

## COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO VIA SOLO DE BLOCOS CERÂMICOS EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO FLUXO DE AR

FERNANDO AUGUSTO DE SOUZA<sup>1</sup>, ADHEMAR PITELLI MILANI<sup>2</sup>, EDUARDO ALVES DE ALMEIDA<sup>3</sup>, LUIZ FABIANO PALLARETTI<sup>4</sup>,  
ALEXANDRE BARCELLOS DALRI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Zootecnista e Doutor, Produção Animal, FCAV-Unesp Jaboticabal -SP, Brasil, (0xx16) 3209-7273, email: [apmilani@fcav.unesp.br](mailto:apmilani@fcav.unesp.br)

<sup>2</sup>Eng° Civil, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP, Brasil, (0xx16) 3209-7273, email: [apmilani@fcav.unesp.br](mailto:apmilani@fcav.unesp.br)

<sup>3</sup>Engenheiro Agrícola e M.Sc., Depto. de Engenharia Rural, FCAV / UNESP, Jaboticabal – SP, Brasil.

<sup>4</sup>Eng° Agrônomo, Doutor, Depto. de Engenharia Rural, FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP, Brasil.

**RESUMO:** Este trabalho foi desenvolvido com o propósito de estudar o comportamento térmico de um sistema de climatização via solo construído de blocos cerâmicos sob diferentes velocidades de fluxo de ar. Nos testes foram utilizados blocos cerâmicos enterrados no solo a partir de uma profundidade de 0,40m, com comprimento de 5,00 m, dispostos linearmente furo-a-furo, com nebulização na entrada de ar, velocidades do ar de 0,50; 1,00; 1,50 e 2,00 ms<sup>-1</sup>, e exaustor de vazão constante de 25,00 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. Para a coleta de dados de temperatura, foram instalados termopares ao longo da massa de blocos e analisados pelo PROC MIXED (SAS System). Verificou-se que no sentido do comprimento não houve diferenças, somente em relação ao ar externo, denotando que a redução da temperatura do ar na entrada do sistema foi causada via evaporativa pelos nebulizadores, que proporcionou um diferencial na temperatura semelhante à temperatura do sistema (temperatura do solo), porém as velocidades de 2,00 e 0,50 m s<sup>-1</sup> demonstraram maior eficiência (P<0,0001) na redução da temperatura final do ar.

**PALAVRAS-CHAVE:** conforto térmico, temperatura, sistema evaporativo.

### THERMAL BEHAVIOR OF A SUBSOIL CLIMATIZATION SYSTEM OF CERAMIC BLOCKS DEPENDING ON THE SPEED OF AIRFLOW

**ABSTRACT:** This work was developed with the purpose of studying the thermal behavior of a subsoil climatization system built of ceramic blocks under different air flow speeds. In the testing we used ceramic blocks buried in the soil from a depth of 0,40 m, with a length of 5.00 m, arranged linearly hole-to-hole, with sprinkles into the air inlet, air speeds of 0.50; 1.00; 1.50 and 2.00 m s<sup>-1</sup>, and exhaust fan constant flow of 25.00 m<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. For the collection of data of temperature, thermocouples were installed along the block mass and analyzed by PROC MIXED (SAS System). It was found that lengthwise differences not only in relation to the external air, denoting that the reduction in air temperature at the entrance of the system was caused via nebulizers provided by evaporating a temperature differential similar to system temperature (temperature of the soil), however the speeds of 0.50 and 2.00 m s<sup>-1</sup> demonstrated higher efficiency (P<0.0001) in reducing the final temperature of the air.

**KEYWORDS:** thermal comfort, temperature, evaporative cooling system.

**INTRODUÇÃO:** Sistemas de climatização que utilizam da inércia térmica do solo a uma determinada profundidade para promover um pré-aquecimento ou pré-resfriamento ficaram conhecidos como Earth-Air Heat Exchangers (EAHE). A sua utilização no setor agropecuário é possível e encontra grande aplicabilidade, principalmente, nas construções zootécnicas da produção animal. Conforme estudos realizados por DEGLIN et al. (1999), ALCHALABI

(2001), BIEDA e KOZBIAL (2000) e BIEDA et al. (2001), estes sistemas podem proporcionar condições ideais de temperatura em granjas de aves, de suínos ou em estufas agrícolas, sem um grande aumento nos custos de produção. Estudos realizados por COSTA e GODOY (1962) e ZACARIAS (2008) indicaram que abaixo de 0,40 m a temperatura do solo em Jaboticabal apresenta uma pequena variação, próxima de 23°C ao longo do ano. Dada à importância e a carência de estudos sobre sistemas diatérmicos no Brasil, objetivou-se estudar o comportamento térmico de um sistema de climatização via solo construído de blocos cerâmicos em função de diferentes velocidades de fluxo de ar.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, Câmpus de Jaboticabal, a 21°15'22" S de latitude e 48°18'58" W de longitude, com altitude de 595 m. O clima, baseado na classificação de Köppen, é do tipo Awa, descrito como tropical de estiagem no inverno, com estação seca definida (abril a setembro) e concentração das chuvas nos meses de verão (outubro a março). O solo da área experimental utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, com textura argilosa a moderada, caulínítico-hipoférrico com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006) e o experimento foi realizado nos meses de janeiro e fevereiro de 2015. Nos testes foi utilizado um sistema construído de blocos cerâmicos com 5,00 m de comprimento e seção transversal de 0,72 x 1,33 m. Na construção foram empregados blocos com dimensões da largura 0,09 m, altura 0,19 m, comprimento de 0,19 m, de seção vazada de área útil da de 1,28 x 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>. Na montagem do módulo eles foram alinhados e dispostos furo-a-furo no sentido longitudinal para passagem do ar, recobertos com uma camada de 0,40 m de solo, definido com base na literatura (COSTA e GODOY, 1962; ZACARIAS, 2008). Na entrada de ar do sistema foi feita nebulização através de 11 microaspersores (modelo MA-30 Agrojet, vazão 24,00 L.hora<sup>-1</sup>), conectados por uma tubulação de diâmetro 19,00 x 10<sup>-3</sup> m a rede de abastecimento de água do Departamento de Engenharia Rural, com pressão manométrica em torno de 15,00 mca. Os testes foram feitos nas velocidades do ar de 0,50; 1,00; 1,50 a 2,00 ms<sup>-1</sup>, que fluiu através dos dutos dos blocos por pressão negativa, controladas por um exaustor de vazão constante de 25,00 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>, com base na relação apresentada por SILVA e NÄÄS (2004), de 0,65 m<sup>2</sup> de seção de entrada de ar para cada 100,00m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup> de exaustão. Situado na saída a 1,00 m depois do corpo do sistema, fixado nas paredes construídas para vedar e garantir a exaustão do ar. O cálculo das velocidades foram feitos em função da vazão constante do exaustor de 25,00 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup> e da área útil da seção transversal da massa de blocos, que variou de acordo com as determinações de seus valores, tendo com base a seção vazada de cada bloco. Os dados de temperatura foram obtidos através de sensores instalados na massa de blocos, posicionados no centro de sua seção transversal no sentido longitudinal, a partir da entrada de ar a cada 1,00 m em todo o comprimento de 5,0 m, e no solo a 0,40m de profundidade. Os sensores utilizados foram termopares tipo T, modelo 105T, com acurácia de ± 1°C, conectados através do sistema de aquisição de dados Datalogger (marca Campbell Scientific-Inc). No período estudado de fevereiro a março de 2015, considerou-se para análise de dados os dias de radiação solar global superior a 19 MJ m<sup>-2</sup>, obtidos com base nos relatórios da Estação Agroclimatológica da FCAV-Unesp Jaboticabal. O procedimento utilizado para análise dos dados foi de medidas repetidas no tempo, considerando a hora do dia e a diferença obtida entre as temperaturas de entrada e saída do ar. Fez-se uso do pacote estatístico SAS (*Statistical Analysis System*), com o procedimento PROC MIXED.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na tabela 1, estão os resultados de temperatura em função da velocidade do fluxo de ar e do comprimento do sistema. Observou-se diferença entre as velocidades e o local, porém não houve interação. Na figura 1, o comportamento da temperatura do ar no interior do sistema em relação ao, após a passagem do ar pelo *cooling*, não houve diferença na redução da temperatura. Observa-se que a partir da passagem do ar pelo *cooling*,

no qual ocorre seu resfriamento por vias evaporativas, não houve diferença na temperatura até o final do sistema (5,0 m), o que pode denotar que na entrada de ar o *cooling* proporciona uma redução na temperatura do ar próxima à temperatura dos blocos no solo, não havendo diferencial de temperatura entre ar e solo, que proporcione troca térmica com os blocos, por isso não há diferenças ao longo do comprimento. Deste modo, há um equilíbrio da temperatura do sistema com a temperatura do solo. A eficácia de sistemas evaporativos depende de uma série de fatores, tais como: umidade relativa do ar, isolamento térmico do galpão e identificação de pontos de perda de pressão, tipo de material utilizado na vedação e construção do galpão, espessura e área adequada de exposição da placa evaporativa, fluxo de ar e volume de água (MCNEILL et al., 1983; KOCA et al., 1991; SIMMONS e LOTT, 1996). Devido a capacidade absorviva da cerâmica, a umidade no primeiro terço do sistema é relativamente mais alta que nas frações finais do comprimento, este fato contribui, também, para o aumento na troca de calor com o meio. IBRAHIM et al (2003) estudaram a performance de resfriadores evaporativos diretos feitos de cerâmica e concluíram que quanto maior a porosidade, a área de superfície úmida em contato com a massa de ar e a pressão de abastecimento de água incidente na cerâmica, maior será o potencial de resfriamento do sistema.

Tabela 1 – Efeito do comprimento do sistema e velocidade do fluxo de ar na temperatura do ar.

Velocidade	Local							Média
	Externo	Cooling	1	2	3	4	5	
<b>0,50</b>	28,39	24,92	25,36	25,47	25,74	25,81	25,89	25,53 b
<b>1,00</b>	29,53	25,99	26,21	26,30	26,43	26,71	26,86	26,42 c
<b>1,50</b>	32,13	26,27	26,41	26,51	26,61	26,84	26,96	26,60 c
<b>2,00</b>	30,61	24,26	24,26	24,36	24,36	24,51	24,62	24,39 a
<b>Média</b>	30,16 a	25,36 b	25,56 b	25,66 b	25,79 b	25,97 b	26,08 b	
<b>Velocidade</b>	P < 0,001							
<b>Local</b>	P < 0,001							
<b>Velocidade x Local</b>	P = 0,1438							

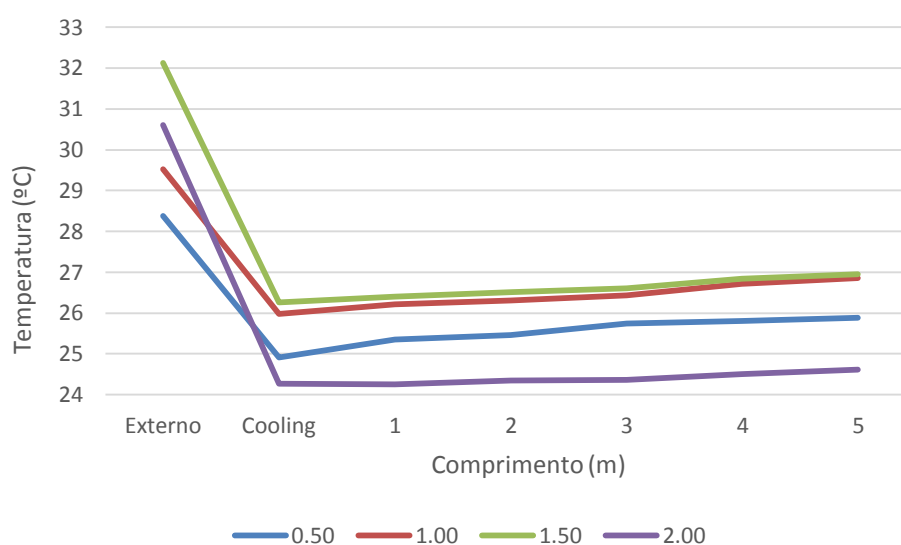


Figura 1 – Comportamento da temperatura do ar no interior do sistema em função do comprimento e velocidade do fluxo de ar.

**CONCLUSÃO:** Para um sistema de trocas térmicas do ar com o solo constituído por blocos cerâmicos, a velocidade de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  foi a que proporcionou maior redução na temperatura, independente do comprimento do sistema.

## REFERÊNCIAS

- ALCHALABI, D. Two-stage air-cooling for very hot environments. **Poultry International**, v.40, n.11, p.28-32, 2001.
- BIEDA, W.; KOZBIAL, M. Wykorzystanie stani egruntowego wymiennika ciepła pod brojlernią do optymalizacji jej warunków termicznych. **Rocz.Nauk.Zoot.**, v.27, i.3, p.217-228, 2000.
- BIEDA, W.; HERBUT, E.; KOZBIAL, M. Cooling of air blown into broiler house in an air-earth tube heat exchanger. **Proceedings of the International Symposium of the C.I.G.R.** 2nd Technical Section. Animal welfare consideration in livestock housing systems. Szklarska Poreba, p.421-423, 2001.
- COSTA, A.O.L.; GODOY, H. Contribuição para o conhecimento do clima do solo de Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas, v.21, p.689-742, 1962.
- DEGLIN, D.; CAENEGEM, L.V.; DEHON, P. Subsoil heat exchangers for the air conditioning of livestock buildings. **J. Agric. Engng Res.**, v.73, p.179-188, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- IBRAHIM, E.; SHAO, L.; RIFFAT, S.B. Performance of porous ceramic evaporators for building cooling application. **Energy and Buildings**, v.35, p.941-949, 2003.
- KOCA, R.W.; HUGHES, W.C.; CHRISTIANSON, L.L. Evaporative cooling pads: test procedure and evaluation. **Transactions of the ASAE**, v.7, n.4, p.485-490, 1991.
- MCNEILL, S.G.; FEHR, R.L.; WALKER, J.N.; PARKER, G.R. Performance of evaporative coolers for mid-south gestation housing. **Transactions of the ASAE**, v.26, n.1, p.219-222, 1983.
- SIMMONS, J.D.; LOTT, B.D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.12, n.4, p.497-500, 1996.
- SILVA, A.; NÄÄS, I.A. Equipamentos para aquecimento e refrigeração. In: MENDES, A.A.; NÄÄS, I.A.; MACARI, M. (Eds.). **Produção de frangos de corte**. Campinas: FACTA, 2004. p.55-84.
- ZACARIAS, R.G. **Temperatura do solo e desenvolvimento da "grama esmeralda" em superfícies com diferentes exposições e declividades**. 2008. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.