

## ANALISE DA DETECÇÃO DE INCLUSÕES COM GERAÇÃO DE CALOR INTERNA USANDO A TÉCNICA DE TERMOGRAFIA

Alexandre Miguel Costa Barcelos, Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU, amcbarcelos11@gmail.com

Iago Smanio Saad, Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU, iagosaad.is@gmail.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 infravermelha é baseada na medição da distribuição da energia térmica radiante que é emitida a partir de um alvo. As aplicações no corpo humano permitem a identificação de uma temperatura considerada anormal quando comparada ao resto do corpo, sendo um indicativo natural de doença. Essa técnica tem como vantagens ser não invasiva, não causar desconforto ao paciente e não emitir radiação. Neste trabalho, inclusões feitas de PLA de diferentes diâmetros foram detectadas em um modelo de borracha usando a termografia. Foram feitos testes com inclusões com geração de calor interna, para simular anomalias malignas no tecido, e comparadas ao modelo sem inclusões (baseline) para análise desse efeito. Para a condição baseline, observou-se uma distribuição de temperatura homogênea, variando entre 25,0 °C e 26,5 °C. Comparando-se as inclusões de 10 e 20 mm, as diferenças de temperatura foram de 1,3 °C e 1,8 °C, respectivamente.

**Palavras chave:** Termografia, Inclusões, Geração de calor, Modelo de silicone.

### 1. INTRODUÇÃO

A termografia infravermelha é fundamentada na medição da distribuição da energia térmica radiante de um corpo que é expedida a partir de um ponto. A energia térmica que é medida pelo sensor de temperatura da câmera infravermelha equivale à energia expedida pelo próprio ponto, bem como a energia refletida pelo ambiente através da superfície do objeto. A câmera gera uma sequência de fotos da distribuição térmica e é ajustada para aferir a energia de emissão da superfície em uma área com diferentes faixas de temperatura (KYLILI *et al.*, 2014).

A técnica da termografia tem o benefício de ser um procedimento não invasivo, com ausência de contato, com capacidade de verificar as medições da temperatura na superfície em tempo real, detectar áreas problemáticas invisíveis ao olho humano e possibilitar uma interpretação dos resultados em formato de imagem, sendo adotada em diversas áreas (AMALU *et al.*, 2006). A natureza não invasiva dessa técnica permite sua utilização no campo da medicina, uma vez que a existência de temperaturas anormais no corpo pode ser um indicativo natural de doenças. Assim, têm sido empregadas no diagnóstico de vários tipos de câncer, diabetes neuropáticas, doenças vasculares periféricas e para a detecção de problemas ligados com transplante renal, coração, triagem de febre, imagens do cérebro entre outros (KYLILI *et al.*, 2014).

### 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar as imagens térmicas de um modelo de silicone com inclusões de ácido polilático (PLA) e analisar o efeito a influência da geração de calor interna no modelo usando a técnica de termografia. A motivação para este estudo é possibilitar o acréscimo de informações e análises adicionais para a identificação de diversos tipos de anomalias em tecidos, como o câncer, visando fornecer aos profissionais da área novos métodos de detecção e diagnóstico. 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

As imagens térmicas foram obtidas usando a 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. O aparato experimental foi montado dentro da câmara climática EPL-4H da série Platinous, mostrado na Fig.1, 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, evitando interferências do meio externo.

Para simular os tecidos, foi baseado em um dos primeiros modelos para a simulação de um tecido humano, que era constituído de misturas de gelatina em diferentes proporções, no trabalho de Madsen *et al.* (2006), entretanto a mistura não tinha rigidez necessária, o que era uma desvantagem. Portanto como solução foi confeccionado 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. Para simular a ausência de anomalias no tecido, os vazios dentro no corpo de prova foram preenchidos por esferas do mesmo material do corpo de prova, como mostra a Fig.2. Esta condição de referência foi chamada de baseline. As anomalias

foram reproduzidos a partir das inclusões de 10, 20 e 30 mm feitas de ácido polilático (PLA) impressas por manufatura aditiva (Fig.2), determinadas para melhor simular a dimensão de tumores encontrados no primeiro e segundo estágio do câncer. Fabricadas para permitir o encaixe de resistências elétricas colocadas no interior das inclusões, de 60  $\Omega$ , 4000  $\Omega$  e 100  $\Omega$  (Fig. 3), para os diâmetros de 10, 20 e 30 mm, respectivamente, essas resistências foram usadas para provocar um aumento de temperatura de aproximadamente 2 °C, que é observado em estudos de detecção de câncer de mama em pacientes usando termografia.

Células cancerosas presentes na mama produzem óxido nítrico, o qual, interfere no fluxo dos vasos sanguíneos, causando uma vasodilatação nas fases iniciais do crescimento canceroso, da região das células cancerosas. Por causa desse aumento de fluxo sanguíneo, observa-se um aumento de temperatura em comparação com a temperatura normal da mama (BORCHARTT et al., 2013). Assim, provocou-se um aumento de aproximadamente 2 °C na superfície do modelo para corresponder aos valores observados em estudos que compararam as temperaturas superficiais da mama saudável e da mama com tumor (RAMÍREZ – TORRES et al., 2017).

Para cada configuração de teste foram obtidas sete imagens com um intervalo de 20 min entre elas. Após essa etapa, transformou-se cada uma delas em matrizes. Cada elemento dessas matrizes representa a temperatura do pixel correspondente. Assim, através do software MATLAB®, foi possível comparar a condição de referência, em que se tem apenas o modelo sem inclusões, com o modelo com inclusões, para avaliar a influência da presença de inclusões e sua geração de calor interna. Foi feita a média das sete imagens das distribuições de temperatura no modelo e, assim, a distribuição média foi comparada com a média das imagens do *baseline*, através da diferença entre elas. Além disso, analisou-se a influência da inclusão com geração de calor para cada tamanho de inclusão, com o intuito de verificar se haveria mudanças ou não no comportamento térmico do modelo, de acordo com a variação de diâmetro.



Figura 1. Aparato experimental posicionado no interior da câmara climática.



Figura 2. Modelo com inclusão de 30 mm.

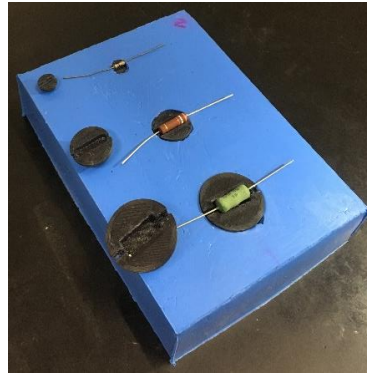


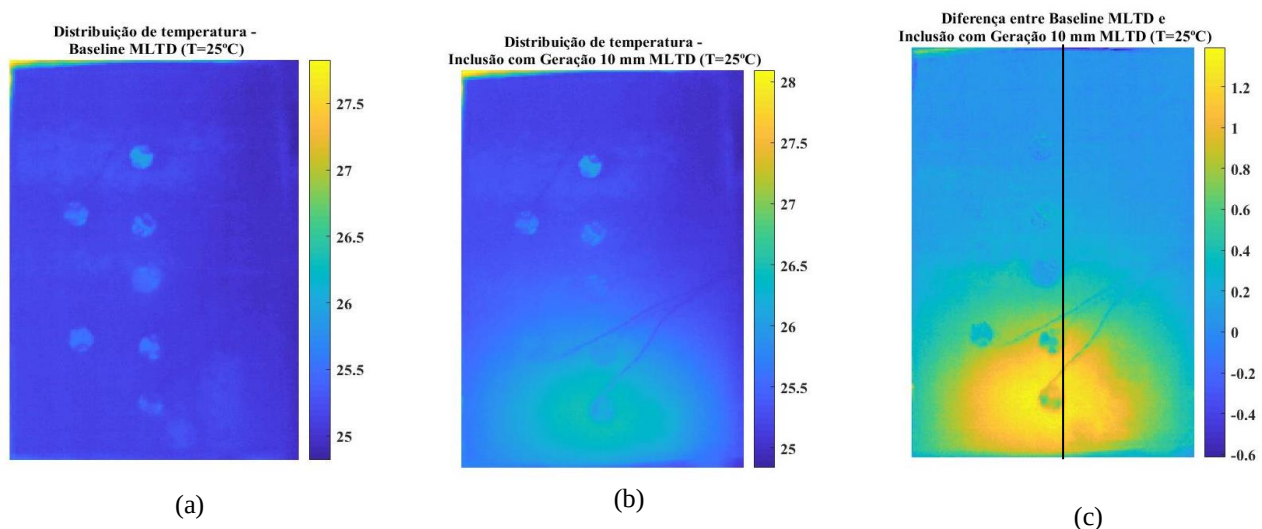
Figura 3. Inclusões de 10, 20 e 30 mm, com suas respectivas resistências elétricas.

## 4. RESULTADOS

Avaliou-se a distribuição de temperatura nas seguintes configurações: modelo sem inclusão de PLA (*baseline*), modelo com inclusão de 10 mm, modelo com inclusão de 20 mm e modelo com inclusões de 20 e 30 mm. Para cada configuração foram analisadas a média das imagens do modelo *baseline*, a média das imagens do modelo com inclusão e geração de calor interna, a diferença entre as distribuições de temperatura do *baseline* e do modelo com inclusão, e por fim, o gráfico dos valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária, a qual passa, verticalmente, pela área central do local das inclusões no modelo, para que se torne, graficamente visível, a variação da diferença de temperatura entre o modelo *baseline* e o modelo com as inclusões.

### 4.1. Modelo com inclusão de 10mm

A Figura 4(a) mostra a distribuição de temperatura do modelo *baseline*, o qual apresenta temperaturas que variam de 25,0 °C a 26,5 °C de forma homogênea em todo o corpo. A distribuição de temperatura do modelo com inclusão de 10 mm e geração de calor interna é mostrada na Fig. 4(b), em que são observadas temperaturas variando entre 25,0 °C e 27 °C, sendo que as temperaturas mais elevadas estão na região próxima a da inclusão. Na Figura 4(c) é apresentada a diferença entre as temperaturas do modelo com inclusão e *baseline* que tiveram valor máximo acima de 1,2 °C na região da inclusão. Os valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região da inclusão estão detalhados no gráfico da Fig. 4(d), em que observa-se a diferença de temperatura de 1,3 °C na região da inclusão de 10 mm.



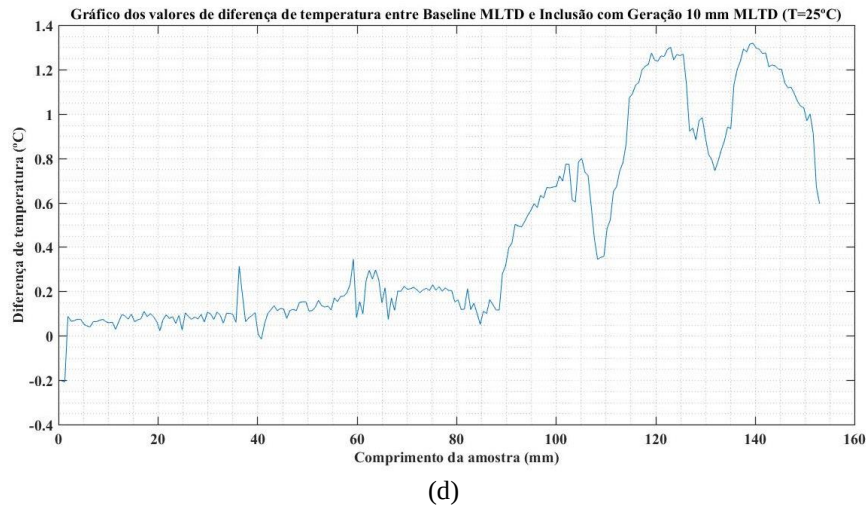
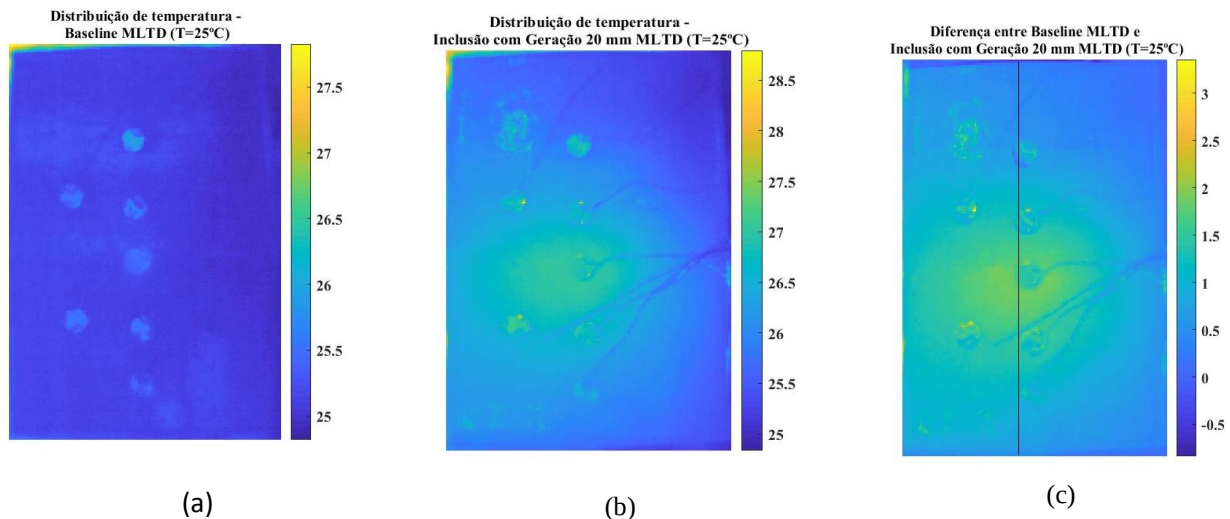


Figura 4. (a) Distribuição de temperatura no modelo *baseline*; (b) Distribuição de temperatura no modelo com inclusão de 10 mm; (c) Diferença de temperatura entre as configurações anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

#### 4.2. Modelo com inclusão de 20mm

A distribuição de temperatura do modelo *baseline* varia de  $25,0^{\circ}\text{C}$  a  $26,5^{\circ}\text{C}$  de forma homogênea em todo o corpo, como mostra a Fig. 5(a). A distribuição de temperatura do modelo com inclusão de 20 mm e geração de calor varia entre  $25,0^{\circ}\text{C}$  e  $27,5^{\circ}\text{C}$ , tendo as temperaturas mais elevadas na região próxima a inclusão, como pode ser visto na Fig. 5(b). A Figura 5(c) apresentada a diferença entre as temperaturas do modelo com inclusão e *baseline*, em que observam-se valores mais elevados na região da inclusão. Os valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região da inclusão estão detalhados no gráfico da Fig. 5(d). Os maiores valores de diferença de temperatura estão na região central do modelo, próximos à inclusão de 20 mm, tendo o valor máximo de  $1,8^{\circ}\text{C}$ .





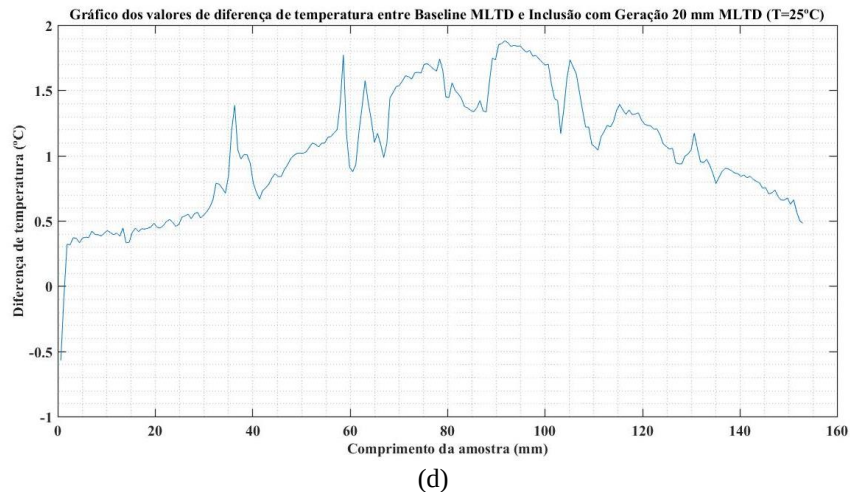
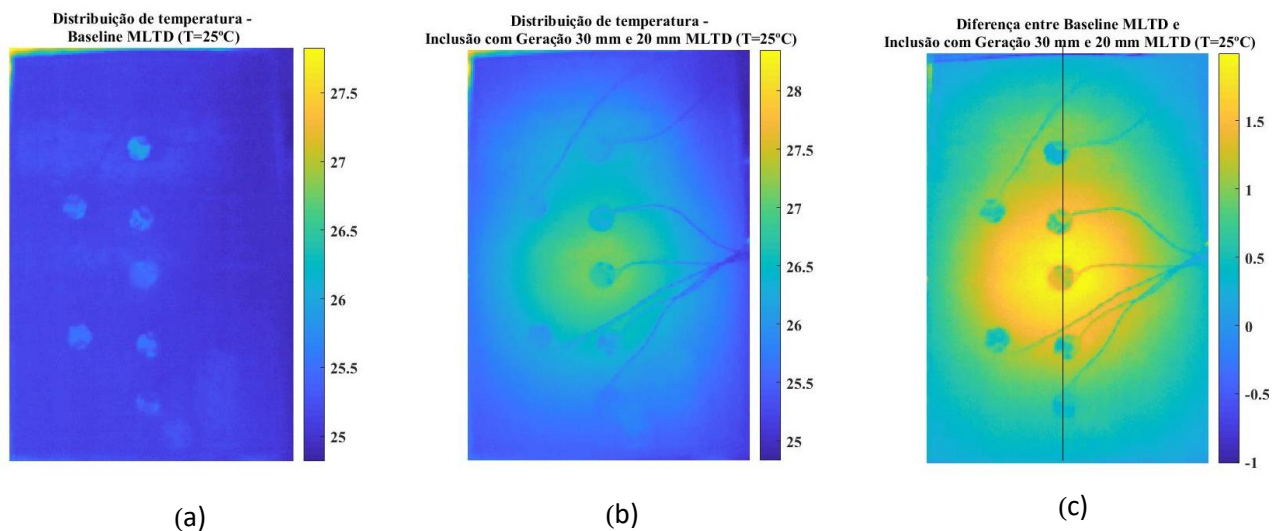


Figura 5. (a) Distribuição de temperatura no modelo *baseline*; (b) Distribuição de temperatura no modelo com inclusão de 20 mm; (c) Diferença de temperatura entre as configurações anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

#### 4.3. Modelo com inclusão de 20 mm e 30 mm

A distribuição de temperatura do modelo *baseline* varia de 25,0 °C a 26,5 °C de forma homogênea em todo o corpo, como mostra a Fig. 6(a), assim como nas análises anteriores. A Figura 6(b) mostra a distribuição de temperatura do modelo com inclusões de 20 mm e 30 mm, ambas com geração de calor. Observa-se que a temperatura varia entre 25,0 °C e aproximadamente 27,5 °C, tendo as temperaturas mais elevadas na região central do modelo, próxima às inclusões. A Figura 6(c) apresentada a diferença entre as temperaturas do modelo com inclusões e *baseline*, em que tem-se valores mais elevados na região da inclusão, acima de 1,5 °C. Os valores da diferença de temperatura obtidos em uma linha imaginária que sobrepõe a região da inclusão estão detalhados no gráfico da Fig. 6(d). Os maiores valores de diferença de temperatura estão na região central do modelo, próximos às inclusões de 20 e 30 mm, tendo o valor máximo de 2,0 °C.



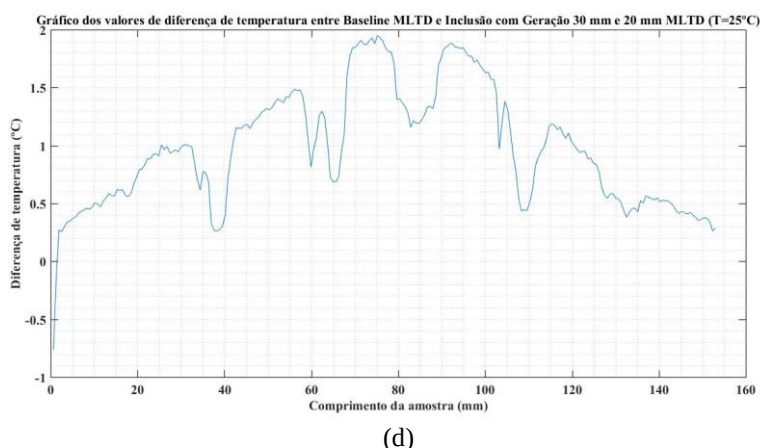


Figura 6. (a) Distribuição de temperatura no modelo *baseline*; (b) Distribuição de temperatura no modelo com inclusões de 20 mm e 30 mm; (c) Diferença de temperatura entre as configurações anteriores; (d) Gráfico da diferença de temperatura na região da inclusão.

## 5. CONCLUSÃO

Avaliou-se, neste trabalho, a detecção de inclusões em um modelo *in vitro* de silicone usando a técnica de termografia. Foram feitos testes com inclusões de PLA com diâmetros de 10, 20 e 30 mm, todas gerando calor internamente a partir de resistências elétricas. Obtiveram-se as imagens infravermelhas do modelo sem inclusões de PLA (*baseline*) e após a inserção das inclusões. Para a condição *baseline*, que simula um tecido sem anomalias, as imagens infravermelhas mostraram uma distribuição de temperatura homogênea em todo o modelo, variando 25,0 °C e 26,5 °C. Nas configurações com presença de inclusões com geração de calor interna as imagens da distribuição de temperaturas mostraram regiões aquecidas nas áreas próximas às inclusões. Quando analisadas as diferenças de temperatura entre o *baseline* e os modelos com inclusões, observaram os maiores valores nas regiões próximas as inclusões, sendo a maior diferença de 2,0 °C encontrada na presença das inclusões de 20 e 30 mm. Comparando-se as inclusões de 10 e 20 mm, as diferenças de temperatura foram de 1,3 °C e 1,8 °C, respectivamente. Estes resultados são estudos preliminares sobre a detecção de inclusões 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.

## 7. REFERÊNCIAS

- AMALU, W C; HOBBS, W B; HEAD, J F; ELLIOT, R L. Medical Devices and Systems. In: \_\_\_\_\_. The Biomedical Engineering Handbook. 3ª. ed. [S.l.]: CRC Press, 2006. Cap. 25, p. 25.1–25.21.
- KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A.; CHRISTOU, P.; KALOGIROU, S. A. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, v. 134, p. 531–549, 2014.
- 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.
- RAMÍREZ-TORRES, A.; RODRÍGUEZ-RAMOS, R.; SABINA, F. J.; GARCÍA-REIMBERT, C.; PENTA, R.; MERODIO, J.; GUINOVART-DÍAZ, R.; BRAVO-CASTILLERO, J.; CONCI, A.; PREZIOSI, L. The role of malignant tissue on the thermal distribution of cancerous breast. *Journal of Theoretical Biology*, v. 426, p. 152–161, 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.