

ANÁLISE NUMÉRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM CASOS DE CARCINOMA LOBULAR *IN SITU* E INVASIVO NA MAMA

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo, Universidade Federal de Uberlândia, alissonfigueiredo@hotmail.com.br
Gilmar Guimarães, Universidade Federal de Uberlândia, gguima@ufu.br
Jefferson Gomes do Nascimento, Universidade Federal de Uberlândia, je100rock@yahoo.com.br

Resumo. *Este trabalho propõe uma análise numérica do comportamento térmico para dois tipos de câncer de mama: carcinoma lobular in situ e carcinoma lobular invasivo. Desenvolve-se um modelagem numérica considerando uma geometria bidimensional de uma mama real. As temperaturas são obtidas através da solução numérica da equação da biotransferência de calor usando o software comercial COMSOL. Os perfis de temperaturas dentro da mama e na sua superfície da pele são comparados entre casos sem e com tumores. Os resultados obtidos demonstram que um aumento significativo nas temperaturas da pele ocorrem nos dois casos de cânceres, possibilitando assim um possível diagnóstico da doença através de imagens termográficas.*

Palavras chave: *câncer de mama, carcinoma lobular in situ, carcinoma lobular invasivo, temperatura, termografia*

1. INTRODUÇÃO

O câncer de mama consiste em um tumor maligno que se desenvolve a partir de células da mama. Geralmente, ele começa nas células do epitélio que reveste a camada mais interna do duto mamário. Raramente o câncer de mama pode começar em outros tecidos, tais como o adiposo e o fibroso da mama (Mastologia, 2014).

De acordo com a American Cancer Society, o câncer de mama lidera a estimativa de novos casos de cânceres entre as mulheres nos Estados Unidos em 2017, correspondendo a 30% do total estimado da doença para o sexo feminino. Em relação as estimativas de morte por câncer em 2017 entre as mulheres, o câncer de mama é o segundo desta lista (WHO, 2017).

A detecção de alterações na mama pode ser realizada por autoexame, exame clínico ou exame de imagens. A indicação de que a alteração na mama se trata de um câncer somente é realizada através de biópsia na região suspeita (HcBarretos, 2014). Os exames de imagens mais comuns são a mamografia, ultrassom, ressonância magnética e termografia.

A termografia caracteriza-se pelo uso de imagens termográficas adquiridas por uma câmera infravermelho capaz de medir a temperatura em diversos pontos de uma superfície. É economicamente mais viável, quando comparado com os métodos tradicionais. Porém, a comunidade medica ainda não considera o uso de imagens térmicas um exame para diagnóstico de câncer de mama, e sim apenas uma ferramenta auxiliar para triagem da doença (Cancer.org, 2017).

Diversos trabalhos analisam a capacidade do uso de temperaturas na superfície da mama para a determinação de tumores. Mitra e Balaji (2010) determinaram a posição e o tamanho de um tumor esférico na mama usando temperaturas obtidas na superfície de um modelo tridimensional simulado usando um software comercial baseado em elementos finitos (COMSOL). Mishra e Das (2015) apresentam um estudo numérico tridimensional para a estimativa do tamanho e localização de tumores na mama. Figueiredo (2014) realiza uma análise numérica da transferência de calor em tecidos vivos em problemas 1D, 2D e 3D, propondo uma técnica para a identificação de tumores em problemas 1D usando correlações entre temperaturas. Sadeghi-Goughari et al (2016) usam imagens térmicas junto com algoritmo de otimização para o diagnóstico de tumores cerebrais fantasmas e simulados.

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento térmico de dois tipos de cânceres de mama: carcinoma lobular *in situ* e o carcinoma lobular invasivo. Esta análise é realizada usando um modelo real de uma mama bidimensional. As temperaturas investigadas internamente e externamente à mama podem servir de suporte para trabalhos futuros que visam a estimativa de tumores em casos reais de câncer de mama.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Anatomia da mama

A Figura (1) apresenta a anatomia de uma mama que é basicamente composta por três tipos de tecidos: glandular, fibroso e adiposo. As glândulas mamárias consistem num conjunto de dutos e lóbulos responsáveis pela produção e transporte do leite. O tecido fibroso tem a função de sustentação das estruturas internas. O tecido adiposo (gordura)

reveste toda a glândula, contribuindo de maneira importante para a forma, volume e contorno das mamas (Winnikow, 2014).

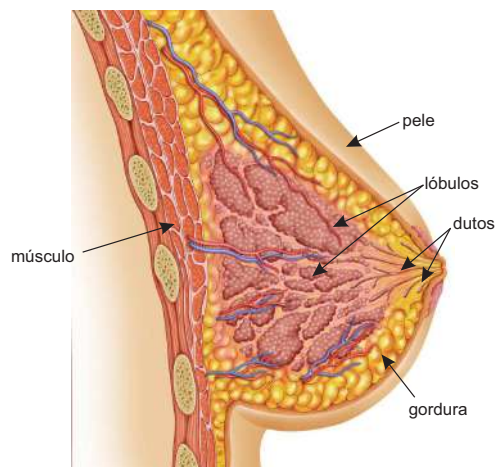


Figure 1. Anatomia de uma mama.

O câncer de mama pode ser *in situ*, aquele em que ainda não há risco de invasão e metástase, com chances quase totais de cura. Também existem os tumores invasivos (quando invadem a membrana basal da célula) que podem ser curados se o diagnóstico for estabelecido precocemente (Mastologia, 2014).

A Figura (2) apresenta em destaque um lóbulo mamário, onde por sua vez pode ser considerado normal ou preenchido com células anormais. O carcinoma lobular *in situ* é um dos tipos mais comuns de câncer de mama, onde as células cancerosas crescem nos lóbulos das glândulas produtoras de leite, mas não se desenvolvem através da parede dos lóbulos. Outro tipo doença que representa 10% dos cânceres de mama invasivos é o carcinoma lobular invasivo. Neste caso, as células cancerígenas surgem dentro dos lóbulos e posteriormente se espalham para outras partes do corpo.

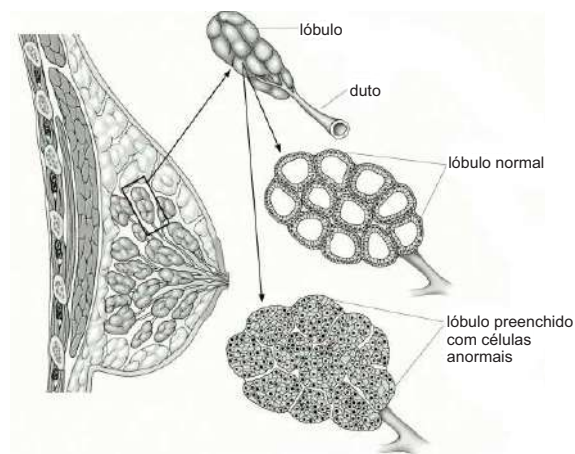


Figure 2. Carcinoma lobular.

2.2 Biotransferência de calor em tecidos vivos

O trabalho pioneiro de (Pennes, 1948) propôs uma relação quantitativa que descreve a transferência de calor em tecidos e órgãos humanos, incluindo os efeitos do fluxo sanguíneo através da equação da biotransferência de calor. O modelo matemático linear obtido neste estudo representa o balanço de energia no interior dos tecidos biológicos através da interação da perfusão sanguínea e metabolismo. A Equação de Pennes pode ser escrita como

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + w \rho_s c_s (T_a - T) + Q_m + Q_e \quad (1)$$

onde ρ , c e k representam respectivamente, a massa específica, o calor específico e a condutividade térmica do tecido. As propriedades w , ρ_s e c_s , representam respectivamente, a perfusão, a massa específica e o calor específico do sangue. O termo Q_m é a geração de calor metabólico, Q_e é o calor de uma fonte externa, T é a temperatura do tecido e T_a é a temperatura arterial.

Considera-se o efeito da perfusão sanguínea homogêneo e isotrópico e que o equilíbrio térmico ocorre na rede microcirculatória de capilares. Nesta circunstância, o sangue entra nos capilares a temperatura do sangue arterial, nos quais uma troca de calor ocorre com a temperatura do tecido à volta, até alcançar o equilíbrio térmico. Neste ponto, não existe mais transferência de calor, seja antes ou após a passagem do sangue pelos capilares, de forma que a temperatura na qual o sangue entra na circulação venosa seja aquela do tecido local (Chato, 1980).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A transferência de calor na mama é analisada por meio da solução numérica baseada em elementos finitos usando o COMSOL. A Figura (3a) apresenta um modelo bidimensional recreado em CAD de uma mama real. A Figura (3b) apresenta as condições de contorno de temperatura prescrita ($T_c=37^\circ\text{C}$) e convecção térmica ($h = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $T_\infty = 25^\circ\text{C}$) consideradas para o problema térmico resolvido em regime permanente.

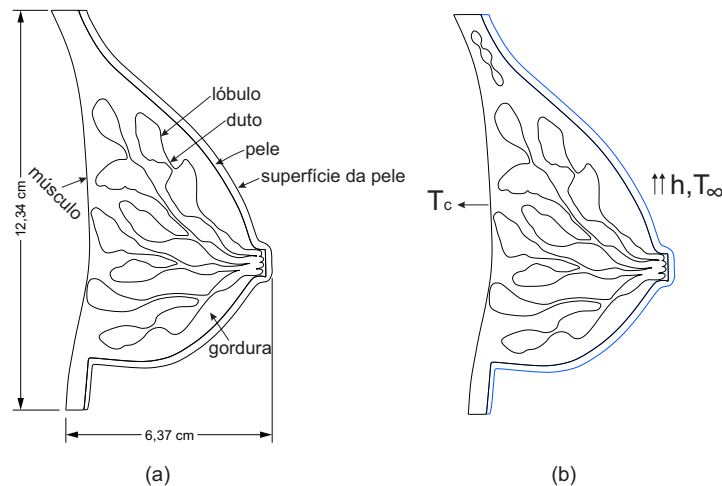


Figure 3. Modelo numérico da anatomia da mama: (a) composição da mama e suas dimensões (b) condições de contorno.

A Tabela (1) lista as propriedades térmicas e biológicas usadas para a solução do problema de biotransferência de calor no COMSOL. O modelo numérico em elementos finitos possui uma malha composta por 21527 elementos triangulares.

Table 1. Propriedades térmicas e biológicas dos tecidos (Agnelli et al, 2011; Hossain e Mohammadi, 2016)

Propriedades	Símbolo	Valor e unidade	Tipos de tecido
Condutividade térmica	k	0.21 W/mK	Pele, Gordura
		0.52 W/mK	Duto, Lóbulo
		0.62 W/mK	Tumor
Perfusão sanguínea	w	$2.2 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$	Pele, Gordura
		$5.2 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$	Duto, Lóbulo
		$1.6 \times 10^{-2} \text{ 1/s}$	Tumor
Massa específica	ρ	1000 kg/m^3	Todos
Calor específico	c	4186 J/kgK	Todos
Geração de calor volumétrica	Q_m	420 W/m^3	Pele, Gordura, Duto, Lóbulo
		$3 \times 10^5 \text{ W/m}^3$	Tumor

A análise a ser realizada consiste na obtenção do comportamento térmico de três diferentes estados de uma mama: mama saudável; mama com carcinoma lobular *in situ* e mama com carcinoma lobular invasivo.

A Figura (4) apresenta o comportamento térmico numa mama normal (sem tumor). As temperaturas variam desde a superfície interna de 37 °C até a externa com 31, 56 °C.

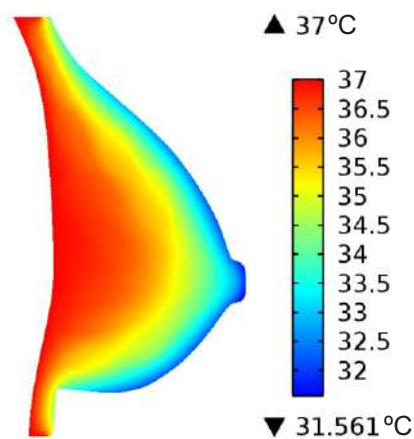


Figure 4. Comportamento térmico de uma mama saudável.

A Figura (5a) apresenta o modelo numérico da mama com carcinoma lobular *in situ*. Um tumor de diâmetro igual a 6 mm foi inserido dentro de um dos lóbulos da mama. A Figura (5b) apresenta o comportamento térmico para este caso de câncer. Observa-se que ocorre um aumento significativo das temperaturas em diversas regiões se comparado com a mama saudável.

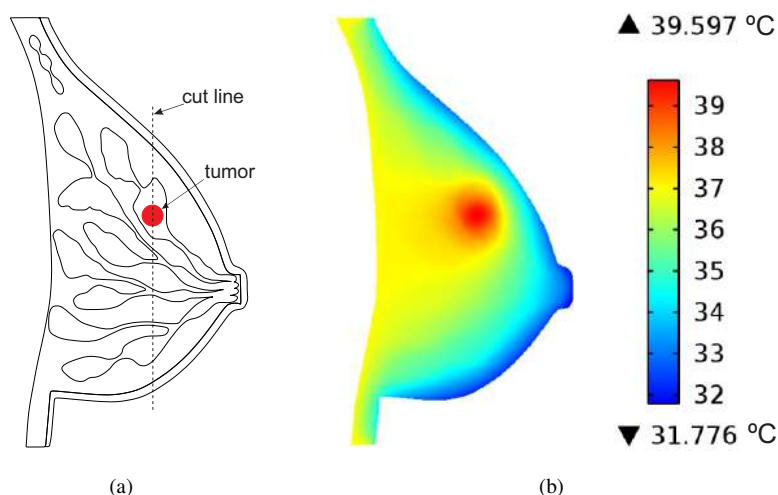


Figure 5. Carcinoma lobular *in situ*: (a) modelo numérico com tumor, (b) comportamento térmico

A Figura (6a) apresenta o modelo numérico da mama com carcinoma lobular invasivo. Neste caso, o tumor que tinha um diâmetro de 6 mm, sofre um aumento, rompe as paredes da glândula mamária e invade o tecido adiposo até atingir um diâmetro de 10 mm. A Figura (6b) apresenta o comportamento térmico para o câncer invasivo. As temperaturas na mama sofrem mais um aumento significativo na maior parte do seu domínio.

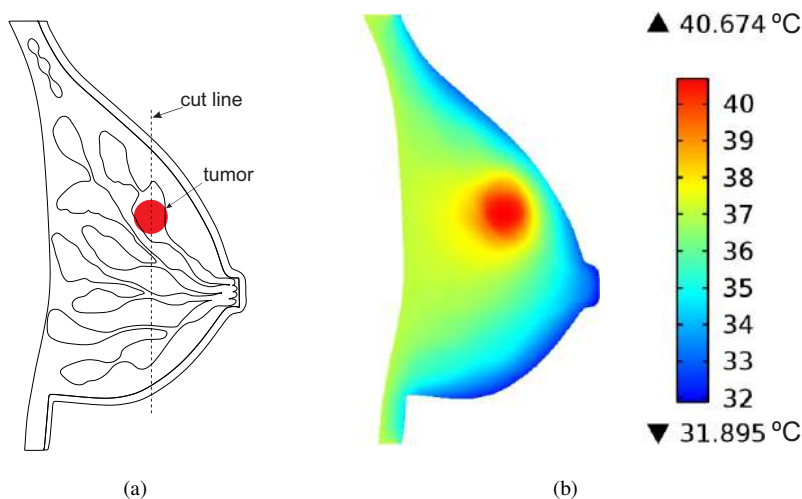


Figure 6. Carcinoma lobular invasivo: (a) modelo numérico com tumor, (b) comportamento térmico

A Figura (7a) apresenta a comparação entre as temperaturas ao longo de uma linha (cut line) que intercepta a região do centro tumor da mama para o caso sem tumor, com carcinoma lobular *in situ* e invasivo. Observa-se um aumento de aproximadamente 4 °C no câncer *in situ*, e de 5 °C para o caso invasivo, quando comparados com uma mama no estado normal.

A Figura (7b) apresenta as temperaturas na superfície da pele para cada um dos três casos analisados. Estes perfis de temperaturas seriam aqueles obtidos por uma câmera infravermelho, ou seja, apenas imagens térmicas da superfície externa da mama. Estes perfis de temperaturas indicam que tanto o tumor *in situ*, como o invasivo, provocam uma variação térmica significativa numa determinada região da pele.

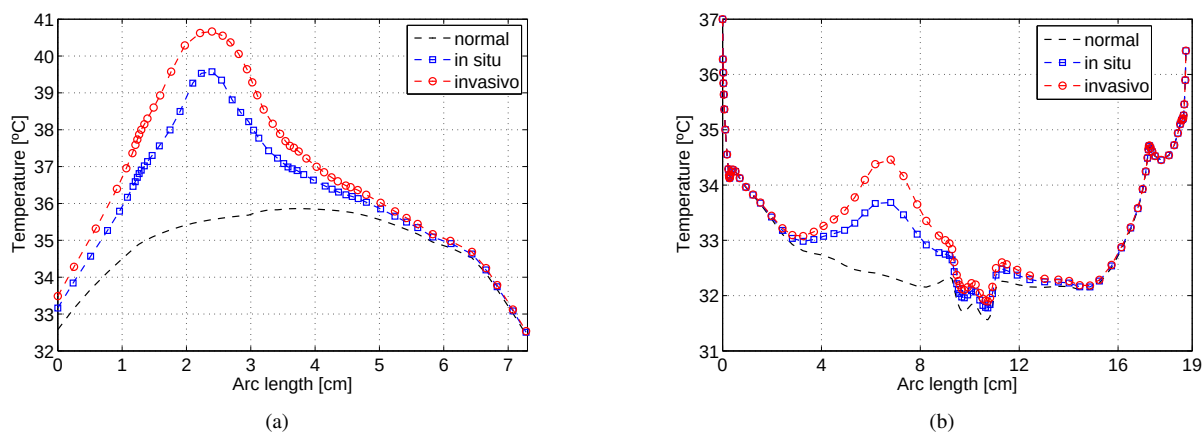


Figure 7. Comparação entre as temperaturas da mama sem tumor, com o carcinoma lobular *in situ* e invasivo: (a) cut lines, (b) superfície da pele

4. CONCLUSÃO

O comportamento térmico numa mama de geometria real bidimensional foi analisado numa situação saudável, com carcinoma lobular *in situ* e invasivo. Esta análise possibilitou a percepção que estes tipos de tumores alteram significativamente tanto as temperaturas interna e externa da mama. A verificação de que ocorre uma variação térmica na superfície externa da pele para ambos os tumores estudados, pode possibilitar um incentivo para os estudos científicos que abordam a estimativa precoce de pequenos tumores na mama usando imagens termográficas.

5. REFERÊNCIAS

AGNELLI, J; BARREA, A; TURNER, C. Tumor location and parameter estimation by thermography. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 53, p. 1527-1534, 2011.

- CANCER.ORG. Thermography, 2017. Disponível em: <<http://www.breastcancer.org/symptoms/testing/types/thermography>>.
- Chato, J.C. 1980. Heat transfer to blood vessels. **J. Biomech. Engr.**, v. 102, p. 110-118.
- FIGUEIREDO, A. A. A. Análise numérica de modelos térmicos envolvendo a estimativa de parâmetros na equação da biotransferência de calor. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, 2014.
- HCBARRETOS. Câncer de mama, 2014. Disponível em: <<http://www.hcancerbarretos.com.br/pesquisas/92-paciente/tipos-de-cancer/cancer-de-mama/163-como-realizar-o-diagnostico-do-cancer-de-mama>>.
- HOSSAIN, S; MOHAMMADI, A. F. Tumor parameter estimation considering the body geometry by thermography. **Computers in Biology and Medicine**, v. 76, p. 80-93, 2016.
- MASTOLOGIA, S. B. Câncer de mama, 2014. Disponível em: <<http://www.sbmastologia.com.br>>.
- MISHRA, S. C.; DAS, K. Simultaneous estimation of size, radial and angular locations of a malignant tumor in a 3-d human breast - a numerical study. **Journal of Thermal Biology**, v. 52, p. 147-156, July 2015.
- MITRA, S.; BALAJI, C. A neural network based estimation of tumor parameters from a breast thermogram. **International Journal Heat and Mass Transfer**, v. 53, n. 21-22, October 2010.
- PENNES, H. H. Analysis on tissue arterial blood temperature in the resting human forearm. **Applied Physiology**, v. 1, n. 2, p. 93-122, August 1948.
- SADEGHI-GOUGHARI, M.; MOJRA, A.; SADEGHI, S. Parameter estimation of brain tumors using intraoperative thermal imaging based on artificial tactile sensing in conjunction with artificial neural network. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 49, n. 7, January 2016.
- WINNIKOW. Anatomia da mama. 2014. [Http://www.centrodemama.com.br](http://www.centrodemama.com.br)
- WHO. Breast cancer: prevention and control, 2017. Disponível em: <<http://www.who.int/cancer/detection/breastcancer>>.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro das agências de fomento CNPq, CAPES e FAPEMIG.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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