

VALIDAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO EM ABRIGOS ESCAMOTEADORES UTILIZANDO UM MODELO EM CFD

FLÁVIO ALVES DAMASCENO¹, CARLOS EDUARDO ALVES OLIVEIRA²,
JOÃO ANTÔNIO COSTA DO NASCIMENTO³, LEONARDO SCHIASSI⁴,
LUCAS HENRIQUE PEDROZO ABREU⁵

¹ Eng. Agrícola, Prof. Dr., Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829.1481, flavio.damasceno@deg.ufla.br

² Graduando em Eng. Agrícola, Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829.1481, carloseoliveira@hotmail.com

³ Graduando em Zootecnia, Depto. de Zootecnia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829-1231, jacostadonascimento@gmail.com

⁴ Eng. Agrícola, Prof. Dr., Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829.1481, leonardo.schiassi@deg.ufla.br

⁵ Eng. Agrícola, Prof. Dr., Depto. de Engenharia, UFLA/Lavras-MG, (35) 3829.1481, lhpabreu@gmail.com

Apresentado no

XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Na suinocultura, um dos problemas relacionados ao conforto térmico e bem-estar animal está na maternidade, onde se tem duas categorias animal com exigências térmicas bem diferenciadas. Sendo assim, a maior temperatura do ar exigida para o conforto térmico de leitões se deve ao fato dos animais jovens terem ainda seu sistema termorregulador pouco desenvolvido, possuírem superfície específica em contato com o ambiente relativamente grande, reserva energética baixa, o que confere pequeno isolamento térmico. Deste modo, objetivou-se com o presente trabalho validar um modelo computacional em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) para a predição da temperatura superficial em pisos de escamoteadores em maternidade de suínos. Para realização deste estudo, construiu-se um protótipo de aquecedor de água solar utilizando materiais alternativos e comparou com um aquecedor de água solar convencional (Testemunha) e um piso sem aquecimento. Neste estudo foram coletados dados da temperatura superficial utilizando uma câmera térmica e da temperatura e vazão da água, na entrada e saída do piso, utilizando sensores registradores termopares e medidor de vazão, respectivamente. Com base nos resultados, os dados experimentais não apresentaram diferenças significativas com os dados obtidos pelo modelo, concluindo-se que este é adequado para prever o comportamento deste tipo de sistema de aquecimento.

PALAVRAS-CHAVE: suinocultura, modelagem computacional, simulação

VALIDATION OF HEATING SYSTEM IN THE CREEP USING A CFD MODEL

ABSTRACT: In pig farming, one of the problems related to thermal comfort and welfare animal is in the farrowing house, there are two categories of animal with very different thermal requirements, the piglets and sow. Thus, the piglets require greater comfort temperatures sows, because the young animals still have their thermoregulatory system undeveloped, having specific surface area in contact with the relatively large environment, low energy reserves, which gives small isolation thermal. The objective of this research was to evaluate a computer model in Computational Fluid Dynamics (CFD) to predict surface temperature in heating system of creep in the farrowing house. For this study, a prototype solar heater was developed, using alternative materials and compared with a conventional solar water heater (control) and without heating. The surface temperature data were collected using a thermal camera and the temperature and flow of water in and out of the floor, using registers sensors and thermocouples flow meter, respectively. Based on the results, the experimental data showed no significant differences with the data obtained by the model,

concluding that this is suitable for predicting the thermal conditions of this type of heating system.

KEYWORDS: swine, computational modeling, simulation.

INTRODUÇÃO:

A suinocultura é uma atividade que exige muita dedicação do criador para alcançar bons índices de produtividade e, em consequência, resultados econômicos satisfatórios. Fatores ambientais externos e o microclima dentro das instalações exercem efeitos diretos e indiretos sobre a produção de suínos, acarretando a redução da produtividade, com consequentes prejuízos econômicos à exploração (Pandorfi, 2002).

O desempenho produtivo e reprodutivo dos suínos depende do sistema de manejo empregado, que envolve o sistema de criação escolhido, da nutrição, da sanidade e das instalações. No caso da maternidade, esse problema se evidencia por conviverem nela duas categorias com exigências ambientais muito diferentes. Por um lado, a porca precisa ser refrigerada, e, por outro lado o leitão, que precisa ser aquecido. A faixa de conforto térmico ambiente para o leitão nos primeiros dias de vida situa-se entre 32 e 34°C sendo que para a matriz esta faixa é de 16 a 21°C (Perdomo et al., 1987).

A solução dessa problemática, presente em todas as granjas de suínos, é prioritária quando se pretende melhorar o desempenho de ambas as categorias. Em termos gerais, o aquecimento de leitões em fase de maternidade e creche é um sistema que consome muita energia elétrica na granja.

Desta forma, em virtude da grande quantidade de energia elétrica que é utilizado nesse tipo de criação, existe a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possibilitem minimizar o consumo, sem prejudicar o bem-estar dos animais e preservando o meio ambiente. A simulação do ambiente térmico e dos sistemas de aquecimentos para leitões no interior do abrigo escamoteador pode fornecer ao projetista e ao produtor, informações importantes que auxiliam na tomada de decisão. O desenvolvimento de modelos matemáticos e a aplicação de simulações computacionais permitem reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento e adaptação de projetos. Deste modo, objetivou-se com o presente trabalho validar um modelo computacional em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) para a predição da temperatura superficial em pisos de escamoteadores em maternidade de suínos.

MATERIAIS E MÉTODOS:

O estudo foi conduzido numa maternidade de suínos do Centro Experimental em Suinocultura da Universidade Federal de Lavras – MG, durante o período de verão de 2015.

Para realização deste estudo, construiu-se um protótipo de aquecedor de água solar utilizando materiais alternativos – SASA e comparou com um aquecedor de água solar convencional – SASC.

O aquecedor de água solar convencional (SASC) possuía um coletor solar de placa de vidro, fabricado em alumínio extrudado, aletas em alumínio e pintadas em preto fosco para absorver radiação solar e transferir para tubulação interna. Os componentes do reservatório térmico possuíam cilindro internos e tubos fabricados com aço inoxidável e poliuretano expandido rígido.

O protótipo de aquecedores de água solar fabricado com material alternativo (SASA) foi construído com tubos e conexões de PVC (diâmetro de 1/2”), garrafas PET e caixas de leite (Tetra Pak®). As caixas Tetra Park® foram pintadas de preto-fosco para absorver calor, e mantê-lo retido dentro das garrafas para que sejam transferidos para água através das

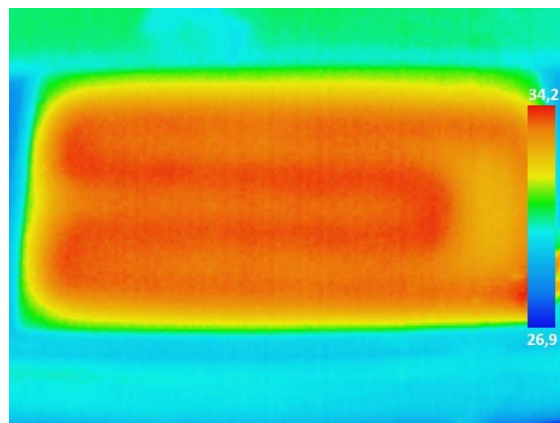
tubulações de PVC, que também foram pintadas com preto-fosco. Na construção do protótipo de aquecedor solar alternativo, utilizaram-se 60 garrafas de Politereftalato de Etileno (PET) transparentes de 2 litros. As caixas Tetra Pak® foram abertas pela parte superior e inferior, deixando-as planificadas. Com isto, utilizando um gabarito de corte proposto por CELESC (2010) para manter um padrão em todas as caixas. Em seguida, dobrou-se de forma a aproveitar os próprios vincos laterais da embalagem e foram feitos dois cortes na parte de cima, em diagonal, para que fosse possível se encaixar à curvatura interna da garrafa PET, dando também sustentação à caixa e mantendo-a reta e encostada no tubo de PVC. Logo após, pintou-se todas as caixas de tinta preto-fosco. Na construção do reservatório de água quente alternativo, utilizou-se uma caixa d'água de fibra de vidro de 50 litros, revestidas de placas de Poliestireno (30 mm), fita Silver Tape e manta asfáltica autoadesiva de alumínio (2,5 mm) para proteger as placas de Poliestireno contra as intempéries. No reservatório, foram feitos quatro furos de 20 mm cada, sendo dois furos para circulação de água entre do reservatório térmico ao coletor solar e os outros dois furos para circulação de água do reservatório térmico para o piso.

Para testar os dois sistemas de aquecimento de água foram construídos três pisos de argamassa (traço 1:3) nas dimensões 74 cm de comprimento, 46 cm de largura por 7 cm de altura. Para evitar a dissipação de calor no fundo dos pisos, foram utilizadas placas de poliestireno de 30 mm. Em cada piso, colocou-se uma tubulação de aço galvanizado de 20 mm, formando uma serpentina, com o objetivo de distribuir uniformemente o calor da água no interior do piso. Os pisos foram deixados em locais com sombra e cobertos com lona plástica, sendo que diariamente eram umedecidos para evitar trincas. Foi utilizada uma bomba modelo ZC-T40, de tensão 12V e 1,05A.

Para testar e avaliar a eficiência de aquecimento dos dois sistemas de aquecimento de água, utilizou-se em cada sistema quatro sensores termopares (tipo k) com visor digital, sendo alocados na entrada e saída do reservatório térmico e entrada e saída do piso. Os pisos ficaram dentro de um abrigo de escamoteador (Figura 1a). Utilizou-se um sensor de infravermelho e uma câmera térmica (Figura 1b) para medir a temperatura na superfície do piso, onde foram coletados nove pontos.



(a)



(b)

Figura 1. Detalhe do piso de concreto: (a) no interior do escamoteador e (b) imagem térmica da superfície do piso.

Modelo matemático

A etapa inicial de todo trabalho de CFD consiste na definição do domínio de cálculo, ou seja, define-se a geometria na qual pretende se aplicar a resolução numérica das equações

que descrevem os fenômenos a serem investigados. Todos os resultados de simulações do presente trabalho foram obtidos da utilização do pacote ANSYS em sua respectiva interface Workbench. O software e a licença temporária do pacote ANSYS é propriedade do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras - Brasil. Devido à complexidade da geometria, optou-se pela utilização do software ANSYS ICEM CFD para a construção de uma malha computacional tetraédrica, que tem melhores resultados, segundo Lee et al. (2007).

As taxas de fluxo de ar são normalmente associadas com os fluxos turbulentos e, quando combinado com as interações de transferência de calor, geram um sistema de equações que é difícil de resolver, especialmente por métodos não numéricos. Assim, a técnica de CFD utilizada neste estudo foi baseado na solução do sistema médio em número de Reynolds extraído das Navier - Stokes, por discretização do campo de fluxo, com base na técnica de volume finito. O modelo que descreve o fluxo de fluido não-isotérmico é descrito pelas equações de continuidade, momentum e energia, simplificada nas seguintes formas (Fluente Inc., 2004; Ahmadi e Hashemabadi, 2008):

$$\nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho U U) = \nabla p + [\mu_t (\nabla U + \nabla U^T)] \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (-k \nabla T + \rho C_p T U) = Q \quad (3)$$

Onde: ρ é a densidade (kg m^{-3}), U é o vetor velocidade, p é a pressão estática (N m^{-2}), μ é a viscosidade dinâmica do fluido ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$), T é o Tensor transposição, k é a energia cinética turbulenta ($\text{m}^2 \text{s}^2$), T é a temperatura (K), C_p é o calor específico ($\text{W kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) e Q é o termo fonte, W m^{-3} .

Condições de contorno

Neste estudo, a geometria do objeto modelado baseou-se num piso de concreto aquecido por uma fonte de calor localizado sob a superfície do piso (tubulação de aço galvanizado aquecida por água quente). O software ANSYS CFX foi empregado para realização da simulação, adotando-se as seguintes premissas: regime transiente e condição com energia térmica. Adotou-se um resíduo médio dos sistemas lineares (RMS, Root Mean Square) menor do que 10^{-4} como critério de convergência, com 100 iterações. A condutividade térmica do material (k) não apresentou alterações significativas em nenhuma das partes do piso de concreto; assim, o coeficiente k foi considerada constante (Figura 2).

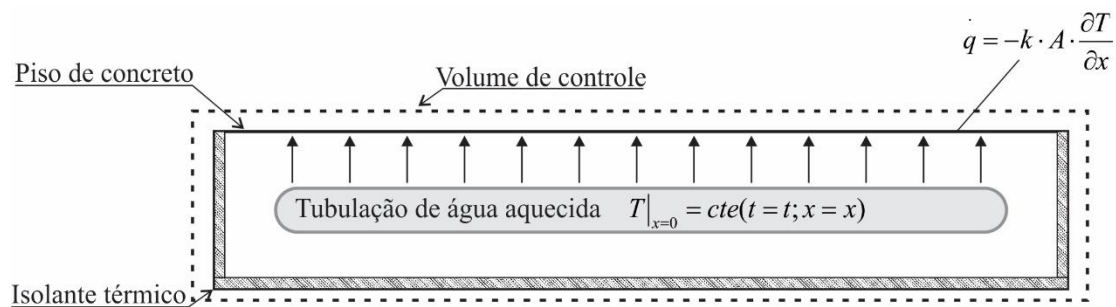


Figura 2. Condições de contorno usada na avaliação do piso aquecido.

No piso de concreto, a transferência de calor ocorreu somente por condução dentro do meio sólido, não considerando a transferência de calor entre as superfícies do piso de concreto

com o ar ambiente, superfícies laterais e inferiores. As dimensões e condições de operação do modelo do piso de concreto e tubulação de aço galvanizado foram usadas para gerar o modelo em CFD. Assim, os valores medidos na fase experimental foram usados nas condições de contorno no modelo, os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Médias dos valores de entrada nas condições de contorno para o sistema de aquecimento convencional e alternativo.

Convencional	Temperatura do piso	20°C
	Temperatura da água dentro da tubulação	42°C
	Material do piso	Concreto
	Material da tubulação	Aço galvanizado
Alternativo	Temperatura do piso	20°C
	Temperatura da água dentro da tubulação	32°C
	Material do piso	Concreto
	Material da tubulação	Aço galvanizado

Os resultados do modelo CFD foram verificados e comparados com os correspondentes dados obtidos experimentalmente. A concordância entre os valores medidos e descritos pelo modelo CFD, foram avaliados calculando-se a média quadrada do erro normalizado (NMSE) recomendado pela ASTM (2002), e para isso foi tomada uma amostra de 63 dados experimentais para cada tratamento testado. Quando se tem muita concordância entre o valor medido e o valor previsto, o NMSE tem valor igual a 0. Os valores menores de 0,25 de NMSE são aceitos como bons indicadores de concordância.

$$NMSE = \frac{(\overline{C_p - C_o})^2}{(C_{pm} - C_{om})} \quad (4)$$

$$(\overline{C_p - C_o})^2 = \frac{\sum (C_{pi} - C_{oi})^2}{n} \quad (5)$$

Onde: C_{pi} : valor previsto, C_{oi} : valor medido; C_{pm} : média do valor previsto; C_{omi} : média do valor medido; n : número de medidas

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para confecção da malha, utilizou-se o software Ansys Workbench e foram utilizados 167.724 elementos tetraédricos (Figura 3), com um sistema composto por 27.031 nós.

Para validar o modelo tridimensional gerado, a comparação dos dados simulados pelo modelo CFD desenvolvido e os dados experimentais mostram que os valores médios de temperatura da superfície do piso para cada tratamento testado não diferem significativamente entre os valores experimentais e os valores do modelo, apresentando uma média quadrada do erro normalizado (NMSE) para os tratamentos convencional e alternativo de 0,002 e 0,0005, respectivamente. Isto indica haver uma ótima concordância entre os resultados, concluindo-se que o modelo em CFD pode ser usado para prever o comportamento médio da temperatura superficial em pisos aquecidos em escamoteadores em maternidade de suínos (Tabela 2).

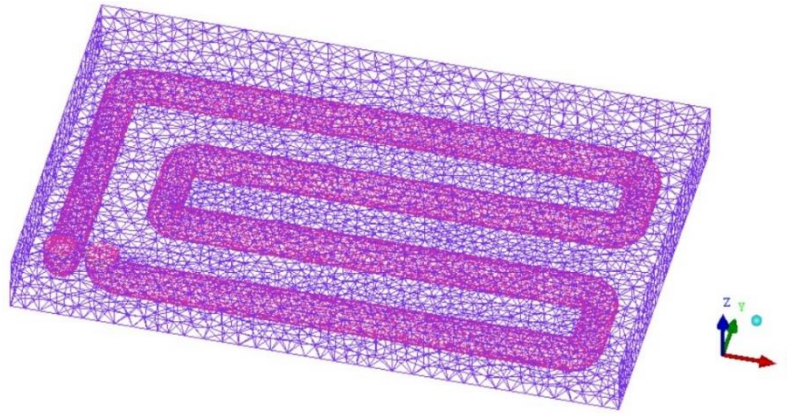


Figura 3. Malha tetraédrica gerada para implementação do modelo de CFD.

Tabela 2. Comparação de dados experimentais e simulados da temperatura superficial (°C) dos pisos aquecido pelos coletores solares convencional e alternativo.

Convencional	Temperatura superficial (°C)	
	Experimental	Simulado
Média	37,2	36,9
NMSE	0,0016	
Alternativo	Temperatura superficial (°C)	
	Experimental	Simulado
Média	31,1	30,9
NMSE	0,0005	

Por meio de análise estatística preliminar, verificou-se que não existe diferença significativa entre os valores de temperatura da superfície do piso para os tratamentos convencional e alternativo (teste t, $P=0,100$), resultando em valores de coeficientes de determinação (R^2) de 0,677 e 0,904, respectivamente. As expressões ajustadas são estatisticamente significativas (teste F, $P<0,0001$), conforme pode ser observada na Figura 4, que mostra uma boa concordância entre os valores medidos e simulados em todos os tratamentos testados.

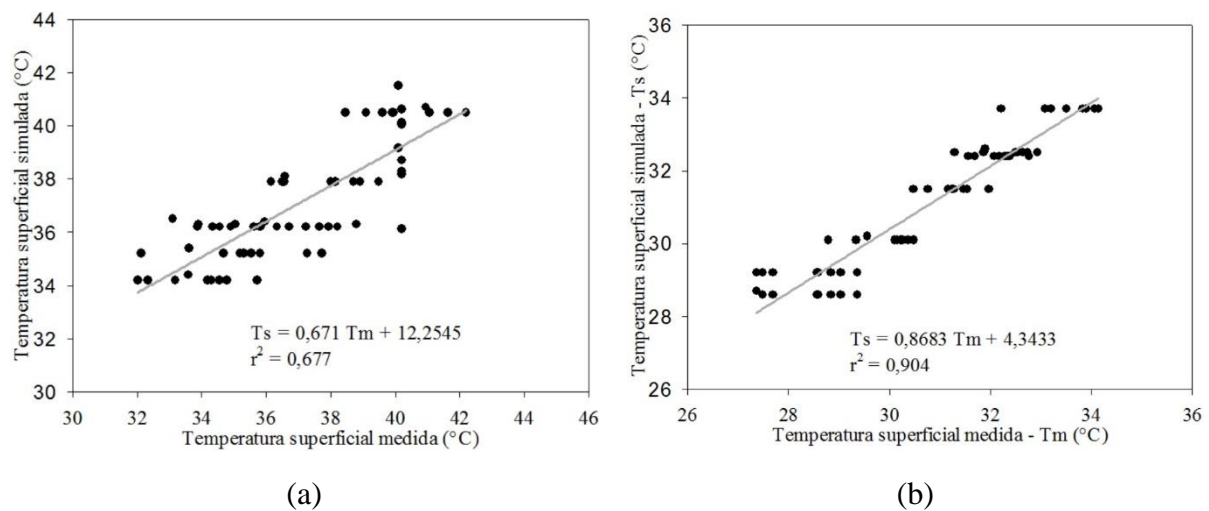


Figura 4. Comparação da temperatura superficial medida (T_m) e simulada (T_s) dos pisos aquecido pelos coletores solares: (a) convencional e (b) alternativo.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as simulações do estado transiente da temperatura interior e superfície dos pisos de concreto no instante inicial e final. Conforme pode ser observado, no instante inicial da simulação, a variação média da temperatura superficial é de $\pm 3,8^{\circ}\text{C}$. Entretanto, observou-se que o tempo necessário para que a temperatura da superfície do piso atingisse a temperatura de 32°C foi de 20 minutos. Segundo Perdomo et al. (1987), a temperatura ideal para o conforto térmico de suínos recém-nascidos varia entre 29°C e 31°C aos 35 dias. Analisando a Figura, pode-se verificar que a placa aquecida alcançou média de temperatura considerada dentro da faixa de conforto térmico para suínos recém-nascidos. Segundo Teixeira (2010), o sistema de aquecimento com piso radiante hidráulico necessita de um maior tempo de pré-aquecimento para atingir a temperatura desejada, quando comparado com o sistema de aquecimento com piso radiante elétrico.

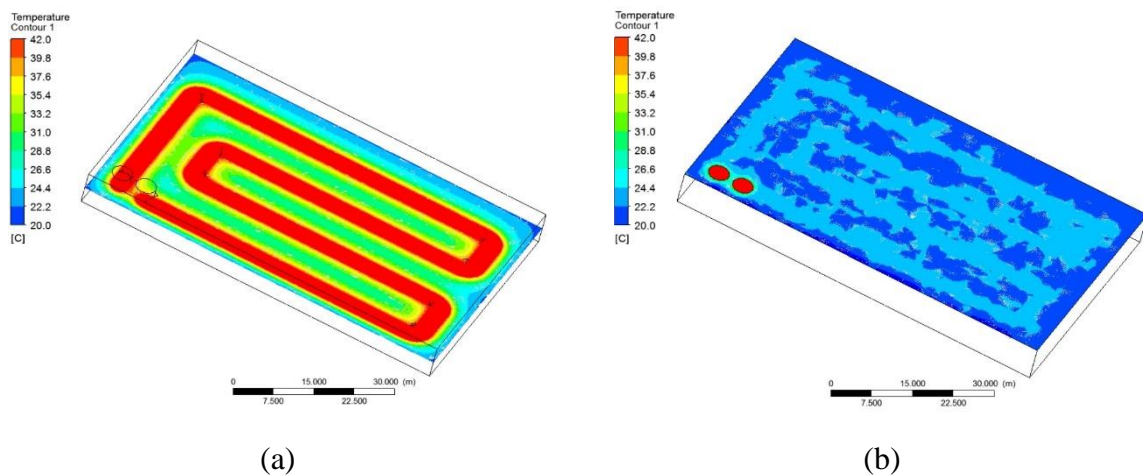


Figura 5: Comportamento da temperatura (a) no interior e (b) superfície do piso de concreto no instante inicial da simulação.

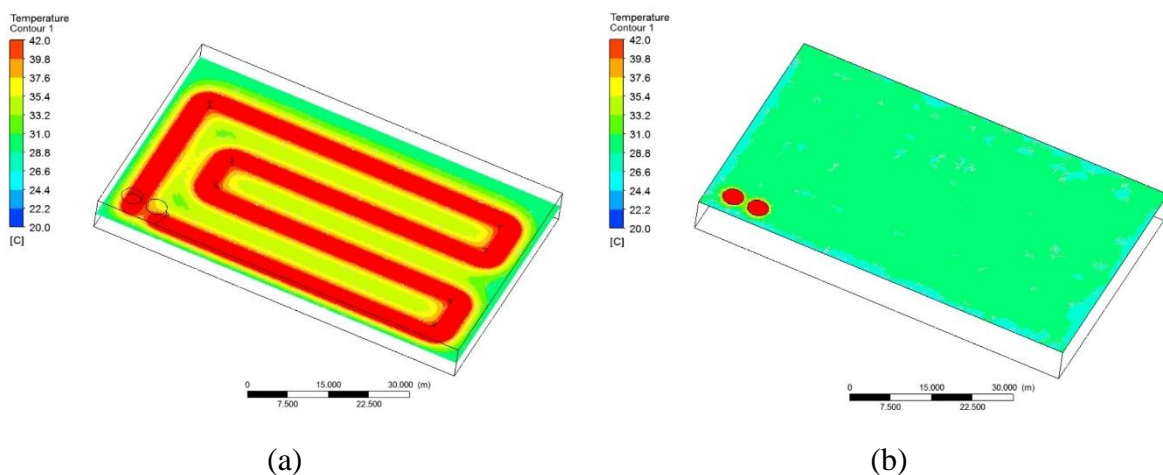


Figura 6: Comportamento da temperatura (a) no interior e (b) superfície do piso de concreto no instante final da simulação.

O desempenho do piso radiante hidráulico pode ser afetado pela sobreposição de qualquer tipo de material que altere a transferência de calor, o que afeta a taxa de calor transferida para o espaço condicionado (Watson e Chapman, 2002). De acordo com Teixeira (2010), a utilização de sistemas de piso radiante hidráulico torna-se mais vantajosa se

acoplado a este sistema estiver um outro de fontes renováveis como é o caso de aquecimento solar, energia geotérmica, etc. O custo inicial para o piso hidráulico torna-se mais elevado, no entanto torna-se mais vantajoso ao longo dos anos de utilização, pois como não necessita de elevadas temperaturas, pode utilizar água diretamente aquecida de fontes renováveis.

CONCLUSÃO:

O proposto modelo computacional em CFD apresentou uma boa correlação estatística com os dados experimentais, podendo ser usado para prever em tempo real o comportamento da temperatura superficial em pisos de concreto aquecidos por meio de painéis solares. Portanto, este modelo computacional pode ser utilizado como uma ferramenta útil para o desenho e seleção de sistemas de aquecimento utilizados em maternidades de suínos.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AHMADI, A. H., HASHEMABADI, S. H. 3D CFD simulation and experimental validation of particle-to-fluid heat transfer in a randomly packed bed of cylindrical particles. **International Communications in Heat and Mass Transfer** v. 35, p. 1183-1189, 2008.

ASTM. 2002. Guide for statistical evaluation of indoor air quality models (D5157-97). In **ASTM Standards on Indoor Air quality**, 2nd edition. pp. 68-71. West Conshohocken, Pa.: American Society for Testing Materials.

CELESC - AQUECEDOR SOLAR COMPOSTO DE PRODUTOS DESCARTÁVEIS: MANUAL DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO. Disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/manuais/manual-aquecedor-solar.pdf>, Acesso em: 06/04/2016.

FLUENT. 2004 The manual of computational fluid dynamics (CFD), version 5.5. New Hampshire, USA.

LEE, I B., SADANOR, S., SUNG, S H., Evaluation of CFD accuracy for the ventilation study of a naturally ventilated broiler house. **JARQ**, 41, pp.53 – 64, 2007.

PANDORFI, H. Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica. Dissertação de mestrado Universidade de São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 89p. 2002.

PERDOMO, C. C.; Sobestiansky, J.; Oliveira, P. V. A.; Oliveria, J. A. Efeito de diferentes sistemas de aquecimento no desempenho de leitões. Concórdia: Embrapa - CNPSA, 1987. (Comunicado Técnico, 122).

TEXEIRA, A. F. G. Estudo do desempenho térmico de um piso radiante hidráulico com diferentes acabamentos na superfície. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 72p. 2010.

WATSON, R. D., CHAPMAN, K. S., Radiante Heating and Cooling Handbook, McGraw-Hill Handbooks, United States of America, 2002.