

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO VIA SOLO CONSTRUÍDOS COM BLOCOS DE CONCRETO E CERÂMICO

**FERNANDO AUGUSTO DE SOUZA¹, ADHEMAR PITELLI MILANI²,
EDUARDO ALVES DE ALMEIDA³, LUIZ FABIANO PALLARETTI⁴;
ALEXANDRE BARCELLOS DALRI⁴**

¹Zootecnista eDoutor. Produção Animal FCAV-Unesp Jaboticabal -SP, Brasil

²Eng^o Civil, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP, Brasil ,(0xx16) 32097273, email: apmilani@fcav.unesp.br

³Engenheiro Agrícola e M.Sc., Depto. De Engenharia Rural, FCAV / UNESP, Jaboticabal – SP, Brasil

⁴Eng^o Agrônomo, Doutor, Depto. de Engenharia Rural, FCAV/UNESP, Jaboticabal – SP, Brasil

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: Estudos de conforto térmico para construções zootécnicas que buscam soluções com recursos naturais e que sejam energeticamente mais eficientes são fundamentais e extremamente importantes para o desenvolvimento desta área no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento térmico de sistemas de climatização via solo composto por blocos de concreto e blocos cerâmicos. No experimento utilizaram-se dois módulos de 5,00 m de comprimento construídos com blocos de concreto e cerâmico, enterrados no solo a partir de uma profundidade de 0,40 m, dispostos linearmente permitindo a passagem do ar em seu interior, com nebulização na entrada de ar. A velocidade do ar foi controlada por exaustores com vazão constante de 25,00 m³min⁻¹, variando de 0,50 a 2,00ms⁻¹. Foram instalados termopares ao longo do comprimento da massa de blocos e os dados coletados foram analisados estatisticamente, considerando a temperatura de entrada e a variação ao longo do comprimento do sistema. Observou-se que os blocos de concreto foram mais eficientes na redução da temperatura que os cerâmicos (P=0,0048). Para os blocos de concreto, a velocidade de 0,50 ms⁻¹ proporcionou maior redução na temperatura e para os cerâmicos as velocidades de 0,50 e 2,00ms⁻¹ foram mais eficientes.

PALAVRAS-CHAVE: construções zootécnicas, climatização, material de construção.

EVALUATION OF THE THERMAL BEHAVIOR OF A SUBSOIL CLIMATIZATION SYSTEMS BUILT WITH CONCRETE AND CERAMIC BLOCKS

ABSTRACT: Studies of thermal comfort for zootechnical building that seek solutions with natural resources and are energetically more efficient are fundamental and extremely important to the development of this area in Brazil. The aim of this study was to evaluate the thermal behavior of a subsoil climatization system composed of concrete and ceramic blocks. In the experiment using two modules of 5.00 m long built with concrete and ceramic blocks, buried in soil from a depth of 0.40 m, arranged linearly allowing the passage of air inside and mist into the air inlet. The airspeed was controlled by exhaust fans, constant flow of 25.0 m³ min⁻¹, ranging from 0.50 to 2.00 m s⁻¹.

Thermocouples were installed along the length of the mass of the blocks and the collected data were analyzed by PROC MIXED procedure (SAS System). It was observed that the concrete blocks were more efficient in reducing temperature ceramic (P0 .0048). For the concrete blocks, the speed of 0.50 m s^{-1} provided greater reduction in temperature and for the ceramic of 0.50 and 2.00 m s^{-1} .

KEYWORDS: zootechnical building, climatization, building material.

INTRODUÇÃO

Na produção animal o ambiente térmico das construções zootécnicas depende dos sistemas de climatização utilizados, que na maioria as soluções empregadas são artificiais, e necessitam de uma elevada demanda energética para manutenção de suas condições ambientais.

Atualmente, os sistemas de climatização mais utilizados nopaísse baseiam em mecanismos que realizam trocas por condução e/ou convecção, além do resfriamento evaporativo do ar. A eficácia destes sistemas depende de uma série de fatores, tais como: umidade relativa local, isolamento térmico da construção, tipo de material, espessura e área de exposição da placa evaporativa (*pad*), fluxo de ar e volume de água (MCNEILL et al., 1983; KOCA et al., 1991; SIMMONS e LOTT, 1996). Têm-se observado que a redução na temperatura utilizando este sistema varia entre 4°C a 10°C (WHITAKER, 1979; TINOCO, 1996; DAGTEKIN et al., 2009).

Dentro da tendência mundial de buscar por fontes renováveis de energia e do uso de “tecnologias verdes”, houve um crescente interesse por sistemas que utilizam da inércia térmica do solo a uma determinada profundidade para promover trocas térmicas com o ar, e ficaram conhecidos como EAHE – *Earth-Air Heat Exchangers*), ou trocadores de calor solo-ar. De acordo com THEVENARD (2007), estes sistemas foram largamente empregados durante as décadas de 70 e 80 para climatização (aquecimento e resfriamento) de ambientes urbanos coletivos, mas não obtiveram grande aceitação devido a problemas relacionados com suas performances, materiais utilizados em sua construção e problemas associados à qualidade do ar.

A utilização destes sistemas no setor agropecuário é possível e encontra grande aplicabilidade, podendo proporcionar, conforme estudos realizados por DEGLIN et al. (1999), ALCHALABI (2001), BIEDA e KOZBIAL (2000) e BIEDA et al. (2001), condições ideais de temperatura em granjas de aves, de suínos ou em estufas agrícolas, sem um grande aumento nos custos de produção.

SKOMORUCHA e HERBUT (2005) compararam aves criadas em um galpão convencional (apenas com ventilação) com aves criadas em um galpão no qual a ventilação estava associada ao EAHE. Os parâmetros avaliados foram: temperatura do ar, umidade relativa, pressão de vapor da água, movimentação do ar, refrigeração seca e o índice de produção (*European Production Index*). Os resultados demonstraram que o sistema EAHE promoveu reduções significativas nas temperaturas menores, principalmente, no período da tarde (14h00 às 18h00) e quando as aves estavam com idade entre 21 a 35 dias, assim como, se obteve um índice de produção maior e redução na umidade relativa no interior do galpão.

Estudos realizados por COSTA e GODOY (1962) e ZACARIAS (2008), indicaram que abaixo de $0,40 \text{ m}$ a temperatura do solo em Jaboticabal apresenta uma pequena variação, próxima de 23°C ao longo do ano.

Frente a falta de informações técnicas e de estudos sobre sistemas diatérmicos no Brasil a necessidade de desenvolvimento desta área no país, este trabalho objetivou avaliar o comportamento térmico de sistemas de climatização via solo composto por blocos de concreto e cerâmico.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho 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 595,00 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).

Na área experimental o solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, com textura argilosa a moderada, caulínico-hipoférrico com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006) e o experimento foi realizado nos meses de janeiro e fevereiro de 2015. No experimento foram utilizados dois sistemas, um construído de blocos de concreto e outro cerâmico, com comprimentos de 5,00 m e seções transversais de 0,95 x 1,40 m e 0,72 x 1,33 m, respectivamente. Nas construções foram empregados blocos cerâmicos com as dimensões de largura 0,09 m, altura 0,19 m, comprimento de 0,19 m, com seção vazada de área útil da de $1,28 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, e os de concreto com largura 0,14 m, altura 0,19 m, comprimento de 0,19 m, e área útil da seção vazada de $1,37 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

Na montagem dos módulos eles foram alinhados e dispostos furo-a-furo 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 de cada sistema foi feita nebulização (*cooling*) através de 11 microaspersores (modelo MA-30 Agrojet, vazão $24,00 \text{ L.hora}^{-1}$), conectados por uma tubulação de diâmetro $19,00 \times 10^{-3} \text{ m}$ na 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 $2,00 \text{ ms}^{-1}$, que fluiu através dos dutos dos blocos por pressão negativa, controladas por exaustores de vazão constante de $25,00 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$, com base na relação apresentada por SILVA e NÄÄS (2004), de $0,65 \text{ m}^2$ de seção de entrada de ar para cada $100,00 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ de exaustão.

Eles foram posicionados na saída a 1,00 m depois do corpo do sistema, fixados em paredes construídas para vedar e garantir a exaustão do ar. O cálculo da velocidade foi feito em função da vazão constante do exaustor de $25,00 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ e da área útil da seção transversal da massa de blocos, que variou de acordo com as determinações de seus valores, tendo como 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 comprimento de 5,0 m, e no solo a 0,40 m de profundidade.

Os sensores utilizados foram termopares tipo T, modelo 105T, com acurácia de $\pm 1^\circ \text{C}$, 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^{-2} , 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 MIX.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 está representada a análise estatística realizada e nas tabelas 2 e 3 os desdobramentos dos efeitos principais para cada tipo de bloco, em função do comprimento do sistema e da velocidade do fluxo de ar em seu interior. Observam-se efeitos do tipo de bloco, da velocidade e do local de mensuração (ar externo, *cooling* e de 1 a 5 m). Houve interação entre o tipo de bloco e a velocidade de passagem do ar, o que denota a diferença entre a condutividade térmica entre blocos de concreto e cerâmicos (bloco de concreto $1,75 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; cerâmico $1,05 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Tabela 1. Análise estatística da influência das variáveis: tipo de bloco, velocidade do ar, local de mensuração sobre a temperatura do ar.

Fontes de Variação	GL	P (<0.05)
Bloco	1	<.0001
Velocidade	3	<.0001
Local	5	<.0001
Bloco*Velocidade	3	<.0001
Bloco*Local	5	0.329
Local*Velocidade	15	1.000
Bloco*Local*Velocidade	15	0.998

A interação entre a velocidade do ar e o tipo de bloco pode ser melhor visualizada na Figura 2. Observa-se que, exceto pela velocidade do fluxo de ar de $2,0 \text{ m s}^{-1}$, em todas as situações a temperatura nos blocos de concreto foi inferior que nos blocos cerâmicos. Desdobrando-se a interação entre tipo de bloco e velocidade, obteve-se um modelo quadrático para cada tipo de bloco ($P < 0.0001$). Na figura 2 os valores obtidos de temperatura para cada situação e suas respectivas equações com os valores de coeficiente de determinação (R^2). Considerando-se a velocidade, observam-se que os blocos de concreto são mais eficientes na redução da temperatura que os blocos cerâmicos. Os valores mínimos para a temperatura obtidos através das equações foram 24,39 para o bloco cerâmico, com uma velocidade de 2,0 m/s e 23,97 para o bloco de concreto com velocidade do fluxo de ar de 0,50 m/s.

A diferença observada entre os blocos e velocidades denota, além das propriedades térmicas dos materiais utilizados, considerando a diferença entre os coeficientes de condutividade térmica, a necessidade de uma velocidade específica, ou seja, aumentar ou diminuir o tempo de permanência do ar no sistema em função do material utilizado na tubulação. O ar entra no sistema e realiza trocas de calor com a parede da tubulação, que por sua vez está em contato com o ambiente circundante subterrâneo. Deste modo, a transferência de calor entre o solo a parede da tubulação se dá por condução e entre a parede e o fluxo de ar por convecção (BANSAL e MATHUR, 2009).

Tabela 2 - Valores de velocidade e comprimento do sistema para blocos cerâmicos.

Velocidade	Local							Média
	Externo	Cooling	1m	2m	3m	4m	5m	
0.50	28.39	24.92	25.36	25.47	25.74	25.81	25.89	25.53
1.00	29.53	25.99	26.21	26.30	26.43	26.71	26.86	26.42
1.50	32.13	26.27	26.41	26.51	26.61	26.84	26.96	26.60
2.00	30.61	24.26	24.26	24.36	24.36	24.51	24.62	24.39
Média	30.16 a	25.36 b	25.56 b	25.66 b	25.79 b	25.97 b	26.08 b	
Velocidade	P < 0.001							
Local	P < 0.001							
Velocidade x Local	P = 0.1438							

Tabela 3 - Valores de velocidade e comprimento do sistema para blocos de concreto.

Velocidade	Local							Média
	Externo	Cooling	1m	2m	3m	4m	5m	
0.50	28.39	24.07	24.11	23.98	23.92	23.84	23.89	23.97
1.00	29.53	25.45	25.42	25.39	25.39	25.33	25.36	25.39
1.50	32.13	25.77	26.03	26.16	26.20	25.94	26.01	26.02
2.00	30.61	24.08	25.33	25.24	25.08	24.49	24.59	24.80
Média	30.16 a	24.84 b	25.22 b	25.19 b	25.15 b	24.90 b	24.96 b	
Velocidade	P < 0.001							
Local	P < 0.001							
Velocidade x Local	P = 0.948							

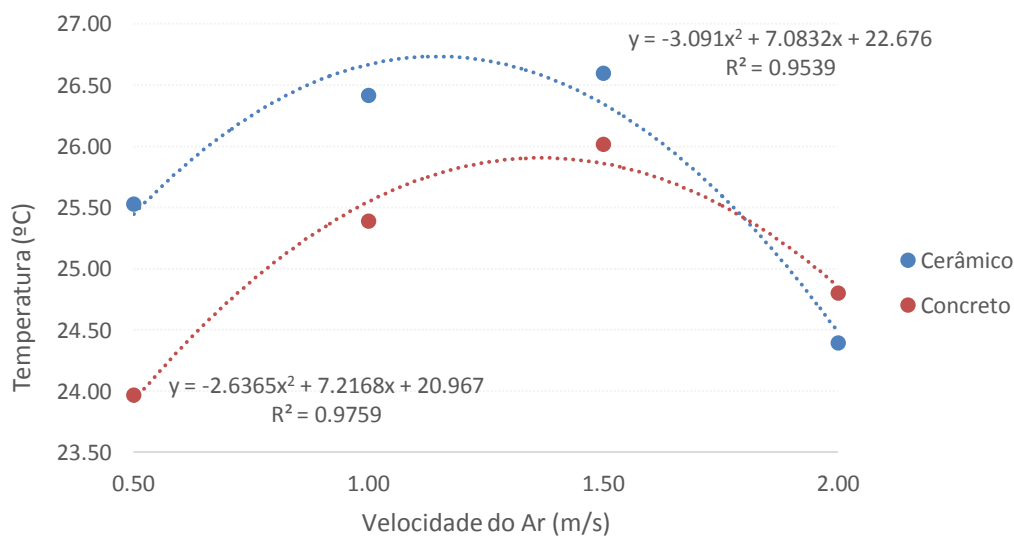


Figura 1. Efeito da velocidade e do tipo de bloco sobre a temperatura do ar interna do sistema.

As tabelas 2 e 3 demonstraram que não houve efeito do comprimento do sistema, ou seja, 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).

Nos sistemas de resfriamento do ar baseado nas trocas de calor do ar com o solo, há necessidade de um diferencial de temperatura entre o solo e o ar, de modo que, por mecanismos convectivos e condutivos, ocorra a troca de calor. Observou-se neste trabalho que a partir da passagem do ar pelo *cooling* a redução na sua temperatura equiparou-se a temperatura do solo e do ar, portanto, não houve diferencial entre suas temperaturas, não se observando efeito do comprimento. De acordo com GASPARIM et al. (2005), o solo se aquece ou se resfria de acordo com a quantidade de radiação solar absorvida ou perdida em sua camada superficial no decorrer do dia e do ano, gerando variações térmicas nas camadas mais próximas da superfície. Pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrer na superfície, aliado à baixa velocidade da propagação de ondas curtas para o interior do solo, as maiores variações térmicas se limitam aos horizontes superficiais.

No resfriamento evaporativo direto o ar não saturado é resfriado pela transferência de calor e massa, aumentada pelo movimento forçado do ar através de uma superfície umedecida. Parte do calor sensível do ar é transferida para a água e torna-se calor latente por evaporação de parte da água. O calor latente segue o vapor de água e se difunde no ar (WATT e BROWN, 1997).

Nas figuras 2, 3, 4 e 5 estão apresentadas as velocidades do fluxo de ar para cada tipo de bloco em função do comprimento do sistema. Observa-se que o comprimento e a velocidade do fluxo de ar acima de 1,50 m/s, o comportamento na redução de temperatura é semelhante entre os tipos de blocos. Em 2,0 m/s há um aumento na temperatura do ar nos primeiros 3,0 m de comprimento, no sistema com blocos de concreto.

Um fator a se considerar é que na entrada de ar, próximo ao *cooling*, houve umidificação da parede dos blocos cerâmicos ou de concreto, fator que aumenta a transferência de calor. 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.

O material utilizado nas tubulações deste trabalho, diferente de outros materiais, como PVC ou metal (cobre, por exemplo), apresenta a capacidade de absorver água e proporciona um microclima ameno no interior da tubulação, além do fato de se aumentar a troca térmica do solo com o ar devido à maior umidade do solo e dos blocos, o que pode justificar valores elevados para a eficiência do sistema. BANSAL et al. (2009) estudaram o desempenho de um sistema experimental e outro simulado de resfriamento baseado na troca ar-solo, com tubulação de PVC e aço galvanizado e diferentes velocidades do ar. Os autores concluíram que estes materiais não diferiram no desempenho do sistema e sua influência foi devido à suas características hidrodinâmicas, como coeficiente de fricção, do que pela condutividade térmica do material, ou seja, transferências de calor via convecção desempenharam um papel mais importante que pelas vias condutivas e, quanto à velocidade, a redução da temperatura foi maior em velocidades menores (de 5 m s⁻¹ para 2 m s⁻¹), pois o tempo de contato do ar com a tubulação foi maior.

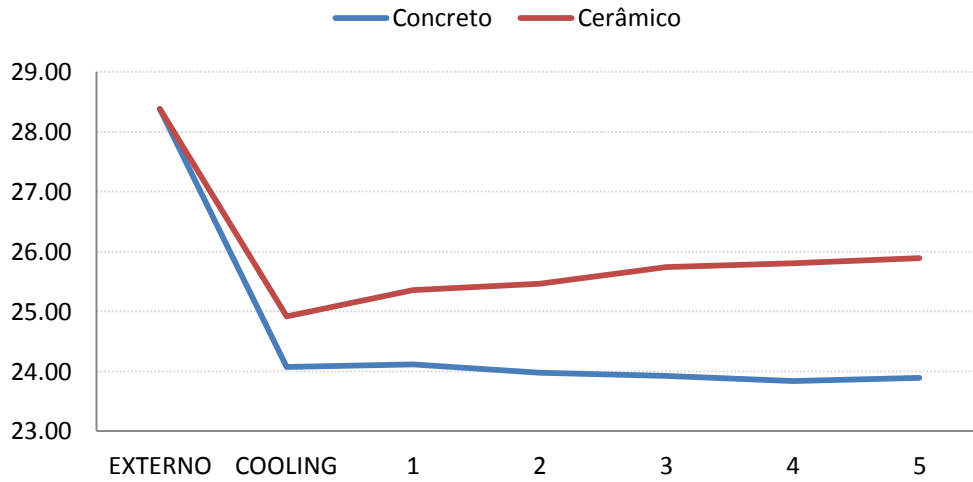


Figura 2 – Variação na temperatura do ar em função do comprimento do sistema, com a velocidade do fluxo de ar em 0,5 m/s.

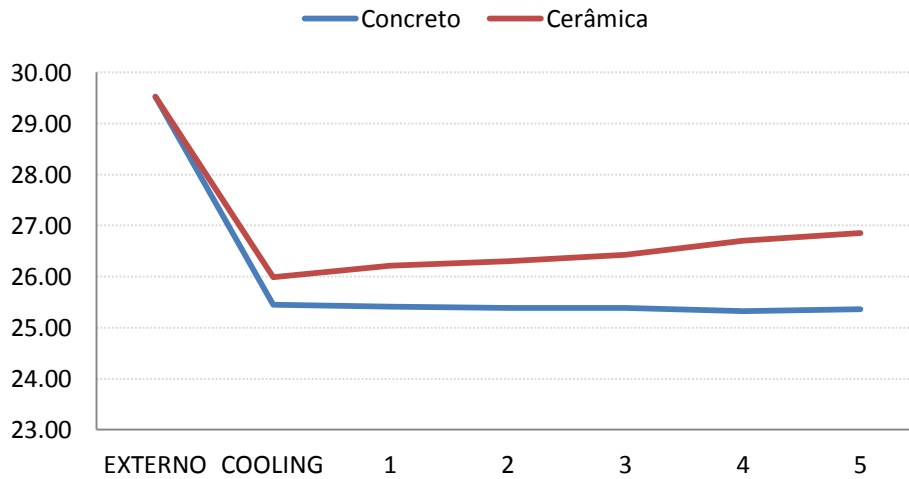


Figura 3 – Variação na temperatura do ar em função do comprimento do sistema, com a velocidade do fluxo de ar em 1,0 m/s.

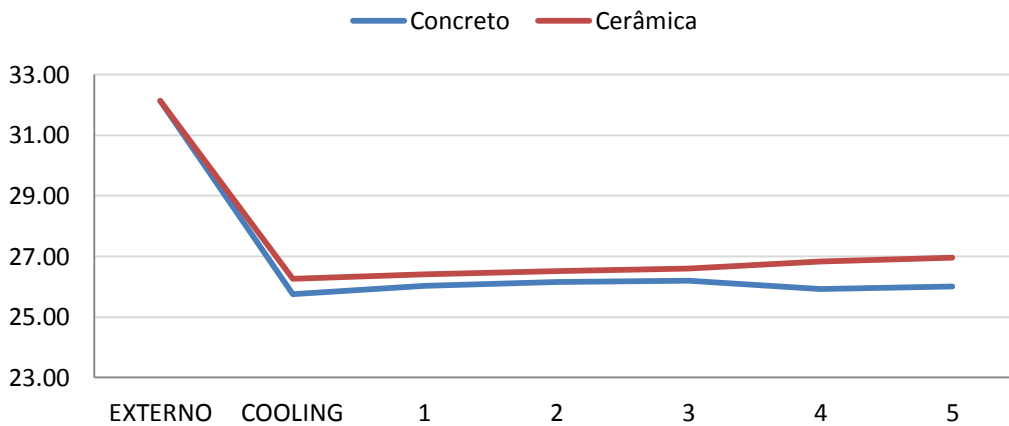


Figura 4 – Variação na temperatura do ar em função do comprimento do sistema, com a velocidade do fluxo de ar em 1,5 m/s.

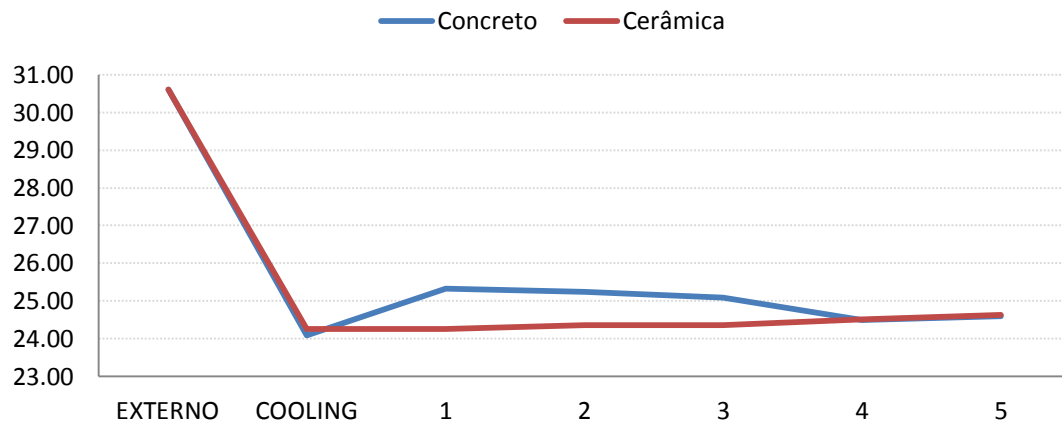


Figura 5 – Variação na temperatura do ar em função do comprimento do sistema, com a velocidade do fluxo de ar em 2,0 m/s.

Neste trabalho, a relação entre a área de superfície e o volume corrente de ar foram constantes, pois o sistema foi dimensionado em função da vazão do exaustor, considerando a relação de 0,65 m² de área de secção para cada 100 m³ min⁻¹ de vazão, entretanto, grande parte dos projetos de engenharia com sistemas de resfriamento/aquecimento baseados em trocas ar-solo utilizam ductos de tubulação composto por poucos tubos, com comprimento muito grande, variando de 10,0 m a 50,0 m, ou seja, utilizam uma relação alta entre a área superficial de contato com o solo e o volume corrente de ar que passa pela tubulação (A:V).

Considerando a hora do dia, podemos observar na figura 6 os valores da temperatura externa do ar e da temperatura do ar no interior do sistema com blocos cerâmicos ou de concreto em função da hora do dia. Não houve interação entre o tipo de bloco e a hora do dia (P=0.65). Porém, houve maior eficiência dos blocos de concreto (P<0.001).

Nos horários mais quentes, das 11h às 14h, ambos os sistemas apresentaram eficiência na redução da temperatura do ar, principalmente considerando-se que a temperatura externa foi superior a 30°C. De acordo com ABREU et al. (1999), o rendimento máximo de um sistema de resfriamento evaporativo isolado é de 80%. Esta constatação também foi verificada por BANSAL et al. (2012), que ao integrar o sistema evaporativo ao sistema ar-solo, verificaram que o arrefecimento proporcionado pelo sistema integrado foi de 7609 MJ ano⁻¹, descontando 4500 MJ ano⁻¹, que foi devido somente ao sistema ar-solo, 3109 MJ/ano foi devido à integração dos sistemas.

Por outro lado, o comprimento foi um limitante, principalmente, pois a temperatura do solo situou-se próxima de 22°C e, em algumas situações, o resfriamento evaporativo proporcionou temperaturas inferiores a este valor na entrada de ar do sistema, com o aumento do comprimento houve aumento na temperatura do ar, proporcionado pelas trocas com o solo, o que acarretou em aquecimento e em alguns casos e a temperatura do ar na saída do sistema foi superior à de entrada. Com menores comprimentos, não houve esse efeito, possivelmente pelo espaço e tempo de passagem do ar nestes segmentos.

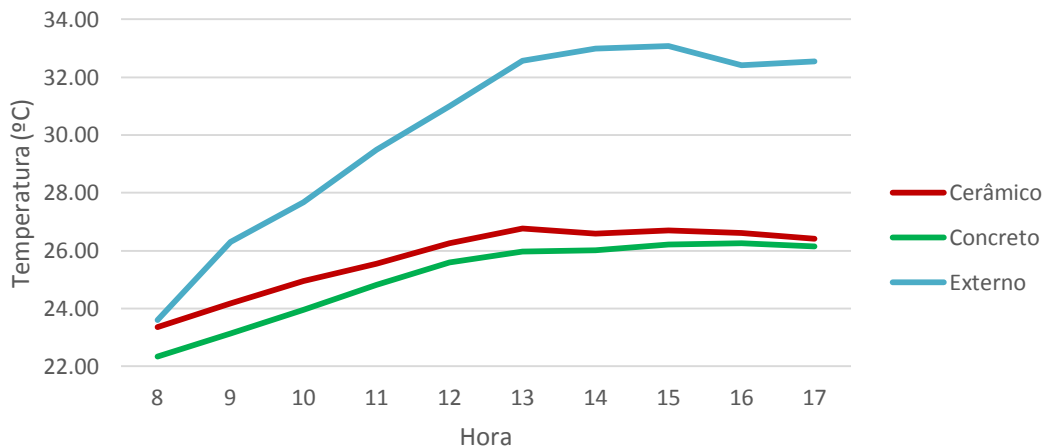


Figura 6 – Variação da temperatura do ar em sistemas com blocos cerâmicos ou de concreto em função da hora do dia.

Para a época do ano estudada, o resfriamento evaporativo apresentou bons resultados, porém, sua eficiência depende, basicamente, da depressão psicrométrica, ou seja, diferença entre as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido. WHITAKER (1979) observou, em experimentos realizados nos EUA, que o resfriamento adiabático evaporativo pode possibilitar a redução da temperatura do ar em até 11°C, dependendo das condições psicrométricas do ar. DAGTEKIN et al. (2009) estudaram a eficiência de um sistema adiabático evaporativo em granjas avícolas durante os meses de junho e agosto na Turquia (verão), que se caracterizam por altas temperaturas e elevada umidade do ar. Os autores concluíram que o sistema adiabático evaporativo proporcionou uma redução na temperatura entre 4,4 a 7,3°C, porém, essas condições só foram obtidas quando a umidade do ar se situou abaixo dos 50%.

CONCLUSÕES

Os blocos de concreto foram mais eficientes na redução da temperatura do ar que os blocos cerâmicos e o comprimento do sistema não influenciou na redução final da temperatura.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.G. et al. **Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1999. (Embrapa-CNPSA. Documentos, 59).
- ALCHALABI, D.; Two-stage air-cooling for very hot environments. **Poultry International**, v.40, n.11, p.28-32, 2001.
- BANSAL, V.; MATHUR, J.; Performance enhancement of earth air tunnel heat exchanger using evaporative cooling. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v.4, p.150-158, 2009.
- BANSAL, V.; MISRA, R.; AGRAWAL, G.D.; MATHUR, J. Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for winter heating. **Energy and Buildings**, v.41, p.1151-1154, 2009.
- BANSAL, V; MISRA, R.; AGRAWAL, G.D.; MATHUR, J. Performance evaluation and economic analysis of integrated earth-air-tunnel heat exchanger-evaporative cooling system. **Energy and Buildings**, v.55, p.102-108, 2012.

- BIEDA, W.; KOZBIAL, M. Wykorzy stani egruntowego wymiennika ciepła pod brojlernia do optymalizac ji jejwarunkow 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.
- DAGTEKIN, M.; KARACA, C.; YILDIZ, Y; Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. **Biosystems Engineering**, v.103, p.100-104, 2009.
- DEGLIN, D.; VAN CAENEGEM, L.; DEHON, P.; Subsoil heat exchangers for the air conditioning of livestock buildings. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.73, p.179-188, 1999.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: **EMBRAPA-SPI**, 2006. 306 p.
- GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S.L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.27, p107-115, 2005.
- 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, i.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, i.1, p.219–222, 1983.
- 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.
- SIMMONS, J.D.; LOTT, B.D. Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.12, i.4, p.497–500, 1996.
- SKOMORUCHA, I.; HERBUT, E.; Effect of an earth tube heat exchanger on broiler house climate in the summer period. **ISAH**, Warsaw, Poland, v.2, 2005.
- THEVENARD, D.; Bibliographic Search on the Potential of Earth Tubes. Numerical Logics Inc. 2007. Disponível em: < <http://www.numlog.ca/index.html> >. Acesso em: 20 abr. 2010.
- TINÔCO, I.F.F. **Efeito de diferentes sistemas de acondicionamento de ambientes e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, em condições de verão e outono**. 1996, 173 f. Dissertação (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.
- WATT, J.R.; BROWN, W.K. **Evaporative air conditioning handbook**. 3.ed. Lilburn, 1997.
- WHITAKER, J. H. **Agriculture Buildings and Structure**. 2.ed. Heston: Heston Publishing Company, 1979. 289 p.
- 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.