

ANÁLISE DA DETECÇÃO DE INCLUSÕES USANDO A TÉCNICA DE TERMOGRAFIA E A APLICAÇÃO DE FLUXO DE CALOR EXTERNO

José Paulo Villa de Abreu Maia, Faculdade de Engenharia Mecânica/ UFU, josepaulovll308@gmail.com

Rafael José de Oliveira, Faculdade de Engenharia Mecânica/ UFU, rafaeljsoft@outlook.com

Gabriela Lima Menegaz, Faculdade de Engenharia Mecânica/ UFU, gabriela.menegaz@gmail.com

Gilmar Guimarães, Faculdade de Engenharia Mecânica/ UFU, gguima@ufu.br

Resumo. A técnica de termografia, que é baseada na medição de energia térmica emitida por um corpo através do processo de radiação, vem sendo muito utilizada em diversas áreas do conhecimento. Desse modo, este trabalho foi proposto a fim de detectar anomalias em tecidos a partir da associação desta técnica, e também da impedância. Realizado a partir de um modelo de silicone e suas inclusões, foi utilizada uma fonte que fornece energia térmica ao corpo de prova, a fim de analisar a influência da temperatura na detecção das inclusões. Dessa forma, concluiu-se que as inclusões absorvem o calor incidido sobre elas, já que em todos os casos analisados ocorreu a diminuição da diferença de temperatura quando comparado ao baseline.

Palavras chave: Termografia, Inclusões, Modelo de silicone, Fluxo de calor externo.

1. INTRODUÇÃO

A técnica de termografia infravermelha é baseada na medição de energia térmica emitida por um alvo pelo processo de radiação, fornecendo assim, através de uma imagem térmica, a energia do próprio alvo. A termografia foi aprovada pelo FDA (Foods and Drugs Administration) nos EUA, em 1982, como um exame complementar a mamografia. Isto é possível, pois a técnica possibilita a identificação de regiões com temperatura mais elevadas em relação ao tecido circundante, já que o tumor possui sua própria geração metabólica. Entretanto, para exames em tecidos humanos ainda se tem poucos parâmetros para que essa técnica seja utilizada com eficiência e seja realmente eficaz na detecção de tumores e complicações mais avançadas, que requerem alguns conhecimentos específicos, os quais não são captados por esse exame (KANDLIKAR, PEREZ-RAYA, *et al.*, 2017).

Dessa forma, se torna extremamente viável avançar os estudos sobre termografia para detecção de anomalias de diversos tipos nos tecidos vivos, já que a técnica possui um custo relativamente baixo em relação aos exames convencionais, além de não causar desconforto e ser, teoricamente, rápido para o paciente. Além disso, sendo utilizada, fica mais fácil de encontrar anomalias em pessoas jovens.

Todavia, tal método também possui suas desvantagens, como a sensibilidade baixa para identificar problemas mais profundos, ou seja, distantes da superfície da pele ou com temperaturas mais baixas; a dificuldade de especificação e diagnóstico correto, já que existem casos de inflamação nos tecidos, que também apresentam temperaturas elevadas (JIANG, ZHAN e LOEW 2011; BORCHARTT *et al.* 2013).

2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é analisar a detecção de inclusões em um modelo de silicone, durante a aplicação de um aquecimento térmico externo, usando a técnica de termografia. A motivação para esse estudo vem como uma forma de padronizar a técnica de termografia para a detecção de anomalias em tecidos, tentando estabelecer uma relação clínica, a fim de se obter o melhor resultado possível com o uso das imagens térmicas. O trabalho faz parte de um projeto do grupo de pesquisa que tem como objetivo principal detectar anomalias nos tecidos a partir da associação da técnica de termografia e impedância.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para simular os tecidos, foi utilizado um modelo de silicone (Redelease®) de dimensões de 153 mm de comprimento, 70 mm de largura e 50 mm de altura. Foram feitas duas partes independentes de silicone para permitir a abertura e o posicionamento das inclusões em seu interior, como mostra a Fig.1(a). Para simular a ausência de anomalias no modelo, os vazios dentro no corpo de prova foram preenchidos por esferas do mesmo material do corpo de prova. Os nódulos foram reproduzidos a partir das inclusões de 10, 20 e 30 mm feitas de ácido polilático (PLA) impressas por manufatura aditiva.

O modelo foi posicionado no interior da câmara climática EPL-4H da série Platinous, Fig. 1(b), que emprega um sistema BTHC (Balanced Temperature and Humidity Control) para controle de temperatura e umidade. Os testes foram feitos a uma temperatura controlada de 25 °C. O A excitação térmica aplicada ao modelo foi gerada por um fluxo de calor externo de uma lâmpada incidindo diretamente no corpo de prova a uma distância de 20 mm. As imagens

infravermelhas foram adquiridas pela câmera infravermelha FLIR T420, posicionada a 90° em relação ao modelo e a 50 mm de altura, após um período de estabilização de 2 h para que o sistema entrasse em regime.

A partir da obtenção de sete imagens para cada configuração, retiradas em um intervalo de 20 min entre elas, transformou-se cada uma delas em matrizes, na qual cada elemento representa a temperatura do pixel correspondente. Assim, através do software MATLAB®, foi possível comparar a condição de referência, chamada de *baseline*, em que tem-se apenas o modelo sem inclusões, com o modelo com inclusões, para avaliar a influência da excitação externa e das inclusões colocadas. Foi feita a média das sete imagens das distribuições de temperatura no modelo e, assim, a distribuição média foi comparada com a imagem do *baseline*, através da diferença entre elas. Além disso, analisou-se a influência do aquecimento externo para cada tamanho de inclusão, a fim de perceber se haveria mudanças ou não no comportamento térmico do corpo de acordo com a variação de diâmetro.

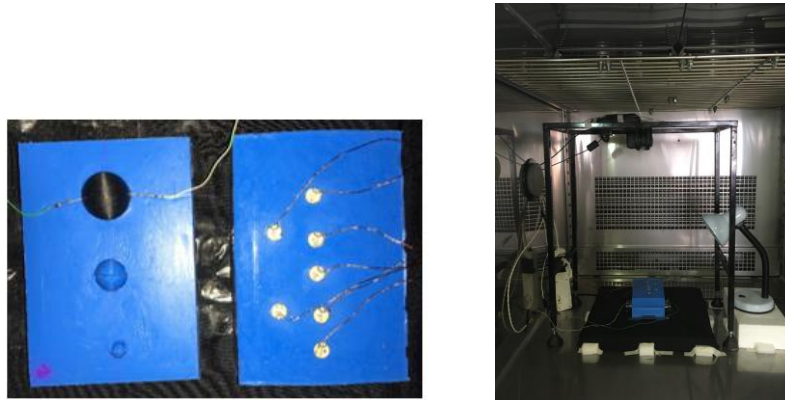


Figura 1. (a) Modelo de silicone com inclusão de PLA de 30 mm; (b) Configuração do experimento posicionado dentro da câmara climática.

4. RESULTADOS

A partir dos métodos e materiais descritos acima, obtiveram-se resultados que, indicam a influência tanto da excitação térmica exterior, quanto da inclusão na distribuição de temperatura do modelo estudado. Inicialmente, foram comparados os modelos sem inclusões, *baseline*, sem e com o efeito da excitação térmica. As abreviações usadas para identificar os modelos são as seguintes: MLTD - excitação térmica desligada e MLTL - excitação térmica ligada.

4.1. Modelo *baseline* com e sem excitação térmica externa

A Figura 2(a) mostra a distribuição de temperatura do modelo *baseline* sem excitação térmica externa, com temperaturas que variam de 25,0 °C a 26,5 °C. A distribuição de temperatura do modelo *baseline* com a excitação térmica externa é mostrada na Fig. 2(b), em que são observadas temperaturas variando entre 25,5 °C e 30,0 °C. Na Figura 2(c) é apresentada a diferença entre as temperaturas do modelo *baseline* nas duas condições, com valores variando entre 0,5 °C e 2,7 °C. Os valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região da inclusão estão detalhados no gráfico da Fig. 2(d). Entretanto, os valores máximos observados são identificados nos cinco sensores piezoelétricos que foram acoplados a estrutura para outros ensaios não abordados nesse trabalho. Assim, devem ser analisadas as diferenças de temperatura apenas nas regiões de silicone, portanto, os valores variam entre 0,9 e 1,7 °C.

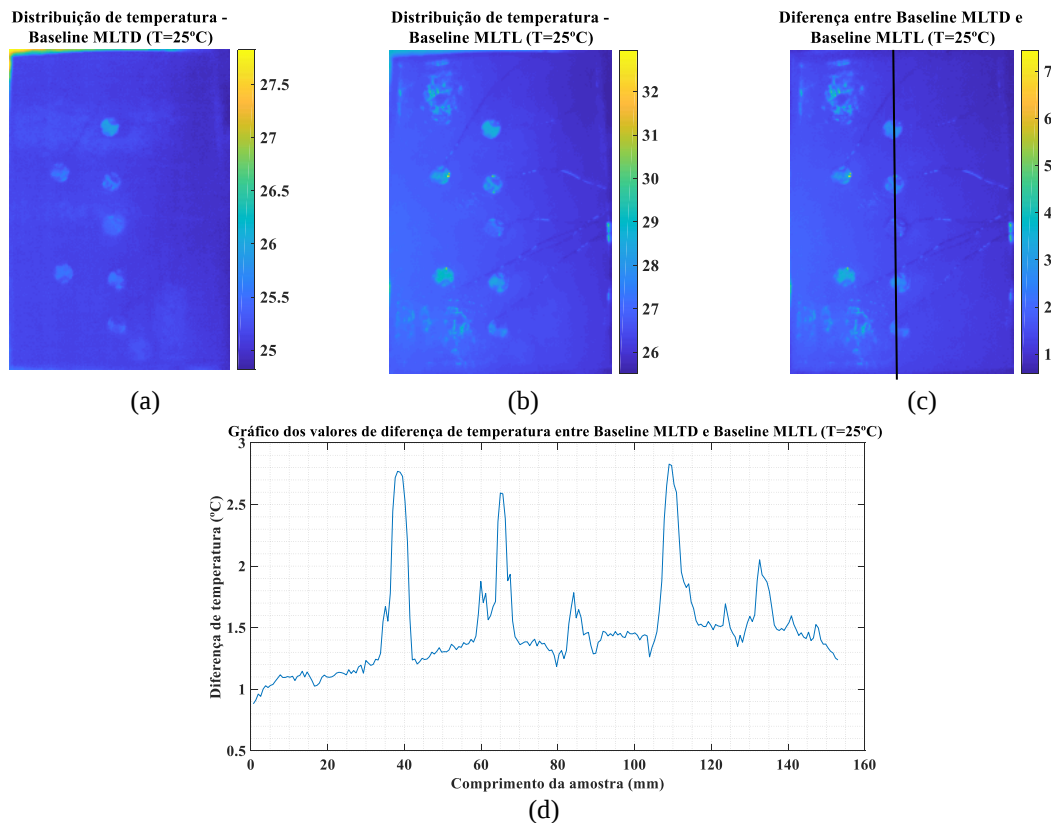


Figura 2. (a) Distribuição de temperatura no modelo sem inclusões (*baseline*) sem excitação térmica; (b) Distribuição de temperatura no modelo sem inclusões (*baseline*) com excitação térmica; (c) Diferença da distribuição de temperatura entre as condições anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

4.2. Modelo com inclusão de 10 mm com excitação térmica externa

A Figura 3(a) representa a distribuição de temperatura do *baseline* sem a presença de excitação térmica, a qual varia de 25,0 a 26,5 °C. A distribuição de temperatura no modelo com excitação térmica e a inclusão de 10 mm no interior do modelo é mostrada na Fig. 3(b), em que podem ser observadas temperaturas mais altas devido ao calor produzido pela excitação, variando entre 26,0 a 30,0 °C. Na Figura 3(c) observa-se a diferença entre a distribuição de temperatura do *baseline* e do modelo com inclusão e excitação térmica externa e na Fig. 3(d) estão apresentados os valores de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região onde estão posicionadas as inclusões. Assim, tem-se que a diferença entre as duas configurações analisadas varia entre 0,5 e 1,1 °C, não levando em consideração os picos localizados nos sensores piezoelétricos. A inclusão de 10mm está posicionada entre 130 e 153 mm no comprimento da amostra. Comparando a diferença de temperatura obtida nessa região para a condição *baseline* (Fig. 2(d)) e com inclusão de 10 mm (Fig. 3(d)), observa-se uma variação de 1,4 a 1,7 °C e 1,0 a 1,2 °C, respectivamente. Portanto, tem-se a diminuição da diferença de temperatura, que ocorre porque a inclusão absorve o calor que a lâmpada emite para o modelo.

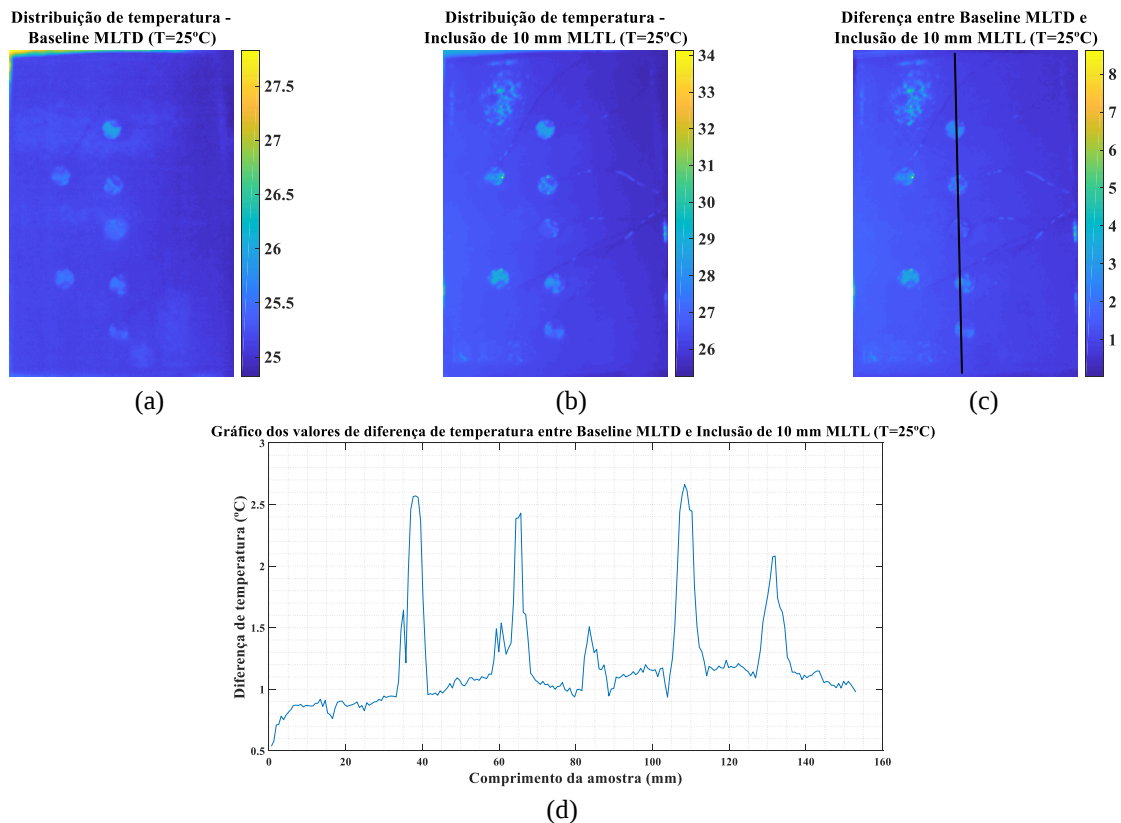


Figura 3. (a) Distribuição de temperatura no modelo sem inclusões (*baseline*) sem excitação térmica; (b) Distribuição de temperatura no modelo com inclusão de 10 mm e com excitação térmica; (c) Diferença da distribuição de temperatura entre as condições anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

4.3. Modelo com inclusão de 20 mm com excitação térmica externa

A distribuição de temperatura do *baseline* sem a presença de excitação térmica, variando entre 25,0 e 26,5 °C, está mostrada na Fig. 4(a). A distribuição de temperatura no modelo com excitação térmica e a inclusão de 20 mm no interior do modelo pode ser vista na Fig. 4(b), em que as temperaturas são mais altas devido ao calor produzido pela excitação, variando entre 25,5 a 29,0 °C. Na Figura 4(c) observa-se a diferença entre a distribuição de temperatura do *baseline* e do modelo com inclusão e excitação térmica externa. Os valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região onde estão posicionadas as inclusões estão apresentados na Fig. 4(d), atingindo valor máximo de 3,0 °C. Não considerando os picos localizados nos sensores, a diferença entre as configurações analisadas varia entre 0,5 e 1,2°C. A inclusão de 20 mm está posicionada entre 70 e 100 mm no comprimento da amostra. Comparando a diferença de temperatura obtida nessa região para a condição *baseline* (Fig. 2(d)) e com inclusão de 20 mm (Fig. 4(d)), observa-se uma variação de 1,3 a 1,5 °C e 0,8 a 1,1 °C, respectivamente. Portanto, tem-se novamente a diminuição da diferença de temperatura, que ocorre porque a inclusão absorve o calor que a lâmpada emite para o modelo.

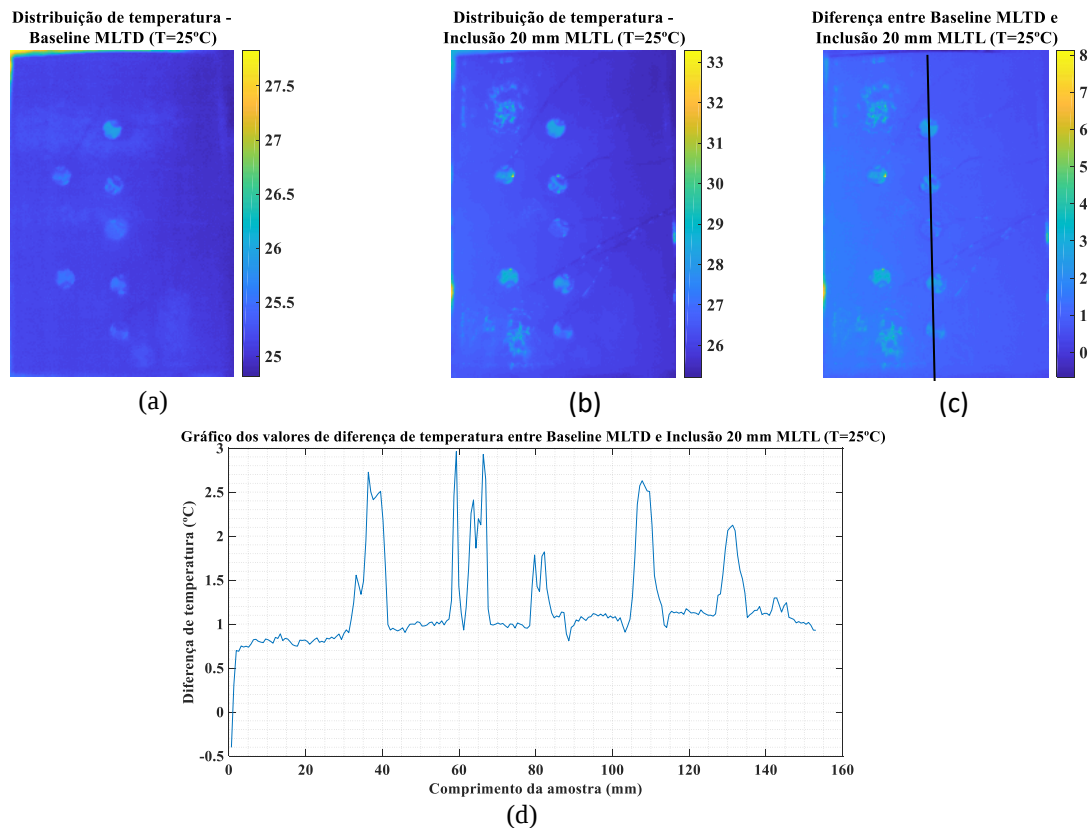
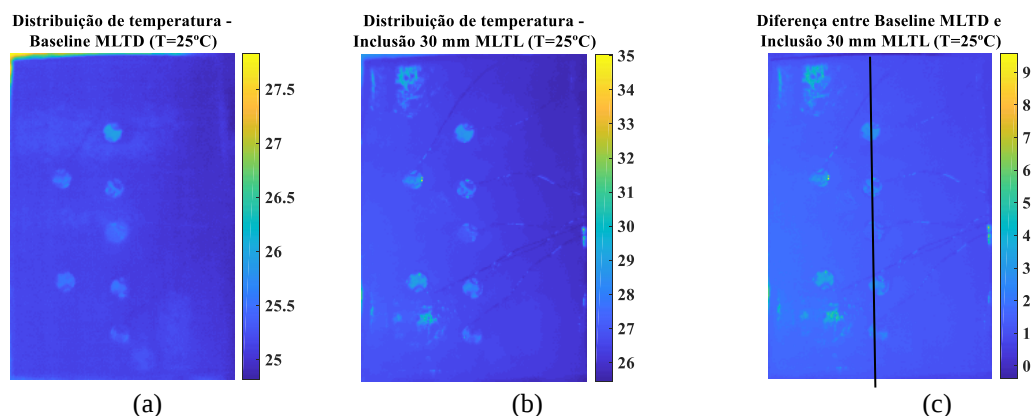


Figura 4. (a) Distribuição de temperatura no modelo sem inclusões (*baseline*) sem excitação térmica; (b) Distribuição de temperatura no modelo com inclusão de 20 mm e com excitação térmica; (c) Diferença da distribuição de temperatura entre as condições anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

4.3. Modelo com inclusão de 30 mm com excitação térmica externa

A Figura 5(a) mostra a distribuição de temperatura do *baseline* sem a presença de excitação térmica, que tem variação entre 25,0 e 26,5 °C. Na Figura 5(b) está a distribuição de temperatura no modelo com inclusão de 30 mm e excitação térmica ligada, que provoca o aumento das temperaturas, que passam a variar entre 25,5 a 30,0 °C. Observa-se a diferença entre a distribuição de temperatura do *baseline* e do modelo com inclusão de 30 mm e excitação térmica externa na Fig. 5(c). Os valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região onde estão posicionadas as inclusões estão apresentados na Fig. 5(d), tendo 2,8 °C como valor máximo. Não levando em consideração os picos localizados nos sensores, a diferença de temperatura entre as configurações analisadas varia de 0,9 a 1,7 °C. A inclusão de 30 mm está posicionada entre 0 e 50 mm no comprimento da amostra. Comparando a diferença de temperatura obtida nessa região para a condição *baseline* (Fig. 2(d)) e com inclusão de 30 mm (Fig. 5(d)), observa-se uma variação de 0,9 a 1,3 °C e 0,9 a 1,2 °C, respectivamente. Portanto, tem-se novamente a diminuição da diferença de temperatura, que ocorre porque a inclusão absorve o calor incidente da excitação térmica externa no modelo.



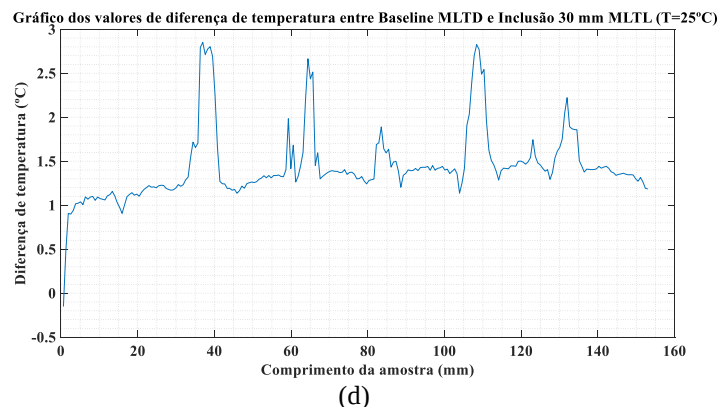


Figura 5. (a) Distribuição de temperatura no modelo sem inclusões (*baseline*) sem excitação térmica; (b) Distribuição de temperatura no modelo com inclusão de 30 mm e com excitação térmica; (c) Diferença da distribuição de temperatura entre as condições anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

5. CONCLUSÕES

Avaliou-se, neste trabalho, a detecção de inclusões em um modelo *in vitro* de silicone usando a técnica de termografia e o efeito da aplicação de uma excitação térmica externa ao modelo. Foram feitos testes com inclusões de PLA com diâmetros de 10, 20 e 30 mm e a excitação térmica foi provocada por uma lâmpada. Obtiveram-se as imagens infravermelhas do modelo sem inclusões de PLA (*baseline*) sem e com a aplicação do fluxo de calor externo e após a inserção das inclusões com a excitação térmica. A inclusão de 10 mm, localizada entre 130 e 153 mm no comprimento da amostra, apresentou uma diferença de temperatura de 1,0 a 1,2 °C. A inclusão de 20 mm está posicionada entre 70 e 100 mm no comprimento da amostra e apresentou valores de diferença de temperatura entre 0,8 a 1,1 °C. A inclusão de 30 mm está posicionada entre 0 e 50 mm no comprimento da amostra e a diferença de temperatura observada variou de 0,9 a 1,2 °C. Portanto, em todos os casos analisados ocorreu a diminuição da diferença de temperatura quando comparado o *baseline* aos experimentos com inclusão, o que se deve ao fato da inclusão absorver o calor incidente da excitação térmica externa no modelo. Estes resultados são estudos preliminares sobre a detecção de inclusões sob a influência de fluxo de calor externo usando termografia e estão inseridos em um estudo sobre a associação das técnicas de termografia e impedância. Assim, ainda são necessárias algumas etapas para a consolidação da técnica e o seu uso em tecidos *in vivo* para a possível detecção de tumores e outras anomalias.

6. REFERÊNCIAS

BORCHARTT, T. B.; CONCI, A.; LIMA, R. C. F.; RESMINI, R.; SANCHEZ, A. Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey. *Signal Processing*, v. 93, p. 2785–2803, 2013.

JIANG, L.; ZHAN, W.; LOEW, M. H. Modeling static and dynamic thermography of the human breast under elastic deformation. *Physics in Medicine and Biology*, v. 56, p. 187-202, 2011.

KANDLIKAR, S. G.; PEREZ-RAYA, I.; RAGHUPATHI, P. A.; GONZALEZ-HERNANDEZ, J.-L.; DABYDEEN, D.; MEDEIROS, L.; PHATAK, P. Infrared imaging technology for breast cancer detection – Current status, protocols and new directions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 108, p. 2303–2320, 2017.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento (FAPEMIG, CNPq e CAPES) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica/UFU pelo apoio financeiro. Agradecem também ao Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM), ao Centro de Inovação Tecnológica em Esportes Paralímpicos (CINTESP) e ao Laboratório de Transferência de Calor: Modelagem e Experimento (LTCME).

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.