

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

AUTOR, INICIAIS MAIÚSCULAS E RESTANTE MINÚSCULO

**Quantificação do efeito de tumores superficiais e
profundos sobre a temperatura da pele**

Niterói, RJ

DATA

AUTOR, INICIAIS MAIÚSCULAS E RESTANTE MINÚSCULO

**Quantificação do efeito de tumores superficiais e profundos
sobre a temperatura da pele**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica da Universidade
Federal Fluminense, como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador:
ORIENTADOR

Niterói, RJ

DATA

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

P654i Pinheiro, Isabela Florindo
Integral transform solutions in heat and fluid flow: novel applications & advancement of the technique / Isabela Florindo Pinheiro ; Leandro Alcoforado Sphaier, orientador. Niterói, 2019.
236 f. : il.

Tese (doutorado)-Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGMEC.2019.d.13502386781>

1. Transformada Integral. 2. Métodos numéricos. 3. Termociências. 4. Mecânica dos fluidos (Engenharia). 5. Produção intelectual. I. Sphaier, Leandro Alcoforado, orientador. II. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

AUTOR, INICIAIS MAIÚSCULAS E RESTANTE MINÚSCULO

**Quantificação do efeito de tumores superficiais e profundos
sobre a temperatura da pele**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica da Universidade
Federal Fluminense, como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Grau:

Aprovado em DATA

BANCA EXAMINADORA

ORIENTADOR

Orientador

Prof. DSc César Cunha Pacheco

Eng. Matheus Coutinho Constantino

Niterói, RJ

DATA

Dedicatória.

Colocar em página ímpar.

Esta seção é opcional.

Agradecimentos

Agradecimentos

Colocar em página ímpar.

Esta seção é opcional.

Citar agência de fomento, se houver.

Resumo

Sumarização do trabalho realizado, sem apresentar motivação, revisão da literatura e revisão teórica. Focar no trabalho desenvolvido, métodos, resultados, etc., e sumarizar conclusões.

Evitar o uso de referências bibliográficas no resumo.

Não colocar revisão bibliográfica no resumo.

Evitar motivação de trabalho, e focar nas atividades realizadas.

Recomenda-se limitar a uma página.

Colocar em página ímpar.

Seção obrigatória.

Palavras-chave: Palavra-chave 1, palavra-chave 2, palavra-chave 3.

Abstract

Colocar em página ímpar

Keywords

Lista de ilustrações

1	Número de casos diagnosticados e mortes no mundo para cada nível de IDH. (??).	1
2	3
3	4

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

COP	<i>Coefficient of performance</i>
EOS	<i>Equation of state</i>
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IIAR	<i>International Institute of Ammonia Refrigeration</i>
ODP	<i>Ozone depletion potential</i>
PR-EOS	<i>Peng-Robinson Equation of state</i>

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Ilustrações	v
Lista de tabelas	vi
Lista de abreviaturas e siglas	vii
Lista de símbolos	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização.	1
1.2. Objetivos.	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. BIOTRANSFERÊNCIA DE CALOR.	2
2.2. Termografia.	2
3 MODELAGEM MATEMÁTICA	3
3.1. Modelagem	3
3.1.1. Condições de Contorno	4
3.1.2. Volumes Finitos.	4
3.1.2.1 Discretização	4

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Na atualidade, o câncer é uma das enfermidades que mais tem atingido as pessoas, tendo mais de 18.1 milhões de casos diagnosticados e 9.6 milhões de mortes, somente em 2018. A estimativa é que em 2040, o número de casos anuais aumente em 50%, ultrapassando os 27 milhões de casos. Essa estimativa tem uma alta variação, dependendo dos nível de desenvolvimento economico e social do país. Apesar de a maior parte dos casos diagnósticos serem em países com Índice de Desenvolvimento Humano(IDH) alto, conforme a Figura 1, o aumento do número de casos de cancer em nações com baixo IDH é de 100%, enquanto nas com IDH alto/muito alto é de aproximadamente 11

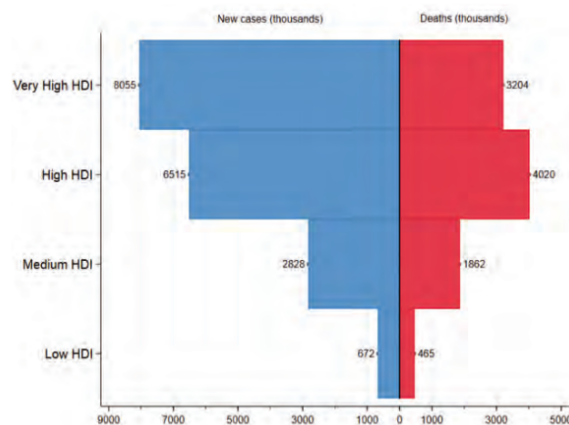


Figura 1 – Número de casos diagnosticados e mortes no mundo para cada nível de IDH. (??).

O câncer é a denominação dada ao conjunto de doenças que tem como característica comum a multiplicação descontrolada de células em um determinado tecido. Esse falta de controle advém de uma mutação no DNA da célula, que pode ocorrer devido a uma predisposição genética e/ou exposição a agentes carcinogênicos.

Na atualidade, existem mais de 100 tipos de câncer descobertos. Para cada um deles existem diferentes tratamentos e técnicas de diagnosticos mais efetivas

1.2 OBJETIVOS

2 Revisão Bibliográfica

O trabalho de ?? propôs uma solução analítica para o modelo de Pennes em um tecido com múltiplas camadas e com a presença de um tumor. Utilizando uma técnica de transformação integral, obteve-se distribuições de temperatura que estavam em acordo com simulações computacionais previamente validadas.

2.1 BIOTRANSFERÊNCIA DE CALOR

2.2 TERMOGRAFIA

O Trabalho de (AGNELLI; BARREA; TURNER, 2011) é utilizou-se do métodos de diferenças finitas de segunda ordem para resolver o modelo de Pennes em duas dimensões. Através do uso de Algoritmo de Pattern Search foi possível obter informações cruciais sobre o tumor, como seu tamanho e localização como a taxa de geração de calor devido ao metabolismo do tumor.

3 Modelagem Matemática

3.1 MODELAGEM

Este trabalho visa verificar a influência de diferentes configurações de tumores na superfície da pele. Considerou-se que o formato do antebraço de humano médio pode ser simplificado por um cilindro maciço, dividido em três seções de diferentes diâmetros, representado pele, músculo e osso. As dimensões do cilindro e de cada seção podem ser vistas na Figura 3 .

Figura

Figura 2 –

Para a simplificação do problema, propôs-se as seguinte hipóteses:

- Regime Permanente
- Problema Bidimensional, com axissimetria em torno do eixo Z.
- Propriedades Físicas constantes e uniformes em cada tecido.
- Tecidos Isotrópicos

O modelo de bio transferência de calor utilizado foi o Modelo de Pennes ??, que apesar de sua simplicidade reproduz de maneira satisfatória dados experimentais ?. Esse modelo possui as seguintes variáveis: densidade do tecido ρ ; condutividade térmica do tecido k ; densidade do sangue ρ_b ; calor específico do sangue a pressão constante c_b ; taxa de perfusão sanguínea do tecido w ; temperatura do sangue arterial T_a ; temperatura do tecido analisado T ; taxa de geração de calor metabólico por unidade de volume do tecido Q_m .

$$\rho c_p \frac{\partial T(r, z)}{\partial t} = \nabla \cdot [k(r) \nabla T(r, z)] + w_b \rho_b c_b [T_a - T(r, z)] + Q_m \quad (3.1)$$

Utilizando as hipótese 1 e realizando a transformação para coordenadas cilíndricas, através da relação ??, obtem-se a equação ??.

$$\nabla \cdot [k(r)\nabla T(r, z)] = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} k(r)r \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} k(r) \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} \quad (3.2)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} k(r)r \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} k(r) \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} + \rho_b c_b w [T_a - T(r, z)] + Q_m = 0 \quad (3.3)$$

3.1.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A condição de contorno para a fronteira superior do problema ($r=R$) foi de troca de calor por convecção com o ambiente. Considerou-se que a perda de calor da pele por radiação com o ambiente é desprezível para a situação modelada ?. Para as fronteiras laterais, a condição de isolamento térmico foi utilizada. Essa condição de contorno é passível de ser utilizada caso a fronteira esteja distante o suficiente do elemento gerador de calor, neste caso o tumor. Já para a fronteira inferior, a condição de isolamento térmico é a escolha natural, devido simetria térmica no centro do cilindro (??).

3.1.2 VOLUMES FINITOS

O método escolhido para a resolução numérica do modelo de biotransferência de calor apresentado anteriormente foi o Método dos Volumes Finitos ?. Esse método consiste na divisão do domínio em n volumes de controle discretos, onde é suposto que as variáveis de controle são constantes, e a resolução da equação de interesse dentro de cada volume. Sendo P o volume de controle a ser estudado, os volumes W , E , N e S são os volumes vizinhos do mesmo. As fronteiras do volume P com os volumes adjacentes são nomeadas w , e , n e s , respectivamente.

3.1.2.1 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO

A tipo de malha escolhida para o problema foi uniforme e retangular. Para manter os volumes quadrados, a relação entre o número de volumes na direção r e na direção z obedece a fórmula 3.3. Utilizou-se 3 diferentes malhas para verificar que a discretização não interferiu significativamente no resultado da simulação. De acordo com Celik o fator refinamento da malha deve ser maior que 1.3.

Integrando a equação ?? ao longo do volume de controle de interesse:

$$\int_{\Delta V} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} k(r)r \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} dV + \int_{\Delta V} \frac{\partial}{\partial z} k(r) \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} dV + \int_{\Delta V} \rho_b c_b w [T_a - T(r, z)] dV + \int_{\Delta V} Q_m dV = 0 \quad (3.4)$$

Dividiu-se a equação ??, em 4 termos para facilitar a manipulação. Além disso, aproximou-se o gradiente de temperatura nas fronteiras por uma diferença finita de primeira ordem, como pode ser visto nas equações ??-??.

Figura

Figura 3 –

$$\underbrace{\int_s^n \int_e^w \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} k r \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} r dr dz}_{C1} + \underbrace{\int_s^n \int_e^w \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} r dr dz}_{C2} + \underbrace{\int_s^n \int_e^w \rho_b c_b w [T_a - T(r, z)] r dr dz}_{C3} + \underbrace{Q_m}_{C4} = 0 \quad (3.5)$$

$$\left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right|_n = \frac{T_N - T_P}{\Delta r} \quad (3.6)$$

$$\left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right|_s = \frac{T_P - T_S}{\Delta r} \quad (3.7)$$

$$\left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} \right|_e = \frac{T_E - T_P}{\Delta z} \quad (3.8)$$

$$\left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} \right|_w = \frac{T_P - T_W}{\Delta z} \quad (3.9)$$

A integralização do termo C1 é direta, Integrando-se, respectivamente, em r e em z e utilizando as relações ?? e ?? para obter-se o resultado abaixo:

$$P1: \int_s^n \int_e^w \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} k r \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} r dr dz = \int_e^w k r \left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right|_s^n dz = \quad (3.10)$$

$$k r \left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right|_s^n \Delta z = k_n r_n \left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right|_n \Delta z - k_s r_s \left. \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \right|_s \Delta z \quad (3.11)$$

$$= k_n r_n \frac{T_N - T_P}{\Delta r} \Delta z - k_s r_s \frac{T_P - T_S}{\Delta r} \Delta z \quad (3.12)$$

Para integral o termo C2, além do processo feito anteriormente, é necessário notar a relação ?? que é válida para malhas retangulares e uniformes.

$$\left. \frac{r^2}{2} \right|_s^n = \frac{r_n^2}{2} - \frac{r_s^2}{2} = \frac{1}{2} \left(r_P + \frac{\Delta r}{2} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(r_P - \frac{\Delta r}{2} \right)^2 \quad (3.13)$$

$$= \frac{1}{2} \left(r_P^2 + r_P \Delta r + \frac{\Delta r^2}{4} \right) - \frac{1}{2} \left(r_P^2 - r_P \Delta r + \frac{\Delta r^2}{4} \right) = r_P \Delta r \quad (3.14)$$

$$P2: \int_s^n \int_e^w \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} r dr dz = \int_s^n k r \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} \Big|_e^w dr = \quad (3.15)$$

$$\int_s^n r k \frac{\partial T(r, z)}{\partial z} \Big|_e^w dr = \frac{r^2}{2} \Big|_s^n k \frac{\partial T(r, z)}{\partial r} \Big|_e^w = \quad (3.16)$$

$$\frac{r^2}{2} \Big|_s^n k_w \frac{T_W - T_P}{\Delta z} - \frac{r^2}{2} \Big|_s^n k_e \frac{T_P - T_E}{\Delta z} = r_P \Delta r k_w \frac{T_W - T_P}{\Delta z} - r_P \Delta r k_e \frac{T_P - T_E}{\Delta z} \quad (3.17)$$

O termo C3, relacionado a transferência de calor devido a perfusão do sangue, pode ser integrado diretamente utilizando a equação ?? :

$$P3: \int_s^n \int_e^w \rho_b c_b w [T_a - T(r, z)] r dr dz = \rho_b c_b w [T_a - T_P] \frac{r^2}{2} \Big|_s^n \Big|_e^w \quad (3.18)$$

$$= \rho_b c_b w [T_a - T_P] r_P \Delta r \Delta z \quad (3.19)$$

$$k_n r_n \frac{T_N - T_P}{\Delta r} \Delta z - k_s r_s \frac{T_P - T_S}{\Delta r} \Delta z + r_P \Delta r k_w \frac{T_W - T_P}{\Delta z} - r_P \Delta r k_e \frac{T_P - T_E}{\Delta z} + \rho_b c_b w [T_a - T_P] r_P \Delta r \Delta z = 0 \quad (3.20)$$

$$k_n r_n \frac{\Delta z}{\Delta r} T_N + k_s r_s \frac{\Delta z}{\Delta r} T_S + r_P r k_w \frac{\Delta r}{\Delta z} T_W + r_P k_e \frac{\Delta r}{\Delta z} T_E \quad (3.21)$$

$$- \left(k_n r_n \frac{\Delta z}{\Delta r} + k_s r_s \frac{\Delta z}{\Delta r} + r_P r k_w \frac{\Delta r}{\Delta z} + r_P k_e \frac{\Delta r}{\Delta z} + \rho_b c_b w r_P \Delta r \Delta z \right) T_P + \rho_b c_b w r_P \Delta r \Delta z T_a = 0 \quad (3.22)$$

Para as condições de contorno:

Fronteira Esquerda:

$$\frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \quad (3.23)$$

$$A_W = 0 \quad (3.24)$$

$$A_N T_N + A_S T_S + A_E T_E - (A_N + A_S + A_E + A_a) T_P = -A_a T_a \quad (3.25)$$

Fronteira Direita:

$$\frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=Lz} = 0 \quad (3.26)$$

$$A_E = 0 \quad (3.27)$$

$$A_N T_N + A_S T_S + A_W T_W - (A_N + A_S + A_W + A_a) T_P = -A_a T_a \quad (3.28)$$

Fronteira Sul:

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0 \quad (3.29)$$

$$A_S = 0 \quad (3.30)$$

$$A_N T_N + A_W T_W + A_E T_E - (A_N + A_W + A_E + A_a) T_P = -A_a T_a \quad (3.31)$$

Fronteira Norte:

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=Lr} = h(T_\infty - T) \quad (3.32)$$

$$A_N = 0 \quad (3.33)$$

$$A_c = \frac{h}{1 + h \frac{\Delta r}{k_p}} r_n \Delta z \quad (3.34)$$

$$A_S T_S + A_W T_W + A_E T_E - (A_S + A_W + A_E + A_a + A_c) T_P = -A_a T_a - A_c T_\infty \quad (3.35)$$