

SIMULAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA EM CAIXAS DE ABELHAS ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS

MURILO S. FREIRE¹, TADAYUKI YANAGI JR.² EDNILTON T. DE ANDRADE³,
MARIA F. P. DE SOUZA⁴, SILVIA H. N. TURCO⁵, MARCELO BAHUTI⁶.

¹ Engenheiro Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, UFLA/Lavras-MG, eng.murilofreire@gmail.com

² Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto, UNIVASF/Juazeiro-BA, yanagi@deg.ufla.br

³ Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto, UNIVASF/Juazeiro-BA, ednilton@deg.ufla.br

⁴ Zootecnista, Mestre em Engenharia Agrícola, UNIVASF/Juazeiro-BA, souza_mfp@yahoo.com.br

⁵ Engenheira Agrícola, Professor Adjunto, UNIVASF/Juazeiro-BA, silvia.turco@univasf.edu.br

⁶ Engenheiro Agrícola, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFLA/Lavras-MG, marcelo_bahuti@hotmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A utilização de simulações numérica na resolução de problemas na área de ambiência animal é essencial na avaliação do ambiente térmico, visto que o estresse térmico ainda é um dos fatores limitantes na produção animal. O objetivo do estudo foi modelar e simular as trocas térmicas entre o ambiente externo e a caixa de abelhas, utilizando as técnicas de FEM (*Finite Element Methods*), analisar a distribuição da temperatura do ar interno a partir das trocas térmicas entre o ambiente e a caixa de abelhas. Foram introduzidas as propriedades térmicas do material, bem como os parâmetros de entrada e as condições de contorno dados pela temperatura do ar (tbs), fluxo de calor nas superfícies externas das paredes e pelo calor gerado pelas abelhas. A análise térmica demonstrou que no ponto onde o sensor foi alocado, a tbsi estava dentro da faixa de conforto térmico para as abelhas *Apis Mellifera*. A simulação numérica apresentou resultados convergentes, com qualidade de malha excelente. O modelo foi validado, obtendo-se R^2 de 0,98, MAE de 0,21 °C e RMSE de 0,24 °C.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiência animal, apicultura de precisão, simulação.

SIMULATION OF INTERNAL TEMPERATURE IN BEEHIVES THROUGH FINITE ELEMENTS

ABSTRACT: The use of numerical simulation to solve problems in environmental animal production area is essential to evaluate the thermal environment, since thermal stress is still one of the limiting factors for animal production. The objective of this study was to model and simulate the thermal exchanges between the environment and beehives using FEM (*Finite Element Methods*) techniques, to analyze the internal air temperature distribution through the thermal exchanges between the environment and beehives. It was used the material thermal properties, the input parameters, and the contour conditions given by the air temperature (tbs), heat flow in the external surface over the walls and the generated heat from the bees. The thermal analysis showed that at the point where the sensor was allocated, the tbsi was within

the thermal comfort range for *Apis Mellifera* bees. The results for numerical simulation were convergent with excellent mesh quality. The model was validated, obtaining R^2 of 0.98, MAE of 0.21 °C and RMSE of 0.24 °C.

KEYWORDS: Animal ambience, precision beekeeping, simulation.

INTRODUÇÃO: O conceito de zootecnia de precisão (ZP) corresponde ao sistema de gerenciamento que vise o controle sobre a reprodução, saúde e bem estar animal, impacto ambiental e a otimização da produção animal (BERCKMANS, 2014). No entanto, para sua efetividade, a ZP necessita de ferramentas tecnológicas para diminuir as perdas no processo produtivo (PANDORFI; ALMEIDA; GUISELINI, 2012). Neste contexto, surgem linhas de pesquisas emergentes como a apicultura de precisão (AP), que busca reduzir o estresse, as atividades desnecessárias de colônias de abelhas e o desperdício de recursos. Ademais, torna-se importante, prover os apicultores com informações que otimizem a produção de abelhas melíferas (ZACEPINS et al., 2015). O conceito de FEM (*Finite Element Methods*) está relacionado à decomposição de um sistema complexo em elementos finitos num espaço físico delimitado, com a conversão de problemas contínuos em discretos por meio de uma malha de elementos finitos (KOO et al., 2015). Dentre as técnicas mais utilizadas em FEM, está a análise térmica de materiais construtivos, sendo baseada em comparações de dados experimentais e simulações. HUANG et al. (2018), por exemplo, realizaram uma análise temporal da distribuição da temperatura numa massa de concreto por meio de termopares, bem como simularam a temperatura de hidratação utilizando FEM. Nesse sentido, objetivou-se com o presente trabalho, modelar e simular as trocas térmicas entre o ambiente e uma caixa de abelhas, utilizando as técnicas de FEM, bem como, analisar a distribuição da temperatura do ar e obter a validação do modelo.

MATERIAL E MÉTODOS: A partir de ensaios experimentais, foram coletados as temperaturas superficiais (t_s), a temperatura do ar interno (t_{bsi}) e a temperatura do ar externo (t_{bs}) numa caixa de abelhas *Apis Mellifera*, com população de cerca de 10.000 abelhas, no setor de apiários do Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF (09°19'26''S, 40°33'36''W e altitude de 393m). A coleta da t_s nas paredes da caixa de abelhas ocorreram a cada hora, entre 8 e 17 horas, apontando a mira do termômetro de infravermelho para o centro de cada face da parede, há uma distância de 30 cm. Foi utilizado o termômetro de infravermelho (Fluke Corporation, Washington, USA), com resolução de 0,1 °C e acurácia de $\pm 2,0$ °C. As temperaturas t_{bsi} e t_{bs} , foram coletadas utilizando o data logger HOB0, modelo U12 (Onset Computer Corporation, Massachusetts, EUA), com resolução de 0,03 °C e acurácia de $\pm 0,35$ °C. O sensor responsável pela coleta da t_{bsi} foi posicionado no centro da caixa de abelhas, há 12 cm da entrada e 2 cm acima da base. A partir dos dados obtidos experimentalmente, foi realizada a análise térmica da caixa de abelha do tipo *Langstroth*, utilizando as técnicas elementos finitos. Para esse modelo foi escolhido o tamanho de malha com tamanho de 10 mm, uma vez que a malha hexagonal se ajustou ao modelo e esse resultado foi convergente. A malha estruturada foi gerada por meio da ferramenta *Meshing* do software ANSYS (versão 14.5). A região do domínio do modelo foi subdividida em 94.891 elementos hexagonais, totalizando 433.521 nós após a discretização. O desempenho da simulação foi quantificado por meio do erro absoluto médio (MAE), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e o coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Segundo BONOAN et al. (2014), para estar em conforto térmico, a temperatura da colméia deve ser mantida entre 32 e 36 °C. Pelas Figura 1A e 1B, pode-se verificar que há zonas que estão dentro dessa faixa, principalmente nas proximidades da base. Porém, à medida que se aproxima das extremidades, eleva-se a temperatura do ar. A metodologia mais utilizada na literatura para avaliar o ambiente interno em caixas de abelhas, é baseada na alocação de um único sensor de temperatura (BRASIL et al., 2013; SOUZA, 2015). Todavia, a análise térmica utilizando FEM apresenta uma indicação da necessidade de ser utilizado mais sensores dentro da caixa de abelhas, para obter uma avaliação mais fidedigna da ambiência interna. Como o sensor escolhido encontra-se numa posição próxima à base da caixa de abelhas, foram observados valores de temperatura do ar dentro da faixa de conforto térmico ao longo do experimento.

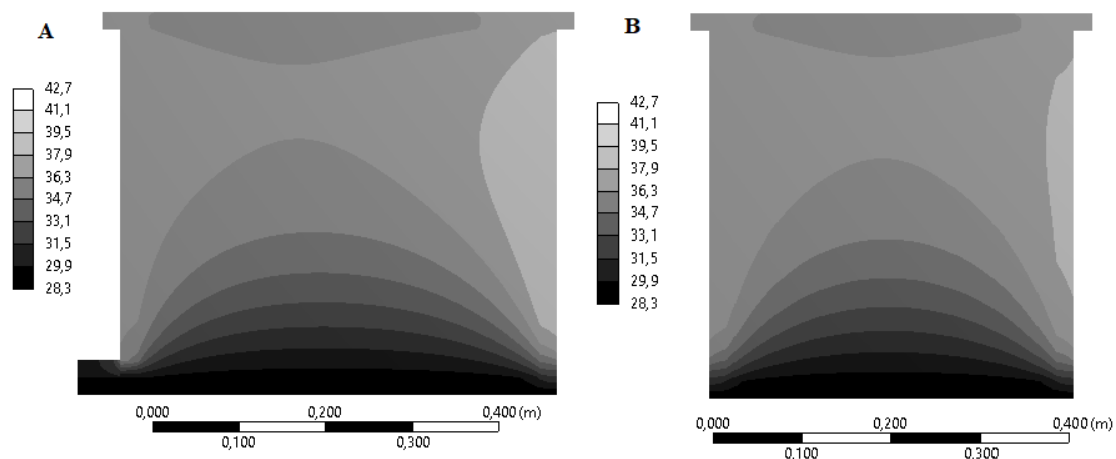


Figura 1. Distribuição da temperatura interna (°C) na caixa de abelha, a partir da análise térmica de elementos finitos às 17 horas. A) Corte longitudinal e B) Corte Transversal.

Os resultados obtidos a partir da simulação no ponto onde encontrava-se o sensor de temperatura, foram próximos dos resultados do experimento (Figura 2). Além disso, verifica-se um alto coeficiente de determinação (R^2) de 0,98, sendo um indicativo de que os resultados obtidos com a simulação podem ser explicados pelos dados experimentais. Ao validar uma simulação numérica a partir do monitoramento experimental da temperatura do ar no interior de um galpão, SILVA et al. (2017) encontraram um R^2 de 0,93 para essa variável.

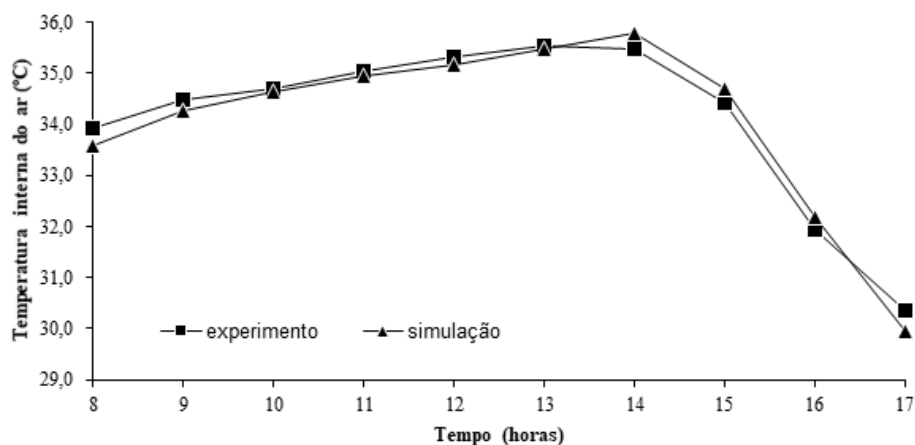


Figura 2. Temperatura do ar no interior da caixa de abelha do tipo *Langstroth*

Os indicadores do desempenho da simulação foram: MAE de 0,21 °C, MAPE de 0,64%, MSE de 0,06 e RMSE de 0,24 °C. Avaliando o desempenho da simulação numérica em galpões de aves, FIDAROS et al. (2018) encontraram MAE de 0,37 °C e RMSE de 0,54 °C, também utilizando os sensores HOBO para obtenção dos dados experimentais.

CONCLUSÕES: A análise térmica indicou que no ponto onde o sensor foi alocado, a tbsi estava dentro da faixa de conforto térmico para as abelhas *Apis Mellifera*. Porém a distribuição da tbsi demonstrou que existem zonas fora dessa faixa e, portanto, a utilização de um único sensor para avaliar o ambiente interno não é recomendado. A simulação numérica apresentou resultados convergentes, com qualidade de malha excelente. O modelo foi validado, obtendo-se R^2 de 0,98, MAE de 0,21 °C e RMSE de 0,24 °C. Valores estes, próximos aos encontrados na literatura.

REFERÊNCIAS:

- BERCKMANS, D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. **OIE Revue Scientifique et Technique**, v. 33, n. 1, p. 189–196, 2014.
- BONOAN, R. E.; GOLDMAN, R. R.; WONG, P. Y.; STARKS, P. T. Vasculature of the hive: heat dissipation in the honey bee (*Apis mellifera*) hive. **Die Naturwissenschaften**, v. 101, n. 6, p. 459–65, 2014.
- BRASIL, D. de F.; GUIMARÃES, M. de O.; BARBOSA FILHO, J. A. D.; FREITAS, B. M. Internal ambience of bee colonies submitted to strengthening management by adding broods. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 5, p. 902–909, 2013.
- PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P.; GUISELINI, C. Zootecnia de precisão princípios básicos e atualidades. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.13, n.2, p. 558–568, 2012.
- KOO, C.; PARK, S.; HONG, T.; PARK, H. S. A Lagrangian finite element model for estimating the heating and cooling demand of a residential building with a different envelope design. **Applied Energy**, v. 142, p. 66–79, 2015.
- SILVA, R. C.; CORDEIRO JÚNIOR, J. J. F.; PANDORFI, H.; VIGODERIS, R. B.; GUISELINI, C. Simulation of ventilation systems in a protected environment using computational fluid dynamics. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v.37, n.3, p. 414–425, 2017.
- SOUZA, M. F. P.; TURCO, S. H. N.; SILVA, E. M. S.; COSTA, D. S.; FREIRE, M. S. Internal ambience of beehives *apis mellifera* with different colors and roofing materials in the sub middle of the São Francisco valley. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n.4 p. 625–634, 2015.
- ZACEPINS, A.; BRUSBARDIS, V.; MEITALOVIS, J.; STALIDZANS, E. Challenges in the development of Precision Beekeeping. **Biosystems Engineering**, v. 130, p. 60–71, 2015.