

Modelagem fuzzy para predição da eficiência de aquecedores solares

Leonardo Schiassi, Gabriel Chaves Moreira, Flavio Alves Damasceno, Carlos Eduardo Alves Oliveira e João Antônio Costa do Nascimento

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia, leonardo.schiassi@deg.ufla.br, gabrielchaves01@hotmail.com, flavio.damasceno@deg.ufla.br, carloseaoliveira@hotmail.com, jacostadonascimento@gmail.com

Resumo – Objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um modelo matemático, com base na teoria dos conjuntos fuzzy, para prever a eficiência de aquecedores solares para uso em sistemas de aquecimento de piso de concreto para leitões na fase de maternidade. Para tanto, foram utilizados diferentes modelos de aquecedores solares, sendo dois modelos com sistemas convencionais de coletores solar através de placas de vidro e placas de plástico em PVC, além de um coletor solar de garrafas PET com um reservatório térmico alternativo. Para avaliação térmica dos aquecedores, sensores de temperatura (precisão de $\pm 3\%$ da leitura) foram instalados na tubulação de entrada e saída de cada piso e do reservatório térmico. De posse dos dados, foi desenvolvido um modelo fuzzy onde as variáveis de entrada foram a temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) e radiação solar acumulada ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ 3h}$), enquanto que a variável de saída foi a temperatura superficial dos pisos ($^{\circ}\text{C}$) para cada tipo de aquecedor solar testado. Os resultados demonstraram um bom desempenho do modelo matemático proposto, sendo uma alternativa eficiente no auxílio à tomada de decisão quanto ao uso de diferentes modelos de aquecedores solares em sistemas de produção de suínos.

Palavras-chave: Energia solar, modelagem matemática, suinocultura.

Abstract – The general objective of this research was to develop a mathematical model based on the theory of fuzzy sets to predict solar heaters efficiency for use in concrete floor heating systems for piglets in the farrowing phase. Therefore, different types of solar heaters are used, two models with conventional solar collecting systems through glass and plastic plates PVC, and a solar collector PET bottles with an alternative thermal storage tank. For evaluation of thermal heaters, temperature sensors (accuracy $\pm 3\%$ of the reading) are installed in inlet and outlet of each floor and the thermal reservoir. With this data, it developed a fuzzy model where the input variables are the air temperature ($^{\circ}\text{C}$) and cumulative solar radiation ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ 3h}$) tested. The results showed a good performance of the proposed mathematical model, being an efficient alternative in assistance to decision-making regarding the use of different models of solar heaters in pig production systems.

Keywords: solar energy, mathematical modeling, swine.

I. INTRODUÇÃO

A intensificação da produção suinícola vem prejudicando o conforto térmico dos animais em razão da redução de espaço e movimentação dentro das baias [1]. Os suínos são uma espécie homeotérmica, mas que apresentam o aparelho termorregulador pouco desenvolvido. Os animais quando pequenos são sensíveis ao frio e sensível ao calor quando adultos. Desta forma, a maternidade é uma fase crítica na produção, pois, deve-se conciliar simultaneamente as necessidades dos leitões e das fêmeas em um mesmo ambiente [2]. A faixa de conforto térmico dos leitões, nas primeiras semanas de vida, se encontra entre 32 e 34°C enquanto que das matrizes situa-se entre 16 a 21°C [3].

Este problema tem sido amenizado, na suinocultura, através do uso de escamoteadores, aquecidos por fontes artificiais de calor [4]. [5] verificam que escamoteadores equipados com lâmpada infravermelha controlada por termostato proporcionam um ambiente mais adequado para os leitões quando comparado a outros modelos de aquecimento com piso térmico e a lâmpada incandescente.

Em virtude da grande quantidade de energia elétrica que é utilizado nesse tipo de sistema, existe a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que possibilitem minimizar o consumo, sem prejudicar o bem-estar dos animais e preservando o meio ambiente. Neste sentido, surge a necessidade de avaliar o emprego de materiais alternativos em sistemas de aquecimento de piso, como a possibilidade de aquecimento de água através da energia solar e direcionamento desta água aquecida para tubulações sob o piso, fazendo com que ocorra o aquecimento da superfície em contato com os leitões.

O Brasil por ser um país tropical, apresenta condições climáticas e atmosféricas favoráveis para difusão da tecnologia termossolar. Visando esse potencial energético, iniciou-se, a partir da década de 70, a comercialização de aquecedores solares convencionais, confeccionadas a partir de materiais metálicos, que são bons condutores de calor [6].

Quando se busca avaliar sistemas complexos como eficiência de diferentes equipamentos submetidos às variáveis climáticas e ambientais, pode-se lançar mão de modelos matemáticos computacionais. Tais modelos possibilitam prever diferentes cenários com custo e tempo reduzido, sendo que este tipo de pesquisa já foi

testado em diversas áreas do conhecimento [7], [8], [9], [10].

A matemática fuzzy é utilizada para avaliar parâmetros entre índices, traduzindo termos matemáticos a informações imprecisas, expressa por um conjunto de regras linguísticas, onde a fuzzificação nos remete a variáveis calculadas em valores linguísticos a variáveis calculadas em valores numéricos [11].

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um modelo matemático fuzzy, para representar e quantificar a eficiência de aquecimento de pisos térmicos, para uso em escamoteadores de leitões na fase de maternidade, utilizando diferentes sistemas de coletores solares.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, DEG-UFLA, durante oito dias no período de inverno do ano 2015. A área experimental localiza-se nas coordenadas latitude 21°13'43" S e longitude 44°58'27" W. Para aferir as temperaturas das superfícies dos pisos utilizou-se de um sensor infravermelho da marca Benetech, modelo GM320, com precisão de $\pm 1,5^\circ\text{C}$ coletando dados às 9h, 12h e 15h.

Os sistemas de aquecimento solar testados foram:

a) Aquecedor convencional de PVC (ASCP) constituído de uma placa coletora fabricado em ploridoreto de vinila (PVC), dimensões de 127 x 68 cm e um reservatório térmico fabricado em polietileno de alta densidade (PEAD) e capacidade para 200 litros (Figura 1).

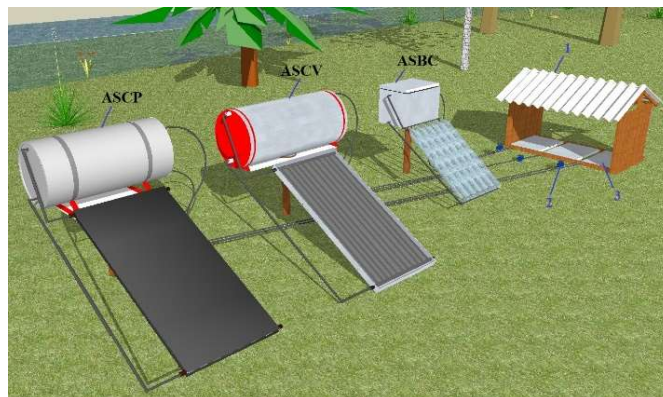
b) Aquecedor solar convencional de placa de vidro (ASCV) constituído de uma placa coletora, fabricada em alumínio extrudado e isolada com poliuretano expandido rígido com tubulação interna de cobre e cobertura composta por vidros transparentes e um reservatório térmico no formato cilíndrico fabricado em aço inoxidável isolado com poliuretano expandido rígido e uma capa protetora de alumínio naval com capacidade de armazenar 200 litros de água;

c) Para desenvolvimento do sistema de aquecedor solar de baixo custo (ASBC) teve-se como base outros modelos já propostos por organizações não governamentais, porém com adaptações construtivas. A placa de aquecimento foi montada com aproximadamente 1 m² confeccionada com garrafas PET cortadas e encaixadas em fileiras de cinco e no interior embalagens cartonadas reaproveitadas pintadas de preto fosco sob cano de PVC de 20 mm de diâmetro, também pintado de preto fosco, por onde circulava a água.

O reservatório foi construído a partir de uma caixa d'água de fibra de vidro, de capacidade de 50L, isolada com placa de EPS (poliestireno expandido) de 50 mm e revestida com fita isolante de alta fusão. Este reservatório possuía quatro furos por onde foram feitas as conexões com a placa coletora e com piso térmico. Na conexão de saída de água quente para os pisos foi instalada uma boia pescadora confeccionada com materiais alternativos,

com a finalidade de proporcionar o fluxo de água aquecida para o piso avaliado.

Figura 1 – Detalhes construtivos dos sistemas testados: ASCP - aquecedor solar convencional de PVC, ASCV - aquecedor solar convencional de vidro e ASBC - aquecedor solar de baixo custo. Legenda: 1 – Abrigo protetor; 2 – Bomba d'água; e 3 – Piso.



Fonte: Autores.

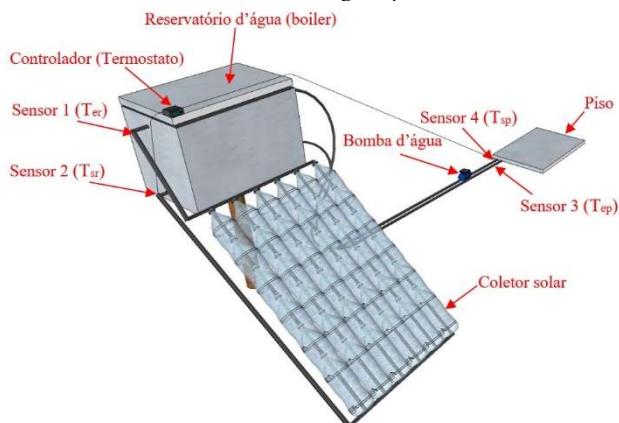
Os pisos térmicos foram confeccionados de argamassa, no traço 1:3:0,5 (cimento, areia e cal hidratada) com 80 cm x 45 cm. Cada sistema de aquecimento solar possuía um piso térmico, tornando assim as análises independentes para cada modelo avaliado. A camada inferior dos pisos foi constituída por placas de EPS (poliestireno expandido) com 25 mm. Logo acima foi instalada uma tubulação de aço galvanizado de 20 mm de diâmetro externo formando-se uma serpentina, pela qual a água aquecida por meio do coletor solar circulava.

O experimento foi realizado em descoberta, cuja a cobertura do solo era composta por grama rasteira. As placas coletoras estavam voltadas para o norte verdadeiro e com inclinação de aproximadamente 23°. Os pisos foram alocados sob uma cobertura para protegê-los do vento e radiação direta.

Os dados de temperatura da água (entrada - T_{er} e saída - T_{sr} do reservatório térmico e entrada - T_{ep} e saída - T_{sp} do piso, sensores 1, 2, 3 e 4, respectivamente), temperatura superficial do piso e dados climáticos foram coletados durante 10 dias não consecutivos no mês de julho, durante o período mais quentes do dia (9:00 h às 16:00 h), sendo o intervalo entre as coletas de quinze minutos (Figura 2).

Um termômetro laser digital infravermelho (Instrutemp®, mod. ITTI 550 e precisão $\pm 2,0^\circ\text{C}$) foi utilizado para medir a temperatura na superfície do piso, onde foram coletados em nove pontos equidistantes.

Figura 2 – Desenho esquemático dos sensores de temperatura no reservatório d'água e piso.



Fonte: Autores.

Os dados climáticos ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, irradiância, velocidade do vento e direção do vento) foram coletados na estação meteorológica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) localizada cerca de trezentos metros do local de estudo.

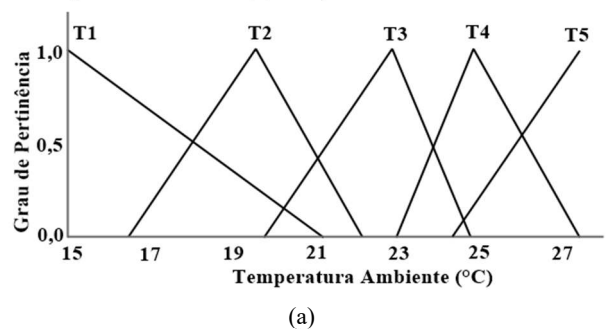
As médias das variáveis respostas de temperatura superficial dos pisos em cada tratamento serão comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% realizados por meio do software SISVAR®.

Para verificar a viabilidade de implantação desse sistema de aquecimento de pisos foi feita uma análise de custos entre os três tratamentos e o sistema convencional aquecido por resistência elétrica.

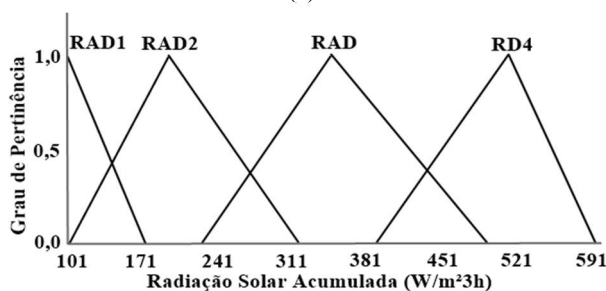
O modelo fuzzy foi desenvolvido para avaliar a eficiência dos sistemas em aquecer a superfície dos pisos térmicos. Para que isso fosse possível foi tomado, como variáveis de entrada para o modelo fuzzy, dados de temperatura e radiação solar acumulada disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referente à estação climatológica de Lavras MG. Com base nessas variáveis de entrada o sistema fuzzy estimou valores de temperatura superficial dos pisos para cada sistema testado e comparou-se com valor obtido experimentalmente para comprovar o modelo.

Na definição de conjuntos fuzzy fez-se o uso de variáveis linguísticas genéricas para as variáveis de entrada (temperatura e radiação) e saídas (temperatura da superfície dos pisos para os sistemas testados). Os intervalos admitidos para as variáveis de entrada foram graficamente representados pelas curvas de pertinências triangulares, por representarem melhor o comportamento dos dados. Estas curvas estão representadas na Figura 3.

Figura 3 – Funções de pertinência das variáveis de entrada: (a) temperatura do ar – T e (b) radiação solar acumulada - RAD.



(a)

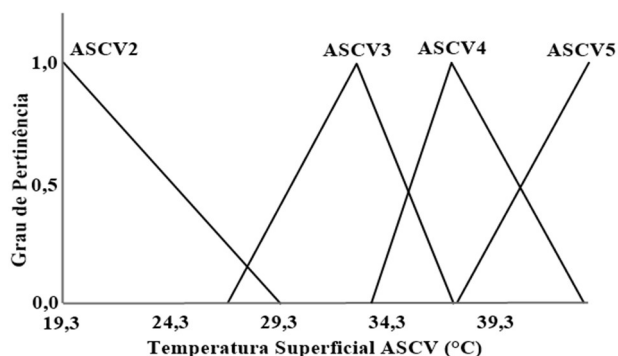


(b)

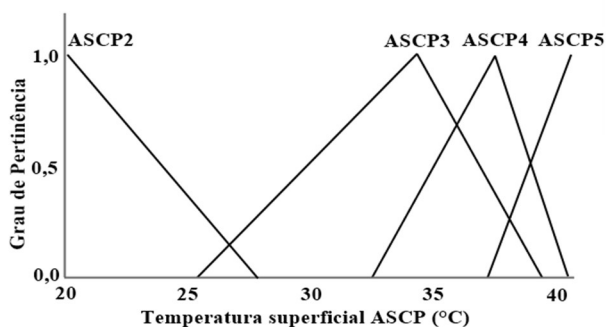
Fonte: Autores.

Os intervalos adotados para as variáveis de saída foram definidos com base nos dados experimentais dos valores diários de temperatura da superfície (°C) dos pisos para cada sistema de aquecimento testado (Figura 4). As variáveis respostas são uma predição da temperatura superficial dos pisos em função das variáveis de entrada.

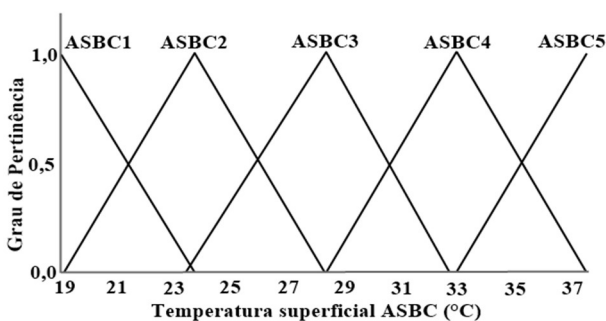
Figura 4 – Funções de Pertinência das variáveis de saída para os pisos avaliados (a) ASCV, (b) ASBC e (c) ASCP.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autores.

Foram definidas 20 regras fuzzy em função das combinações para os conjuntos das variáveis de entrada. O método de inferência utilizado foi o de Mamdani e a defuzzificação foi feita utilizando o método do Centro de Gravidade, conforme proposto por [12] e [13].

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados apresentados pela análise de variância dos dados (Tabela 1), observa-se que entre os tratamentos houve diferença significativa, mostrando que os sistemas de aquecimento apresentam, estatisticamente, respostas diferentes sob mesmas condições.

Tabela 1 – Análise de variância para a média das temperaturas dos pisos para os tratamentos testados.

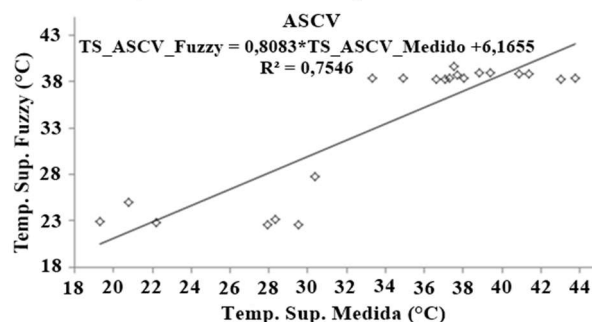
Tratamentos	Média de temperatura (°C)
ASCV	34,54 a
ASCP	31,50 ab
ASCB	30,23 b

Médias seguidas de letras iguais na coluna, não se diferem pelo teste Tukey a 5% de significância. Fonte: Os autores.

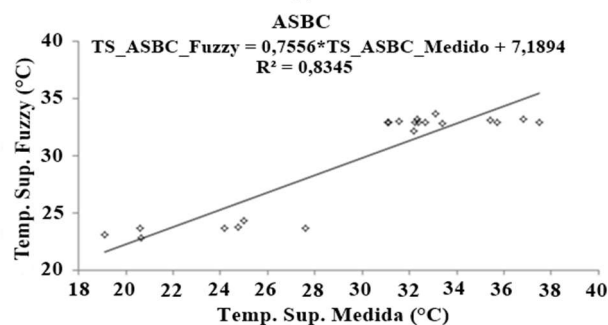
O modelo fuzzy foi ajustado com base nos dados coletados durante o experimento de forma que o intervalo de cada função de pertinência das variáveis foi adotado para resultar no menor erro possível quando comparado com os dados obtidos experimentalmente.

Com intuito de avaliar o nível de significância do modelo foi realizado regressões lineares com os dados obtidos experimentalmente e propostos pelo modelo. Com R^2 de 0,75 para ASCV, 0,83 ASBC e 0,84 ASCP (Figura 5).

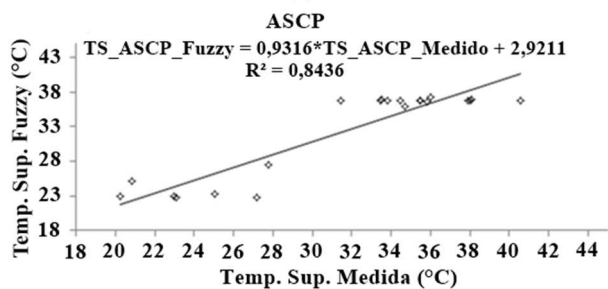
Figura 5 – Regressões lineares para as variáveis de saída (a) ASCV, (b) ASBC e (c) ASCP, em função dos valores preditos pela lógica fuzzy e os valores medidos experimentalmente.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autores.

Assim foram utilizados para testar o modelo fuzzy dados de temperatura do ar e radiação solar acumulada, obtendo como resultado a temperatura superficial do piso em cada tratamento (Tabela 2).

Afim de se testar a precisão do modelo proposto, regressões lineares simples foram desenvolvidas e os resultados apresentaram coeficiente de determinação (R^2) iguais à 0,75 para, 0,83 e 0,84, para os tratamentos ASCV, ASBC e ASCP, respectivamente. Esses resultados indicam boa precisão do modelo fuzzy avaliado neste estudo. A operacionalização desses resultados ajuda no suporte à decisão do controle de sistema de aquecimento em abrigo escamoteadores, garantindo, assim, melhor produção.

Em pesquisas com desenvolvimento de modelos fuzzy para instalações de gado de leite, [14] obtiveram coeficiente de determinação (R^2) de 0,7545, próximo ao resultado de 0,668 obtido por [15] em pesquisa sobre aplicação de modelagem fuzzy na predição de peso de ovos de codorna.

Estes resultados aproximam-se dos obtidos para o modelo proposto, comprovando sua eficácia para predição da temperatura de pisos de escamoteadores para diferentes sistemas de aquecimento solar.

Uma das vantagens do aquecimento por superfície é promover uma temperatura mais uniforme na área de descanso do suíno do que o aquecimento por energia radiante (lâmpadas), devido ao processo de condução piso-leitão, como pode ser observado nas pesquisas realizadas por [4] e [16]. Entretanto, se a temperatura ambiente estiver muito elevada, os leitões tendem a ficar menos tempo neste ambiente. Quando isto ocorre, os leitões podem ficar expostos a condições de estresse por frio, quando então são acometidos por baixas temperaturas no ambiente externo. Isto pode trazer riscos aos leitões, pois eles podem procurar se aquecer junto ao

úbere da porca, ficando expostos à área de esmagamento [17].

Em [18], avaliando diferentes sistemas de aquecimento para suínos, afirma que os escamoteadores aquecidos com piso aquecido por água circulante por um sistema híbrido (painel solar, biogás, gás GLP e energia elétrica) apresentaram as maiores temperaturas médias e, também, o maior ganho de peso dos leitões, proporcionando um melhor conforto térmico para os leitões e um maior faturamento com a comercialização dos animais.

Temp. Sup. do Piso (°C) Medido			Simulação <i>Fuzzy</i>			Desvio padrão			Erro%		
ASCV	ASBC	ASCP	ASCV	ASBC	ASCP	ASCV	ASBC	ASCP	ASCV	ASBC	ASCP
22,17	20,62	20,26	22,86	23,62	22,94	0,49	2,12	1,89	3,13	14,54	13,21
43,76	35,73	33,79	38,32	32,89	36,74	3,84	2,01	2,08	12,42	7,96	8,72
41,40	31,58	31,46	38,79	33,05	36,76	1,85	1,04	3,74	6,31	4,66	16,83
28,30	24,75	25,07	23,18	23,78	23,31	3,62	0,69	1,24	18,08	3,93	7,02
36,60	32,67	35,49	38,30	32,89	36,75	1,20	0,15	0,89	4,65	0,66	3,56
34,94	31,06	33,48	38,32	32,89	36,76	2,39	1,30	2,32	9,68	5,90	9,80
20,78	19,11	20,83	25,06	23,11	25,19	3,03	2,83	3,08	20,60	20,93	20,94
37,32	32,36	34,44	38,35	32,89	36,71	0,73	0,37	1,61	2,76	1,63	6,60
38,05	32,21	34,68	38,32	32,20	35,84	0,19	0,01	0,82	0,72	0,03	3,34
19,31	20,64	22,94	22,90	22,83	22,96	2,54	1,55	0,02	18,59	10,60	0,10
33,31	31,14	37,88	38,32	32,89	36,74	3,55	1,23	0,81	15,05	5,61	3,02
37,72	33,38	35,81	38,70	32,87	36,58	0,69	0,36	0,55	2,60	1,53	2,15
29,50	24,16	23,10	22,59	23,70	22,73	4,88	0,32	0,26	23,41	1,89	1,62
43,06	37,48	40,56	38,26	32,89	36,79	3,39	3,25	2,67	11,15	12,26	9,30
38,84	32,33	33,52	38,92	33,19	36,90	0,06	0,61	2,39	0,21	2,65	10,09
27,94	27,60	27,19	22,57	23,70	22,71	3,80	2,76	3,17	19,22	14,12	16,49
37,08	32,25	35,50	38,26	32,89	36,79	0,83	0,45	0,91	3,18	1,97	3,63
40,90	35,41	38,00	38,86	33,10	36,79	1,44	1,64	0,86	4,98	6,53	3,19
30,35	25,01	27,78	27,83	24,29	27,46	1,78	0,51	0,23	8,31	2,87	1,15
39,41	36,83	38,07	38,92	33,19	36,90	0,35	2,58	0,83	1,24	9,89	3,07
37,54	33,10	35,99	39,59	33,71	37,29	1,45	0,43	0,92	5,46	1,83	3,60
Média						2,01	1,25	1,49	9,13	6,28	7,02

Tabela 2 – Temperatura superficial dos pisos avaliados obtidos através do experimento de campo e pelo modelo fuzzy proposto.

IV. CONCLUSÃO

Utilizar água aquecida por energia solar, ao invés de resistência elétrica, para aquecer pisos mostrou-se como uma solução alternativa e sustentável na busca do conforto térmico em ambientes. Sistemas convencionais de aquecedores solares conseguiram aquecer os pisos a uma temperatura média de 31 a 34°C, dependendo do modelo escolhido. A faixa ideal de temperatura, para maior conforto, é em torno de 20°C. O protótipo do coletor solar alternativo embora não tenha atingido os 34°C está em uma faixa bem acima da necessária para o conforto térmico fazendo-se assim uma solução sustentável é econômica para aquecimentos de pisos;

Já a modelagem fuzzy desenvolvida mostrou-se eficaz na predição dos resultados com coeficientes de determinação acima dos valores apresentados em diversas literaturas e baixos valores de desvios padrão.

Sendo assim, a logica fuzzy apresenta-se com uma ferramenta confiável e promissora na avaliação de dados de natureza multifatorial, que podem ou não, expressar dependências entre si.

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

- [1] MENDONÇA, A. B. **Conforto térmico em suínos visando melhoria na produção e qualidade do produto final**. 2010. 34 p. Monografia (Pós-Graduação Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal). Universidade Castelo Branco, Campinas, 2010.
- [2] CAVALCANTI, S. S. Estudo da natimortalidade em suínos. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte. v. 1, n. 3, p. 9-19, 1973.
- [3] CAMPOS, J. A.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; SILVA, J. N.; CARVALHO, C. S.; MAUIRI, A. L. Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche. **Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 3, 2015.
- [4] SABINO, L. A.; ABREU, P. G.; SOUSA JÚNIOR, V. R.; ABREU, V. M. N.; LOPES, L. S. Comparação de dois modelos de escamoteadores sobre o desempenho dos leitões. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 34, n. 1, p. 21-25, 2012.
- [5] MORES, N.; SOBESTIANSKY, J.; WENTZ, I.; MORENO, A. M. Manejo do leitão desde o nascimento até o abate. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: Embrapa-SPI, p. 135-161, 1998.
- [6] SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo**. 2009. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia. 2009.
- [7] ORTEGA, N. R. S.; BARROS, L. C.; MASSAD, E. Fuzzy gradual rules in epidemiology. **Kybernetes**, v. 32, n. 4, p. 460-477, 2003.
- [8] PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; GUISELINI, C.; PIEDADE, S. M. S. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 83-92, 2007.
- [9] SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Lógica fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. **Idesia**, Arica, v. 27, n. 3, p. 41-46, 2009.
- [10] SCHIASSI, L.; YANAGI JÚNIOR, T.; REIS, G. M.; ABREU, L. H. P.; CAMPOS, A. T.; CASTRO, J. O. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 140-146, 2015.
- [11] SCHIASSI, L.; MELO, N. S. M.; TAVARES, G. F.; SOUZA, I. P.; ARAÚJO, H. B.; GIUSTINA, C. D. Modelagem fuzzy em parâmetros de bem-estar humano. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 8-12, 2013.
- [12] TOLON, Y. B.; BARRACHO, M. S.; NÄÄS, I. A.; ROJAS, M.; MOURA, D. J. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2010.
- [13] PONCIANO, P. F.; YANAGI JUNIOR, T.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A. T.; NASCIMENTO, J. W. B. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 446-458, 2012.
- [14] CAMPOS, A. T.; CASTRO, J. O.; SCHIASSI, L.; YANAGI JUNIOR, T.; PIRES, M. F. A.; MATTIOLI, CC. Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1079-1089, 2013.
- [15] CASTRO, J. O.; VELOSO, A. V.; YANAGI JUNIOR, T.; FASSANI, E. J.; SCHIASSI, L.; CAMPOS, A. T. Estimate of the weight of japanese quail eggs through fuzzy sets theory. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 108-116, 2012.
- [16] ZHANG, Q.; XIN, H. Responses of piglets to creep heat type and location in farrowing crate. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 515-519, 2001.
- [17] SOBESTIANSKY, I.; WENTZ, I.; SILVEIRA, P.R.S; SESTI, L.A.C. **Suinocultura Intensiva**. Concórdia, Embrapa. 1998.
- [18] SULZBACH, J. J. **Concepção e avaliação de diferentes sistemas de aquecimento para suínos recém-nascidos**. Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 41 p. 2016.