Model

$$\gamma(h) = C_0 + C \left( 1 - \exp \left( -3 \left( \frac{h^2}{a^2} \right) \right) \right), \text{ se } 0 \leq h \leq d \quad (3)$$

Exponential Model

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ 1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)} \right] & \text{para } 0 < h < a \\ C_0 + C & \text{para } h > a \\ 0 & \text{para } h = a \end{cases} \quad (4)$$

Linear Model

$$y(h) = \begin{cases} C_0 + \frac{C}{ah} & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C & h > a \end{cases} \quad (5)$$

where  $\gamma(h)$  is the semivariance for the distance  $h$ ,  $C_0$  is the nugget effect,  $C_0 + C$  is the sill,  $a$  is the range of spatial dependence and  $\frac{C}{a}$  is the angular coefficient for  $0 \leq h \leq a$ .

From the set of results obtained by the classic estimators for the three models, their parameters were estimated, and the best model was selected according to the approximation of the value of the Akaike Criterion (AIC), given by:

$$|AIC| = 2p + n \cdot \ln \left( \frac{RSS}{n} \right), \quad (6)$$

where  $n$  is the number of observations,  $p$  is the number of parameters, and  $RSS$  is the sum of squares of residues, and the model with the lowest value of AIC was considered to be the best (Mota et al., 2008).

The relationship:

$$\left( \frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100, \quad (7)$$

was used to evaluate the degree of spatial dependence (SD) of the variables according to Cambardella et al. (1994), which classifies strong, moderate and weak SD values, when they have a nugget effect  $< 25\%$ ,  $25-75\%$ , and  $> 75\%$  of the sill, respectively. If the relation is greater than  $100\%$ , the variable is considered spatially independent.

When spatial dependence occurs, the values not measured can be estimated without trends

and with minimum variance in order to obtain information about the variable (through mapping). In these cases, it is necessary to use a geostatistical interpolator to generate a smoothed surface of the contour maps. Among the several interpolators in the literature, ordinary kriging has been used, which estimates everywhere, except where field observations are available, at which it reproduces the measured value (Yamamoto & Landim, 2013). To verify if ordinary kriging adequately described the spatial variability of the variables studied, cross validation was used.

$R^2$  (coefficient of determination), and the RSS (sum of squares of residues) were used as criteria for the cross-validation. The best fit was reached when the correlation and determination coefficients were close to a value of 1, and there was an adjacent zero intercept and an adjacent angular coefficient of 1 (Assumpção & Hadlich, 2017). For RSS, smaller values correspond with better semivariogram models. The analyses were performed in R software (R Core Team, 2016) and GS+.

## RESULTS AND DISCUSSION

The mean air temperature and the average relative air humidity inside the shed during the summer and winter collection days are shown in Figures 3 and 4. The mean values of external temperature in the summer and winter of 2016 were 26.5 and 21.2 °C, respectively, and mean humidity values were 72% in summer and 58% in winter.

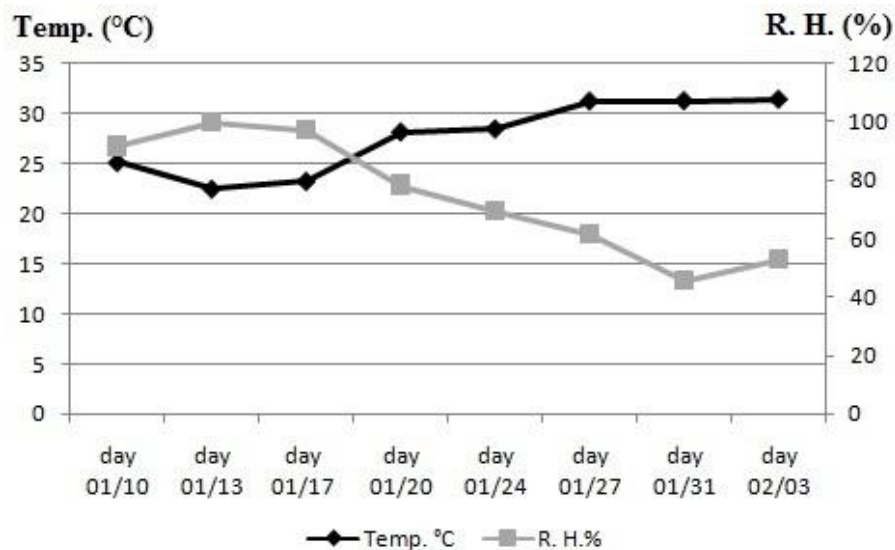


FIGURE 3– Variation of temperature (°C) and relative humidity (%) inside the experimental shed in the summer period.

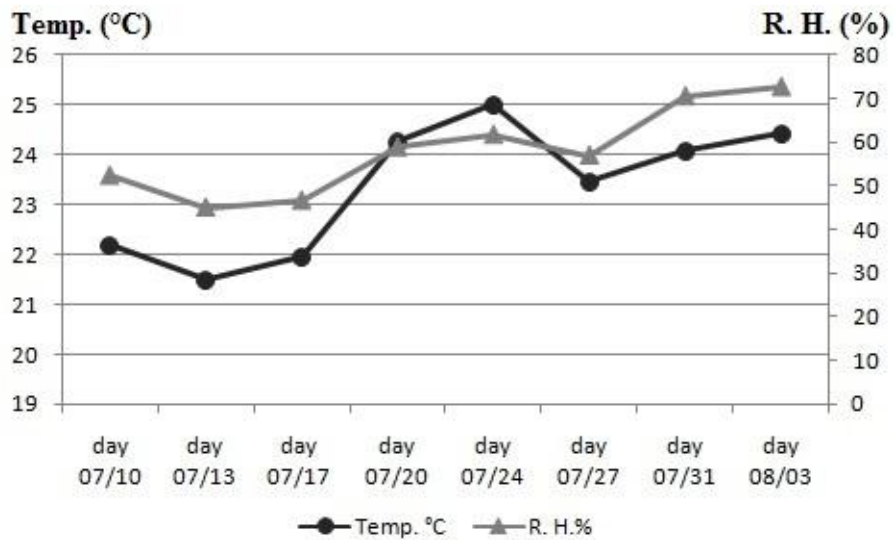


FIGURE 4 - Variation of temperature (°C) and relative humidity (%) inside the experimental shed during the winter period.

From the average temperature of the confinement bed in the compost barn model (Table 1), the maximum temperature at a depth of 0.15 m (P) obtained in summer 2016 before being turned was around 40.9 °C and after turning around 41.8 °C. This was below the ideal for this model of confinement. The average temperature indicated according to Leso et al. (2013) and Black et al. (2014) must be between 54.4 and 65.5 °C. The same was observed with the maximum temperature at the depth of 0.15m (P), obtained in winter 2016, although it had higher values, 42.8 and 44.3 °C, before and after turning, respectively.

TABLE 1 - Descriptive statistics and paired t-test results( $\alpha = 0.05$ )for the mean values of the eight days of superficial (S) and depth of 0.15m (P) temperature collection of bedding in the compost barn.

	(G - VER)		(E -INV)	
	Before	After	Before	After
Min. (S)	22.912	24.525	15.762	17.337
Min. (P)	26.572	29.557	25.044	30.200
Max. (S)	26.543	29.481	22.050	22.762
Max. (P)	40.894	41.831	42.722	44.275
Median (S)	24.387	26.140	17.925	19.250
Median (P)	30.922	33.584	29.433	33.231
Mean(S)	24.537	26.139	18.167	19.525
Mean (P)	32.117	34.054	30.746	34.343
Standard deviation (S)	0.864	1.277	1.401	1.301
Standard deviation (P)	3.554	2.677	4.230	3.555
Coefficient of Variation (S)	3.52%	4.88%	7.71%	6.66%
Coefficient of Variation (P)	11.06%	7.86%	13.75%	10.35%
Paired t-test (S)	5.817e <sup>-11*</sup>		5.775e <sup>-06*</sup>	
Paired t-test (P)	2.455e <sup>-14*</sup>		1.218e <sup>-13*</sup>	

\* significant at a 5% probability. Harrow in summer (G - VER) and rotating hoe in winter (E - INV).

The surface temperature was within the expected range, with higher values in summer and lower temperatures in winter, for both minimum (Min) and maximum (Max) temperature values before and after being turned, using the harrow in summer and the rotating hoe in winter. The coefficient of variation is a way of expressing the variability of the data, so when the value of the coefficient of variation was smaller the dispersion around the mean was smaller. The superficial and 0.15m temperatures before and after the bed was turned had low coefficients of variation ( $CV \leq 15\%$ ), indicating data homogeneity and low dispersion (Nazareno et al., 2016).

The data were normal, and the variances were homogeneous according to the F test for the VER treatment, so the t-test was applied to the paired samples. The results indicated that there was a significant difference between the means of the two samples, and we concluded that the

differences in CB bed temperature before and after being rotated with the harrow were significant.

For the rotational hoe used in the winter, the data also had a normal distribution according to the Shapiro-Wilk normality test, and the variances were homogeneous, so the paired t-test was used.

The results of the t-test at the significance level of 5% indicated that, after turning the bed with the harrow or rotating hoe, the values of the temperatures were significantly lower, indicating that there was an efficiency effect on the bed turning from these agricultural implements

The bedding material needs to be turned daily for aeration to occur and to maintain aerobic conditions. Biological activity produces heat that assists in drying the bed, and when this material begins to adhere to cows, a clean, dry material should be added (Galama et al., 2015).

Mota et al. (2018), states that turning the material of the bed properly reduces the moisture and increases bed temperature, improving the composting process, with reduction in pathogenic microorganisms.

From the results of the geostatistical modelling in summer (for the theoretical models and estimated parameters of the semivariograms), a strong spatial dependence was observed for temperature at the surface and at the depth of 0.15m of the confinement bed for dairy cattle in the compost barn model in the summer of 2016 (Table 2). The exception was the linear model that showed a weak spatial dependence for the surface temperature before being turned and a moderate dependence for the other variables.

For the superficial temperature in summer, there was a better fit for the "Gaussian" model, with lower AIC and RSS values when compared with the spherical, exponential and linear models. As for temperature at the depth of 0.15m during the summer of 2016, the results were similar. A better adjustment of the "Gaussian" model was observed, with a high degree of spatial dependence, or the semivariograms had a nugget effect equal to or less than 25% of the level and with lower AIC and RSS values while having higher  $R^2$  values.

TABLE 2 - Estimation of the nugget effect parameters ( $C_0$ ), sill ( $C_0 + C_1$ ), range ( $a$ ), approximation of value of the Akaike Criterion (AIC), degree of spatial dependence (SD), coefficient of determination ( $R^2$ ) and the sum of squares of residues (RSS) of the "spherical" (Sph.), "Gaussian" (Gaus.), "exponential" (Exp.) and "linear" (Lin.) adjusted to the experimental semivariograms, relative to the superficial and 0.15m depth temperatures of the confinement bed for dairy cattle in the compost barn model in the summer of 2016.

	Superficial - summer							
	Before				After			
	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.
$a$	6.69	5.438	7.74	17.0	6.84	5.96	9.87	17.0
$C_0$	0.001	0.001	0.001	0.66	0.001	0.141	0.001	1.41
$C_0 + C_1$	0.824	0.829	0.837	0.846	1.946	1.965	2.051	2.09
AIC	-9.37	-9.46	-8.81	-7.83	-1.69	-1.73	-1.64	-1.06
SD%	0.121	0.120	0.119	78.014	0.051	7.175	0.048	67.464
$R^2$	0.453	0.454	0.342	0.054	0.259	0.263	0.243	0.073
RSS	0.214	0.208	0.258	0.358	2.77	2.73	2.82	3.42
	Depth 0.15m - summer							
	Before				After			
	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.
$a$	8.51	4.12	3.74	17.0	8.14	3.99	4.02	17.0
$C_0$	0.01	0.01	0.01	9.45	0.01	0.01	0.01	5.18
$C_0 + C_1$	14.32	14.55	14.97	14.99	8.71	8.85	9.33	9.65
AIC	11.375	11.174	11.628	12.380	7.177	6.918	7.441	8.284
SD%	0.069	0.068	0.066	63.042	0.114	0.112	0.107	53.678
$R^2$	0.366	0.386	0.302	0.057	0.45	0.468	0.375	0.13
RSS	216	202	235	302	53.3	48.9	58.2	77.1

The values of AIC and SD and the estimates of the parameters of the theoretical semivariogram models for the surface temperature and temperature in the depth of 0.15m of the confinement bed for dairy cattle in the compost barn model in the winter of 2016 are shown in Table 3.

A better fit of the "Gaussian" model was observed, with moderate spatial dependence on

before and after surface temperature and a strong degree of spatial dependence for the temperature at a depth of 0.15m.

TABLE 3 - Estimation of the nugget effect parameters ( $C_0$ ), sill ( $C_0 + C_1$ ), range ( $a$ ), approximation of value of the Akaike Criterion (AIC), degree of spatial dependence (SD), coefficient of determination ( $R^2$ ) and the sum of squares of residues (RSS) of the "spherical" (Sph.), "Gaussian" (Gaus.), "exponential" (Exp.) and "linear" (Lin.) models adjusted to the experimental semivariograms, relative to the superficial temperature and temperature in the 0.15m depth of the confinement bed for dairy cattle in the compost barn model in the winter of 2016.

	Superficial - winter							
	Before				After			
	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.
$a$	33.60	16.49	20.15	17.0	30.71	15.63	23.78	17.00
$C_0$	0.552	0,921	0.41	0.591	0.369	0.558	0.314	0.3969
$C_0 + C_1$	3.24	3.32	3.83	2.47	1.642	1.698	2.25	1.34
AIC	- 3.30	-3.37	-3.21	-3.34	-7.31	-7.34	-7.26	-7.34
SD%	17.04	27.74	10.70	23.93	22.47	32.86	13.95	29.61
$R^2$	0.56	0.57	0.55	0.56	0.553	0.559	0.547	0.558
RSS	1.62	1.58	1.67	1.60	0.426	0.421	0.432	0.421
	Depth 0.15m - winter							
	Before				After			
	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.	Sph.	Gaus.	Exp.	Lin.
$a$	10.27	8.07	13.83	17.00	8.07	6.72	10.83	17.00
$C_0$	0.01	0.01	0.01	11.84	0.01	0.01	0.01	9.69
$C_0 + C_1$	23.81	23.91	25.26	26.22	15.31	15.49	16.02	16.65
AIC	10.94	10,44	11.68	13.08	6.69	6.01	7.781	9.56
SD%	0.042	0.042	0.039	45.16	0.065	0.064	0.062	58.19
$R^2$	0.67	0.70	0.57	0.24	0.76	0.78	0.60	0.19
RSS	187.0	158.0	239.0	381.0	45.3	36.1	65.2	118.0

The results obtained from the analysis of bed temperature behaviour corroborate with those presented by Carvalho et al. (2011) in his research. These authors analysed the quality of reused



chicken beds and air in commercial production aviaries with different ventilation systems and typology through geostatistical analysis. They identified spatial dependence, characterised by adjustment of the theoretical models of semivariograms, and with better adjustment of the spherical model to the bed temperature of the aviary, the authors concluded that the geostatistical analysis assisted in the identification of critical points in the control of the environments studied.

Figure 5 and 6 show the bed superficial temperature distribution and the temperature at 0.15m depth for the VER and INV treatments, using the harrow and the rotary hoe, respectively. In the surface temperature of the bed in the treatment summer (Figure 5) before and after being turned by the grid harvester, it was observed that there was a small change, with higher values in proximity to the electric fence that separates the pickets with small islands of temperature above 25.6 °C.

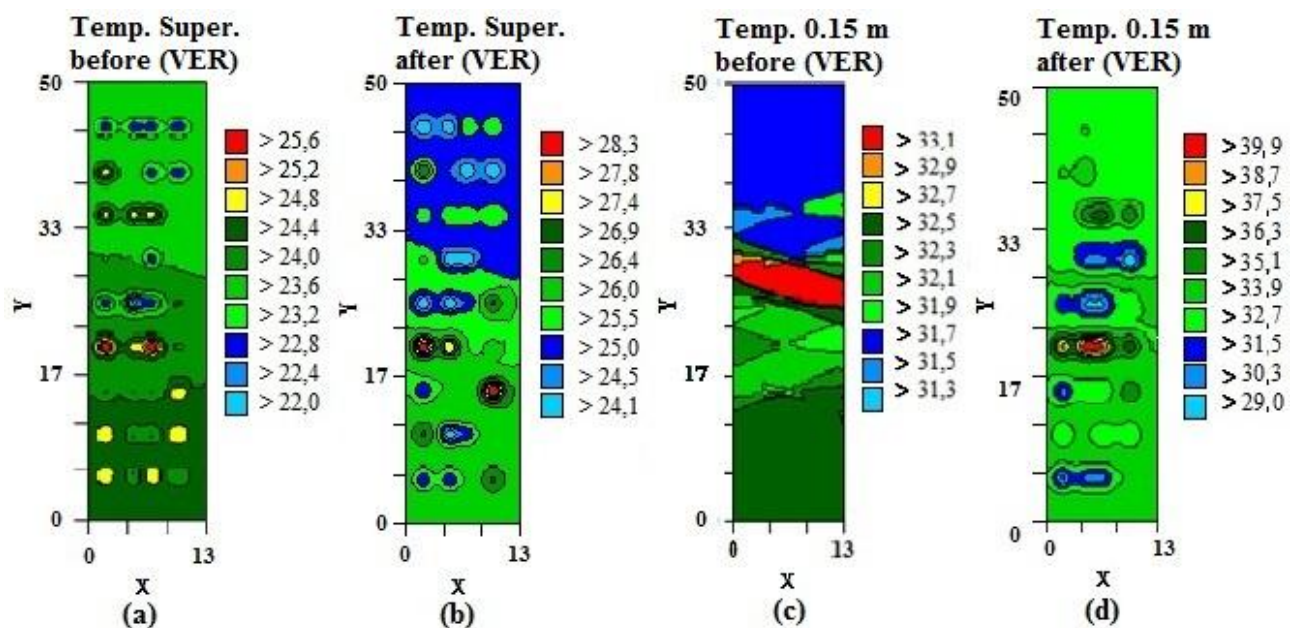


FIGURE 5 - Maps of kriging for summer 2016.(a) surface temperature of the bed before being stirred, (b) bed surface temperature after turning, (c) bed 0.15m temperature before turning and (d) 0.15 m temperature of the bed after it was turned.

For the temperatures at 0.15 m depths, lower temperatures were observed in the region near the exit of the shed, where the afternoon sun was not predominant, which indicated that the position of the installation influenced the homogeneity of the bed temperature. After turning, with

the stirring of the bed material, there was a greater homogeneity of temperature throughout the shed, maintaining the highest temperature near the picket divisions, with temperatures above 39.9 °C.

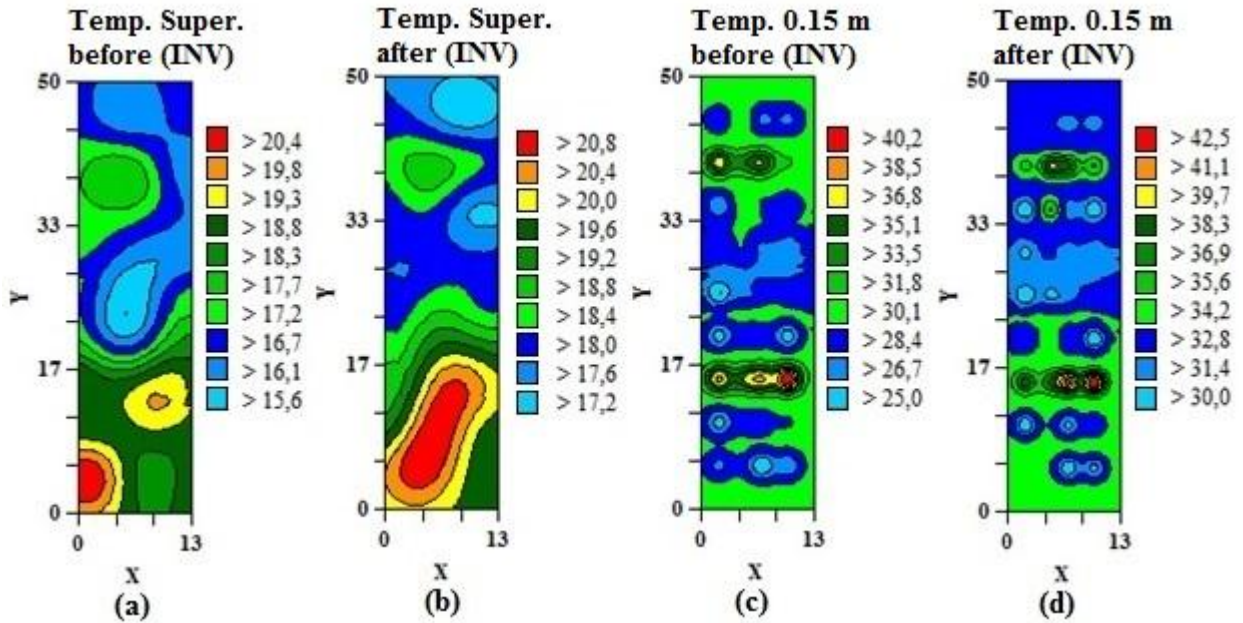


FIGURE 6 - Maps of winter kriging of 2016.(a) surface temperature of the bed before being stirred (b), bed surface temperature after turning (c) 0.15 m bed temperature before turning and (d) 0.15m temperature of the bed after it was turned.

In winter (Figure 6), the surface temperature had higher values near the entrance with islands (red dots on the map) of 20.4 °C, which indicated that the afternoon sun influenced this temperature. Additionally, in the other part of the shed the afternoon surplus and dominant surface temperatures were higher than 15.6 °C, and, even after turning with the rotating hoe, the difference at that point was small, increasing to 17.2 °C. While in the winter, the temperatures at 0.15 m had presented higher values (42.5 °C) when compared to the summer, with islands of temperature also in the divisions of the pickets, which are the divisions with the electric fence (the colours red and orange in the map).

## CONCLUSION

Geostatistics allowed us to characterise the variability and spatial dependence of the surface and 0.15 m depth temperatures of the bed in the compost barn confinement during the summer and winter seasons, for milk cattle. The turning of the bed by means of the harrow and rotary hoe enabled the reduction of temperature in both assessment layers.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) for financial support.

## REFERENCES

Assumpção HCP, Hadlich GM (2017) Estatística descritiva e estacionaridade em variáveis geoquímicas ambientais. *Engenharia Sanitária. Ambiental.* 22(4):671–677. DOI:10.1590/S1413-41522017142739

Black RA, Taraba JL, Day GB, Damasceno FA, Bewley JM (2013) Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. *Journal of Dairy Science* 96:8060–8074.

Black RA, Taraba JL, Day GB, Newman MC, Akers KA, Wood CL, McQuerry KJ, Bewley JM (2014) The relationship between compost bedded pack performance, management, and bacterial counts. *Journal of Dairy Science* 97:2669–2679. DOI: 10.3168/jds.2013-6779

Cambardella CA, Moorman TB, Novak J, Parkin TB, Karlen DL, Turco R, Konopka AE (1994). Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal, Madison* 58(5):1501–1511. DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Carvalho TMR de, Moura DJ de, Souza ZM de, Souza GS de, Bueno LG de F (2011) Qualidade da cama e do ar em diferentes condições de alojamento. *Pesq. Agropec. Bras. Brasília* 46(4):351–

361.

Galama PJ, Boer HC de, Dooren HJC van, Ouweltjes W, Driehuis K (2015) Aspects of ten bedded pack dairy barns in the Netherlands, Wageningen UR Livestock Research: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/489726>. Acesso: Ago 18, 2017.

Leso, L. Uberti M, Morshed W, Barbari M (2013) Survey of Italian compost dairy barns. *Journal of Agricultural Engineering* 44(3):120–124. DOI:10.4081/jae.2013.e17

Mota VC, Lima RR de, Alves M de C, Oliveira MS, Carvalho LG de (2008). Dependência temporal da precipitação pluvial e da temperatura do ar em Juiz de Fora, MG, por meio de análises geoestatísticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 16(3):249–258.

Mota VC, Campos AT, Damasceno FA, Resende EA de M, Rezende CP do A, Abreu LR de, Vareiro T (2017) Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características. *PUBVET, Maringá* 11(5) :433–442. DOI:<http://dx.doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.433-442>

Mota VC, Damasceno FA, Leite DF (2018) Fuzzy clustering and fuzzy validity measures for knowledge discovery and decision making in agricultural engineering. *Computers and Electronics in Agriculture* 150: 118–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

Nazareno AC, Silva IJO da, Fernandes DPB (2016) Prediction of mean superficial temperature of broiler chicks and load microclimate during transport. *Eng. Agríc. Jaboticabal* 36(4):593–603.

Oliveira FL de, Siqueira JC de, Santos J da C dos, Pereira WG (2014) Equações de predição da energia digestível de ingredientes protéicos de origem vegetal utilizados em rações para tilápias. *Cad. Pes.* 21:1–9.

Pilatti JA, Vieira FMC (2017) Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. *J. Anim. Behav. Biometeorology* 15:97-105.

R Development Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Silva M da S, Pandorfi H, Almeida GLP. de, Guiselini C, Caldas AM, Jacob AL (2012) Análise espacial das condições térmicas do ambiente pré-ordena de bovinos leiteiros sob regimes de climatização. R. Bras. Agríc. Ambiental 16(8):903–909. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000800013>.

Torman VBL, Coster R, Riboldi J (2012) Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. Revista HCPA32(2):227–234.

Yamamoto JK, Landim PMB (2013) Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Editora Oficina de Letras, 215p.

## **ARTIGO 5**

Adaptive neuro-fuzzy network for the estimation of the overall bacteria count on residuals of  
Compost Bedded Pack

Este artigo está redigido conforme a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2003a). Esse formato segue o manual da UFLA de apresentação de teses e será um artigo padrão que poderá atender, em qualquer momento, qualquer norma de revista científica.

## **Adaptive neuro-fuzzy network for the estimation of the overall bacteria count on residuals of Compost Bedded Pack Barns**

**Abstract** - The bed of confinement sheds for dairy cattle in the compost barn model has a great impact on the quality and productivity of the animals. Analyzing the bed is fundamental for the success of this type of confinement and related agricultural engineering endeavors. The objective of this study is to develop a nonlinear model to estimate the amount of bacteria on compost barn beds. From easy-to-measure variables, estimations can be given by the model and therefore expensive and slow laboratory analyses are avoided. An adaptive neuro-fuzzy inference system, known as ANFIS, which is essentially a fuzzy inference system of the Takagi-Sugeno type represented as a neural network is considered. The research was carried out on dairy cattle confinement located in a rural property in Três Corações, a city in Brazil. Attributes of the compost bed acquired from the resting area of the animals were investigated. Different fuzzy membership functions and machine learning algorithms, such as Fuzzy C-Means and the hybrid Least Squares-Error Backpropagation algorithms, were evaluated on the construction of the ANFIS model. The root mean square error of the bacteria estimations was useful as an evaluation metric. Results show that ANFIS can predict the overall bacteria count with reasonable accuracy. The best ANFIS setting uses five easily-measurable-from-sensors attributes (pH, moisture, temperature at surface and at 0.15m deep, and fixed mineral residue), Gaussian antecedent membership functions properly placed in the data space by the Fuzzy C-Means algorithm, and the Least Squares algorithm to adapt the parameters of affine consequent functions. Moreover, a simplified model with four attributes – excluded the fixed mineral residue – using generalized bell membership functions is suggested alternatively at the price of a slight reduction in estimation accuracy.

**Keywords:** Adaptive Neural Network, Bacteria Count Estimation, Fuzzy System, Agricultural Engineering.

## **Rede neuro-fuzzy adaptativa para estimação da contagem total de bactérias no resíduo de galpões com cama de compostagem**

**Resumo** - A cama para galpões de confinamento para bovinos leiteiros no modelo *Compost Barn* apresenta grande impacto na qualidade e na produtividade dos animais. Analisar a cama é fundamental para o sucesso deste tipo de confinamento e empreendimentos relacionados à engenharia agrícola. O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo não-linear para estimar a quantidade de bactérias nos galpões de compostagem. A partir de variáveis fáceis de mensurar, as estimativas podem ser fornecidas pelo modelo e, portanto, análises laboratoriais caras e lentas são evitadas. Um sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo, conhecido como ANFIS, que é essencialmente um sistema de inferência fuzzy do tipo Takagi-Sugeno representado como uma rede neural é considerado. A pesquisa foi realizada em confinamento de bovinos leiteiros localizado em uma propriedade rural em Três Corações, uma cidade no Brasil. Atributos do leito de composto adquirido da área de repouso dos animais foram investigados. Diferentes funções de associação fuzzy e algoritmos de aprendizado de máquina, como os algoritmos Fuzzy C-Means e os algoritmos híbridos Least Squares-Error Backpropagation, foram avaliados na construção do modelo ANFIS. O erro quadrático médio das estimativas de bactérias foi útil como uma métrica de avaliação. Os resultados mostram que o ANFIS pode prever a contagem geral de bactérias com razoável precisão. A melhor configuração ANFIS usa cinco atributos facilmente mensuráveis de sensores (pH, umidade, temperatura na superfície e a 0,15 m de profundidade, e resíduos minerais fixos), funções de associação do antecedente Gaussiano colocadas adequadamente no espaço de dados pela algoritmo Fuzzy C-Means para adaptar os parâmetros de funções consequentes afins. Além disso, um modelo simplificado com quatro atributos - excluídos os resíduos minerais fixos - usando funções de associação sino generalizadas é sugerido alternativamente ao preço de uma ligeira redução na precisão das estimativas.

**Palavras - Chaves:** Rede Neural Adaptativa, Estimação do Número de Bactérias, Sistema Fuzzy, Engenharia Agrícola.



## **Introduction**

The bed for confinement sheds for dairy cattle in the Compost Barn (CB) model has a great impact on the quality and productivity of these sheds, being an item of great importance for the handling and success of this type of confinement.

The bed material offers conditions of porosity and maintenance of moisture level, with rapid degradation of organic matter. This process requires a continuous balance of oxygen, carbon and nitrogen for its development, and the oxygen of the compound comes from the movement of the bed and the air that diffuses to the surface of the bed, and that surface should be fluffy to aid in the infiltration of air.

Composting of the bed in the Compost Barn system consists of a mixture of the bed's carbon source and the nitrogen-rich organic matter from the feces and urine (BEWLEY; BLACK, 2014). The bed needs to be revolved frequently and can be observed in experiments with CB for dairy cows reported in the USA, Israel and Italy literature, among others (LESO et al., 2013, BLACK et al., 2014), that the indicated mean temperature should be between 54.4 °C and 65.5 °C (JANNI et al., 2007); the ideal bed humidity should vary from 40% to 60% (BLACK et al., 2013), the C: N ratio of 25: 1 - 30: 1 and the recommended animal density is 7.4 to 12.5 m<sup>2</sup> cow-1 (JANNI et al., 2007; GALAMA, 2011).

The materials used as the most common bedding are: sawdust, wood chips and wood chips (PILATTI; VIEIRA, 2017). Small particle materials such as finely processed straw, corn straw and wheat straw byproduct can also be used (MOTA et al., 2017). However, care should be taken with other types of bedding materials, such as sand, dry manure or soil (GALAMA et al., 2015). It is important to note the importance of the study of bedding used in Compost Barn and the knowledge of the variables, bed temperature, humidity, pH, C:N ratio, aeration, amount of organic matter and activity of bacteria and microorganisms, to analyze and evaluate the quality of composting efficiency.

Another essential factor for the adequate management of this confinement system is to maintain adequate physical-chemical characteristics in the bed substrate in order to promote aerobic microbial activity (BLACK et al., 2013). Within this context, it is understood that knowing the composting factors of the bed is an indispensable tool for producers working with dairy cattle, for helping to make decisions on a wide diversity of options of use of this bed, which can be applied in the urban (domestic in gardens) or rural and can add value to the property.

There are some studies on computational modeling related to bed conditions inside intensive production sheds (MOTA et al., 2017; MOTA et al., 2018), as well as studies related to composting factors (GIUSTI; MARSILI-LIBELLI, 2010; NEUGEBAUER et al., 2014). In particular, the modeling methods to be considered in this work are inference methods under Fuzzy rules (ZADEH, 1965; SUGENO, 1985).

The objective of the development of a monitoring and classification for compost sheds is to analyze variables related to the system of confinement of dairy cattle to infer about the composting factors of the bed. These include the composition of microbial communities and environmental parameters such as humidity, temperature, pH and aeration. For this, we will use Fuzzy models of the Takagi-Sugeno type developed from data. The objective of this study is to develop a nonlinear model to estimate the amount of bacteria on compost barn beds. An adaptive neuro-fuzzy inference system, known as ANFIS, which is essentially a fuzzy inference system of the Takagi-Sugeno type represented as a neural network is considered.

The construction of the Takagi-Sugeno model will take into account data grouping algorithm, such as the Fuzzy C-Means (FCM) algorithm. In addition, a Least Squares algorithm variant will be used to adjust parameters of local linear functions. Fuzzy systems allow modeling from data and modeling from expert knowledge (LEITE; COSTA; GOMIDE, 2013).

Intelligent systems studies are motivated by the need to improve results on complex issues of classification, data grouping, prediction and approximation of functions, as well as being used to quantify the interactions of the environment and bed variables on the performance of confinement systems.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II describes the data clustering methods considered for evaluation and analyze, viz. Fuzzy C-Means (FCM) and ANFIS (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System. In addition, this section addresses procedures to set initial parameters of algorithms, and indexes to validate the resulting classification models. Section III describes the methodology and details the data acquisition and processing procedures. Approximation of functions and results are presented and discussed in Section IV. Concluding remarks and suggestions for future work are presented in Section V.

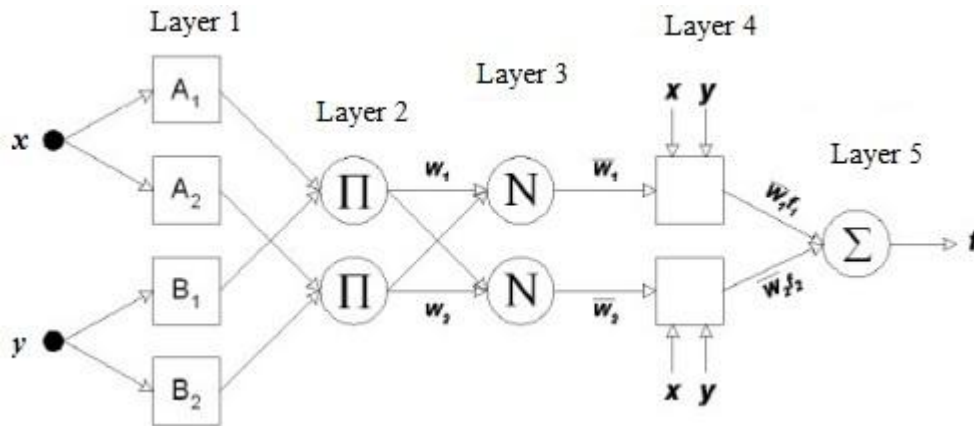
## II - Fuzzy Modeling

### a)ANFIS (Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System)

The neuro fuzzy adaptive systems combine the flexibility of the fuzzy systems, provided by the rules, with the architecture of Neural Networks that provides adaptive learning through training data, adjusting adaptively the parameters of the pertinence functions. For example, the ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) is based on the fuzzy model of Takagi-Sugeno-Kang (TAKAGI; SUGENO, 1985) with a direct five-layer architecture (LUDWIG JÚNIOR; SCHNITMAN; LEPIKSON, 2004).

In this paper, the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) is used Jang (1993) to define membership functions and generate fuzzy rules based on the training and validation features vectors/labels pairs. Figure 1 illustrates the architecture of an ANFIS consisting of two rules and which receives two input variables mapping each to two distinct nebulous sets.

Figure 1 - ANFIS architecture.



Source: (Jang, 1993).

ANFIS can be used with the Takagi-Sugeno inference model only and has a single output variable that can be a constant (zero-order model) or linear (first-order model). In this article, we consider the architecture of an ANFIS that implements the Takagi-Sugeno type of rules model. For example, to present the architecture of ANFIS (Fig. 1), we will consider two fuzzy IF-THEN rules based on a first order Sugeno model, we have:

Rule (1): IF  $x$  is  $A_1$  AND  $y$  is  $B_1$ , THEN  $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$ .

Rule (2): IF  $x$  is  $A_2$  AND  $y$  is  $B_2$ , THEN  $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$ .

where  $x$  and  $y$  are the inputs;  $A_i$  and  $B_i$  are the fuzzy sets ( $i = 1, 2$ );  $f_i$  are the outputs within the fuzzy region specified by the fuzzy rule,  $p_i$  and  $q_i$ , and  $r_i$  are the design parameters that are determined during the training process. In this figure, a circle indicates a fixed node, whereas a square indicates an adaptive node.

ANFIS is a special neural network composed of 5 layers of neurons and is not fully connected, details on the network architecture will be described below:

Layer 1: the degree of relevance of each entry is calculated ( $x$  corresponds to the variables related to the litter (resting area) of the confinement system for dairy cattle in the compost barn model), according to the membership function chosen (triangular function, trapezoidal function, generalized bell function and gaussian function). In Layer 1, all the nodes are adaptive nodes. The outputs of Layer 1 are fuzzy membership grade of the inputs, which are given by the following equations:

$$D_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

$$D_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 3, 4, \quad (2)$$

where  $x$  and  $y$  are the inputs to node  $i$ , and  $A_i$  and  $B_i$  are the linguistic labels associated with this node function.  $\mu_{A_i}(x)$  and  $\mu_{B_{i-2}}(y)$  can adopt any fuzzy membership function. For example, if the Gaussian membership function is employed,  $\mu_{A_i}(x)$  is given by

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^2\right], \quad (3)$$

where  $a_i$ , and  $c_i$  are the parameters of the membership function.

Layer 2: in this layer each node corresponds to a watering and the neurons execute the product operation (T-norm), i. and. multiply all the input signals and send them to the output. The output of this layer can be represented as

$$D_{2,i} = \mu_{A_i}(x) * \mu_{B_{i-2}}(y), \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

Layer 3: the normalization of the values occurs, and each node calculates the ratio between the firing value of the rule and the sum of the values of all the rules. The output of this layer can

be represented as

$$D_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2}, i = 1, 2. \quad (5)$$

Outputs of this layer are called normalized firing strengths.

Layer 4: the outputs of the neurons are calculated by the product between the normalized shot levels and the value of the rules of the consequent of the rule itself. A first order polynomial (for a first order Sugeno model). The output of this layer is given by

$$D_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i), i = 1, 2, \quad (6)$$

where  $\bar{w}_i$  is the output of Layer 3, and  $p_i$ ,  $q_i$ , and  $r_i$  are the consequent parameters.

Layer 5: the node of this last layer of the architecture calculates the precise output of the system and together with the nodes of layers 3 and 4 promotes the defuzzification or total sum of all the input signals. The overall output of the model is given by

$$D_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}. \quad (7)$$

ANFIS works in two stages. It first initializes a fuzzy inference system (FIS) with linguistic variables, fuzzy sets, membership functions and fuzzy rules. Then, it applies a combination of the least-squares method and the back-propagation gradient descent method to train FIS membership function parameters to emulate a given training dataset. A validation dataset can be also used to avoid model overfitting as it is the case in this paper.

According Al-Hmouz et al. (2012) the ANFIS refines fuzzy IF-THEN rules to describe the behavior of a complex system and It enables fast and accurate learning, in addition to being, easy to implement does not require prior human expertise. But there is a problem called the "Curse of Dimensionality" which consists in the high growth of the number of rules in this system,  $i$  and. the number of rules that a fuzzy system implemented by an ANFIS in layer 2 is proportional to the number of external variables considered and the number of fuzzy sets considered for each variable (FAUSTINO, 2011).

For complex nonlinear and multivariate systems it is interesting to partition databases using

the fuzzy grouping technique. Groups reduce the problem of dimensionality, especially when the input dataset contains many variables and / or many samples. The fuzzy grouping reduces the number of fuzzy rules produced and allows better interpretation of the resulting model (SILVA; SILVA; TEIXEIRA, 2012). In this way, in order to deal with this problem, an initial procedure via clustering methods in the data that compose the training set will be performed, being the fuzzy c-means clustering algorithm the method to be applied.

### b) Fuzzy C-Means Clustering

The (FCM) has been a very important modeling tool in several areas, viz. Giusti and Marsili-Libelli (2010). FCM is an unsupervised learning method derived from fuzzy logic that is suitable for solving multiclass classification problems that are difficult to define a hard decision boundary.

A family of fuzzy clustering algorithms is based on minimizing the function (Babuska, 1999):

$$J(X; U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (8)$$

where  $X$  is a dataset;  $x_k \in \mathbb{R}^n$ ,  $k = 1, \dots, N$ , is a data sample;  $v_i \in \mathbb{R}^n$ ,  $i = 1, \dots, c$ , is a cluster center obtained from:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m x_k}{\sum_{k=1}^N (\mu_{ki})^m} \quad (9)$$

$n$  is the number of variables, i.e. the number of elements of  $x_k$  and  $v_i$ ;  $N$  is the number of samples;  $c$  is the number of clusters;  $m \in [1, \infty]$  is the fuzziness constant; and  $\mu_{ki}$  is the membership degree of the  $k$ -th sample in the  $i$ -th cluster.

Let

$$U = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1i} & \dots & \mu_{1c} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{k1} & \dots & \mu_{ki} & \dots & \mu_{kc} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{N1} & \dots & \mu_{Ni} & \dots & \mu_{Nc} \end{bmatrix} \quad (10)$$

be the partition matrix of  $X$ ; being  $\mu_{ki} \in [0,1] \forall k, i$ ;  $\sum_{i=1}^c \mu_{ki} = 1 \forall k$ ; and  $0 < \sum_{k=1}^N \mu_{ki} < N \forall i$

(no empty cluster). The elements of the partition matrix are:

$$\mu_{ki} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{D_{ki}}{D_{kj}}\right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (11)$$

Moreover,

$$V = [v_1, \dots, v_i, \dots, v_c] \quad (12)$$

$V \in \mathbb{R}^{n \times c}$ , is the set of cluster centers, and

$$\|x_k - v_i\|^2 = D_{ik}^2 = (x_k - v_i)^T (x_k - v_i) \quad (13)$$

is the square distance between  $x_k$  and  $v_i$ , which is given by the inner product of the difference.

The value of the cost function (8) is a measure of the total variance between  $x_k$  and  $v_i$ , which is intended to be minimized. Cluster centers converge to a position in the data space when no significant variation of the partition matrix is observed, i.e.  $\|\Delta U\| < \varepsilon$ , where  $\varepsilon$  is a threshold.

### c) Validation of ANFIS

After the application of the FCM algorithm, an internal validation measure is usually employed to identify the best partitions obtained by clustering methods (WANG et al., 2009). Some of the more usual measures, which will be considered for analysis in this work, are the Xie - Beni Criteria, Partition Coefficient and Partition Index (details on the network architecture can be found in Mota et al. (2018)). In addition, the backpropagation algorithm will be used to adjust the parameters of local linear functions.

The Takagi-Sugeno model can be described by a set of IF - THEN rules that can be represented by linear output relevance functions  $y = ax + by + c$  (FIS type T-S order 1) or constants  $z = c$ ,  $a = b = 0$  (FIS type T-S order 0) being  $z$ : output,  $x, y$ : inputs.

The typical Takagi-Sugeno rule is given by:

IF (input 1 is  $x$ ) and (input 2 is  $y$ ), THEN (output is  $z = ax + by + c$ )

with degree of activation  $w = AND (F_1(x), F_2(x))$ , onde  $F_1, F_2(x)$  are functions of relevance

for input 1 and 2, and considering  $N$  rules the final output of the system is a weighted average of all output rules as follows:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i Z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (14)$$

After the finish Takagi-Sugeno type Fuzzy formulation, a training algorithm is applied to adapt the parameters of the pertinence functions and emulate the desired behavior. Four pertinence functions were evaluated: triangular function (trimf), trapezoidal function (trapmf), generalized bell function (gbellmf) and gaussian function (gaussmf). The combination of the zero-order (constant) and first-order (linear) Sugeno systems with the four membership functions resulted in different configurations for ANFIS that were validated by the mean error root (RMSE) for selecting the best model, which describes its generalization in relation to the approximation of the function of the total bacteria count. The mean error root (RMSE), which is represented by the following expression (LEITE; COSTA; GOMIDE, 2012):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_i)^2} \quad (15)$$

where  $y$  is the desired value and  $\bar{y}$  is the predicted value and  $N$  is the number of data samples evaluated.

### III - Methodology

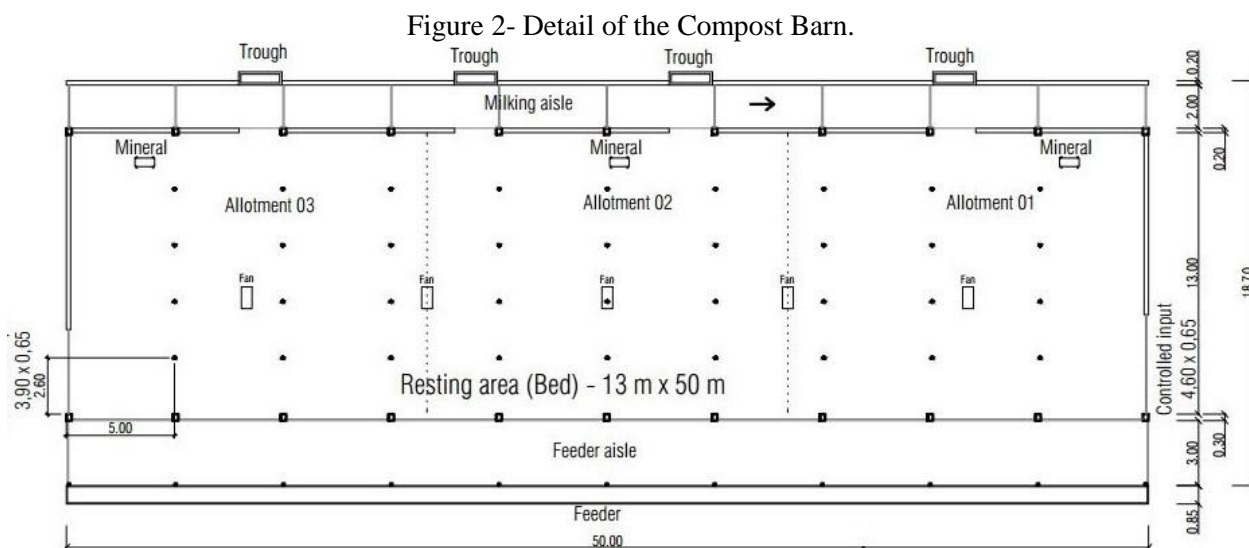
#### a) Data Sources

The research was carried out in a confinement for dairy cattle in the Compost Barn model, in a rural property of the municipality of Três Corações in the state of Minas Gerais. According to the Köppen international classification, the climate of the region is of the CWA type, characterized by two well-defined seasons: a dry and lower temperature, which extends from May to September, and a humid and higher temperature from October to April. The annual average temperature is 20.2 °C and the annual rainfall is 1.401 mm.

The Compost Barn system (CB) with Northwest / Southwest orientation, has 18.70 meters wide by 50 meters long, 4 meters ceiling height, and 6 meters crown of the roof. Being 13 m x 50 m destined to the rest area with bed, divided in 3 lots (high milk production, average milk



production and low milk production), separated by means of electric fence, being this area used for analysis. It has a feed corridor measuring 3 m x 50 m with a feeder (bulky trough) throughout the extension of the shed. And another corridor measuring 2m x 50m, with 4 drinking troughs measuring 0.50 m x 2 m (bottom trapezoid format) with capacity for 300 liters of water. It has 3 mineral troughs and five centralized fans at a height of 3.20 meters in the Roster resting area (with 6 propellers) that provides a flow of 48.000 m<sup>3</sup> of air per hour each (Figure 2).



Source: Author (2017).

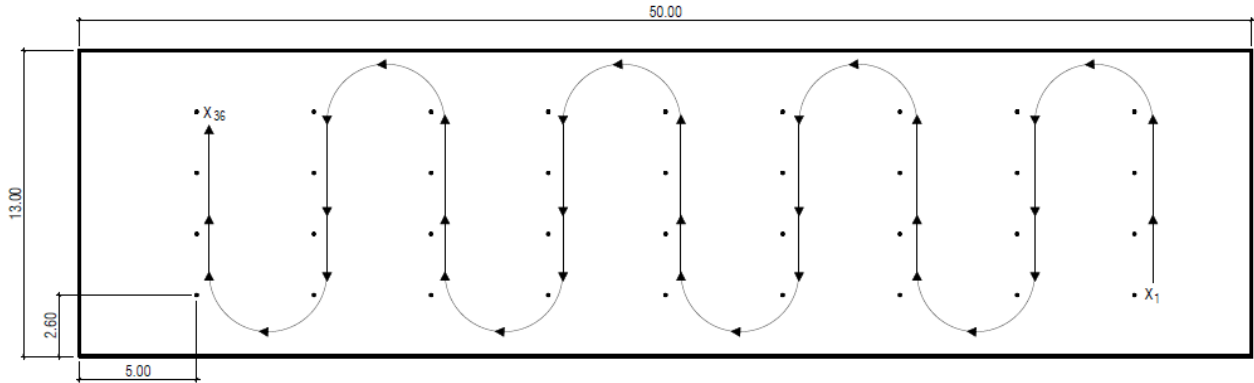
The experiment was carried out: during the summer of 2016 - treatment (VER) and winter of 2016 Treatment (INV) and was divided into 6 periods with 3 days of collection in the VER (P1, P2 and P3) and 3 days of collection in the INV (P4, P5 and P6) divided into 2 stages:

•1st stage) Samples were collected from the 36 points of each line following the regular mesh (Figure 3), but in this case the average of the four points were used, for the following variables:

- surface temperature of the bed, using the non-contact thermometer I. R. Thermometer, model GM-300, with temperature range from -50 to 380 °C (-50 to 0 °C) +/- 2 °C 0 to 380 °C) +/- 1.5 °C;

- bed temperature with a 0.15 m depth, using for registration ICEL Manaus TD-100 rod thermometer;

Figure 3 - Regular mesh with 36 stitches.



Source: Author (2017).

•2st stage) 9 samples of the bed were collected before and after the bed was collected during the second milking in the afternoon shift (4:00 p.m.). Samples were collected from the four points of each line following the regular mesh (Figure 3), which was well mixed in a plastic container to create a composite sample representative of the entire Compost Barn system, for the following variables:

-Moisture of the bed with depth of 0.15 m. The bed sample collected was weighed before and after being taken to the oven at 105 °C for 24 hours (MAPA, 2007). The procedure used was to place the sample, with or without deformed structure, in a numbered crucible of known weight, then weighed and transferred to an oven at 105-110 °C, leaving it in the condition for 24 hours after it was removed from the oven, placed in desiccator, to cool and weigh. The calculation was determined by the following equations (MAPA, 2007):

$$U = \frac{(P-P_1)}{P} \times 100 \quad (16)$$

where:  $P$  is the mass of the wet sample (kg),  $P_1$  is the mass of the dry sample (kg).

- Protein, Total Nitrogen and Ammoniacal with depth of 0.15 m, using for its determination the Kjeldahl method. The Kjeldahl method consists of three main phases which are: digestion, distillation and titration (HOEHNE, 2016);

- pH of the bed with a depth of 0.15 m. The pH value was measured by table pHmeter of brand pH tec (ph 100), by dissolving 5 g of samples, in 50 mL of water at room temperature;

- Organic Matter (M. O.) and Organic Carbon (C). The determination of the organic

matter content was determined by the muffle method, with the following modifications proposed by Carmo and Silva (2012): drying the samples in an oven at 105 °C for a period of 24 hours, aiming at eliminating all the water present in the residues and after that period, the crucibles with the samples were packed in a muffle oven and incinerated at a temperature of 550 °C, for 3 hours.

Subsequently, the set (crucible plus residues) was packed in a desiccator and then weighed. The organic matter content was determined by the loss of mass of the waste incinerated, considering the material lost by burning in the temperature range of 105 °C to 550 °C, according to the equation:

$$M.O. (\%) = \frac{(P-(T-C)x 100)}{P} \quad (17)$$

where  $P$  is the sample weight (kg) after being heated to 105 °C;  $C$  is the crucible tare (kg); and  $T$  is the weight of ash plus crucible (kg) (CARMO; SILVA, 2012).

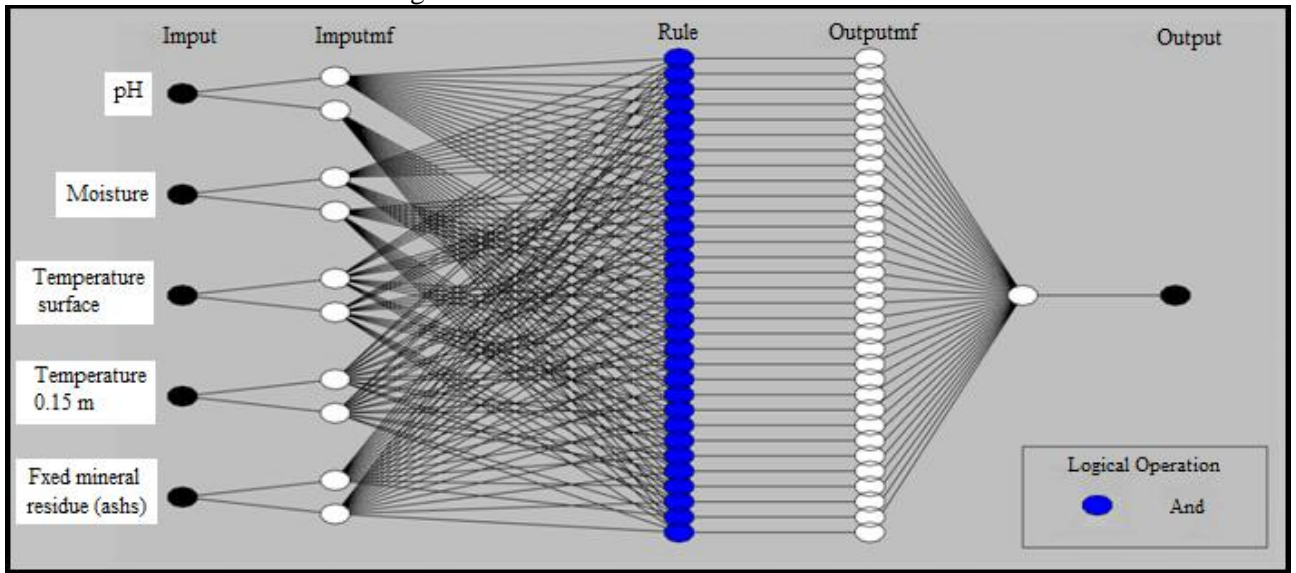
Organic Carbon (C) was determined by dividing the M. O. value found by 1.724 (DIAS; LIMA, 2004).

## **b) Structure and Processing**

Let  $x$  be an input vector and  $y$  its corresponding output. In particular, the input variables are as follows:  $x_1$  is the bed pH;  $x_2$  is the bed moisture (%);  $x_3$  is the organic matter;  $x_4$  is the total carbon (%);  $x_5$  is the fixed mineral residue (ashes);  $x_6$  is the Protein;  $x_7$  is the total nitrogen (%);  $x_8$  is the nitrogen ammoniacal (%);  $x_9$  is the bed temperature 0.15 m (°C);  $x_{10}$  is the bed temperature surface (°C). The output ( $y$ ) variable is the concentration of total bacteria.

Initially, Pearson's correlation was used to construct model 1 with the variables most correlated with the output variable. Being defined the model 1 with the variables  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_5$ ,  $x_9$  and  $x_{10}$ . The developmental stages of the adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS), to estimate the function of approximation of the total bacteria count, considering the model 1 with 5 inputs, have the architecture composed of five layers (Jang, 1993) as can be observed in figure 4. Notice that the model contains 32 rules and 2 membership functions per input variable.

Figure 4 - Structure of the ANFIS model.



Source: Author (2018).

Subsequently, model 2 was defined with variables considered easy to collect by the producer, that is, they do not necessarily need to be collected and taken for laboratory analysis. With portable equipment the producer can easily collect this data. In this way, the variables  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_9$ , and  $x_{10}$ , which resulted in an ANFIS model similar to that presented in figure 4, but containing 16 rules. For the generation of the results used the fuzzy logic toolbox in Matlab implemented v.2012a package.

#### IV - Results

Table 1 presents the RMSE results of the models 1 and 2, using FIS to generate the FIS optimization method, with the tolerance 0 and epochs 3000 for the pertinence functions triangular (trimf), trapezoidal (trapmf), generalized bell (gbellmf) and gaussian (gaussmf).

It verified a better adjustment of the Gaussian pertinence function for model 1 with linear output (first order model) and RMSE of 0.0973 for the test and 0.1152 for the training. The Gaussian function has been shown to be efficient to represent the estimation of parameters and the generalization of the experimental data learning.

Table 1: Mean error root (RMSE) results for the models studied.

RMSE	ANFIS model with 5 inputs				ANFIS model with 4 inputs			
	Constant conseq.		Linear conseq.		Constant conseq.		Linear conseq.	
	Train	Test	Train	Test	Train	Test	Train	Test
Trimf	0.1176	0.1403	0.0759	0.3257	0.1058	0.1058	0.0998	0.0998
Trapmf	0.1526	0.2481	0.0636	0.8365	*	*	*	*
Gaussmf	0.1199	0.1001	0.1152	0.0973	0.0998	0.0998	0.1015	0.1015
Gbellmf	0.1211	0.0991	0.1137	0.1049	0.1059	0.1059	0.0970	0.0940

Source: Author (2018).

After data processing, with five inputs and two pertinence functions for each, the set of rules was generated. The structure of the rules of the model in question is then represented by:

IF (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) and (input5 is in5mf1) THEN (output is out1mf1)

⋮

IF (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf2) and (input5 is in5mf2) THEN (output is out1mf32)

Table 2 illustrates the parameters of the corresponding rule-based model since:

$$y^i = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_5x_5, \text{ where } R_i, i = 1, \dots, 32.$$

Table 2: Rules corresponding to the model with five inputs.

Rules	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$
R <sub>1</sub>	-0.03	-0.02	0.05	-0.22	-0.18	-0.04
R <sub>2</sub>	0.21	-0.01	0.11	-0.10	0.13	0.02
R <sub>3</sub>	-0.14	-0.00	-0.01	0.06	-0.04	-0.07
R <sub>4</sub>	-0.02	-0.00	0.04	0.04	-0.00	-0.03
R <sub>5</sub>	-0.05	0.000	0.05	0.01	-0.01	-0.00
R <sub>6</sub>	-0.07	0.0008	0.07	-0.00	0.00	-0.00
R <sub>7</sub>	-0.02	0.0001	0.00	-0.00	-0.00	-0.01
R <sub>8</sub>	-0.00	$6.07e^{-05}$	0.00	0.00	-0.00	-0.00
R <sub>9</sub>	0.00	$-3.46e^{-06}$	$5.02e^{-05}$	$-1.35e^{-05}$	$-9.42e^{-05}$	$8.34e^{-06}$

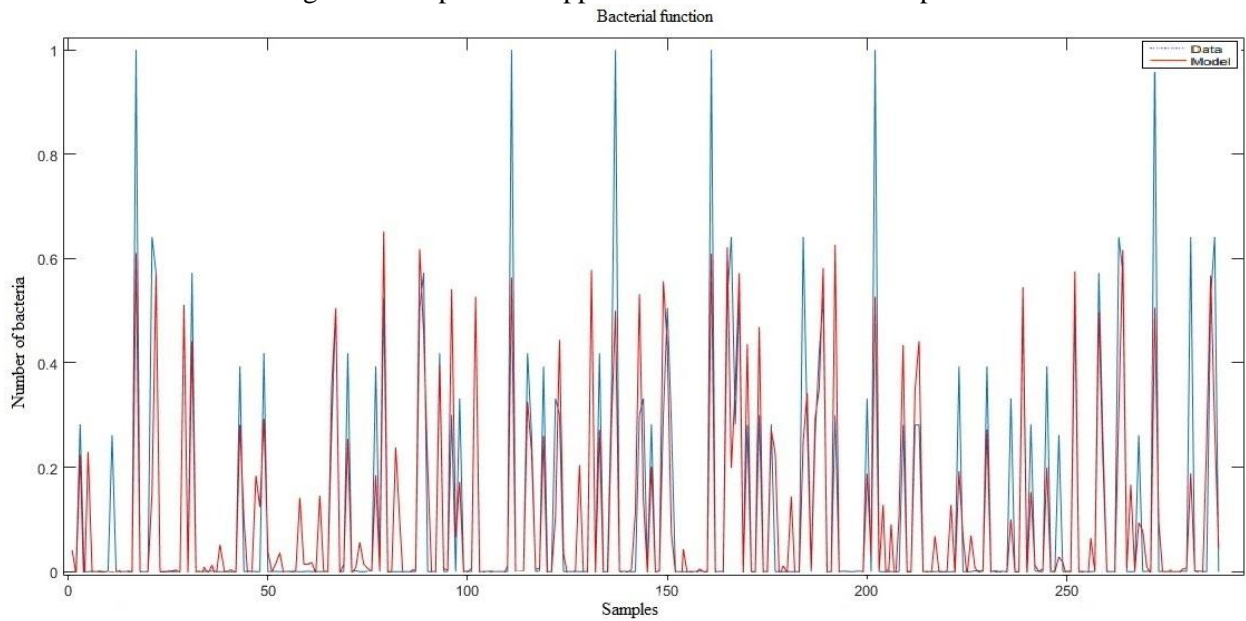
R <sub>10</sub>	-8.00e <sup>-05</sup>	-5.60e <sup>-06</sup>	-0.00	-3.65e <sup>-05</sup>	-0.00	-0.00
R <sub>11</sub>	0.00	2.41e <sup>-06</sup>	5.49e <sup>-05</sup>	7.04e <sup>-05</sup>	4.02e <sup>-05</sup>	0.00
R <sub>12</sub>	7.88e <sup>-05</sup>	1.31e <sup>-06</sup>	2.97e <sup>-05</sup>	5.29e <sup>-05</sup>	4.17e <sup>-05</sup>	7.95e <sup>-05</sup>
R <sub>13</sub>	-0.00	-1.60e <sup>-05</sup>	-0.00	-0.00	0.00	-0.00
R <sub>14</sub>	-0.00	-2.04e <sup>-05</sup>	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
R <sub>15</sub>	6.95e <sup>-05</sup>	-2.02e <sup>-07</sup>	-3.21e <sup>-05</sup>	3.54e <sup>-05</sup>	-1.96e <sup>-05</sup>	2.01e <sup>-05</sup>
R <sub>16</sub>	-2.01e <sup>-05</sup>	-1.29e <sup>-06</sup>	-5.60e <sup>-05</sup>	2.42e <sup>-05</sup>	-1.28e <sup>-05</sup>	-3.50e <sup>-05</sup>
R <sub>17</sub>	0.48	-0.02	0.27	-0.03	-0.47	0.39
R <sub>18</sub>	0.08	-0.00	0.05	0.09	0.37	0.12
R <sub>19</sub>	0.16	0.00	0.07	0.09	0.02	0.10
R <sub>20</sub>	0.20	0.00	0.09	0.12	0.16	0.19
R <sub>21</sub>	0.45	0.00	0.22	0.10	0.04	0.39
R <sub>22</sub>	0.13	0.00	0.08	0.00	0.02	0.07
R <sub>23</sub>	0.07	0.00	0.02	0.02	0.00	0.06
R <sub>24</sub>	0.01	3.07e <sup>-05</sup>	-0.00	0.00	-0.00	0.00
R <sub>25</sub>	0.00	5.019e <sup>-05</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
R <sub>26</sub>	0.00	5.24e <sup>-06</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
R <sub>27</sub>	0.00	4.75e <sup>-05</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
R <sub>28</sub>	0.00	2.41e <sup>-05</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
R <sub>29</sub>	0.00	8.81e <sup>-06</sup>	0.00	0.00	-6.77e <sup>-05</sup>	0.00
R <sub>30</sub>	-0.00	-3.97e <sup>-05</sup>	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
R <sub>31</sub>	0.00	3.58e <sup>-05</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00
R <sub>32</sub>	0.00	1.24e <sup>-05</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00

Source: Author (2018).

Results of model 1 are illustrated in figure 5. The blue line represents the original values and the red lines represent the approximate function of the bacterial total counts. The peaks in blue were not reached by the approach function, it can be seen that the line in red tried to follow the curve in blue but failed, it may be that these peaks are outliers, an atypical value of the data.

To understand and study whether this observation is a major departure from the series, or that it is inconsistent, more in-depth studies should be conducted. In general, an efficient adjustment of the approximate function was observed.

Figure 5- Graph of the approximate model with five inputs.



Source: Author (2018).

For model 2, called the simplified model, we observed a better adjustment of the generalized bell function (gbell) with a linear output, the RMSE was 0.0940 for the test and 0.0970 for the training. The triangular MF and the trapezoidal MF have simple formulas and are computationally efficient, but in this study the trapezoidal MF that has four parameters {a, b, c, d} presented error due to the amount of input variables. Gaussian function and generalized bell function (gbell) are widely used because they are smooth functions (FRANÇA, 2016). Table 3 illustrates the parameters of the rule-based model corresponding to model 2.

The model 2 is more compact than the first model and presents a simpler and easier interpretation for the producer, by using input variables bed pH, bed moisture (%), bed temperature 0.15 m (°C) and bed temperature surface (°C) that can be collected and purchased with greater ease. These variables are cheaper because they are collected directly on the farm, in the bed (rest area) by the owner himself. They do not necessarily need to be taken for laboratory analysis.

Table 3: Rules corresponding to the model with four inputs.

Regras	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
R <sub>1</sub>	0.474	0.013	0.356	-0.010	-0.276
R <sub>2</sub>	-0.159	-0.003	-0.025	-0.022	-0.078
R <sub>3</sub>	-0.024	-0.049	-0.023	-0.054	0.062
R <sub>4</sub>	0.049	0.044	0.011	0.004	0.043
R <sub>5</sub>	0.004	0.006	0.004	$-2.87e^{-06}$	0.005
R <sub>6</sub>	-0.000	0.004	-0.001	-0.001	0.000
R <sub>7</sub>	-0.000	0.004	-0.001	-0.001	-0.000
R <sub>8</sub>	-0.001	$4.32e^{-05}$	-0.000	-0.000	-0.000
R <sub>9</sub>	0.438	0.168	0.606	-0.092	0.167
R <sub>10</sub>	0.073	0.062	0.570	0.842	-0.220
R <sub>11</sub>	0.270	0.015	0.067	-0.121	0.148
R <sub>12</sub>	-0.249	0.006	0.922	1.284	-0.619
R <sub>13</sub>	0.364	0.339	0.063	0.037	0.366
R <sub>14</sub>	0.056	0.049	0.015	0.023	0.053
R <sub>15</sub>	0.035	0.032	0.006	0.001	0.034
R <sub>16</sub>	0.006	0.004	0.015	0.018	0.001

Source: Author (2018).

ANFIS combines the learning capacity of neural networks with the power of linguistic interpretation of fuzzy systems. For a neural network to learn, previous experimental data are needed. Therefore, the greater amount of experimental data, as well as experimentation over a longer period of time, tends to provide better results with ANFIS, since ANFIS learning will be more efficient. In this way, for future works, it is intended to collect data over a longer period of time and in other properties that use the confinement system in the compost barn model with different bed material.

## V - Conclusion

The study shows that the ANFIS can be used to develop a function of approximation of



the total bacteria count in the bed (resting area) of the feedlot for dairy cattle in the compost barn model, using, for this, the average values of bed pH, bed moisture (%), bed temperature (°C), bed temperature 0.15 m (°C), fixed mineral residue (ash) evaluated during the summer and winter of 2016, in a rural property of the municipality of Três Corações in the state of Minas Gerais. The best fit was the Gaussian membership function with five inputs and when using the simplified model with four inputs the best fit was the generalized bell membership function, both with linear output.

The model with entries pH bed, moisture bed (%), bed surface temperature (°C) and bed temperature 0.15 m is more compact than the first model and presents a simpler, easier and cheaper interpretation for the producer.

The adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) presented a satisfactory performance. For future works it is intended to collect data for a longer period of time and in other properties that use the confinement system in the model compost barn with different bed material.

### **Acknowledgements**

The authors thank to the Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education (CAPES) for financial support; to the Department of Agricultural

### **References**

AL-HMOUZ, A. et al. Modeling and Simulation of an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Mobile Learning, In: *IEEE Transactions on Learning Technologies*, v.5, n.3, p. 226-237, 2012. Available in: <<https://www.computer.org/csdl/trans/lt/2012/03/tlt2012030226.html>>. Accessed on: 16 May. 2018. DOI:10.1109/TLT.2011.36

CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]*. Viçosa, v. 36, p. 1211-1220, 2012. Available in: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832012000400015&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832012000400015&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Accessed on: 16 May. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>.

BLACK, R. A; et al. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. *Journal of Dairy Science*, v. 96, p. 8060-8074. 2013.

BLACK, R. A; et al. The relationship between compost bedded pack performance, management,

and bacterial counts. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 2669–2679. 2014. DOI: 10.3168/jds.2013-6779

BEWLEY, J. Think it Through Before Building a Compost Bedded Pack Barn, **Kentucky Dairy Notes**. 2008. Available in: <<http://www.uky.edu/Ag/AnimalSciences/dairy/dairysystems/Think%20it%20Through%20Before%20Building%20a%20Compost%20Bedded%20Pack%20Barn.pdf>>. Accessed on: 20 Oct. de 2017.

DIAS, J. C.; LIMA, W. N., Comparação de métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. **Revista Científica da UFPA**, v. 4, p. 1-16, 2004. Available in: <[http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica/ed\\_anteriores/pdf/ed\\_04\\_jcd.pdf](http://www.cultura.ufpa.br/rcientifica/ed_anteriores/pdf/ed_04_jcd.pdf)>. Accessed on: 13 Oct. de 2017.

GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, S. Fuzzy Modelling of the Composting Process, **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 5, p. 641–647. 2010. Available in: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815209001248?via%3Dihub>>. Accessed on: 16 Oct. 2017

FAUSTINO, C. P. Previsão de Séries Temporais via Modelos Baseados em Regras, 2011, 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Computação) - Universidade Federal de Itajubá, MG, 2011.

FRANÇA, D. C. de, Modelagem de um adoptive neuro fuzzy inference system para análise de risco em projetos, 2016, 102 p. Dissertação (Curso de Mestrado em Engenharia de Produção) Centro de Tecnologia - CT. Universidade Federal da Paraíba - UFPB. João Pessoa, 2016.

GALAMA, P. et al. Prospects for bedded pack barns for dairy cattle. Wageningen UR Livestock Research. 2011. Available in: <[http://www.vrijloopstallen.nl/documenten/Prospects\\_for\\_bedded\\_pack\\_barns\\_for\\_dairy\\_cattle.pdf](http://www.vrijloopstallen.nl/documenten/Prospects_for_bedded_pack_barns_for_dairy_cattle.pdf)>. Accessed on: 18 Aug. 2017.

GALAMA, P. et al. Aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands, Wageningen UR Livestock Research. 2015. Available in: <<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/489726>>. Accessed on: 18 Aug. 2017.

HOEHNE, L. et al. Avaliação das técnicas de determinação de nitrogênio por cromatografia iônica (IC) e por teor de nitrogênio total (TN) por quimiluminescência. **Tecno - Lógica**. Santa Cruz do Sul. v. 20, p. 09-13, 2016. Available in: <<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/6230>>. Accessed on: 20 May. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v20i1.6230>

JANNI, K. A. et al. Compost dairy barn layout and management recommendations. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23. n. 1, p. 97-102. 2007. Available in: <[https://www.researchgate.net/publication/270615141\\_Compost\\_Dairy\\_Barn\\_Layout\\_and\\_Management\\_Recommendations](https://www.researchgate.net/publication/270615141_Compost_Dairy_Barn_Layout_and_Management_Recommendations)>. Accessed on: 5 mar. 2017.

JANG, J.-S. R. Anfis: Adaptive-network-based fuzzy inference system. In: **IEEE Transaction**

on Systems, Man and Cybernetics, v. 23, n. 3, p. 665–685, 1993. Available in: <<https://www.dca.ufrn.br/~meneghet/FTP/anfis%2093.pdf>>. Accessed on: 05 Apr. 2018

LEITE, D.; COSTA, P.; GOMIDE, F., Evolving Granular Neural Network for Fuzzy Time Series Forecasting. In: IEEE WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE - BRISBANE - AU, 2012, p.1-8. Available in:<<https://pdfs.semanticscholar.org/8925/1de3f1fb5c409ab69d8f31e24a5d926a3836.pdf>>. Accessed on: 12 set. 2017.

LEITE D. F.; COSTA, P.; GOMIDE, F. Evolving granular neural networks from fuzzy data streams. **Neural Networks**, v. 38, p. 1-16. 2013. Available in: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608012002791#!>>. Accessed on: 15 May. 2017.

LUDWIG JÚNIOR, O.; SCHNITMAN, L.; LEPIKSON, H. Uma Arquitetura Neural Híbrida para Extração de Regras Nebulosas. In: IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, v. 2, n. 2, 2004. Available in: < [https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo\\_Ludwig/publication/3454944\\_A\\_hybrid\\_neural\\_architecture\\_for\\_fuzzy\\_rules\\_extraction/links/54a606f50cf257a63608d92c/A-hybrid-neural-architecture-for-fuzzy-rules-extraction.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo_Ludwig/publication/3454944_A_hybrid_neural_architecture_for_fuzzy_rules_extraction/links/54a606f50cf257a63608d92c/A-hybrid-neural-architecture-for-fuzzy-rules-extraction.pdf)>. Accessed on: 16 May.2018

LESO, L. et al. Survey of Italian compost dairy barns. **Journal of Agricultural Engineering**. v. 44, n. 3, p. 1-17, 2007. Available in: <<https://www.agroengineering.org/index.php/jae/article/view/jae.2013.e17/456>>. Accessed on: 12 May. 2017.

NEUGEBAUER, M.; SOŁOWIEJ, P.; PIECHOCKI, J. Fuzzy control for the process of heat removal during the composting of agricultural waste. **Journal Mater Cycles Waste Management**, v. 16, p. 291–297. 2014. Accessed on: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-013-0188-8>>.Acesso em: 16 set. 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: MAPA, 2007. 141p. Available in:<[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in\\_28\\_07\\_anexo.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in_28_07_anexo.pdf)>.Accessed on: 10 ago. 2017.

MATLAB for Windows User's Guide, The Math Works Inc., 1991.

MOTA, V. C. et al. Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características. **PUBVET**, v. 11, p. 433-442. 2017. Available in: <<http://dx.doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.433-442>>. Accessed on: 25 Oct. 2017.

MOTA, V. C.; DAMASCENO, F. A.; LEITE, D. F. Fuzzy clustering and fuzzy validity measures for knowledge discovery and decision making in agricultural engineering. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 150, p. 118–124. 2018. Available in: < [https://www.researchgate.net/publication/324744091\\_Fuzzy\\_clustering\\_and\\_fuzzy\\_validity\\_measures\\_for\\_knowledge\\_discovery\\_and\\_decision\\_making\\_in\\_agricultural\\_engineering](https://www.researchgate.net/publication/324744091_Fuzzy_clustering_and_fuzzy_validity_measures_for_knowledge_discovery_and_decision_making_in_agricultural_engineering)>. Accessed on: 26 May. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

PILATTI, J. A.; VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows

reared in compost bedded pack barns system. **Journal Animal. Behaviour. Biometeorology**, v. 5, p. 97-105. 2017. Available in: < <https://www.jabbnet.com/geral-3/jcqdkdv20/Environment-behavior-and-welfare-aspects-of-dairy-cows-reared-in-compost-bedded-pack-barns-system>>. Accessed on: 16 May 2017.

SILVA, I.; SILVA, A.; TEIXEIRA, M. **Modelagem Fuzzy com Técnicas de Agrupamento Fuzzy e Estruturas Neuro-Fuzzy**. p. 903-909, 2012. Available in: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/cbsf/2012/0071.pdf>>. Accessed on: 14 Oct. 2017.

TAKAGI, T.; SUGENO, M, “Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control”, In: IEEE - TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, v. SMC - 15, n. 1, p. 116 - 132 1985. Available in: < <https://ieeexplore.ieee.org/document/6313399/>> Accessed on: 16 May. 2017.

ZADEH, L. A. “**Fuzzy Sets, Information and Control**”, v. 8, 1965, p. 338-353. Available in: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001999586590241X>> Accessed on: 14 Aug. 2017.

WANG, K.; WANG, B.; PENG, L. CVAP: Validation for cluster analyzes. **Data Science Journal**, v. 8, n. 1, p. 88-93, 2009. Available in: < <https://datascience.codata.org/articles/abstract/10.2481/dsj.007-020/>> Accessed on:14 Aug. 2017.

## **ARTIGO 6**

Use of compost bedded pack barn in maize fertilization for silage

Este artigo está redigido conforme a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2003a). Esse formato segue o manual da UFLA de apresentação de teses e será um artigo padrão que poderá atender, em qualquer momento, qualquer norma de revista científica.

## **Use of compost bedded pack barn in maize fertilization for silage**

**Abstract** - This article aims to study the effect of different time intervals for bed maturation in compost sheds for dairy cattle, such as organic manure in maize crop for silage. The experimental design was a randomized block in split-plot with five treatments, six collection times, and five replicates. The data were submitted to variance analysis and compared by Scott-Knott. Sigmoid functions of logistic growth were adjusted to the data. The treatments with addition of fresh and mature compost with nitrogen cover showed higher shoot dry matter production when compared to treatments without compost. For maize plant height, stalk diameter and number of leaves, it was observed that from 35 days after plant germination, these variables were considered superior for the treatments that received bedding. The sigmoid function was proper to represent the plant growth to the silage point. It is concluded that the use of bedding from compost sheds as an organic manure is recommended as a sustainable alternative in the reuse of waste from milk production.

**Keywords:** Housing systems. Statistical analysis. Sustainable technology. Organic manure.

## **Uso de cama de confinamento *Compost Barn* na adubação da cultura do milho para silagem**

**Resumo** - Este artigo tem como objetivo estudar o efeito de diferentes intervalos de tempo para maturação da cama em galpões de composto para bovinos leiteiros, e seu efeito como adubação orgânica no cultivo de milho para silagem. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizado em parcelas subdivididas no tempo com cinco tratamentos, seis tempos de coletas e cinco repetições. Os dados foram submetidos à Análise de Variância e comparados pelo teste

Scott-Knott. Funções sigmóides de crescimento logístico foi ajustada aos dados. Os tratamentos com adição de composto fresco e composto curtido com cobertura nitrogenada apresentaram maior produção de matéria seca quando comparado com os tratamentos sem uso de composto. Para a altura da planta do milho, diâmetro do colmo e número de folhas, estudados ao longo do tempo, foi observado que a partir dos 35 dias após a germinação das plantas, essas variáveis foram consideradas superiores para os tratamentos que receberam a cama. A função sigmoideal se mostrou adequada para representar o crescimento da planta do milho até o ponto de silagem. Conclui-se que o aproveitamento da cama de galpões de compostagem, como adubo orgânico, é recomendável como uma alternativa sustentável no reuso e tratamento de dejetos da produção leiteira.

**Palavras - chave:** Sistema de confinamento. Análise Estatística. Tecnologia sustentável. Adubação orgânica.

## **Introduction**

One of the determining factors on the production costs in rural properties is related to the crop fertilization. The substitution of mineral fertilizers by organic manures may be an alternative to reduce these costs (BULEGON et al., 2012). The development and integration of sustainable agriculture is the basis for subsidizing a short-term managerial decision and measuring the sustainability of a long-term rural enterprise.

The use and utilization of organic waste in agriculture can contribute significantly to productivity, cost/benefit ratio and agricultural quality. There are a variety of organic wastes that can be used in agriculture, e.g., green manures (ANGELETTI et al., 2016), chicken manure (HANISCH; FONSECA; VOGT, 2012), pig manure (MORAES et al., 2014), cow dung (CASTOLDI et al., 2011), among others. Several studies have shown the positive and gradual effect of using and utilizing cow dung. This has been used for cultivation of several crops, such as common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) (MARTINS et al., 2015), cackrey (*Cucumis anguria*) (OLIVEIRA et al., 2014), sweet potato (*Ipomoea batatas*) (LEONARDO et al., 2014), and maize (*Zeamays* L) (GUARESCHI et al., 2013).

Toward a higher production with lower costs, the option for organic wastes occasionally available in agricultural soils is economically, socially and environmentally recommendable (ABREU JÚNIOR et al., 2005). Reina et al. (2010) recommend the use of cow dung as organic soil manure as long as it is available and there is labor for the application of waste in the agricultural area.

Brazil is characterized predominantly by small holdings, where producers have their activities based on milk production. Dairy cattle have been usually reared in housing systems, such as the compost bedded pack barns (CBP) (FERREIRA, 2016; PILATTI; VIEIRA, 2017; MOTA et al., 2018). That system has been preferred by producers.

In the CBP housing system, the main differential is in the animals resting bed. The bed contains nitrogen derived from the urine and the waste from housed cows. Additionally, the bed contains carbon sources from sawdust, woodchips, chopped corn stover, among others (GALAMA et al., 2015).

Since the CBP is properly managed, there is the occurrence of mixing of animal waste and urine in bedding material. With the increase of bed temperature and the reduction of moisture, the composting process promotes an active microbial activity, forming a matured compost. This can be an alternative for reducing production costs.

The use and utilization of these organic wastes represent a balanced way to provide nutritional and mineral properties to plants. These properties could be applied in the planting of maize for silage. Maize is commonly used in the dairy herd ration (NASCIMENTO et al., 2008).

Thus, with the increasing concern with the environmental impacts generated by organic wastes derived from cattle housing, the composting process and the recycling of these wastes have been stimulated (COTTA et al., 2015). Much of the manure from the bed of dairy cattle from CBP housing systems could supply a large demand for fertilizers. Moreover, with the continued growth of these wastes in small rural properties, their use in a rational and sustainable way diminishes their polluting potential and becomes economically viable. In light of the foregoing, this article aims to evaluate the maturation time of the CBP bed and its effect as organic fertilizer in the maize crop for silage.

## **Material and Methods**

The present study was performed in a greenhouse at the Federal University of Lavras



(UFLA), Southern region of the state of Minas Gerais, Brazil, 21° 14' S latitude and 45° 00' W longitude, with approximately 918 m altitude. The regional climate is Cwa, with two defined seasons: dry, with lower temperatures from April to September, and rainy, with higher temperatures from October to March, total average annual rainfall of 1530 mm and annual average temperature of 19.4°C (DANTAS et al., 2007).

The experiment was conducted between November 2016 and February 2017. The climatic data external to the greenhouse for the experiment period were obtained from the main weather station of Lavras located on the campus of UFLA, belonging to the network for surface meteorological observations of the National Meteorological Institute (INMET). The average, minimum and maximum temperature on the underlying period were 23.0 °C, 18.4°C and air relative humidity was 72.8%.

Data on temperature and relative humidity into the greenhouse (internal values) were obtained through the portable model weather station No. ITWH - 1080 of brand Instrutemp (accuracy of  $\pm 1$  °C; 5% UR; and  $\pm 1$  m/s) with appropriate sensors to collect and store these data. A summary of the collected data is as follows: average temperature of 25.3 °C and relative humidity of 68.7%.

The experimental design was a randomized complete block design in split-plot with five treatments, six collection times, and five replicates, totaling 150 observations for each variable. The experimental plot consisted of two pots, being left one plant in each pot (the average of two plants was used), and five replicates were used, totaling 25 experimental plots. The plots were represented by pots with a capacity of 15 dm<sup>3</sup>, filled with a mixture of soil and washed sand at 3:1 ratio, respectively. The pots were irrigated daily until reach the field capacity, and kept in a non-heated greenhouse (GUARESCHI et al., 2013).

In the main plot, five treatments were evaluated: Treat.1-TM (Fresh compost added to the pot 15 days before planting, with nitrogen coverage); Treat.2 -TC (Mature compost for 30 days and added to the pot on the sowing day, with nitrogen coverage); Treat.3 -TF (Fresh compost added to the pot on the sowing day, with nitrogen coverage); Treat.4 -TL (No compost, only with nitrogen coverage - conventional); and T (Control) (Soil corrected without nitrogen coverage). The sub-plot was constituted of the evaluation seasons. The first collection occurred seven days after plant emergence (DAE), the remaining collections occurred at 22, 35, 49, 63, and 77 DAE.

The soil used for planting was classified as type 3 soil - clayey texture, with Clay 70, Silt 4

and Sand 26 ( $\text{dag kg}^{-1}$ ) in the depths between 0 and 0.2 m, located on the campus of the Federal University of Lavras, in a ravine area, whose chemical characteristics were determined through sampling. The soil chemical analysis used in the experiment revealed the following composition: pH - 6.0; K (Potassium) -  $6.08 \text{ mg dm}^{-3}$ ; P (Phosphorus) -  $1.63 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Ca (Calcium) -  $1.0 \text{ cmol dm}^{-3}$ ; Mg (Magnesium) -  $0.48 \text{ cmol dm}^{-3}$ ; Al (Aluminum) -  $0.10 \text{ cmol dm}^{-3}$ ; H+Al (Extractor: SMP) -  $2.96 \text{ cmol dm}^{-3}$ ; CTC (T) (cation exchange capacity at pH 7.0) -  $4.51 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ; SB (exchangeable bases) -  $1.55 \text{ cmolc dm}^{-3}$ ; V (Base Saturation Index) - 34.27 %; m (Aluminum Saturation Index) - 6.06 %; O.M. (Organic Matter) -  $1.09 \text{ dag kg}^{-1}$ ; P-Rem (Remaining Phosphorus) -  $4.86 \text{ mg L}^{-1}$ ; Cu (Copper) -  $1.05 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Zn (Zinc) -  $0.46 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Mn (Manganese) -  $3.81 \text{ mg dm}^{-3}$ ; Fe (Iron) -  $20.28 \text{ mg dm}^{-3}$ ; and S (Sulfur) -  $104.65 \text{ mg dm}^{-3}$ .

The organic manure used in the experiment was obtained in a CBP housing for dairy cattle in a rural property in the municipality of Três Corações, in the state of Minas Gerais, Brazil. The physical and chemical characteristics of the organic material, in this case called bed material used in the housing, are presented in Table 1. For determination of N-Total, the Kjeldahl method (HOEHNE et al., 2016) was used; and the O.M. determination was based on the method proposed by Carmo e Silva (2012).

A  $24.87 \text{ ton ha}^{-1}$  dose of CBP was applied manually 15 days before sowing of maize crop (Treat. 1-TM), while the other  $24.87 \text{ ton ha}^{-1}$  doses of the compost (Treat. 2 -TC and Treat. 3 -TF) were applied due to sowing of maize crop together with the chemical fertilization. Soil chemical correction was performed from the base saturation, and  $0.0015 \text{ m}^3$  of dolomitic limestone per pot was applied. The fertilization at the sowing time in each NPK pot was:  $0.00075 \text{ kg}$  ammonium sulfate in the composition of 20% N;  $0.0045 \text{ kg}$  Super Simple in composition of 20% Phosphorus (P); and  $0.00225 \text{ kg}$  potassium chloride (KCL) in the composition of 60% Potassium (K). The guidelines of the fifth approach of Minas Gerais (ALVES et al., 1999) were considered to perform correction and nitrogen fertilization by mulch, with recommendations of  $180 \text{ t ha}^{-1}$  N divided into three plots, calculated for each pot. Nitrogen sulfate with 20% N was used as the nitrogen source for mulch application. At 15 DAE, the first nitrogen fertilization with a concentration of  $0.000482 \text{ kg}$  per pot was carried out. The second and third nitrogen fertilization occurred at 30 and 45 DAE.

The hybrid maize (*Zeamays* L.) cultivar (Roundup Ready<sup>®</sup> - NK 603) was sown on November 18, 2016, with three seeds per pot at a depth of 5 cm. The emergence of plants

occurred on November 23, 2016. The thinning occurred at seven DAE, leaving one plant per pot.

The shoot dry mass (SDM) was evaluated at the time of silage point of maize (February 14, 2017). The plants were cut close to the ground, weighed and placed in plastic bags. They were identified and transferred to a greenhouse at 65°C, until obtaining a constant mass. The variables plant height (PLH), stem diameter (SD) and number of leaves (NL) were evaluated over time in randomized blocks with split-plot in time.

Initially, the basic principles of analysis of variance were verified. The Shapiro-Wilk test was applied to verify the data normality; the Hartley's test to test the variance homogeneity, and the Residual analysis to examine the data independence (BANZATTO; KRONKA, 2015). For the counting variable, the square root transformation was applied. The data were submitted to analysis of variance and the averages were compared by the Scott-Knott test. It was considered a 5% probability for all the mentioned tests. Subsequently, sigmoid functions of logistic growth were adjusted to the data (FLORENTINO; BISCARO; PASSOS, 2010). The model performance was calculated according to the root-mean-square error (RMSE) (LEITE; COSTA; GOMIDE, 2013). The analyses were performed in the R software (R CORE TEAM, 2016), SISVAR (FERREIRA, 2011) and STATISTICA version 5.0 (STATSOFT, 2004).

## **Results and Discussion**

According to the Shapiro-Wilk test for the analyzed variables, the residues follow a normal distribution. When applied the Hartley's test, a homogeneity of variances was found and residual analysis showed that the residues are well dispersed around zero, without a defined pattern. It was found that the errors are independent. Thus, the basic assumptions of the analysis of variance were tested for all variables.

It was verified that the different forms of maturation and application of the bedding material produced in the housing system in the nitrogen-containing CBP model show different effects on hybrid maize crop (Roundup Ready® - NK 603). There is significant difference by the *F* test at 5% significance level among the different treatments. This justifies the importance of organic manure or mineral fertilization in maize crop.

The dose of organic material derived from the bed of housing system for dairy cattle in the CBP model provided higher shoot dry matter (SDM) to the NK 603 hybrid cultivar when compared to the treatments without compost. The SDM values for TC, TF and TM treatments

are, respectively, 0.426 kg, 0.422 kg and 0.394 kg; for TL treatments, the SDM is 0.164 kg; and for T, the SDM value is 0.192 kg. Thus, there is a greater availability of silage material and feed for dairy cows for treatments that received organic manure. The Scott-Knott test at 5% probability level showed that the TC, TF and TM treatments were not different with one another, but were superior to the TL and T treatments.

According to the initial analysis performed with the bedding material (Table 1), it is within the recommended standards for organic manure (ABREU JÚNIOR et al., 2005). Cow dung mixed with CBP bed (which is rich in nutrients and available at low cost to dairy farmers) can be used when removed from the housing shed. The CBP bed needs a regular addition of material (sawdust, shavings wood, among others) to prevent excessive wet in the top layer. These materials added in bed are rich in carbon, which mixed with urine and cow dung (nitrogen-rich materials) balance the nitrogen carbon ratio of the compost. Table 1 shows the C/N values of the organic material used in the experiment for the TC (8:1), TM (14:1) and TF (22:1) treatments. These are within the values recommended by Silva et al. (2013).

Table 1. Physical and chemical characteristics of the organic compost (bed) from the feed system of dairy cattle in the CBP model used in the experiment.

Characterization of the organic compost (bed)			
	Treat. 1-TM	Treat 2-TC	Treat. 3 -TF
T. S.	49.32	46.22	53.73
pH in H <sub>2</sub> O	9.05	9.43	9.11
F. M. R.	28.98	18.49	15.69
O. M. (%)	43.64	46.31	71.79
T. N.	1.80	3.50	1.90
A. N.	1.40	1.90	1.00
C	25.31	26.86	41.64
C/N ratio	14:1	8:1	22:1

Notes: T. S. (Total solids -%); O. M. (Organic matter -%); F. M. R. (Fixed mineral residue - Ashes - %); T. N. (Total Nitrogen -%); A. N. (Ammoniacal nitrogen -%), C (Carbon -%). Result on wet basis.

Source: Author (2018).

The reference values are a consumption of 8.4 tons of woodchips and/or sawdust per cow per year, and 12 tons of compost per cow per year. However, these numbers can vary widely among farms (GALAMA et al., 2015). With this huge availability of mature bedding material, it can be reused by farmers both in organic manure of their agricultural crops and in resale to other properties.

For the analysis of variance considering the variables plant height (PLH), stalk diameter (SD) and number of leaves (NL) in split-plot in time, it was verified that there is a significant effect for the treatments, collection days after emergence (time), and in relation to the treatment/time interaction. For blocks, the effect was not significant, indicating that there is no need to use randomized blocks in this experiment.

In this experiment, three coefficients of variation (CV) could be observed for each variable, PLH, SD and NL, in relation to the treatments, collection days after emergency, and in relation to the interaction. Generally, the experiment showed good accuracy. A low percentage variation in relation to the average, as considered in the CV scale in Andrade e Ogliari (2013), can be noticed. Thus, the interaction was arranged considering the time within each treatment level and treatment within each time interval. The result analysis was significant for the different treatments, initially applying the average test to analyze each collection day (Table 2) and later, as the data are quantitative, using growth curves that were approximated using logistic sigmoid models (Table 3).

Table 2. Average comparison of treatment levels at each time, and average comparisons of time at each treatment level, for plant height (PLH), stalk diameter (SD), number of leaves (NL).

Plant height (m)					
Days	T	TL	CT	TM	CT
7	10.06 a A	10.35 a A	10.16 a A	10.99 a A	10.35 a A
22	22.43 a B	20.68 a A	27.61 a B	26.32 a B	25.61 a B
35	63.64 a C	55.52 a B	110.03 b C	102.99 b C	106.66 b C
49	109.40 a D	98.50 a C	190.90 b D	183.50 b D	197.70 b D
63	147.60 a E	145.70 a D	213.50 b E	213.10 b E	214.00 b E
77	171.00 a F	172.60 a E	227.80 b E	221.40 b E	224.80 b E
Stalk diameter (mm)					
Days	T	TL	CT	TM	CT
7	2.90 a A	3.25 a A	3.23 a A	3.52 a A	3.29 a A
22	7.36 a B	6.06 a B	8.39 a B	8.65 a B	8.03 a B
35	12.49 a C	11.20 a C	17.91 b C	15.67 b C	15.02 b C
49	14.81 a D	15.24 a D	20.95 b D	21.15 b D	18.61 b D
63	16.16 a D	16.40 a D	22.08 b D	22.53 b D	19.66 b D
77	16.66 a D	17.31 a D	22.81 b D	23.04 b D	20.82 b D
Number of leaves					
Days	T	TL	CT	TM	CT
7	1.41a A	1.45 a A	1.48 a A	1.55 a A	1.48 a A
22	2.38a B	2.32 a B	2.48 a B	2.44 a B	2.47 a B
35	2.89 a C	3.13 a C	3.45 b C	3.40 b C	3.44 b C
49	2.90 a D	3.16 b C	3.46 c C	3.42 c C	3.45 c C
63	3.26 a E	3.37 a D	3.53 b D	3.51 b D	3.53 b D
77	3.37 a F	3.40 a D	3.56 b D	3.57 b D	3.60 b D

a,b,... - at each time, average treatment levels followed by the same lowercase letter in the row do not differ (Scott-Knott 5%).

A,B, ... - at each treatment level, average times followed by the same capital letter in the column do not differ (Scott-Knott 5%).

Source: Author (2018).

Table 3 - Summary of the adjusted parameters for the sigmoid logistic function considering the variables PLH, SD and NL.

Maize plant height (m)					
Treatments\Coefficients	A	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE
T	1.811791	33.89154	0.080641	99.819%	0.002877
TL	370988.0	1371980	0.024721	92.492%	0.164127
CT	2.241629	109.9601	0.132029	99.791%	0.009665
TM	2.212843	104.4766	0.127791	99.863%	0.013124
CT	2.223594	186.2041	0.147274	99.816%	0.023698
Stalk diameter (mm)					
Treatments\Coefficients	A	B	c	R <sup>2</sup>	RMSE
T	16.63480	9.222630	0.092341	99.838%	0.001986
TL	17.68495	9.803638	0.080325	99.498%	0.084816
CT	22.60977	19.13175	0.117073	99.339%	0.174482
TM	23.44765	12.54340	0.092883	99.847%	0.081465
CT	20.66192	11.73555	0.095661	99.689%	0.052216
Number of leaves					
Treatments\Coefficients	A	B	c	R <sup>2</sup>	RMSE
T	12.66897	18.64767	0.139946	98.178%	0.1441941
TL	11.38385	10.39327	0.107366	98.226%	0.0221475
CT	12.80006	18.33184	0.136568	98.265%	0.1404688
TM	12.59341	14.15924	0.126101	97.634%	0.1142932
CT	12.80006	18.33184	0.136568	98.265%	0.1404688

Source: Author (2018).

When analyzing the time unfolding within each treatment level, there was a significant effect. This result was already expected for plant growth. However, when studying the level effect of each treatment within each time, the results provided practical and significant information regarding the study of maize development until the silage point.

It can be observed by the Scott-Knott test at 5% probability level that, for seven and 22 days after germination, the variables PLH, SD and NL did not show significant differences

(Table 3). A change in plant behavior can be observed at 35 DAE onwards. For PLH and SD, it was observed by the Scott-Knott test that at the 35, 49, 63, and 77 DAE, the TC, TM and TF treatments were superior than the TL and T treatments. The averages of these three treatments were considered similar for all days of data acquisition (specifically for 35, 49, 63 and 77 DAE).

It is possible to observe that, from the first application of nitrogen fertilization by mulch at 22 DAE, the treatments TC, TM and TF, i.e., the treatments that received the bedding dose of the composting shed showed a higher growth than that showed by treatments TL and T. The TL treatment showed plant growth very similar to the control T treatment. This is explained because the mulch fertilization was not effective. It is observed that the CBP bedding material allows the production of an effective fertilizer for the soil.

These results corroborate with those found by Leonardo et al. (2014), which verified a significant effect of nitrogen doses on the presence and absence of cow dung in the production of sweet potato. The authors noticed the superiority between the combination of cow dung and nitrogen, which demonstrate the possibility of establishing a more viable alternative fertilizer for sweet potato crop, especially for those places where manure is available at low cost.

Table 3 shows the coefficients of logistic sigmoid models adjusted for PLH, SD and NL. There is a high positive correlation among data as a function of time, with R values ranging from 0.96 to 0.99. For the  $R^2$  of the maize plant height (PH), values above 99% for the treatments T, TC, TM and TF are noticed. Only the TL treatment showed an  $R^2$  of 92.49%, see Figure 1.

It can be verified for the five treatments that 99% of variations occurred in the SD are explained by the time variation. On the other hand, the NL showed values of  $R^2$  above 98% for treatments T, TL, TC and TF. A lower value of  $R^2$  is noticed for the TM treatment; however, a high adjustment value, 97.634%, was also achieved.

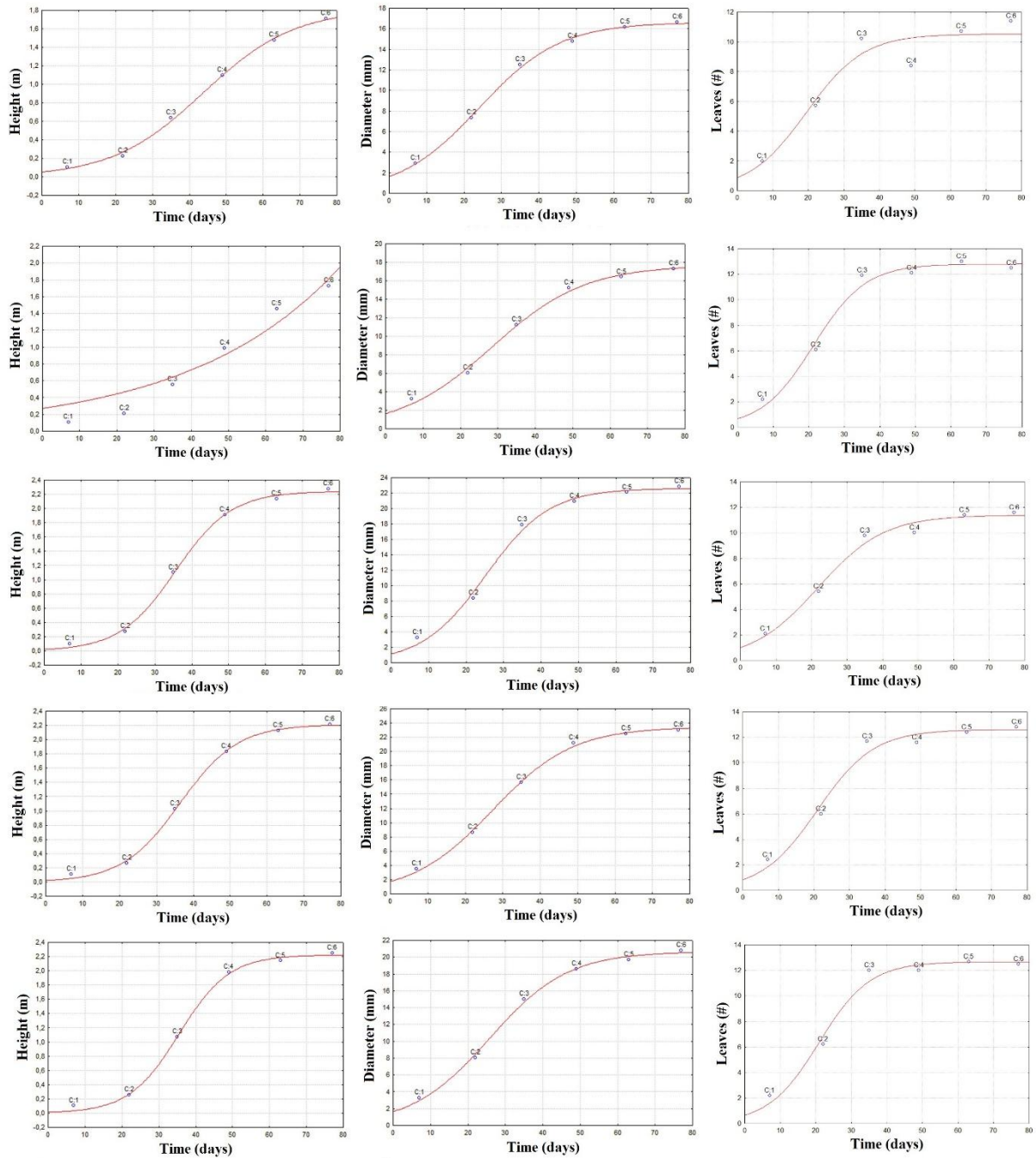
The adjusted logistic models showed satisfactory performance, for which the lowest values of RMSE were found. Thus, the sigmoid logistic function was appropriate to represent the maize plant growth up to the silage point.

Based on the above, there is a need for technologies that make possible to increase crop yield, seeking an ecologically sustainable and low-cost farming system. Therefore, the use of wastes from cattle housing systems in the CBP model adds value to the producer and to the product, besides providing farming-livestock integration. It is a natural resource available in milk producing properties. Finally, besides increasing soil fertility, this type of organic manure



pollutes less the agricultural environment.

Figure 1 - Curve adjustment by logistic sigmoid model considering plant height (m), stem diameter (mm) and number of leaves. The rows are data related to treatments T, TL, TC, TM, and TF, respectively.



Source: Author (2018).

## **Conclusion**

The treatments TC, TF and TM showed higher shoot dry matter production when compared to treatments without compost use. For maize PH and SD studied over time, it was observed that from 35 days after plant germination, heights and average diameters were considered superior for the treatments that received bedding material from composting sheds. The sigmoid logistic function was proper to represent the maize plant growth up to the silage point. The bedding material of the CBP barn can be applied directly to the soil, being suitable in the maize planting for silage. There is no need for compost maturation. The utilization of bedding material from compost shed as an organic manure is recommended as a sustainable alternative in the reuse and treatment of waste from milk production.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank to the Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education (CAPES) for financial support.

## **REFERENCES**

- ABREU JÚNIOR, C. H. et al. Uso de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. Tópicos em **Ciências do Solos**. v.4, p. 391-470, 2005.
- ALVES, M. C. et al. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 314-316, 1999.
- ANDRADE, D. F.; OGLIARI, P. J. **Estatística - Para as Ciências Agrárias e Biológicas**. Florianópolis - SC - Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina. Ed. da UFSC. 2013, 478 p.
- ANGELETTI, M. da P. et al. Utilização de espécies vegetais como cobertura de solo no sistema plantio direto e como adubação verde na região serrana do ES. **Revista Científica Intellecto**, Venda Nova do Imigrante. ES. Brasil. v. 1, p. 87-102, 2016.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**. 4ª ed. 5ª Impressão.

Jaboticabal. Funep. Brasil, 2015, 237 p.

BULEGON, L. G. et al. Análise econômica na cultura do milho utilizando adubação orgânica em substituição à mineral. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 16, p. 81-91, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.17921/1415-6938.2012v16n2p%25p>

CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**. Viçosa, v. 36, p. 1211-1220, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2016/17 - Décimo primeiro levantamento. Brasília, v.4, p.1-171, 2017.

COTTA, J. A. de O. et al. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 20, p. 65-78, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>

CASTOLDI, G. et al. Sistemas de cultivo e uso de diferentes adubos na produção de silagem e grãos de milho, **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 139-146, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v.33i1.766

DANTAS, A. A. A; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras. MG. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. MG, v. 31, p.1862-1866, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente - para aves, suínos e bovinos**. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2016. 526 p.

FLORENTINO, H. de; BISCARO, A. de F. V.; PASSOS, J. R. de S. Funções sigmoidais aplicadas na determinação da atividade metanogênica específica - AME. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 28, p. 141-150, 2010.

GALAMA, P. J. et al. **Sustainability aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands**. Wageningen UR Livestock Research. 83 p. 2015. Disponível em: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/350932>. Acesso em: 10 out. 2017.

GUARESCHI, R. F. et al. Adubação orgânica na produção de biomassa de milho em latossolo de cerrado. **Global Science and Technology** Rio Verde, v. 06, p. 66–73, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801.v06n02a08>

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A.; VOGT, G. A. Adubação do milho em um sistema de produção de base agroecológica: desempenho da cultura e fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, p. 176-186, 2012.

HOEHNE, L. et al. Avaliação das técnicas de determinação de nitrogênio por cromatografia iônica (IC) e por teor de nitrogênio total (TN) por quimiluminescência. **Tecno - Lógica**. Santa Cruz do Sul. v. 20, p. 09-13, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v20i1.6230>

LEITE D. F.; COSTA, P.; GOMIDE, F. Evolving granular neural networks from fuzzy data streams. **Neural Networks**, v. 38, p. 1-16. 2013.

LEONARDO, F. de A. P. et al. Rendimento da batata-doce adubada com nitrogênio e esterco bovino. **Revista Caatinga**. Mossoró, v. 27, p. 18–23. 2014.

MARTINS, J. D. L. et al. Esterco bovino, biofertilizante, inoculante e combinações no desempenho produtivo do feijão comum. **Revista Agro Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, p. 369-376, 2015.

MORAES, M. T. de et al.. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na

cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 35, p. 2945-2954. 2014.

MOTA, V. C.; DAMASCENO, F. A.; LEITE, D. F. Fuzzy clustering and fuzzy validity measures for knowledge discovery and decision making in agricultural engineering. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 150, p. 118–124. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

NASCIMENTO, W. G. do et al. Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia [online]**, v. 37, p. 896-904, 2008.

OLIVEIRA, A.P. de et al. Rendimento de maxixe em solo arenoso em função de doses de esterco bovino e biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1130–1135, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1130-1135>

PILATTI, J. A; VIEIRA, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. **Journal Animal Behaviour Biometeorology**. v. 5, p. 97-105, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL, 2016.

REINA, E. et al. Efeito de doses de esterco bovino na linha de semeadura na produtividade de milho. **Revista Verde**, Mossoró – RN – Brasil, v. 5, p. 158 - 164, 2010.

SILVA, F. C. et al. Quantificação da liberação de c-co<sub>2</sub> e relação c/n durante a compostagem de lixo urbano. **HOLOS Environment**, v. 3, p. 9-23, 2013.

STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version

## **ARTIGO 7**

Residue utilization of compost bedded pack barn for organic manure of maize crop

Este artigo é uma versão preliminar, enviado a Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - AGRIAMBI e o conselho editorial poderá sugerir alterações para adequá-lo ao seu próprio estilo.

## **Residue utilization of compost bedded pack barn for organic manure of maize crop**

**Abstract:** The use of organic wastes from housing systems in a compost bedded pack barn model could supply much of the fertiliser demand. Moreover, with the increase in food consumption from sustainable livestock, the use of fertiliser generated from the property itself becomes economically viable. This article studies the effect of different time intervals on bed maturation in compost sheds, as well as the use of organic manure in a maize crop. The experimental design consisted of randomised blocks with five treatments and five replications. The data were analysed with a variance analysis and the averages were compared using a Scott-Knott test at a 5% statistical significance probability. The treatments with the addition of fresh and mature compost with nitrogen cover had a higher production of maize dry matter when compared to treatments that did not use compost. For all variables analysed, the treatments that used bedding material were superior to the other treatments. The soil used for growing silage maize showed a significant increase in its chemical characteristics when associated with the application of bedding material from the housing system for dairy cattle in the compost-bedded pack barn. In conclusion, the use of bedding material compost from sheds as organic manure is recommended as a sustainable alternative in the reuse and treatment of waste from milk production. In the long-term, bedding material incorporates nutrients to the soil, increases agricultural production and adds value to the property.

**Keywords:** dairy cattle, maize (*Zea mays* L.), sustainable livestock

## **Aproveitamento do resíduo da cama de confinamento Compost Barn para adubação orgânica da cultura do milho**

**Resumo:** O uso de resíduos orgânicos, provenientes de sistema de confinamento no modelo Compost Barn poderia suprir uma grande demanda por adubo. Além disso, com o constante aumento do consumo de alimentos oriundos da pecuária sustentável, a utilização de adubo gerado da própria propriedade se torna economicamente viável. Este artigo tem como objetivo estudar o efeito de diferentes intervalos de tempo para maturação da cama em galpões de composto, bem como para adubação orgânica no cultivo do milho. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os dados foram submetidos à Análise de Variância e à comparação de médias pelo teste de Scott-Knott considerando 5% de probabilidade para significância estatística. Os tratamentos com adição de composto fresco e curtido com cobertura nitrogenada apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea do milho quando comparado com os tratamentos sem o uso de composto. Para todas as variáveis analisadas, os tratamentos que utilizaram o material de cama foram superiores aos demais tratamentos. O solo utilizado no plantio milho para silagem apresentou aumento significativo nas suas características químicas quando associados à aplicação do material da cama do sistema de confinamento para bovinos leiteiros no modelo Compost Barn. Conclui-se que o aproveitamento do material de cama proveniente de galpões de compostagem, como adubo orgânico, é recomendável como uma alternativa sustentável no reuso e tratamento de dejetos da produção leiteira. Em longo prazo, o material da cama incorpora nutrientes ao solo, aumenta a produção agrícola e agrega valor à propriedade.

**Palavras-chave:** bovinos leiteiros, milho (*Zeamays L.*), pecuária sustentável



## 1 - INTRODUCTION

Recently, a new animal housing system known as a compost-bedded pack barn (CBP) (Ferreira, 2016; Mota et al., 2017; Pilatti & Vieira, 2017; Mota et al., 2018) has become preferred by producers. The main difference in the CBP housing system is in the animals' resting bed. The bed contains nitrogen derived from the urine and waste from cows housed in the CBP shed. Additionally, the bed contains carbon sources from sawdust, woodchips, chopped corn stover and peanut and coffee husks, among others (Leso et al., 2013; Galama et al., 2015).

The bed composting process in CBP systems is similar to that in compost piles. The aerobic decomposition is controlled by the microorganism action, and the stabilization of the crude organic matter is completed when forming humus. This final decomposition material is commonly used for agricultural purposes as fertiliser (Cotta et al., 2015).

The use of organic wastes, such as cow dung, represents a balanced way to provide nutritional and mineral properties to plants. These nutrients could be applied to the planting of maize for silage. Maize is commonly used as dairy herd ration (Nascimento et al., 2008; Pescumo & Igarasi, 2013).

With the increased concern about the environmental impacts generated by organic wastes from animal housing systems, interest in the composting process and recycling of these wastes has been stimulated (Cotta et al., 2015). The manure from the beds of dairy cattle from CBP housing systems could supply a large demand for fertilisers. Moreover, with the continuing increase in food consumption derived from sustainable livestock, the use of fertilisers generated from the farm property becomes economically viable. Based on the above, information, this article studies different time intervals for CBP bed maturation and the effect of using the composting bed material as organic manure for a maize crop.

## **2- MATERIALS AND METHODS**

The study was performed in a greenhouse at the Universidade Federal de Lavras (UFLA), in the Southern region of the state of Minas Gerais, Brazil, 21° 14' S latitude and 45° 00' GRW longitude, with an approximately 918 m altitude. The regional climate is Cwa, with a dry winter and rainfall predominant in the summer, a total average annual rainfall of 1530 mm and an annual average temperature of 19.4 °C (Dantas et al., 2007).

The experiment was conducted between November 2016 and February 2017. The average maximum and minimum temperatures were 29.3 and 18.4 °C, respectively and the average external relative humidity was 72.8% in the greenhouse during the period from November to February.

The experimental design was a randomized block design with five treatments and five replications (Table 1). The treatments consisted of different maturation periods of the cow dung from the bed of the housing system for dairy cattle operated under the CBP model. The treatments also consisted of chemical fertiliser applications with nitrogen under mulch.

The experimental plot consisted of one plant in each pot, and five replicates were used, totalling 25 experimental plots. The plots were represented by pots with a capacity of 15 dm<sup>3</sup>, filled with a mixture of soil and washed sand in a 3:1 ratio. The pots were irrigated daily until reaching field capacity, and they were kept in an unheated greenhouse (Guareschi et al., 2013).

Table 1. Details of the treatments used in the experiment with organic manure derived from the housing system beds in a compost-bedded pack barn model

Treatment	Description
Treatment 1 - TM	Fresh compost added to the pot 15 d before planting, with nitrogen mulch
Treatment 2 - TC	Compost matured for 30 d and added to the pot on the day of sowing, with nitrogen mulch
Treatment 3 - TF	Fresh compost added to the pot on the day of sowing, with nitrogen mulch
Treatment 4 - TL	Without compost, with only nitrogen mulch (conventional)
Treatment (Control)	Corrected soil, without nitrogen mulch

The soil used for planting was classified as a Type 3 soil having a clayey texture, with 70dag kg<sup>-1</sup> clay, 4dag kg<sup>-1</sup> silt and 26 dag kg<sup>-1</sup>sand in the depths between 0 and 0.2 m, located in a ravine area on the campus of the Federal University of Lavras and whose chemical characteristics were determined through sampling.

The soil chemical analysis used in the experiment revealed the following composition: 6.0pH in H<sub>2</sub>O, 6.08 mg dm<sup>-3</sup>K (potassium),1.63 mg dm<sup>-3</sup>P (phosphorus), 1.0 cmol dm<sup>-3</sup>Ca (calcium), 0.48 cmol dm<sup>-3</sup>Mg (magnesium) and0.10 cmol dm<sup>-3</sup>Al (aluminium). Additionally, the H+Al (extractor: SMP) was 2.96 cmoldm<sup>-3</sup>, the effective cation exchange capacity (CEC (t)) was 1.65 and the cation exchange capacity at pH 7.0H<sub>2</sub>O (CEC (T)) was 4.51 cmolc dm<sup>-3</sup>. The exchangeable bases (SB) value was 1.55 cmolc dm<sup>-3</sup>,the base saturation index(V) was 34.27%, the aluminium saturation index(m) was6.06%, the organic matter (O. M.) was1.09 dag kg<sup>-1</sup> and the remaining phosphorus (P-Rem) was4.86 mg L<sup>-1</sup>. Furthermore, copper (Cu) was1.05 mg dm<sup>-3</sup>,zinc(Zn) was0.46 mg dm<sup>-3</sup>, manganese (Mn) was3.81 mg dm<sup>-3</sup>, iron(Fe) was20.28 mg dm<sup>-3</sup> and sulphur(S) was104.65 mg dm<sup>-3</sup>.

The organic manure used in the experiment was obtained from a CBP housing for dairy cattle located on a rural property in the municipality of Três Corações, in the state of Minas Gerais, Brazil. The physical and chemical characteristics of the organic material, in this case bedding material used in the housing, are presented in Table 2. For the determination of N, the Kjeldahl method (Hoehne et al., 2016) was used, and the O.M. determination was based on the method proposed by Carmo & Silva (2012).

Table 2. Physical and chemical characteristics of the organic compost (bed) from the feed system of dairy cattle in the CBP model used in the experiment

	Treatment 1–TC	Treatment 2–TM	Treatment 3–TF
TS	46.22	49.32	53.73
pH in H <sub>2</sub> O	9.43	9.05	9.11
FMR	18.49	28.98	15.69
OM	46.31	43.64	71.79
TN	3.5	1.8	1.9
NA	1.9	1.4	1
C	26.86	25.31	41.64
C/N ratio	8:1	14:1	22:1

TS–total solids, %; FMR–fixed mineral residue, ashes,%; OM–organic matter,%;TN–total nitrogen, %; NA–ammonia nitrogen, %; C–carbon, %, result on wet basis

One 24.87 ton ha<sup>-1</sup> dose of CBP compost was applied manually 15 d before sowing the maize crop was planted (Treat. 1-TM), while the other 24.87 ton ha<sup>-1</sup> doses of the compost (Treat. 2-TC and Treat. 3-TF) were applied during the sowing of the maize crop together with the chemical fertiliser application. Soil chemical correction was performed from the base saturation, and 0.0015 m<sup>3</sup> of dolomitic limestone per pot was applied.

The fertiliser application at the sowing time in each N, P, K pot was 0.00075 kg ammonium sulphate with the composition of 20% N, 0.0045 kg super simple phosphate in the composition of 20% phosphorus (P) and 0.00225 kg potassium chloride (KCL) in the composition of 60% potassium (K). The guidelines of the 5<sup>th</sup> Approach of Minas Gerais (Alves et al., 1999) were considered when performing soil correction and nitrogen fertiliser application with mulch, with recommendations of 180 t ha<sup>-1</sup> N divided into three plots, calculated for each pot. Nitrogen sulphate with 20% N was used as the nitrogen source during mulch application.

At 15 d after emergence (DAE), the first nitrogen fertiliser application with a concentration of 0.000482 kg per pot was carried out. The second and third nitrogen fertiliser applications occurred at 30 and 45 DAE.

The hybrid maize (*Zea mays* L.) cultivar 'Roundup Ready® - NK 603' was sown on November 18, 2016, with three seeds per pot at a depth of 0.05 m. Plant emergence occurred on November 23, 2016. The thinning occurred at 7 DAE, leaving one plant per pot.

The following characteristics were evaluated at the maize silage point (2/14/2017): plant height (PLH) (by measuring the vertical distance between the soil surface and the insertion point of the last leaf using a measuring tape), stem diameter (measured with digital calliper at 0.03 m from the ground), total number of leaves, shoot dry mass (SDM), shoot wet mass (SWM) and dry basis moisture (DBM).

The plants were cut close to the ground, weighed and placed in plastic bags. They were identified and transferred to a greenhouse at 65 °C, until obtaining constant mass (MAPA, 2007). Then, ear length with and without bark (a millimetre ruler was used), ear diameter with and without bark (measured with tachymeter) and maize yield were determined.

Finally, the chemical analysis of the pot soil was performed after maize harvesting. In this analysis, a composite sample was taken with five repetitions of each treatment that were sent to the Laboratory of Soil Analysis of the UFLA, totalling five samples from 0 to 0.10 m depths (three readings of each sample were performed). These were compared with the soil chemical characteristics determined prior to the installation of the experiment.

Initially, the basic assumptions of variance analysis were verified. The Shapiro-Wilk test was applied to verify the data normality, the Hartley's test was used to determine the variance homogeneity and residual analysis was used to examine the data independence (Banzatto & Kronka, 2015). Subsequently, the data were submitted to variance analysis and the averages were compared by the Scott-Knott test. A 5% probability for all tests mentioned was considered for significance. The analyses were performed in R software (R Core Team, 2016) and SISVAR (Ferreira, 2011).

### **3 - RESULTS AND DISCUSSION**

According to the Shapiro-Wilk test, the residuals followed a normal distribution. When the Hartley's test was applied, a homogeneity of variances was observed and the residual analysis showed that the residues are well dispersed around zero, without a defined pattern. It was found that the errors are independent.

Thus, the basic assumptions for the analysis of variance were met for all variables, i.e., the  $e_{ij}$  was normal, independently distributed, with a zero average and variance  $\sigma^2(e_{ij} \cap NID(0, \sigma^2))$ . This indicates that the analysis of variance can be applied.

It was verified that the different maturities and applications of the bedding material produced in the housing system of the nitrogen-containing CBP model showed different effects

on maize crops (*Zea mays* L.). There was a significant difference in the F test at a 5% significance level among the treatments. The importance of organic manure or mineral fertiliser application was justified for the maize crop.

It was verified that the different maturities and applications of the bedding material produced in the housing system of the nitrogen-containing CBP model showed different effects on maize crops (*Zea mays* L.). There was a significant difference in the F test at a 5% significance level among the treatments. The importance of organic manure or mineral fertiliser application was justified for the maize crop.

The coefficients of variation (CV) for the variables PLH (plant height in m), SD (stem diameter in mm) and NL (number of leaves) were 8.42, 13.97 and 12.18%, respectively. This showed an adequate accuracy for the experiment.

The CV of SDM (shoot dry matter) was 25.06%; the data variability could be considered high, as measured in the CV scale from Andrade &Ogliari (2013). For the variables DESPC (ear diameter with husk in mm), DESPS (ear diameter without husk in mm),CESPC (ear length with husk in cm) and CESPS (ear length without husk in cm), the CV values were 7.48, 9.65, 10.88 and 17.33%, respectively. In general, a low percentage of variation in relation to the average was observed in this experiment.

The organic material derived from the dairy cattle bedding in the CBP model housing system had higher shoot dry matter (SDM) for the 'NK 603' hybrid cultivar when compared to the treatments without compost (Table 3). The average SDM values for treatments TC, TF and TM were 0.426, 0.422 and 0.394 kg, respectively. Thus, there was a greater availability of silage material and feed for dairy cows, besides a higher financial profit.

Table 3. Average values of plant height (PLH), stem diameter (SD), number of leaves (NL), shoot green matter (SGM), shoot dry matter (SDM), dry basis moisture (DBM), ear diameter with husk (DESPC), ear diameter without husk (DESPS), ear length with husk (CESPC) and ear length without husk (CESPS) at the silage point 77 days after maize germination

Variables	Treatments				
	T	TL	TF	TM	TC
PLH(m)	1.71b	1.73 b	2.25 a	2.21 a	2.28 a
SD (mm)	14.42 b	12.31 b	17.50 a	18.40 a	18.75 a
NL (#)	11.40 b	11.60 b	12.50 a	12.80 a	12.60 a
SGM (kg)	0.68b	0.66 b	1.39a	1.39 a	1.50a
SDM(kg)	0.19 b	0.16b	0.42a	0.39a	0.43 a
DBM (gH <sub>2</sub> Oms <sup>-1</sup> )	2.55 a	3.04 b	2.30 a	2.53 a	2.59 a
DESPC(mm)	39.60 b	41.30 b	50.70 a	50.00 a	51.4 a
DESPS(mm)	35.30 b	35.70b	44.80 a	43.90 a	44.00 a
CESPC (mm)	170.00b	180.00b	233.00 a	219.00 a	227.00 a
CESPS (mm)	128.00 b	116.00b	173.00a	187.00a	178.00a

Averages followed by the same letter (a or b) on the same row do not differ by the Scott-Knott test at a 0.05 probability level

For all variables analysed, no significant difference was observed in the Scott-Knott test among the TM, TC and TF treatments. Thus, the averages of these treatments were considered equal to each other and superior to the averages of other treatments.

The effect of cow dung doses on maize yield has also been studied by Reina et al. (2010). Ears and grains increased in size and mass copperas manure doses also increased. The authors recommended the use of cattle manure in the sowing line for both family farmers and large producers, as long as there is manure and a labour force available for its application. These results corroborated those found by Guareschi et al. (2013).

The latter, when evaluating the application effect of different animal manures in comparison to mineral fertiliser application on the biomass production of maize plants, also



observed that the use of cow dung improved the plant development. The increase in manure dose, up to 40 ton ha<sup>-1</sup>, showed a linear growth trend for the maize crop.

Several studies have shown the positive and gradual effect of using organic manure, especially cow dung. This manure has been used for the cultivation of several crops, including common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) (Martins et al., 2015), cackrey (*Cucumis anguria*) (Oliveira et al., 2014) and sweet potato (*Ipomoea batatas*) (Leonardo et al., 2014).

Cow dung mixed with CBP bedding is rich in nutrients and available at a low cost to dairy farmers; it can be used when removed from the housing shed. The CBP bed needs a regular addition of material (sawdust and rough wood, among others) to prevent excessive moisture in the top layer.

The reference values are a consumption of 8.4 tons of woodchips and/or sawdust per cow per year and 12 tons of compost produced per cow per year. However, these numbers can vary widely among farms (Galama et al., 2015). With the huge availability of mature bedding material, it can be reused by farmers both in the organic manure for their agricultural crops and also for resale to other properties.

Table 4 shows the results of soil chemical analysis at the 0–0.10 m layer, collected from the pots after 77 days, when the maize was at its silage point. The pH levels for the TM and TC treatments were higher than those of other treatments and showed little difference from the initial 6.0 pH in H<sub>2</sub>O.

Table 4. Average values of soil chemical characteristics after maize planting for the different treatments

	Soil characterization after planting				
	T	TL	TF	TM	TC
pH in H <sub>2</sub> O	6.03	6.00	6.10	6.37	6.40
K (mg dm <sup>-3</sup> )	23.89 a	142.67 b	804.99 d	923.01 e	704.57 c
P (mg dm <sup>-3</sup> )	6.59 a	7.32 a	44.21 c	50.37 c	34.36 b
Ca (cmoldm <sup>-3</sup> )	2.41 a	4.97 b	7.70 b	5.91 b	6.74 b
Mg (cmol dm <sup>-3</sup> )	1.57 a	3.75 b	5.56 b	5.16 b	4.72 b
S (mg dm <sup>-3</sup> )	127.08 ns	125.47 ns	277.92 ns	174.58 ns	121.43 ns
Al (cmoldm <sup>-3</sup> )	0.06 ns	0.06 ns	0.05 ns	0.07 ns	0.06ns
H+Al (cmoldm <sup>-3</sup> )	2.20 a	2.17 a	2.11 a	1.83 a	1.80 a
CEC(t) (cmoldm <sup>-3</sup> )	4.11 a	8.15 b	13.33 c	13.52 c	15.40 c
CEC (T) (cmoldm <sup>-3</sup> )	6.24 a	10.27 b	15.07 c	15.27 c	17.43 c
SB (cmoldm <sup>-3</sup> )	4.04 a	8.09 b	15.32 c	13.44 c	13.27 c
V (%)	64.54 a	78.49 b	87.84 c	88.01 c	87.82 c
m (%)	1.58 b	0.70 a	0.49 a	0.54 a	0.40 a
OM (dag kg <sup>-1</sup> )	1.02 a	1.08 a	2.63 b	2.66 b	2.54 b
P-Rem (mg L <sup>-1</sup> )	15.41 ns	15.15 ns	17.24 ns	20.31 ns	18.72 ns
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )...	0.46 a	1.07 a	4.11 b	4.53 b	3.97 b
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )...	1.05a	0.93 a	1.49 b	1.59 b	1.50 b
Fe (mg dm <sup>-3</sup> )...	31.26 a	25.13 a	42.53 b	45.12 b	38.65 b
Mn (mg dm <sup>-3</sup> )...	17.99 a	17.77 a	24.16 b	23.94 b	19.89 a

Means followed by the same letter in the same row do not differ by the Scott-Knott test at 0.05 probability level; ns - Not significant by F test at  $\alpha = 0.05$

After analysing the macronutrients K, P, Ca, Mg and S, the K values were different in all treatments and were superior for the TM treatment, which was followed by the TF, TC and TL treatments compared to the control. The P values were higher for the treatments that received the CBP-derived organic material compared to TL and T. In parallel with the initial analysis (1.63

mg dm<sup>-3</sup>), a significant soil improvement was observed. The Ca and Mg showed similar results by the Scott-Knott test; the TC, TM, TF and TL treatments were superior to the treatment without organic compost. For S, the test results were not significant, i.e., the values were similar. Increases of Ca, Mg and S contents in the soil to which fertiliser had been applied were also verified.

For pH in H<sub>2</sub>O and P-Rem, the test was not significant for the treatments. However, comparing the values with the initial result, there was a decrease in aluminium content and an increase in the P-Rem. The average H+Al values were nearly equal, with a slight decrease compared to the initial value of the soil. CEC (t) and CEC (T) also increased, and average test values showed the superiority of treatments receiving the CBP organic compost.

Similar results were found by Oliveira et al. (2014), who verified an increase of CEC (t) and CEC (T) as a function of the application of organic manures to lettuce cultivation in a controlled environment. The authors relate this increase to the lower loss by mineralization with organic matter.

The initial SB and V values were 1.55 cmol dm<sup>-3</sup> and 34.27%, respectively. When compared to the average results in Table 4, there was an increase in these values. After analysing the treatments by the Scott-Knott test, it was observed that the average values of the TC, TM and TF treatments were nearly equal with one another and higher than TL and T.

A reduction of the aluminium saturation index (%) was observed, and the control showed a higher value of m (%) when compared to the other treatments.

The values of O.M. increased for the three treatments in which CBP bedding material was applied at different maturation times, after comparison to soil O.M. values before the beginning

of the experiment. It was verified by the average test that these treatments had values equal with one another and higher than the values obtained from TL and T treatments.

The Fe, Zn and Cu micronutrients had nearly identical averages, with values of TC, TM and TF equal with one another and higher than TL and T. For Mn, an increase in values was observed for all treatments; and the TM and TF treatments showed values equal to each other and higher than the other values had.

In general, an improvement in soil fertility was verified after analyses before the beginning of the experiments and 77 d after maize germination when the maize reached the silage point. According to Abreu Júnior et al. (2005), the fundamental effects caused by the disposal of organic wastes in agriculture are directly related to the increase in soil O.M. over successive applications.

Based on the above, there is a need for technologies that make it possible to increase crop yield, while seeking an ecologically sustainable and low-cost farming system. Therefore, the use of wastes from cattle housing systems such as the CBP model adds value to the producer and to the product, besides providing farming-livestock integration. It is a natural resource available on milk-producing farms. Finally, besides increasing soil fertility, this type of organic manure pollutes the agricultural environment relatively little.

#### **4 - CONCLUSIONS**

1. The TC, TF and TM treatments showed higher shoot dry matter production for maize when compared to treatments without compost use. For all variables analysed, the treatments that used the bedding material of CBP for composting were superior to the other treatments.

2. The soil used in maize planting for silage significantly improved its chemical characteristics with the application of bedding material from the housing system for dairy cattle in compost bedded pack barn model.

3. The bedding material of the CBP can be applied directly to the soil, and is suitable for silage maize planting. There is no need for compost maturation.

4. The utilization of bedding material from the compost shed as organic manure is recommended as a sustainable alternative in the reuse and treatment of waste from milk production. At the same time, in the long-term, bedding material incorporates nutrients into the soil, increases agricultural production and adds value to the property.

#### **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior(CAPES) for financial support, the Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras(UFLA) for the greenhouse used for the experiments and the Departamento de Ciências de Alimentos da UFLA, setor de Laticínios for assistance with the physical and chemical analyses.

#### **LITERATURE CITED**

Abreu Júnior, C. H.; Barreto, A. E.; Muraoka, T.; Kiehl, J. de C. Uso de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. Tópicos em Ciências do Solos, v.4, p.391-470, 2005.

Alves, V. M. C. et al. Milho. (1999). In: Ribeiro, A. C.; Guimaraes, P. T. G.; Alvarez, V. V. H.

(Eds.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, pp. 314-316.

Andrade, D. F.; Ogliari, P. J. Estatística para as ciências agrárias e biológicas. Florianópolis: Editora UFSC, 2013. 478p.

Banzatto, D. A.; Kronka, S. do N. Experimentação agrícola. 4.ed. 5.imp. Jaboticabal:FUNEP, 2015. 237p.

Carmo, D. L. do; Silva, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1211-1220, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000400015>

Cotta, J. A. de O.; Carvalho, N. L. C.; Brum, T. da S. Rezende, M. O. de O. Compostagem versus vermicompostagem: Comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.20, p.65-78, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>

DANTAS, A. A. A; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras. MG. Ciência e Agrotecnologia. Lavras. MG, v. 31, p.1862-1866, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>

Ferreira, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, p.1039-1042,2011.

Ferreira, R. A. *Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos*. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2016. 526p.

Galama, P. J.; Boer, H. C. de; Dooren, H. J. C. van; Ouweltjes, W.; Driehuis, F. Sustainability aspects of ten bedded pack dairy barns in The Netherlands. Wageningen: Livestock Research, 2015. 83p.

Guareschi, R. F.; Silva, A.; Silva Junior, H. R. da; Perin, A.; Gazolla, P. R. Adubação orgânica na produção de biomassa de milho em latossolo de cerrado. *Global Science Technology*, v.06, p.66–73, 2013.<http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801.v06n02a08>

Hoehne, L.; Santos, F. dos; Stülp, S.; Tischer, J. S.; Schneider, F. A. Avaliação das técnicas de determinação de nitrogênio por cromatografia iônica (IC) e por teor de nitrogênio total (TN) por quimiluminescência. *Tecno - Lógica*, v.20, p.09-13, 2016. <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v20i1.6230>

Leonardo, F. de A. P.; Oliveira, A. P. de; Pereira, W. E.; Silva, O. P.R. da; Barros, J. R. A. Rendimento da batata-doce adubada com nitrogênio e esterco bovino. *Revista Caatinga*, v.27, p.18–23, 2014.

Leso, L.; Uberti, M.; Morshed, W.; Barbari, M. A survey of Italian compost dairy barns. *Journal of Agricultural Engineering*, v.44, p.120-124, 2013.

Martins, J. D. L.; Moura, M. F. de; Oliveira, J. P. F. de; Oliveira, M. de; Galindo, C. A. F. Esterco bovino, biofertilizante, inoculante e combinações no desempenho produtivo do feijão comum. Revista Agro@mbiente On-line, v.9, p.369-376, 2015. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i4.2583>

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Brasília: MAPA, 2007.141p.

Mota, V. C. Campos, A. T.; Damasceno, F. A.; Resende, E. A. de M.; Rezende, C. P. do A., Abreu, L. R. de; Vareiro, T. Confinamento para bovinos leiteiros: Histórico e características. PUBVET, v. 11, p.433-442. 2017. <http://dx.doi.org/10.22256/PUBVET.V11N5.433-442>

Mota, V. C.; Damasceno, F. A.; Leite, D. F. Fuzzy clustering and fuzzy validity measures for knowledge discovery and decision making in agricultural engineering. Computers and Electronics in Agriculture v.150, p.118–124. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.011>

Nascimento, W. G. do; Prado, I. N. do; Jobim, C. C.; Emile, J. C.; Surault, F.; Huyghe, C. Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. Revista Brasileira de Zootecnia., v.37, p.896-904, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000500018>

Oliveira, A. P. de, Silva, O. P. R. da; Bandeira, N. V. da S.; Silva, D. F. da; Silva, J. A.; Pinheiro,



S. M. G. Rendimento de maxixe em solo arenoso em função de doses de esterco bovino e biofertilizante, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v. 18, p. 1130-1135, <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1130-1135>

Pescumo, D. P.; Igarasi, M. S. Híbridos de milho e sorgo para silagem na alimentação de bovinos leiteiros. *PUBVET*, v. 7, Ed. 229, Art. 1513, 2013.

Pilatti, J. A.; Vieira, F. M. C. Environment, behavior and welfare aspects of dairy cows reared in compost bedded pack barns system. *Journal of Animal Behaviour Biometeorology*, v.5, p.97-105, 2017.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Available on:<<https://www.R-project.org/>>. Access: Mai. 2017.

Reina, E.; Afféri, F. S.; Carvalho, E. V. de; Dott, M. A.; Peluzio, J. M. Efeito de doses de esterco bovino na linha de semeadura na produtividade de milho. *Revista Verde*, v.5, p.158-164, 2010.

10 - Apêndice

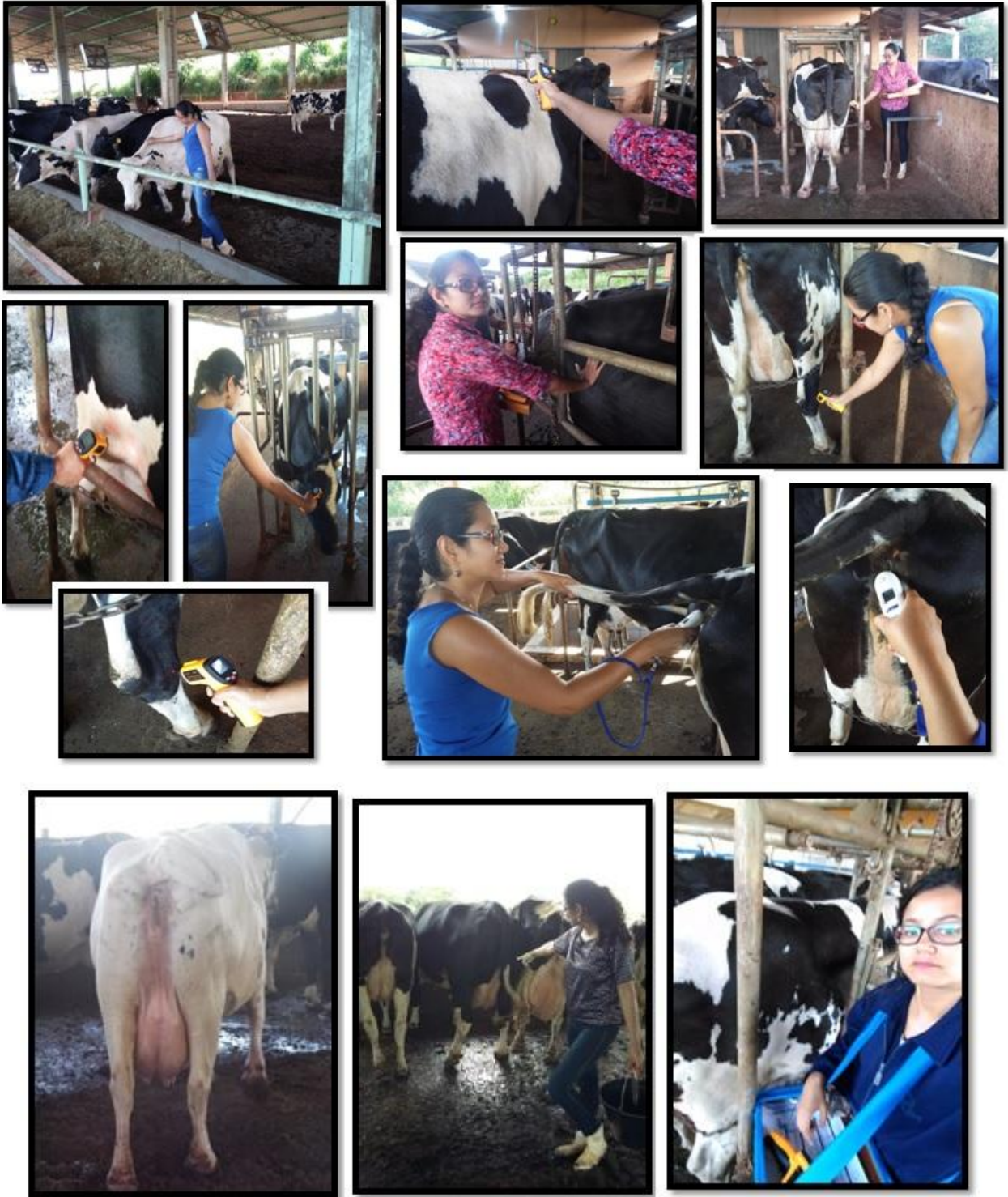
Apêndice A - Memórias - *Compost Barn*



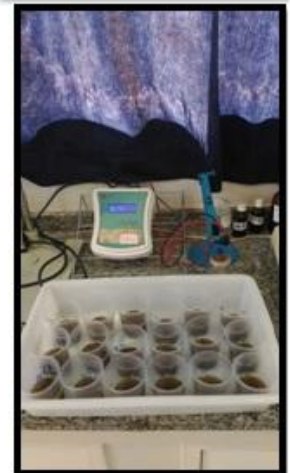
## Apêndice B - Memórias - Coleta

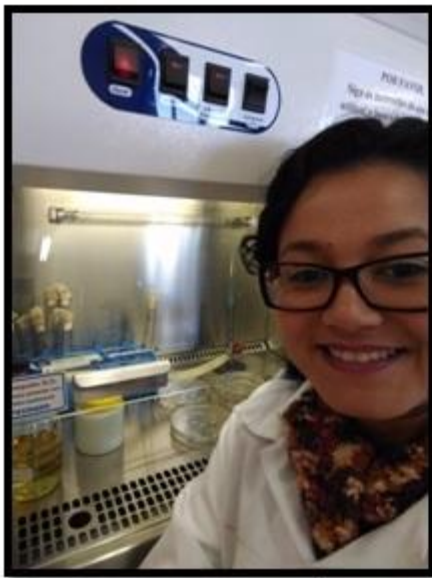


## Apêndice B - Memórias - Dados Fisiológicos

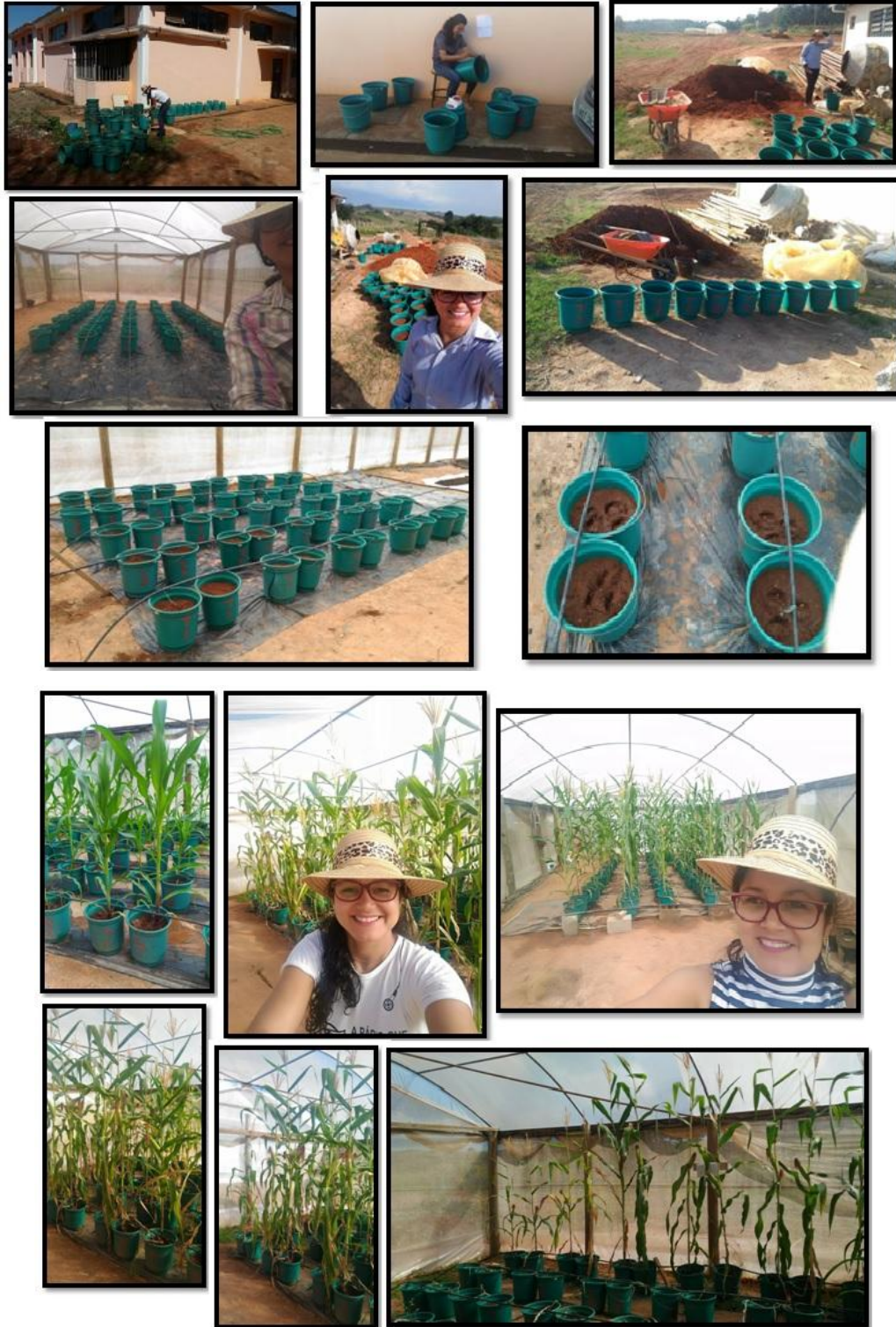


### Apêndice C - Memórias - Laboratório

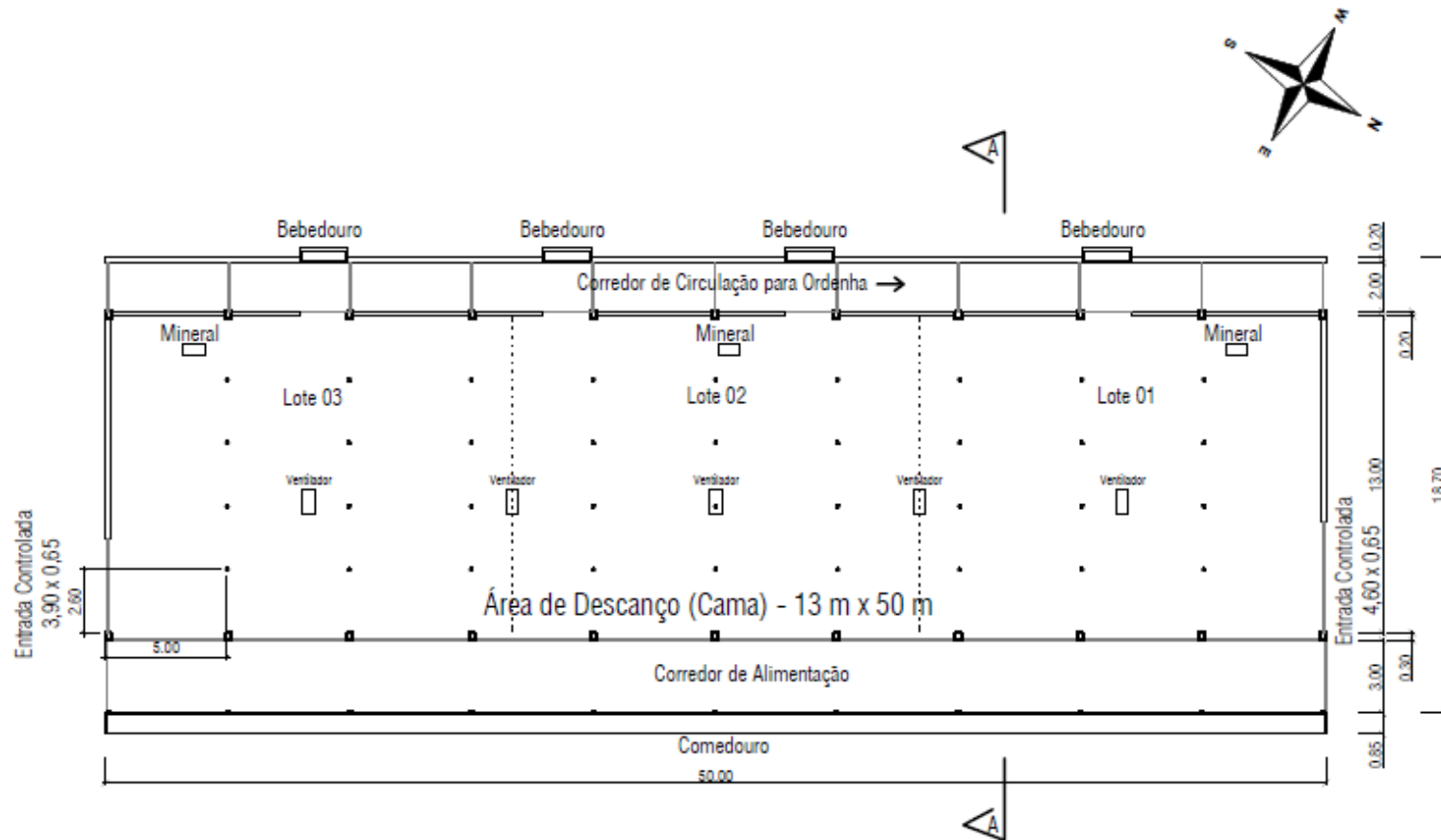




### Apêndice C - Memórias -Experimento milho



## Anexo A - Planta baixa do galpão



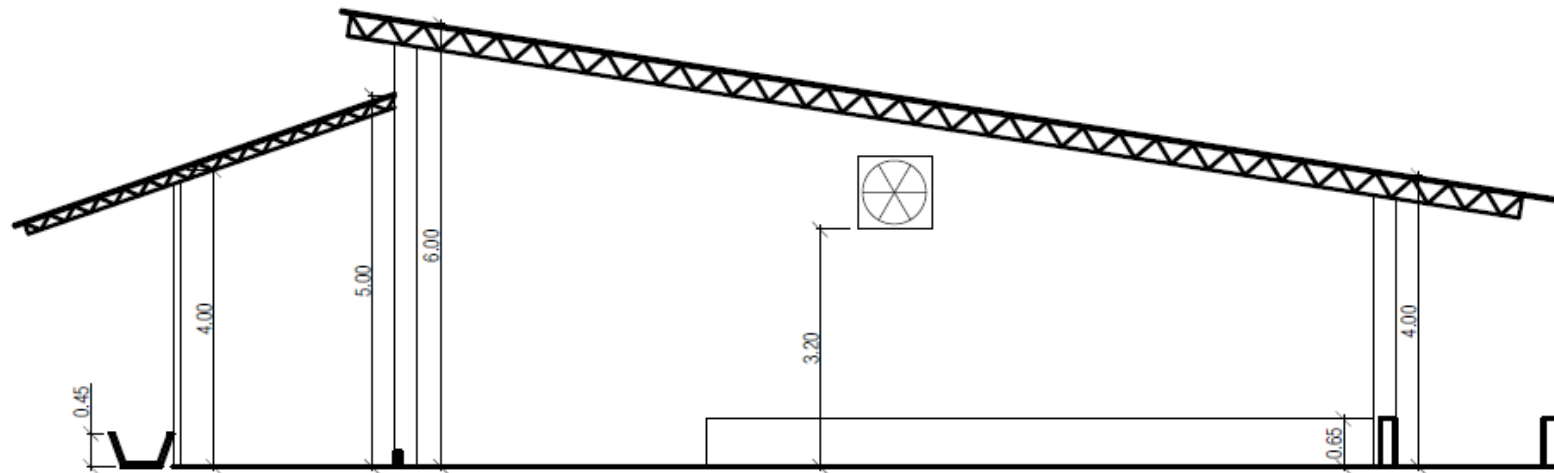
### Planta Baixa

Escala: 1:250

Unidade: metro



## Anexo B - Corte AA do galpão



## Corte AA

Escala: 1:100

Unidade: metro