

ANÁLISE ESPACIAL DO MICROCLIMA EM GALPÕES FREE-STALL COM SISTEMA DE VENTILAÇÃO CRUZADA E VENTILAÇÃO FORÇADA

PAULO R. GARCIA¹, GUILHERME F. TAVARES², IRAN J.O. SILVA³, DJAIR D.R. FRADE⁴

¹ Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, NUPEA, Departamento Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, pauloroga@gmail.com.

² Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, NUPEA, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba.

³ Professor, Doutor, NUPEA, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

⁴ Doutorando, Depto. de Ciências Exatas, , ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Objetivou-se avaliar a variabilidade espacial do microclima de uma nova tipologia de galpão, *low-profile cross-ventilated free-stall*, comparado com um free-stall convencional, por meio do índice de temperatura e umidade (ITU) preconizado para vacas holandesas em lactação, utilizando a geoestatística. A pesquisa conduzida em uma fazenda comercial avaliou um galpão free-stall com laterais abertas, climatizado por ventiladores e aspersores (FVA) e um free-stall fechado com laterais constituídas de placas evaporativas e exaustores, sob sistema de ventilação cruzada (FVC). Os atributos microclimáticos -temperatura e umidade- foram amostrados em 88 pontos no FVA e 126 no FVC, na forma de malha, nos períodos de manhã e tarde, na estação primavera e verão de 2014/2015. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de modelos teóricos e semivariogramas, e mapeada pelo método de *krigagem*. Os modelos apresentaram dependência espacial, com forte grau de dependência. O galpão FVA apresentou situação de estresse térmico moderado, enquanto o FVC apresentou uma situação de estresse brando, nas duas estações.

PALAVRAS-CHAVE: ambiência animal, geoestatística, mapa de isolinha.

CLIMATIC SPATIAL VARIABILITY OF DAIRY FREE-STALL BARN UNDER LOW-PROFILE CROSS-VENTILATED SYSTEM AND MECHANICAL VENTILATION

ABSTRACT: The goal was to evaluate the spatial variability of the microclimate of the new housing dairy cattle, *low-profile cross-ventilated free-stall*, compared to a conventional free-stall barn through temperature and humidity index (THI) recommended for dairy cows, using the geostatistics. The experiment was conducted in a commercial farm, it was assessed one free-stall barn with open sides, conditioned by fans and sprinklers (FVA) and a fully enclosed free-stall with sides consisting of evaporative cooling pads and exhaust fans, cross ventilation system (FVC). The climatic variables - temperature and relative humidity - were sampled in 88 points in the FVA and 126 in FVC, morning and afternoon, in the spring and summer seasons 2014/2015. The spatial dependency was analyzed over adjustments of theoretical models and semivariograms and next mapped by kriging. All the models showed a strong spatial dependency. The FVA barn had moderate heat stress situation, while the FVC showed a mild stress situation, the two stations.

KEYWORDS: animal environment, geostatistics, kriging maps.

INTRODUÇÃO: Na bovinocultura leiteira, uma das grandes preocupações que aflige os produtores é o efeito do ambiente térmico sob as vacas em lactação. Em países de clima tropical e subtropical, como o Brasil, os elevados valores de temperatura e umidade do ar, especialmente no verão, incluem-se entre os principais fatores estressantes que afetam negativamente o desempenho da produção animal, principalmente, quando se trata de animais de alta produção, geneticamente desenvolvidos em clima temperado. Assim, o confinamento de bovino leiteiro holandês de alto padrão genético em instalações climatizadas do tipo *free-stall* é uma das alternativas adotadas pelos produtores com a

finalidade de driblar o efeito do estresse térmico.

O galpão do tipo free-stall com ventilação cruzada (FVC) é a mais nova opção de instalação para confinamento de bovinos leiteiros no país. O primeiro galpão foi construído na Dakota do Norte (EUA), em dezembro de 2005, e, agora, esta nova tecnologia de instalação está começando a ser adotada pelos produtores brasileiros. O galpão FVC, em inglês *low-profile cross-ventilated free-stall*, é uma instalação totalmente fechada. A denominação “*low-profile*” resulta da baixa inclinação do telhado, e “*cross-ventilated*” devido ao sistema de ventilação mecânica, no qual o ar é insuflado através de painéis evaporativos que revestem uma das laterais longitudinais do galpão, e exaurido por exaustores, na lateral oposta. Além disso, utilizam-se defletores que garantem a movimentação contínua e direcionada do ar refrigerado.

Objetivou-se neste trabalho avaliar as condições térmicas de dois galpões de confinamento para vacas em lactação, com diferentes sistemas de climatização e tipologia, em região de clima quente e úmido, por meio da geostatística.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido em uma propriedade leiteira comercial localizada no estado de São Paulo, em uma altitude de 580 m. O clima da região é do tipo Cwa da classificação Köppen.

O free-stall com laterais abertas, climatizado por ventiladores e aspersores (FVA) apresentava orientação leste-oeste, 80 m de comprimento e 29 m de largura, dividido em duas seções com 114 baias cada, ou seja, capacidade de alojar 228 animais, caracterizando 8,6 m² por animal. A instalação possui cobertura de telha de barro, constituída de duas águas e abertura na cumieira. Pé-direito de 4,5 m, no ponto mais baixo, e 8,5 m, no ponto mais alto. O sistema de ventilação é composto por 18 ventiladores, oito ventiladores distribuídos sobre as baias e dez sobre a linha de cocho. O sistema de aspersão localizava-se a 1,90 m do piso, sobre a linha de cocho, com espaçamento entre bicos de 1m.

O free-stall com laterais fechadas, climatizado por sistema de ventilação cruzada (FVC) apresentava orientação leste-oeste, 60 m de comprimento e 63 m de largura, dividido em quatro seções com capacidade de alojar 320 vacas em lactação, caracterizando 8,8 m² por animal. O sistema de ventilação cruzada era constituído por placas evaporativas instaladas por toda a extensão de uma lateral, 32 exaustores distribuídos por toda a lateral oposta, 09 defletores metálicos instalados longitudinalmente. A altura interna do galpão era de, aproximadamente, 4 metros, devido a presença de forro plástico, para isolamento térmico e melhor direcionamento do vento.

Registro das variáveis microclimáticas dos galpões de confinamento. As variáveis microclimáticas foram registradas em 20 dias não consecutivos entre outubro de 2014 e fevereiro de 2015, compreendendo as estações Primavera e Verão. Os registros foram realizados no período da manhã (08h00min às 09h30min) e da tarde (13h30min às 15h00min). A temperatura (T_{ar} , °C) e umidade relativa do ar (UR, %) do ambiente interno dos galpões FVA e FVC foram registradas manualmente através de uma malha de pontos regular (88 e 126 pontos, respectivamente), conforme Figura 1.

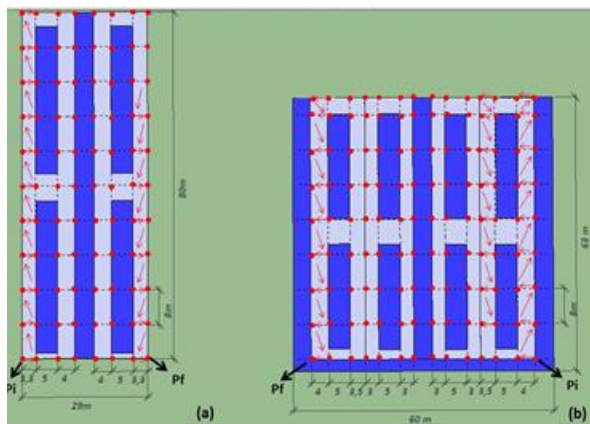


FIGURA 1. Malha de pontos para amostragem da temperatura e umidade do ar de dois galpões para alojamento de vacas em lactação. (a) free-stall aberto com laterais abertas, 88 pontos; (b) free-stall fechado com sistema de ventilação cruzada, 126 pontos.

Para determinação do desempenho térmico das instalações foi determinado o índice de temperatura e umidade (ITU), proposto por Kendall et al. (2008):

$$ITU = (1,8 \times T + 32) - ((0,55 - 0,0055 \times UR) \times (1,8 \times T - 26)) \quad (1)$$

em que, T é a temperatura do ar (°C) e UR , umidade relativa do ar (%).

Análise geoestatística. A dependência espacial foi verificada por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . Ao semivariograma experimental gerado por essa função deve-se ajustar um modelo teórico que forneça os parâmetros C_0 (efeito pepita), $C_0 + C_1$ (patamar) e 'a' (alcance).

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, e o gaussiano, posteriormente, tais modelos foram usados no desenvolvimento de mapas de isolinhas (krigagem). Para análise e escolha do modelo matemático que melhor se ajustou ao semivariograma, foram utilizados o grau de dependência espacial (GD) e a validação cruzada. Para analisar o GD, utilizou-se a classificação de MELLO (2004), que para valores abaixo de 25%, o semivariograma é considerado fraco; valores entre 25% e 75%, é considerado moderado; e acima de 75%, é considerado forte. Todas as análises estatísticas e geoestatísticas foram desenvolvidas pelo software R, utilizando-se o pacote geoR (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001).

Monitoramento do ambiente externo. Na área externa, um registrador automático (*HOBO U10*) foi programado para mensurar os valores das variáveis T_{ar} e UR , de hora em hora, durante todo o período experimental.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O ITU apresentou dependência espacial, caracterizada pelo ajuste dos modelos teóricos de semivariogramas. Os valores de R^2 para FVC foram maiores do que para FVA, o que torna a estimativa dos parâmetros do modelo e a interpolação dos dados mais confiáveis. O grau de dependência espacial para todas as condições foi classificado como forte ($GD > 75\%$), conforme Tabela 1.

TABELA 1. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para os atributos os índices de temperatura e umidade (ITU), em galpões de confinamento de bovino leiteiro

		Galpão	Modelo	C_0	Patamar	Alcance	GD (%)	R^2
PRIMAVERA	Manhã	FVA	exponencial	0,0069	0,044	11,7	84	0,40
		FVC	exponencial	0	0,091	15,5	100	0,96
	Tarde	FVA	gaussiano	0,0111	0,038	14,1	71	0,51
		FVC	exponencial	0,0005	0,050	12,6	98	0,96
VERÃO	Manhã	FVA	esférico	0,0106	0,093	17,1	88	0,75
		FVC	exponencial	0,0223	0,129	25,6	82	0,92
	Tarde	FVA	exponencial	0,0101	0,075	23,3	86	0,43
		FVC	gaussiano	0,0058	0,048	18,3	88	0,96

C_0 = efeito pepita; GD = grau de dependência espacial ($100 - (C_0/\text{patamar})$); R^2 = coeficiente de determinação; FVA = free-stall com ventilação forçada; FVC = free-stall com sistema de ventilação cruzada

A Figura 1 apresenta a distribuição do ITU para os dois galpões de confinamento bovino leiteiro. Observou-se para o FVC que os maiores valores de ITU ocorreram na lateral direita, próximas aos exatores (Figura 2). Estes resultados apontam que a massa de ar resfriada na lateral oposta, por meio das placas evaporativas, ganha calor conforme percorre o galpão, indicando que o sistema de climatização não promoveu homogeneidade no interior do galpão fechado (60 m de largura). Enquanto que o FVA não indicou direção preferencial (Figura 2), o que é esperado, uma vez que apresenta 29 m de largura e laterais abertas.

ARMSTRONG (1994) classificou o estresse térmico de acordo com a variação de ITU em ameno ou brando (72 a 78), moderado (79 a 88) e severo (89 a 98). O galpão FVA, no período da tarde, apresentou uma situação de estresse moderado, tanto na estação Primavera quanto no Verão. Observou-se, também, um estresse brando no período da manhã durante a estação Verão.

No ambiente interno do FVC, observou-se uma situação de estresse térmico brando, no período da tarde, para ambas estações.

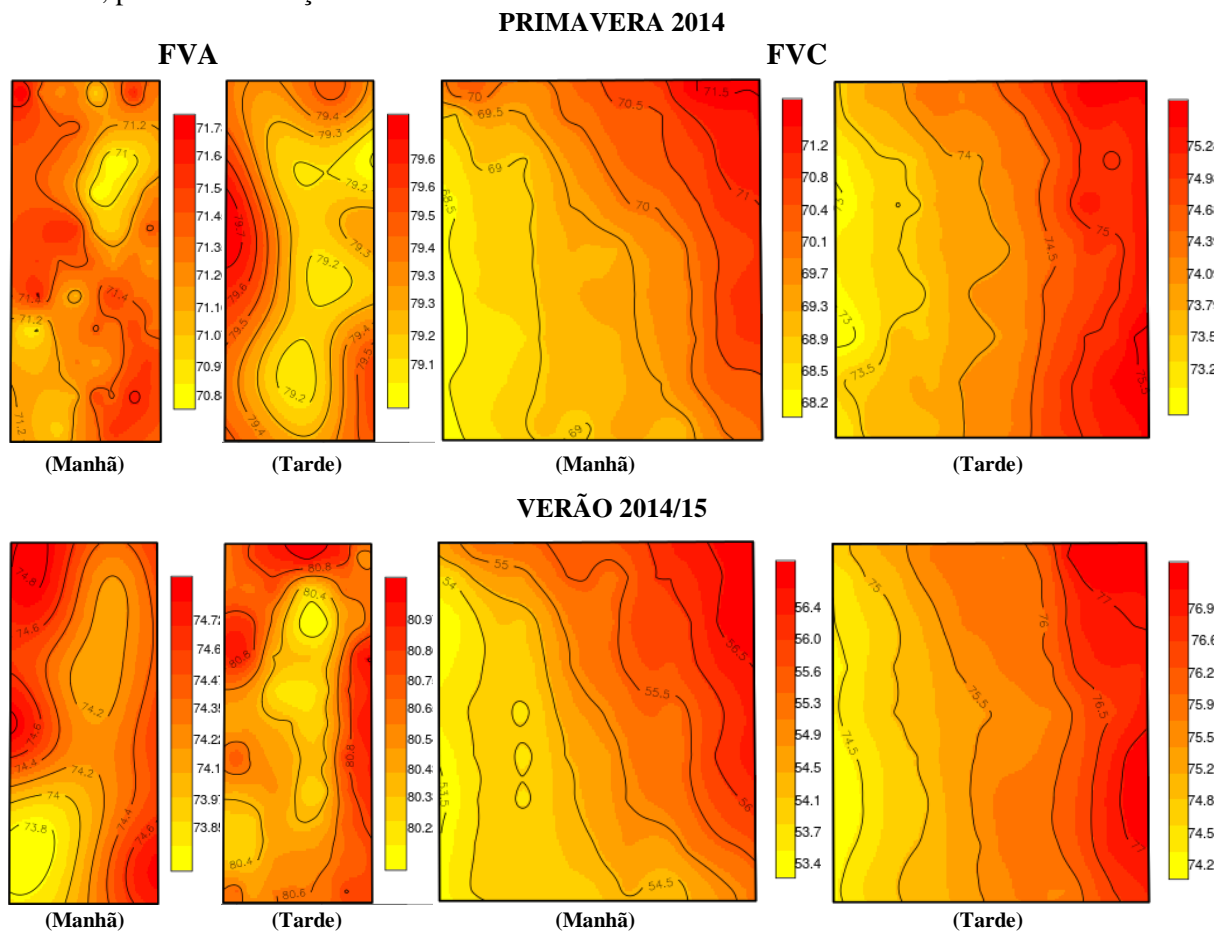


FIGURA 2. Distribuição espacial do ITU para os galpões de confinamento, free-stall com laterais abertas, climatizado por ventiladores e aspersores (FVA) e free-stall com laterais fechadas, climatizado por sistema de ventilação cruzada (FVC), nas estações primavera e verão, no período da manhã e tarde

CONCLUSÕES: O galpão fechado com sistema de ventilação cruzada (FVC) utilizado não garantiu a homogeneização do ambiente, uma vez que os valores de ITU se elevam quanto mais próximos dos exaustores. Durante o período da tarde nas estações Primavera e Verão, o ambiente térmico dos galpões não se enquadraram em condição considerada como de conforto para os animais. Verificou-se situações de estresse térmico brando no FVC e estresse moderado no FVA.

REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, v.77, p.2044-2050, 1994.
- KENDALL, P. E., TUCKER, C. B., DALLEY, D. E., CLARK, D. A. & WEBSTER, J. R. Milking frequency affects the circadian body temperature rhythm in dairy cows. *Livestock Science*, 117, 130-138, 2008.
- MELLO, J. M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal**. 2004. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor Ciências Agrárias, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), Piracicaba, SP.
- RIBEIRO JUNIOR, P.J.; DIGGLE, P.J. GeoR: a package for geostatistical analysis. *R-News*, v.1, p.15-18, 2001.
- 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: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-53.