

## TEMPERATURA E UMIDADE DA CAMA EM INSTALAÇÕES *COMPOST BARN* COM DIFERENTES SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

CARLOS EDUARDO ALVES OLIVEIRA<sup>1</sup>, FLÁVIO ALVES DAMASCENO<sup>2</sup>,  
GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>3</sup>, JOÃO ANTÔNIO COSTA DO  
NASCIMENTOS<sup>4</sup>, RAFAELLA RESENDE ANDRADE<sup>5</sup>, MATTEO BARBARI<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrícola, Mestrando em Eng. Agrícola, DEA/UFV, Viçosa, MG, BR, +55 (31) 3612-4060, carloseoliveira@ufv.br

<sup>2</sup> Eng. Agrícola, Prof. Dr., DEG/UFLA, Lavras, MG, BR, +55 (35) 3829-1481, flavio.damasceno@ufla.br

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Prof. Dr., DEA/UFLA, Lavras, MG, BR, +55 (35) 2142-2011, gabriel.ferraz@dea.ufla.br

<sup>4</sup> Graduando em Zootecnia, DZO/UFLA, Lavras, MG, BR, +55 (35) 3829-1231, jacostadonascimento@estudante.ufla.br

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Doutoranda em Eng. Agrícola, DEA/UFV, Viçosa, MG, BR, +55 (31) 3612-4060, rafaella.andrade@ufv.br

<sup>6</sup> Ing. Agricolo, Prof. PhD, DAGRI/UNIFI, Firenze, Toscana, IT, +39 (320) 432-4413, matteo.barbari@unifi.it

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso On-line

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição espacial das variáveis temperatura e umidade da cama em instalações *Compost Barn* (CBPs) com diferentes sistemas de ventilação. O experimento foi realizado em abril de 2017, em fazendas localizadas em Madre de Deus, MG. Foram avaliadas instalações CBPs com três diferentes sistemas de ventilação: natural (VN); mecânica de baixo volume e alta rotação (LVHS); e mecânica de alto volume e baixa rotação (HVLS). As instalações apresentavam como material de cama serragem de madeira. As instalações CBPs foram divididas em malhas com 40 pontos equidistantes, nos quais foram coletados manualmente os níveis de temperatura da cama na superfície ( $t_{c-sup}$ ) e na profundidade de 0,20 m ( $t_{c-20}$ ), bem como amostras de cama em ambas profundidades, que foram utilizadas para determinação da umidade ( $U_c$ ). A técnica de geoestatística foi utilizada para avaliação da dependência e distribuição espacial. Os resultados encontrados mostraram a ocorrência de dependência e variabilidade espacial, sendo os menores níveis verificados na instalação com ventilação HVLS. Os resultados alcançados permitem concluir que a ventilação exerce influência sobre as variáveis analisadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** gado de leite, manejo da cama, variabilidade espacial

## BED TEMPERATURE AND MOISTURE IN COMPOST BEDDED PACK BARNS WITH DIFFERENT VENTILATION SYSTEMS

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the spatial distribution of the variables bed temperature and humidity in compost dairy barn (CBP) with different ventilation systems. The facilities presented wood sawdust as bed material. The CBPs were divided into meshes with 40 equidistant points, in which the bed temperature levels were manually collected on the surface ( $t_{c-sup}$ ) and at a depth of 0.20 m ( $t_{c-20}$ ), as well as bed samples at both depths, which were used to determine moisture ( $U_c$ ). The geostatistical technique was used to evaluate dependence and spatial distribution. The results showed the occurrence of dependence and spatial variability, and the lowest levels were verified for installation with HVLS ventilation. The results obtained allow us to conclude that ventilation influences the variables analyzed.

**KEYWORDS:** dairy cattle, bed management, spatial variability

## INTRODUÇÃO:

O leite e seus derivados apresentam elevada importância na composição da dieta alimentar humana e, dada a sua importância, o complexo industrial leiteiro constitui-se como um dos mais relevantes para o agronegócio brasileiro (SABBAG & COSTA, 2015). Entretanto, para alcançarem resultados satisfatórios em sua atividade, demanda-se cada vez mais dedicação e investimentos por parte dos produtores, pois fatores como estrutura física, ambiente térmico, manejo, entre outros, apresentam implicações diretas sobre a produtividade do rebanho (COSTA & SILVA, 2014).

Entre os sistemas de produção confinada de gado de leite, destaca-se o *Compost Bedded Pack Barns* (CBP), que consiste no confinamento dos animais em uma grande área comum, recoberta por cama em material macio e confortável, que sob condições adequadas de temperatura e umidade sofre o processo de compostagem ao longo do tempo. Destacam-se como vantagens do sistema a melhoria no conforto e bem-estar do rebanho, ganhos em produtividade e sanidade, redução dos custos de produção, e a correta destinação dos dejetos orgânicos, através do processo de compostagem dos dejetos (BLACK et al., 2013).

Para a implantação de uma instalação CBP, diversos fatores devem ser considerados, com destaque para o sistema ventilação empregado, responsável pela manutenção de ambiente confortável, remoção de gases e calor, e secagem da cama (JANNI et al., 2007). Em instalações onde não é possível se alcançar de forma natural o volume de ar necessário à promoção de conforto aos animais e à secagem da cama, utiliza-se como solução prioritária a ventilação mecânica, sendo que os principais tipos de ventiladores utilizados nas instalações são o de alto volume e baixa rotação – HVLS, e baixo volume e alta rotação – LVHS (LESO et al., 2018). Todavia, poucos trabalhos têm buscado avaliar e caracterizar o efeito da ventilação nas instalações, principalmente em virtude da recente utilização do CBP no Brasil.

Métodos inovadores e não invasivos, notadamente os que utilizam ferramentas computacionais, destacam-se entre os utilizados para a avaliação do ambiente de produção animal, uma vez que podem auxiliar na tomada de decisão em relação ao controle do bem-estar de animais confinados (BORGES et al., 2010). Dentre estes, destaca-se a avaliação da distribuição espacial por meio da geoestatística, que possibilita a interpretação dos resultados a partir da estruturação natural dos dados e permite compreender a variabilidade dos atributos de interesse e a sua influência sobre o ambiente (SILVA NETO et al., 2012).

Ante o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição espacial das variáveis temperatura e umidade da cama na superfície e à profundidade de 0,20 m, no interior de instalações CBP equipadas com diferentes sistemas de ventilação.

## MATERIAL E MÉTODOS:

Este trabalho foi realizado em abril de 2017, em fazendas localizadas no município de Madre de Deus de Minas – MG, na Mesorregião do Campo das Vertentes, latitude 21° 29' 2" S, longitude 44° 19' 58" O de Greenwich, e altitude 985 m, com clima, conforme a classificação climática de Köppen, classificado como Cwa – temperado úmido, com inverno seco e verão chuvoso (SÁ JÚNIOR et al., 2012).

Para a realização do estudo, foram avaliadas três instalações *compost barn* (CBP) localizadas em propriedades próximas entre si (cerca de 2,0 km de distância). Duas das instalações localizavam-se na mesma propriedade, compartilhavam a mesma pista de alimentação e apresentavam as mesmas características construtivas, sendo estas: 17,00 m de largura e 33,25 m de comprimento, pé-direito de 4,60 m, telhado em duas águas, com inclinação de 16° e abertura lateral na cumeeira, apresentado estrutura e cobertura em telhas metálicas, com orientação na direção nordeste-sudoeste (Figura 1). Na primeira destas

instalações CBP, o sistema de ventilação era do tipo mecânica de baixo volume e alta rotação (LVHS), por meio de 04 ventiladores (Mamute<sup>®</sup>, diâmetro de 2,0 m, número de hélices 5, rotação 1750 rpm, potência de 2,24 kW ou 3,00 cv, vazão de 120.000 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>). A segunda instalação apresentava apenas ventilação natural (sem uso de ventiladores mecânicos). Nas duas instalações, era realizado o resfriamento dos animais no corredor de alimentação, por meio de uma linha de aspersores, que ficavam acionados por 1 min e desligados por 5 min. A terceira e última instalação CBP avaliada apresentava como características construtivas 17,50 m de largura e 48,60 m de comprimento, pé-direito de 4,20 m, telhado em duas águas, com inclinação de 16° e abertura lateral na cumeeira, telhado em estrutura metálica, cobertura em telhas metálicas onduladas com espessura de 0,40 mm, e orientação na direção leste-oeste. A mesma era equipada com sistema de ventilação mecânica de alto volume e baixa rotação (HVLS), por meio de 02 ventiladores, instalados a 3,80 m de altura (BigFan<sup>®</sup>, diâmetro de 7,5 m, potência de 2,24 kW ou 3,00 cv e vazão de ar de 650.000 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>).

Nas três instalações, o material da cama era serragem de madeira, apresentando altura de aproximadamente 0,40 m. O tempo de uso do material variava entre instalações, para algo em torno de 01 ano nas instalações com VN e ventilação HVLS, e de 01 ano e 08 meses na instalação com ventilação LVHS. O revolvimento da cama na primeira e segunda instalações era realizado apenas uma vez ao dia, no horário da primeira ordenha, sendo utilizados como implementos uma enxada rotativa. Na terceira instalação CBP, o revolvimento era realizado duas vezes ao dia, durante o período das ordenhas, utilizando um subsolador adaptado.

Para a coleta dos dados de interesse, o interior das instalações foi dividido através de malhas compostas por 40 pontos equidistantes, sendo tais divisões realizadas conforme as características construtivas das instalações. Todas as coletas foram realizadas durante o período mais quente do dia (12:00 as 16:00 horas), sendo que a coleta de cada variável durou aproximadamente trinta minutos. As representações esquemáticas das instalações (com as malhas de pontos onde foram realizadas as coletas) estão ilustradas na Figura 1.

No interior das instalações foram coletados dados de temperatura e amostras de cama, na superfície e a 0,20 m de profundidade. Para a coleta da temperatura superficial ( $t_{c-sup}$ ) empregou-se um termômetro infravermelho digital (Ferm<sup>®</sup>, modelo ITM1001, escala variando entre -40 e 530 °C, exatidão de  $\pm 0,1$  °C). No caso da aferição da temperatura a 0,20 m de profundidade ( $t_{c-20}$ ), utilizou-se um termômetro de vareta digital (Pyromed<sup>®</sup>, modelo TP101, escala de -50 a 300 °C e exatidão de  $\pm 0,1$  °C). Amostras de cama foram coletadas utilizando uma cavadeira articulada, e utilizadas para determinação da umidade ( $U_c$ ) da cama na camada superficial e a 0,20 m de profundidade. As amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas hermeticamente fechadas e devidamente identificadas, e levadas para o Laboratório de Construções Rurais e Tratamento de Resíduos da Universidade Federal de Lavras, onde foram realizadas as análises.

A umidade das amostras foi determinada por meio do método padrão de estufa, em que 10 g de cada amostra foram transferidos para um recipiente de porcelana devidamente identificado, onde aferiu-se a massa do recipiente, e do conjunto recipiente e massa úmida da amostra de cama. Na sequência, as amostras foram levadas para estufa a 105 °C ( $\pm 5$  °C), onde permaneceram por 24 horas. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa, colocadas em um dessecador e, deixadas em repouso por um período de aproximadamente 30 minutos, até atingirem temperatura ambiente, sendo na sequência medida a massa do recipiente e massa seca da amostra de cama (TEIXEIRA et al., 2017). Todas as medidas de massa foram tomadas em uma balança analítica com capacidade de pesagem para 120 g, e precisão de 0,0001 g. A umidade das amostras foi calculada mediante a Equação 1:

$$U_c = \left( \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que,  $U_c$  é a unidade do material de cama, em %;  $M_1$  é a massa do recipiente, em g;  $M_2$  é a massa do recipiente + massa úmida da amostra de cama, em g; e  $M_3$  é a massa do recipiente + massa seca da amostra de cama, em g.

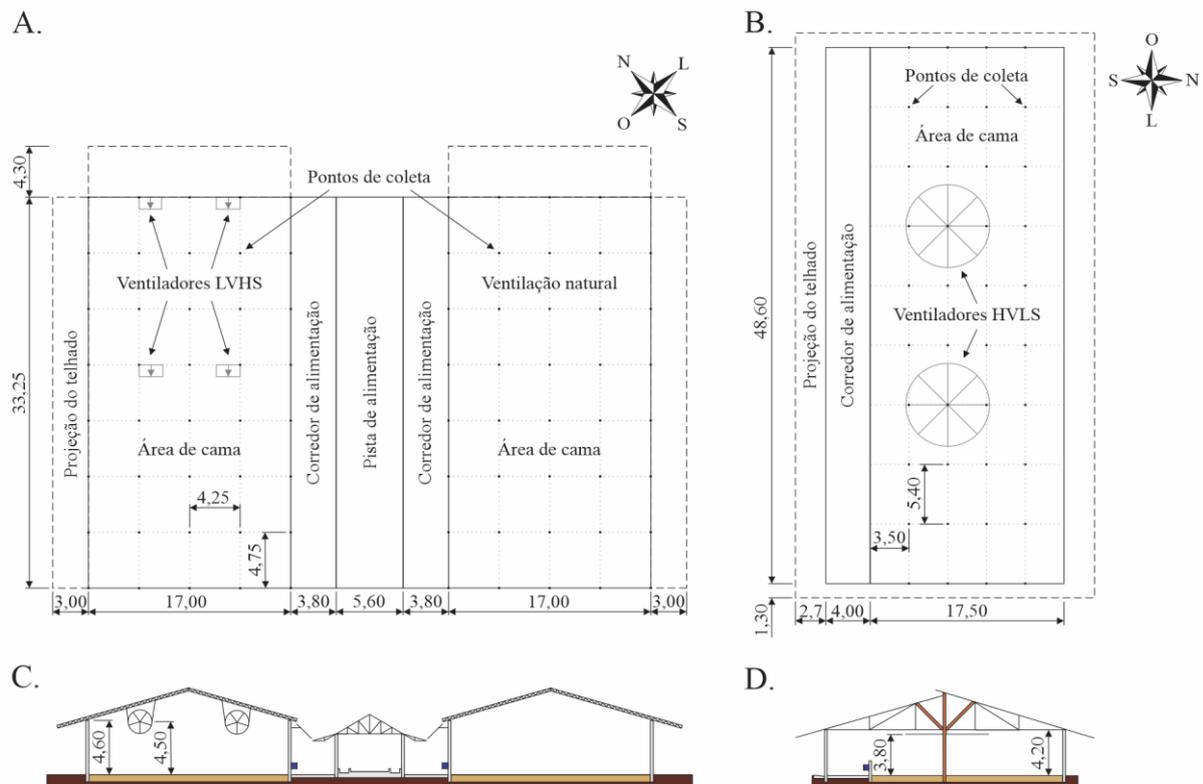


FIGURA 1. Representações esquemática (A-B) em planta baixa com pontos de coleta e (C-D) em corte transversal das instalações com ventilação LVHS, VN e HVLS, respectivamente. \*Unidades das cotas em metros (m).

Para verificar o comportamento espacial das variáveis no interior das instalações CBP, bem como prever seus níveis em locais não amostrados e a ocorrência de dependência espacial, utilizou-se a técnica de geostatística. As análises foram realizadas utilizando o sistema computacional R DEVELOPMENT CORE TEAM (2016), por meio da biblioteca geOR (RIBEIRO JUNIOR & DIGGLE, 2001).

A avaliação da dependência espacial das variáveis no interior das instalações foi realizada através de ajustes de semivariograma. Para a estimação do semivariograma utilizou-se o estimador de Matheron (1962):

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

Em que,  $N(h)$  corresponde ao número de pares experimentais de observações  $Z(X_i)$  e  $Z(X_i + h)$  separados por uma certa distância  $h$ .

Os coeficientes do modelo teórico para semivariograma, chamados de efeito pepita –  $C_0$ , patamar –  $C_0 + C_1$ , e alcance –  $a$ , foram obtidos a partir de um modelo matemático para os valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$ , retratado por BACHMAIER & BACKERS (2008).

O grau de dependência espacial (GDE) foi determinado por meio da razão entre o efeito pepita ( $C_0$ ) e o patamar ( $C_0 + C_1$ ), multiplicando por 100. A análise de dependência foi realizada utilizando a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994). Conforme tal

classificação, considera-se como forte dependência espacial os semivariogramas que têm efeito pepita inferior a 25% do patamar, moderada dependência espacial os que têm efeito pepita entre 25% e 75% do patamar e fraca dependência espacial os semivariogramas que apresentam efeito pepita superior a 75% do patamar.

Em virtude de tratar-se de um pequeno agrupamento de dados, utilizou-se o método de máxima verossimilhança restrita (REML), conforme sugerido por Marchant & Lark (2007). O modelo testado para o ajuste do semivariograma experimental foi o Esférico, modelo amplamente utilizado em geoestatística e que retorna bons resultados.

A técnica de krigagem ordinária dos dados foi utilizada para predizer os níveis das variáveis em locais não amostrados no interior das instalações, possibilitando confeccionarem-se mapas de distribuição espacial das variáveis no interior das instalações. A partir dos dados interpolados, foram gerados mapas de superfície resposta, utilizando-se o programa ArqGIS®, versão 10.1, de licença da Universidade Federal de Lavras.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

Para que se logre êxito com uma instalação CBP, diversas variáveis devem ser monitoradas, buscando garantir que o processo de decomposição do material orgânico ocorra de forma adequada e, ao final do processo de compostagem, se tenha um produto maturado e com elevada qualidade agrônômica. Dentre estas, destacam-se a temperatura e a umidade do material de cama, que estão diretamente relacionados com a inibição e/ou o desenvolvimento da atividade microbiana (PEDROSA et al., 2013).

Buscando entender a dinâmica destas variáveis da cama em instalações CBP, foi utilizada a técnica de geoestatística, que permite compreender a variabilidade dos atributos no interior das instalações e a sua influência sobre a cama. Na Tabela 1 são apresentados os modelos e parâmetros dos semivariogramas experimentais ajustados para as variáveis avaliadas. Para tais atributos, os semivariogramas se ajustaram ao modelo esférico, que, de acordo com Isaaks e Srivastana (1989), é considerado transitivo, uma vez que possui patamar.

Para a temperatura superficial da cama ( $t_{c-sup}$ ) foram verificados valores bem distintos de efeito pepita ( $C_0$ ), sendo diferentes de zero para as instalações localizadas na mesma propriedade (VN e LVHS). Para as duas instalações supracitadas, as contribuições de  $C_0$  no patamar situaram-se entre 25 e 75%, indicando a ocorrência de moderada dependência espacial, de acordo com a Classificação de Cambardella et al. (1994). O maior GDE foi verificado para a instalação com VN, em que este foi igual a 69,41%, caracterizando condição de dependência espacial moderada, mas se aproximando da condição de fraca dependência. Por outro lado, para a instalação com ventilação mecânica HVLS, não foi verificada a ocorrência de variabilidade não explicada ( $C_0 = 0$ ) e, portanto, a dependência espacial da variável  $t_{c-sup}$  nesta instalação é forte.

Na camada subsuperficial (0,20 m de profundidade), os parâmetros determinados para a temperatura da cama ( $t_{c-20}$ ) foram bem distintos dos verificados na superfície. Em relação a este atributo, o maior GDE foi obtido para a instalação com ventilação HVLS, em que a contribuição de  $C_0$  para o patamar foi igual a 49,72%, caracterizando condição de dependência espacial moderada. Por outro lado, nas instalações com VN e LVHS a contribuição de  $C_0$  no patamar foi inferior a 5%, caracterizando forte dependência espacial, e indicando que a técnica de krigagem ordinária pode ser utilizada para a confecção de mapas de dependência espacial.

Com relação a umidade do material de cama, tanto na camada superficial ( $U_{c-sup}$ ) quanto subsuperficial ( $U_{c-20}$ ) verificou-se a predominância de valores consideráveis de variabilidade não explicada ( $> 15$ ), configurando condição de dependência espacial moderada. A ocorrência de dependência espacial apenas moderada para tal atributo pode ser justificada pela sua grande variabilidade no espaço e no tempo, conforme as condições ambientais e de manejo. O

melhor resultado foi verificado para a camada superficial da instalação com ventilação LVHS, em que se verificou a ocorrência de forte dependência espacial.

TABELA 1. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais ajustados para os atributos do material de cama.

Variável	Ventilação	Método	Modelo	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	<i>a</i>	GDE
t <sub>c-sup</sub>	VN	REML	Esférico	2,59	1,14	3,72	11,85	69,41
	LVHS			1,29	1,40	2,69	26,45	48,08
	HVLS			0,00	2,17	2,17	11,66	0,00
t <sub>c-20</sub>	VN	REML	Esférico	6,18	120,86	127,04	20,94	4,86
	LVHS			0,00	75,65	75,65	8,95	0,00
	HVLS			12,45	12,59	25,04	19,11	49,72
U <sub>c-sup</sub>	VN	REML	Esférico	60,35	160,70	221,05	31,02	27,30
	LVHS			15,17	63,63	78,80	18,17	19,25
	HVLS			25,61	20,29	45,90	18,46	55,80
U <sub>c-20</sub>	VN	REML	Esférico	89,84	87,50	177,34	16,05	50,66
	LVHS			34,70	57,56	92,26	25,45	37,61
	HVLS			13,61	11,11	24,73	4,40	55,06

\*VN – ventilação natural; LVHS – ventilação mecânica de baixo volume e alta rotação; HVLS – ventilação mecânica de alto volume e baixa rotação; C<sub>0</sub> – efeito pepita; C<sub>1</sub> – contribuição; C<sub>0</sub> + C<sub>1</sub> – patamar; *a* – alcance; GDE – grau de dependência espacial; t<sub>c-sup</sub> – temperatura da cama na superfície; t<sub>c-20</sub> – temperatura da cama na profundidade de 0,20 m; U<sub>c-sup</sub> – umidade da cama na superfície; U<sub>c-20</sub> – umidade da cama na profundidade de 0,20 m.

Para todas as variáveis avaliadas e nas três instalações, o alcance (*a*) foi superior a menor distância entre pontos de amostragem. O menor valor de alcance foi verificado para a variável U<sub>c-20</sub> na instalação com ventilação HVLS, em que *a* foi igual a 4,40 m. Haja vista que para todas as variáveis os valores de *a* foram bem superiores a distância entre pontos para amostragem adotada, infere-se que para tais atributos poderiam ter sido utilizadas malhas com menor densidade de pontos (maior distância entre pontos), sem comprometer a confiabilidade dos dados. Como os valores de *a* foram sempre superiores a distância entre pontos de coleta, os dados apresentam correlação entre si, e a técnica de interpolação por krigagem ordinária pode ser utilizada para predição dos níveis das variáveis em locais não amostrados no interior da instalação (VIEIRA, 2000).

Deste modo, utilizou-se a técnica de krigagem ordinária para prever os níveis das variáveis em locais não amostrados e confeccionar mapas de distribuição espacial, utilizados para se verificar áreas com menores e maiores níveis das variáveis de interesse, de modo a serem realizadas as intervenções necessárias. Na Figura 2 são apresentados os mapas de distribuição espacial das variáveis para cada instalação CBP avaliada.

Conforme ilustrado na Figura 2A, a temperatura na superfície da cama (t<sub>c-sup</sub>) apresentou variabilidade no interior das instalações (> 5 °C), com a ocorrência de valores mais elevados na instalação com VN. Para tal instalação, a temperatura superficial da cama variou entre 20 e 35°C, sendo que a região com temperatura mais elevada (30 a 35°C) ocorreu próximo da face sudoeste da instalação, local onde foi verificada maior preferência de permanência dos animais. A permanência dos animais nesse local, notadamente quando deitados, apresentou como consequência a elevação da t<sub>c-sup</sub>, uma vez que o maior contato entre a superfície dos animais e a cama facilita a transferência de calor. Nesta instalação, há tendência à maior concentração de calor, em virtude da baixa velocidade do ar e consequente redução na remoção de calor. Já na instalação com ventilação LVHS, a t<sub>c-sup</sub> variou entre 15 e 25°C, com valores mais elevados ocorrendo na região periférica da instalação, em virtude da entrada de radiação solar direta e maior influência das condições ambientais externas. Distribuição semelhante foi observada para a instalação com ventilação mecânica HVLS.

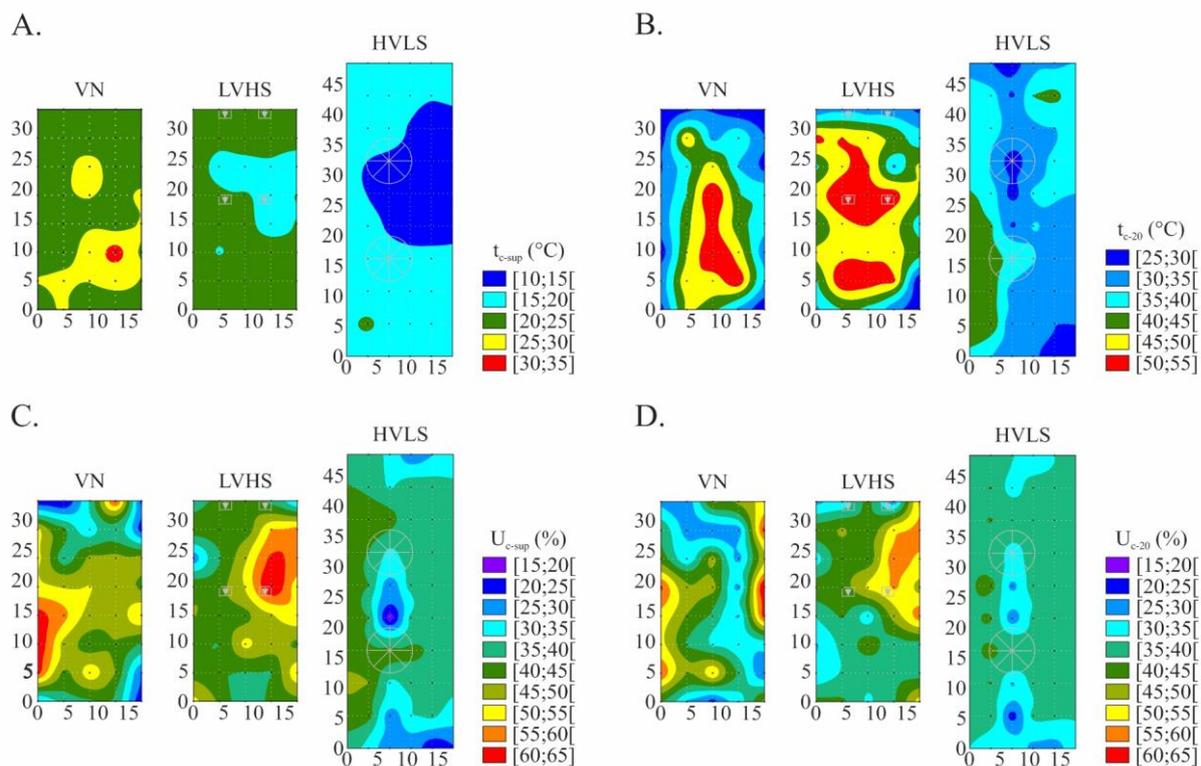


FIGURA 2. Distribuição espacial das variáveis (A-B) temperatura e (C-D) umidade, na superfície e na profundidade de 0,20 m.

\*VN – ventilação natural; LVHS – ventilação mecânica de baixo volume e alta rotação; HVLS – ventilação mecânica de alto volume e baixa rotação;  $t_{c-sup}$  – temperatura da cama na superfície;  $t_{c-20}$  – temperatura da cama na profundidade de 0,20 m;  $U_{c-sup}$  – umidade da cama na superfície;  $U_{c-20}$  – umidade da cama na profundidade de 0,20 m. Cotas das instalações em metros (m).

Em condições de conforto adequado, as vacas permanecem mais de 50% do tempo deitadas, sobretudo quando em ócio e ruminção (ALMEIDA et al., 2013). Com isso, a  $t_{c-sup}$  recebe elevada importância no que se refere ao conforto dos animais, devendo ser mantida dentro da zona de termoneutralidade (entre 4,0 e 26,0°C, segundo HUBER, 1990), de modo a não prejudicar a frequência com que estes permanecem deitados. Os resultados apresentados na Figura 2A evidenciam que a  $t_{c-sup}$  das instalações com ventilação mecânica encontrava-se adequada à permanência dos animais neste recinto, indicando que a vazão de ar fornecida pelos ventiladores fora efetiva em promover a remoção de calor.

A temperatura da subsuperfície da cama –  $t_{c-20}$  (Figura 2B) apresentou elevada variabilidade espacial, sendo maior para as instalações localizadas na mesma propriedade (VN e LVHS), que apresentaram amplitude de variação igual a 30 °C. Para tais instalações, as áreas com temperatura menos elevada (< 40 °C) foram observadas em suas regiões periféricas, podendo-se inferir que a sua ocorrência se deve à menor atividade dos microrganismos decompositores nessa região, em virtude da dificuldade de realização de revolvimento e, conseqüentemente, da redução nas concentrações de oxigênio. Apenas nas áreas centrais das instalações, onde é possível realizar o adequado revolvimento do material de cama e se tem maior facilidade de aeração, foram verificados valores de temperatura superiores a 40 °C, evidenciando que a decomposição do material de cama nestas áreas se dará de forma mais rápida. Por outro lado, para a instalação com ventilação HVLS, verificou-se a ocorrência de  $t_{c-20}$  inferiores a 45 °C ao longo de toda a instalação, apresentando menor amplitude de variação (20 °C). Uma vez que o revolvimento do material de cama era realizado com maior frequência nesta instalação, infere-se que a inversão das camadas e aeração da camada subsuperficial promoveram a redução de calor nesta camada e, portanto, a

atividade microbiana foi menor que nas demais instalações avaliadas. Em tal instalação, apenas na região periférica, próxima ao corredor de alimentação, a temperatura estava acima de 40 °C, sendo função da menor possibilidade de revolvimento.

A temperatura ideal na camada ativa aerobiamente (0,15 a 0,20 m) corresponde a faixa de 54 e 65 °C, e a sua elevação dá-se com o aumento da atividade microbiana (JANNI et al., 2007). Na primeira fase do processo de compostagem, denominada de degradação ativa, o processo é necessariamente termofílico e realizada por microrganismos ativos em temperaturas entre 45 e 65 °C (SERPA FILHO et al., 2012). Caso a temperatura seja inferior a 40 °C, a atividade dos microrganismos será reduzida a níveis tais que a taxa de compostagem será lenta (REBOLLIDO et al., 2008).

Por meio da Figura 2B e considerado a recomendação de temperatura mínima requerida na cama, pode-se observar que a pior situação foi verificada para a instalação com ventilação HVLS, no qual a  $t_{c-20}$  foi predominantemente inferior a 40 °C, indicativo de que nesta instalação a taxa de decomposição se dá de maneira lenta, em função da menor atividade dos microrganismos decompositores.

Por meio da Figura 2C, evidencia-se a ocorrência de elevada variabilidade espacial da umidade da cama na camada superficial ( $U_{c-sup}$ ), sendo maior para as instalações localizadas na mesma propriedade (VN e LVHS), que apresentaram amplitude de variação igual a 50%. Para tais instalações, os valores mais elevados de umidade foram observados próximo da região do corredor de alimentação, local em que era realizado o resfriamento dos animais via molhamento e onde estavam dispostos os bebedouros. Com o molhamento dos animais, há incremento de água no ar ambiente, podendo ocasionar o aumento da umidade da cama. Ao mesmo tempo, com o acesso dos animais aos bebedouros pode ocorrer o derrame de água nesta região da instalação, também contribuindo para a elevação da umidade na cama. Isso também foi observado para a instalação com ventilação do tipo HLVS, que também apresentou  $U_{c-sup}$  mais elevada na região próxima ao corredor de alimentação. Todavia, no interior dessa instalação foram observados valores menos elevados de umidade (15 à 50%), e a sua ocorrência pode ser atribuída à maior frequência de revolvimento da cama adotada nesta instalação, em que tal procedimento era realizado duas vezes ao dia.

A manutenção da  $U_{c-sup}$  em níveis baixos é importante para a sanidade dos animais, pois possui relação direta com a sua sujidade. O excesso de umidade pode levar à formação de barro e ao aumento da sujidade do úbere e tetos, aumentando a possibilidade de contaminação ambiental e incidência de mastite (RADOSTITS et al., 1994). Deste modo, uma vez que na camada superficial o processo de decomposição do material normalmente ocorre de maneira mais lenta, a ocorrência de baixos valores de  $U_{c-sup}$  pode ser vista como uma vantagem, por possibilitar melhorias na sanidade dos animais e na qualidade do leite.

A umidade da cama na camada subsuperficial -  $U_{c-20}$  (Figura 2D) também apresentou elevada variabilidade, com distribuição semelhante ao que foi observado na camada superficial. No interior das instalações, as regiões com  $U_{c-20}$  mais elevada ocorreram próximo ao corredor de alimentação e, portanto, tem a sua ocorrência relacionada ao molhamento dos animais e derrame de água nos bebedouros.

A camada onde o processo de compostagem é mais ativo aerobiamente situa-se entre 0,15 e 0,20 m, devendo-se manter a umidade da cama nesta camada na faixa entre 40 e 65% (SHANE et al., 2010). A  $U_{c-20}$  no interior das instalações foi sempre inferior ao valor mínimo recomendado, com os piores resultados observados para a instalação com ventilação HVLS, em que a  $U_{c-20}$  estava abaixo de 40% ao longo de toda a área. Infere-se que a ocorrência de valores mais baixos de umidade na camada subsuperficial de tal instalação deve-se ao maior revolvimento do material de cama, que propicia a maior exposição do material ao ar ambiente e, conseqüentemente, a redução da umidade. Já para as instalações em que o revolvimento era realizado apenas uma vez ao dia (VN e LVHS), observou-se maior ocorrência de áreas com

$U_{c-20}$  superior a 40%. Os resultados indicam que a frequência de revolvimento ocasiona a maior redução de umidade do que a própria utilização de ventilação mecânica.

## CONCLUSÕES:

O uso da técnica de geoestatística possibilitou verificar a ocorrência de dependência espacial das variáveis avaliadas, variando todas de forte a moderada, conforme a instalação.

Os mapas de distribuição espacial mostraram a ocorrência de variabilidade espacial de todos os atributos, com a ocorrência de melhores condições superficiais na instalação com ventilação do tipo HVLS. Todavia, a umidade e a temperatura na camada subsuperficial desta instalação encontravam-se fora da faixa adequada aos microrganismos decompositores, indicando que a degradação do material se dá de maneira mais lenta que nas demais avaliadas. Os resultados encontrados permitem concluir que as variáveis da cama são mais influenciadas pelo tipo de ventilação utilizado.

## AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG, pelo suporte financeiro e bolsas de pesquisa concedidas.

## REFERÊNCIAS:

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S. B. P.; PEREIRA, D. F., GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. A. P. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 17, n. 8, p. 892-899, 2013.

BLACK, R. A.; TARABA, J. L.; DAY, G. B.; DAMASCENO, F. A.; BEWLEY, J. M. Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 12, p. 8060-8074, 2013.

BORGES, G.; MIRANDA, K. O. S.; RODRIGUES, V. C.; RICI, N. Uso da geoestatística para avaliar a captação automática dos níveis de pressão sonora em instalações de creche para suínos. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 377-385, 2010.

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

COSTA, M. J. R. P.; SILVA, L. C. M. **Boas práticas no manejo: Bezerros leiteiros**. 1. ed., Jaboticabal: FUNEP, 2014. 51p.

HUBER, J. T. Alimentação de vacas de alta produção sob condições de estresse térmico. **Bovinocultura leiteira. Piracicaba: FEALQ**, p. 33-48, 1990.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. Oxford university press, 1989.

JANNI, K. A.; ENDRES, M. I.; RENEAU, J. K.; SCHOPER, W. W. Compost dairy barn layout and management recommendations. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2007.

LESO, L.; CONTI, L.; ROSSI, G.; BARBARI, M. Criteria of design for deconstruction applied to dairy cows housing: a case study in Italy. **Agronomy Research**, v. 16, n. 3, p. 794-805, 2018.

MARCHANT, B. P.; LARK, R. M. Robust estimation of the variogram by residual maximum likelihood. **Geoderma**, Amsterdam, v. 140, p. 62-72, 2007.

MATHERON, G. **Traité de géostatistique appliquée**. Tome I: Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, n. 14, Editions Technip, Paris, 1962. 333 p.

MEDEIROS, B. B. L., MOURA, D. J., MASSARI, J. M., CARVALHO, T. M. R., MAIA, A. P. A. Uso de geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema 'wean to finish' na fase de terminação. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 800-811, 2014.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 1, p. 44-48, 2013.

REBOLLIDO, R.; MARTÍNEZ, J.; AGUILERA, Y.; MELCHOR, K.; KOERNER, I.; STEGMANN, R. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. **Ecology and Environmental Research**, v. 6, p. 61-67, 2008.

RIBEIRO JUNIOR, P. J., DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, v. 1, p. 14-18, 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2018.

RADOSTITS, O. M.; LESLIE, K. E.; FETROW, J. **Herd health: Food Animal Production Medicine**. 2. ed., Philadelphia: Saunders Elsevier, 1994. 233 p.

SÁ JÚNIOR, A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, F. F.; ALVES, M. C. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1-2, p. 1-7, 2012.

SABBAG, O. J.; COSTA, S. M. A. L. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. **Extensão Rural**, v. 22, n. 1, p. 125-145, 2015.

SERPA FILHO, R.; SEHNEM, S.; CERICATO, A.; JUNIOR, S. S.; FISCHER, A. Compostagem de dejetos de suínos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 6, n. 1, 2012.

SHANE, E. M.; ENDRES, M. I.; JANNI, K. A. Alternative bedding materials for compost bedded pack barns in Minnesota: a descriptive study. **Appl. Eng. Agric.**, v. 26, n. 3, p. 465-473, 2010.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LIMA LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; SILVA, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 1, p.41-53, 2012.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. (rev. e ampl.). Brasília: Embrapa, 2017. 743 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. v.1, p.1-53.

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