

# **LIVRO DE RESUMOS - BOOK OF ABSTRACTS**

## **6º Congresso Nacional de Biomecânica • 6th Portuguese Congress on Biomechanics**

Palace Hotel Monte Real, Monte Real, Leiria, Portugal – 6 e 7 fevereiro | 6th-7th, February | 2015

### **Comissão Organizadora | Organizing Committee**

Rui B. Ruben  
Milena Vieira  
Carlos Campos  
Henrique A. Almeida  
Jorge Siopa  
Paulo Bártolo  
João Folgado



SOCIEDADE  
PORTUGUESA  
BIOMECÂNICA

MECHANICAL BEHAVIOUR OF THE PIP BREAST IMPLANT DURING A STATIC COMPRESSION TEST .....	29
<i>Rita Rymkewicz, Pedro Martins, Marco Parente, Renato Natal, Antonio Fernandes and Nilza Ramião</i>	
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROGÉIS FOTOPOLIMERIZÁVEIS PARA A LIBERTAÇÃO DE AGENTES BIOATIVOS .....	31
<i>Tiago Morgado, Rúben F. Pereira, Daniela C. Vaz, Anabela Mendes e Paulo J. Bárto</i>	
REFORÇO DO BIOCÓMPÓSITO DE POLICAPROLACTONA E HIDROXIAPATITE COM NANOFIBRAS DE CELULOSE PARA APLICAÇÃO MÉDICA .....	33
<i>T. Viana, S. Biscoia, A. Mateus e C. Malça</i>	
AVALIAÇÃO DA PROLIFERAÇÃO BACTERIANA NA PRESENÇA DE ZIRCÓNIA .....	35
<i>Joana Sousa, Carla Carneiro e Célio Figueiredo-Pina</i>	
DEGRADAÇÃO HIDROLÍTICA DE NANOCÓMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE PLA/CNT-COOH E PLA/GNP PARA SUBSTITUIÇÃO DE TECIDOS LIGAMENTARES .....	37
<i>Viviana Correia Pinto, José Xavier, Carolina Gonçalves, Fernando D. Magalhães e Rui Miranda Guedes</i>	
SCAFFOLDS COM FIBRAS E PARTÍCULAS NATURAIS PARA APLICAÇÕES EM ENGENHARIA DE TECIDOS .....	39
<i>Sara Biscoia, Tânia Viana, Paulo Bárto e Henrique Almeida</i>	
ESTUDO COMPARATIVO DA INFLUÊNCIA DE TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE E ADIÇÃO DE PROTEÍNA NO COMPORTAMENTO À CORROSÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS ORTRON 90 E 316L .....	41
<i>Priscila Calmeirão, Rádi Montes, Carla Carneiro e Célio Pina</i>	
<b>Biomecânica cardiovascular, biofluidos e hemodinâmica</b>	
<b><i>Cardiovascular and hemodynamic bio-fluids</i></b>	
SIMULAÇÃO ÓTIMA DA HEMODINÂMICA DA CARÓTIDA BASEADA EM IMAGENS DE ULTRASSONOGRAFIA .....	45
<i>João P. R. Gonçalves, Catarina F. Castro, Carlos C. António, Luísa C. Sousa, Rosa Santos, Pedro Castro e Elisa Azevedo</i>	
INFLUENCE OF BLOOD ELASTICITY IN THE HEMODYNAMICS ALONG A STENOTIC BIFURCATED CORONARY ARTERY .....	47
<i>S.L.S. Pinto, E. Doust, J.M. Miranda, J.B.L.M. Campos</i>	
VISUALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DA ESTENOSE CAROTÍDEA USANDO IMAGENS DE ULTRASSONOGRAFIA .....	49
<i>Helena A.M. Henriques, Luísa C. Sousa, Catarina F. Castro, Carlos C. António, Rosa Santos, Pedro Castro e Elisa Azevedo</i>	
MICROFLUIDIC MODULES FOR CLINICAL DIAGNOSIS DEVICES .....	51
<i>Ricardo Santos, Joel Vasco, Daniela C. Vaz</i>	
OPTIMIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM STENT CORONÁRIO .....	53
<i>Nelson Ribeiro, João Folgado e Helder Rodrigues</i>	
ANÁLISE COMPUTACIONAL DO ESCOAMENTO SANGUÍNEO NAS ARTÉRIAS RENAIIS PRINCIPAIS .....	55
<i>Kaio Laureano Teixeira Barbosa, Keyll Carlos Ribeiro Martins, Alexandre Sousa Nascimento, Evandro Martins Araújo Filho, Lídia Santos Pereira Martins</i>	
FLOW IN PROXIMAL VENTRICULAR CATHETERS .....	57
<i>Célio Vaziani Jr, Edson R.D.R. Vieira, Emanuel R. Woiski, Sérgio S. Mansur, Edson D. R. Vieira, José Ricardo Camilo Pinto and Angelo L. Masset</i>	
INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO SANGUE EM MICROCANAL COM CONTRAÇÃO SIMÉTRICA .....	59
<i>Solange M. Caetano, Susana F. T. Silva, Joana A. C. Calvo e Carla S. Fernandes</i>	
MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA CAMADA DE PLASMA EM MICROCANAIS .....	61
<i>A. Cathala, A. I. Pereira e R. Lima</i>	

### **Biomecânica da lesão/impacto | *Biomechanics of injury and impact***

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL SIMULATION OF HUMAN HYPERELASTICITY AND VISCOELASTIC SKIN BEHAVIOUR .....

*R. Baptista, C. Caruso, A. Lucas, C. Figueiredo-Pina*

MECANISMOS DE FORMAÇÃO, SIMULAÇÃO E REDUÇÃO DA LESÃO CERVICAL, EM OCUP/ ENVOLVIDOS EM ACIDENTES RODOVIÁRIOS COM IMPACTO LATERAL .....

*Baptista, P., Martinho, P., Santos, S.*

### **Biomecânica de reabilitação | *Biomechanics of rehabilitation***

A FOTOMETRIA DIGITAL E AS PRESSÕES BAROPODOMÉTRICAS NA AVALIAÇÃO DA REORGANIZAÇÃO DO CONTROLO POSTURAL NA POSIÇÃO ORTOESTÁTICA EM INDIVÍDUOS COM ACIDENTE VASO ENCEFÁLICO .....

*Daniela Alves, Alexandre Lopes*

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DAS MANOBRAS REALIZADAS NA REABILITAÇÃO VESTIBULAR EM SÍNDROME VERTIGINOSA .....

*Carla Santos, Fernanda Gentil, Marco Parente, Carolina Garbe e Renato Natal Jorge*

AS ESTRATÉGIAS ADOPTADAS POR IDOSOS DURANTE A SUBIDA DE ESCADAS: UMA ANÁLISE DE ACELERAÇÃO INDUZIDA (WORK IN PROGRESS) .....

*Vera Moniz-Pereira, Thomas M. Kappela, Sílvia Cabral, Filipa João e António P. Veloso*

ESTUDO DE PRÓTESES NA SUBSTITUIÇÃO DOS OSSÍCULOS DO OUVIDO MÉDIO .....

*Fernanda Gentil, Marco Marques, Marco Parente, Carla Santos, Pedro Martins e Renato Natal Jorge*

DESENVOLVIMENTO DE UMA MEDIDA GLOBAL DE ASSIMETRIA DA MARCHA .....

*Sílvia Cabral, Renan Bezende, Adam C. Clansy, Scott W. Selbie, António Veloso*

SHOULDER AND THORACIC SPINE MOBILITY ARE IMPAIRED IN PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE .....

*Nuno Morais, Joana Cruz, and Alda Marques*

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE OSSOS DE RATAS OVARIECTOMIZADAS SUBMETIDAS À DIETA HIPERLIPÍDICA .....

*Ana Paula Macedo, Roberta Carminati Shiban, Débora Ferrari Taffarel, João Paulo Mardegan Issa, Alceu Afonso Jordão Jr., António Carlos*

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA CAPACIDADE DE PREENSÃO EM JOVENS DA ETARIA 18-26 .....

*D.M.T.D. Rasteiro, F. Canova, L. Roseiro, P. Nicolau*

UPPER-LIMB FUNCTIONAL TASKS: THE EFFECT OF LOCATION, INSTRUCTION AND OBJECT .....

*Sandra Mouta, Cláudia Silva, R. Mariana Silva, Pedro Fonseca, Ana Rita Pinheiro, Carolina Vila-Chã, Miguel Correia Velho*

NUMERICAL EVALUATION OF STROKE PATIENTS GAIT DISORDERS BASED ON INSTRUMENTAL MOTION ANALYSIS .....

*P. Ferreira, D. Raab, D. Rosenthal, M. Siebler, H. Hefler and A. Keskenmety*

INFLUÊNCIA DA "DUAL-TASK" NOS AJUSTES POSTURAIIS NO "SIT-TO- STAND-TO-SIT" EM INDIVÍDUOS COM DOENÇA DE PARKINSON .....

*Angela Fernandes, Andreia Sousa e João Manuel R.S. Tavares*

CUSTOM-DESIGN AND MANUFACTURE OF A HALLUX SILICONE PROSTHESIS USING DIGITAL-LEVEL TECHNOLOGIES .....

*Rui Neto, António Costa-Ferreira, Mafalda Couto, Margarida Machado, Ana Reis and Jorge Lino*

THREE-DIMENSIONAL GAIT ANALYSIS IN PATIENTS WITH PARKINSON'S DISEASE ON USE OF BRIMMER GAIT ANALYSIS SYSTEM .....

do escoamento, foi ainda possível analisar o impacto das propriedades não-newtonianas do sangue na pressão e velocidade dos escoamentos em estudo.

Para os estudos não-newtonianos realizados nos canais com contração simétrica constatou-se que as propriedades não-newtonianas do sangue, descritas pelo modelo de Carreau, levam a um aumento da queda de pressão.

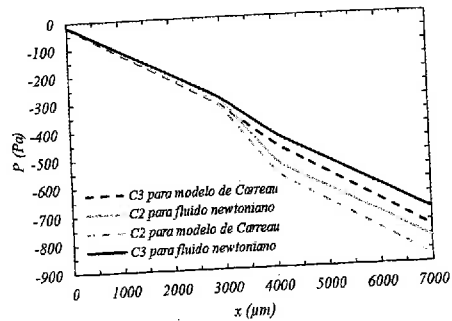


Fig. 2 Pressão para os canais estenosados com contração simétrica e diferentes modelos reológicos.

O perfil de velocidade no plano de simetria para o fluido não-newtoniano (modelo de Carreau), apresenta o comportamento global típico de um escoamento em canal de secção rectangular em regime laminar e estado estacionário – velocidade mínima nas paredes e máxima no centro do canal.

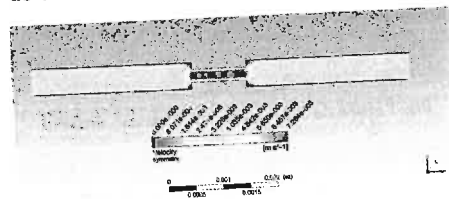


Fig. 3 Perfil de velocidades no plano de simetria para o modelo de Carreau.

Dada a presença do ateroma, a velocidade máxima é alcançada na região em que existe o ateroma, onde a área de secção reta é menor.

#### 4 Conclusões

Comparando o fluido newtoniano com o modelo de Carreau, verificou-se que as quedas de pressão assumem valores mais elevados quando se admite o modelo de Carreau não havendo alterações a nível dos perfis de velocidade.

Verificou-se que a existência do ateroma no microcanal altera os perfis típicos de queda de pressão e velocidade, verificando-se um aumento da queda de pressão e velocidade máxima com o aumento do grau de estenose. Os resultados aqui apresentados fornecem conhecimentos fundamentais para uma melhor compreensão do fluxo sanguíneo na microcirculação.

#### Referências

- [1] A. e. A. Carvalho, "Desenvolvimento de Placas de Ateroma em Pacientes Diabéticos e hipertensos," pp. 73-77, 2010.
- [2] D. Caiado, "Modelação Matemática do Sistema Cardiovascular," Universidade do Algarve, Algarve, 2009

## MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA CAMADA DE PLASMA EM MICROCANAIS

A. Cachada<sup>1</sup>, A. I. Pereira<sup>2</sup> e R. Lima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; ana.m.cachada@alunos.ipb.pt

<sup>2</sup> ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; apereira@ipb.pt

<sup>3</sup> ESTIG, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; rui.lima@ipb.pt

**Palavras Chave:** Otimização não linear. Otimização global. Algoritmo genético. Camada de plasma.

**Resumo:** Neste documento apresenta-se um estudo relativo à modelação matemática da camada de plasma observada nos escoamentos sanguíneos. Numa fase inicial a resolução do problema faz uso da otimização não linear global, mais propriamente o uso do algoritmo genético, para encontrar a função que minimiza o erro quadrático entre a função e os dados numéricos obtidos nas camadas de plasma. Posteriormente, recorre-se aos métodos Simulated Annealing, Pattern Search e Quasi-Newton de modo a averiguar se algum deles é capaz de encontrar uma solução menor em comparação com os resultados obtidos pelo Algoritmo Genético. Na fase final deste estudo foram testados dados referentes a três escoamentos com diferentes características. Este estudo é feito recorrendo ao Algoritmo Genético.

#### 1 Introdução

Neste estudo é feita a modelação matemática para definir a função que melhor caracteriza a camada de plasma presente num escoamento sanguíneo. Os escoamentos em estudo foram feitos numa rede de microcanais que apresenta bifurcações e confluências e a camada de plasma foi estudada em vinte regiões desta rede. Em cada região é estudada a camada superior e a inferior.

Para resolução deste problema, numa fase inicial, foi usado o Algoritmo Genético para o estudo de um conjunto de dados relativos a um escoamento. Após terem sido estudados diversos modelos matemáticos ainda foi utilizada a ferramenta *cfool* presente no *software Matlab* de modo a ajustar diversas funções aos dados de uma região. Posteriormente, foram utilizados os métodos *Simulated Annealing*, *Pattern Search* e *Quasi-Newton*, disponíveis no *software Matlab* de forma a melhorar a solução anteriormente obtida. Na fase final deste estudo, foram analisados mais três conjuntos de dados referentes a três escoamentos com diferentes características. Este trabalho dá seguimento ao estudo já efetuado em [1].

#### 2 Modelação do problema e resultados numéricos

O problema de otimização não linear sem restrições, aplicado a cada região estudada encontra-se definido na Eq. 1:

$$\min f(y) = \sum_{k=1}^{N_R} (M_k - g_h(y, x_k))^2 \quad (1)$$

onde  $(x_k, M_k)$  para  $k=1, \dots, N_R$  correspondem às medições de cada região R. As regiões são definidas como  $U_i$  e  $L_i$  para  $i=1, \dots, 10$  como podemos verificar na Fig. 1.

Para resolver o problema de otimização supracitado será usado o Algoritmo Genético (AG). Posto isto, para a sua implementação utilizamos a função *ga* do *software Matlab*. Uma vez que se trata de um método iterativo de procura aleatória este será aplicado 30 vezes em cada região.

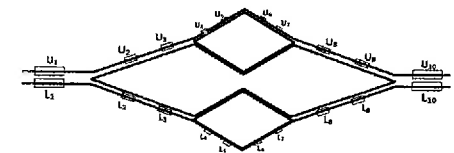


Fig. 1 Geometria da rede de trabalho e representação das regiões onde foi medida a camada de plasma

## 2.1 Trabalho anterior

Este estudo dá seguimento ao trabalho já efetuado em [1]. As funções testadas foram:

- $g_1(y, x) = y_1x^2 + y_2x + y_3$
- $g_2(y, x) = y_1x + y_2$
- $g_3(y, x) = \sin(y_1x) + \cos(y_2x) + y_3$

Pela avaliação das três funções concluiu-se que a função  $g_3$  é a que apresenta os melhores resultados.

## 2.2 Resultados numéricos

Nesta secção são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Assim, os modelos matemáticos testados inicialmente definem-se por:

- $g_4(y, x) = \sin(y_1x)^2 + \cos(y_2x)^2 + y_3$
- $g_5(y, x) = \sin(y_1x)^2 + \cos(y_2x)^2 + \sin(y_3x) + \cos(y_4x) + y_5$
- $g_6(y, x) = \sin(y_1x + y_2)^2 + \cos(y_3x + y_4)^2 + \sin(y_5x + y_6) + \cos(y_7x + y_8) + y_9$
- $g_7(y, x) = y_{10}\sin(y_1x + y_2)^2 + y_{11}\cos(y_3x + y_4)^2 + y_{12}\sin(y_5x + y_6) + y_{13}\cos(y_7x + y_8) + y_9$

Os quatro modelos supracitados foram testados para todas as regiões do escoamento com caudal de 500 ml/min e hematócrito de 10%. Nesta fase foi possível perceber que as melhores funções são a  $g_7$  e a  $g_3$ , considerando o estudo [1].

Posto isto, recorreremos à ferramenta *efool* (*Curve Fitting Tool*) para ajustar diversas funções aos dados da região  $L_1$ . As funções ajustadas consistem em funções polinomiais, de potência, racionais e somas de senos. De todos os modelos ajustados os que apresentam resultados satisfatórios correspondem às somas de três a oito senos. Assim, o modelo escolhido para continuar o estudo corresponde à soma de três senos uma vez que apresenta uma boa relação entre o valor mínimo e o esforço computacional exigido. Desta forma, a função definida pela soma de três senos ( $g_8$ ) foi testada através do algoritmo genético.

- $g_8(y, x) = y_1 \sin(y_2x + y_3) + y_4 \sin(y_5x + y_6) + y_7 \sin(y_8x + y_9)$

Uma vez que a soma de oito senos é a função que aparenta ser efetivamente melhor, esta foi testada para a região  $L_1$  através do Algoritmo Genético, *Simulated Annealing*, *Pattern Search* e *Quasi-Newton*. Este modelo matemático foi descartado uma vez que não apresenta resultados satisfatórios e o tempo de execução é exagerado. Assim, foi possível perceber que as três funções que melhor caracterizam a camada de plasma são a  $g_3$ ,  $g_7$  e  $g_8$ . Posto isto, foram testados dados referentes a três escoamentos diferentes com as funções  $g_3$ ,  $g_7$  e  $g_8$ . Nesta fase verificou-se que a função que melhor caracteriza as camadas de plasma, globalmente, é a  $g_7$ .

## 3 Conclusões

Com este trabalho é possível concluir que para o problema em estudo nenhum dos métodos estudados apresenta melhores resultados que o Algoritmo Genético. Conclui-se ainda que, analisando todos os resultados de forma global, o modelo matemático que melhor caracteriza as camadas de plasma dos diferentes escoamentos é o  $g_7$ .

## Referências

- [1] B. Taboada, D. Bento, D. Pinho, A.I. Pereira, R. Lima, "Cell-free Layer Measurements in Bifurcating Microchannels: a global approach," *XVI Congresso da Associação Portuguesa de Investigação Operacional*, 2013.

# ANÁLISE DO FLUXO SANGÜÍNEO NÃO NEWTONIANO EM FÍSTULAS ARTERIOVENOSAS TÉRMINO-LATERAIS UTILIZADAS NO PROCEDIMENTO DE HEMODIÁLISE

Silva, J.A.<sup>1</sup>, Karam Filho, J.<sup>2</sup>, Borges C.C.H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> PPGMC/Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil; [nainajdr@hotmail.com](mailto:nainajdr@hotmail.com)

<sup>2</sup> CMC/Laboratório Nacional de Computação Científica, Brasil; [jksf@lncc.br](mailto:jksf@lncc.br)

<sup>3</sup> PPGMC/Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil; [cehb@lncc.br](mailto:cehb@lncc.br)

**Palavras Chave:** Fluidodinâmica Computacional, Hemodiálise, Hiperplasia intimal

**Resumo:** Nos procedimentos de hemodiálise verificam-se constantes perdas de acessos venosos (fístulas), associados a hiperplasia intimal causada por irregularidades das tensões exercidas pelo escoamento sanguíneo nas paredes dos vasos. Nesse contexto objetivou-se aqui analisar, através de modelo computacional, o fluxo sanguíneo em fístulas arteriovenosas, utilizando um modelo em dimensões próximas à realidade, desenvolvido e simulado através do software OpenFoam e implementação do modelo constitutivo não newtoniano de Walburn-Schnecke, com dependência do hematócrito e da concentração de proteínas séricas. Para a análise de possíveis surgimentos de estenoses causadas pela hiperplasia intimal foram observadas as tensões cisalhantes na parede em ângulos de anastomose de 30°, 35°, 40° e 45°.

## 1 Introdução

Problemas relacionados a fístulas são causados pelo atrito gerado por forças cisalhantes do sangue nas paredes dos vasos, causando doenças como hiperplasia intimal e aterosclerose, [1]. A hiperplasia intimal consiste num processo em que células proliferam na parede interna do vaso em resposta ao trauma. Isso pode diminuir a área útil da estrutura, dificultando o fluxo do sangue, o que pode levar à coagulação, [2]. Para diminuir esses problemas, são de interesse técnicas que estudem o fluxo sanguíneo, com o objetivo de melhorar o processo como um todo. Visando técnicas não invasivas, modelos computacionais que consigam prever o comportamento sanguíneo vêm tendo demanda crescente.

Neste Trabalho são analisadas, através de modelagem computacional, fístulas arteriovenosas utilizadas em hemodiálise considerando ângulos de anastomose entre 30° e 45°. O modelo constitutivo não newtoniano de Walburn-Schnecke [3], específico para sangue, foi implementado na plataforma OpenFoam com método numérico de volumes finitos para a solução do sistema de equações. Resultados numéricos das simulações são apresentados com atenção nas tensões cisalhantes nas pare-

des dos vasos, concluindo-se sua importância juntamente com os ângulos de anastomose na localização de possíveis patologias.

## 2 Modelo computacional 3-D

### 2.1 Modelo geométrico

Consideram-se aqui fístulas artério-venosas radial-cefálicas término-laterais com fluxo antegrado (Fig. 1), com artéria de comprimento =15cm e diâmetro =3,1 cm; veia de comprimento =10 cm e diâmetro =4,01 cm. Ângulos considerados: 30°, 35°, 40° e 45°.

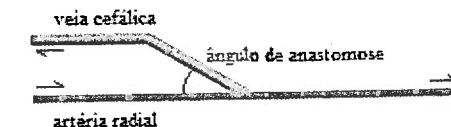


Fig. 1 Modelo de fístula arteriovenosa

### 2.2 Equações do escoamento

O escoamento sanguíneo pode ser modelado através das equações de conservação de massa e de momento linear: