





7th Portuguese Congress on Biomechanics

Guimarães – Portugal | 10th – 11th February 2017



In Portugal, over the last decades, Biomechanics has contributed decisively to extending the frontiers of the knowledge, as result of the excellence research. It has led to the development of important applications with relevance in the fields of medicine, bioengineering, biology, sport, ergonomics, rehabilitation, accessibility, occupational therapy, among others.

The Portuguese Congress on Biomechanics aims to promote and encourage the participation of the scientific and technical community of Biomechanics, in order to enhancing the progress and intervention of this field in Portugal.

In order to promote contacts between different research teams and to share the successes achieved, in 2005, it was held the 1st Portuguese Meeting on Biomechanics in Martinchel. Two years later, the 2nd Meeting was held in Évora elapsing with great success. Due to the natural evolution of these events, in 2009 the event name was changed to 3rd Portuguese Congress on Biomechanics, which took place in Bragança. In subsequent editions, in 2011 and 2013, the Portuguese Congress on Biomechanics took place in Coimbra and Espinho, respectively. Following the past events, the 6th Portuguese Congress of Biomechanics was held in February 2015 in Monte Real, Leiria

Therefore, the Portuguese Congress on Biomechanics aims to be an open forum for the scientific community engaged in the work and research in various areas of biomechanics, to discuss and share the developed research.

Use o botão abaixo para aceder às apresentações
Click the button to access the database

CNB-2017

Remark: using Microsoft Internet Explorer, please make sure *scripts* are enabled (in doubt see [here](#))



SOCIEDADE
PORTUGUESA
BIOMECÂNICA

7th Portuguese Congress on Biomechanics

Guimarães – Portugal | 10th – 11th February 2017



[back HOME](#)

Tópicos / Topics

- 01 - Antropometria
Anthropometrics
- 02 - Biofabricação
Biomanufacturing
- 03 - Biomateriais
Biomaterials
- 04 - Biomecânica cardiovascular,
biofluidos e hemodinâmica
*Cardiovascular and hemodynamic
bio-fluids*
- 05 - Biomecânica celular e molecular
Cellular and molecular biomechanics
- 06 - Biomecânica da lesão/impacto
Biomechanics of injury and impact
- 07 - Biomecânica de reabilitação
Biomechanics of rehabilitation
- 08 - Biomecânica desportiva
Sports biomechanics
- 09 - Biomecânica do crânio e coluna
Biomechanics of the spine and skull
- 10 - Biomecânica do Sistema músculo-
esquelético
*Biomechanics of the musculoskeletal
system*
- 11 - Biomecânica dos tecidos
Tissue biomechanics
- 12 - Biomecânica ocupacional
Occupational biomechanics
- 13 - Biomecânica orofacial
Oral-facial biomechanics
- 14 - Biomecânica ortopédica
Orthopaedic biomechanics
- 15 - Biomecânica respiratória
Respiratory biomechanics
- 16 - Cirurgia assistida por computador
Computer-assisted surgery
- 17 - Engenharia dos tecidos
Tissue engineering
- 18 - Ensino da biomecânica
Teaching of biomechanics
- 19 - Mecânica experimental em
biomecânica
*Experimental mechanics
biomechanics*
- 20 - Visão por computador em
biomecânica
Computer vision in biomechanics

In Portugal, over the last decades, Biomechanics has contributed decisively to extending the frontiers of the knowledge, as result of the excellence research. It has led to the development of important applications with relevance in the fields of medicine, bioengineering, biology, sport, ergonomics, rehabilitation, accessibility, occupational therapy, among others.

The Portuguese Congress on Biomechanics aims to promote and encourage the participation of the scientific and technical community of Biomechanics, in order to enhancing the progress and intervention of this field in Portugal.

In order to promote contacts between different research teams and to share the successes achieved, in 2005, it was held the 1st Portuguese Meeting on Biomechanics in Martimel. Two years later, the 2nd Meeting was held in Évora elapsing with great success. Due to the natural evolution of these events, in 2009 the event name was changed to 3rd Portuguese Congress on Biomechanics, which took place in Bragança. In subsequent editions, in 2011 and 2013, the Portuguese Congress on Biomechanics took place in Coimbra and Espinho, respectively. Following the past events, the 6th Portuguese Congress of Biomechanics was held in February 2015 in Monte Real, Leiria

Therefore, the Portuguese Congress on Biomechanics aims to be an open forum for the scientific community engaged in the work and research in various areas of biomechanics, to discuss and share the developed research.

Observação:

- pode sempre utilizar a funcionalidade "**Ctrl F**" do seu browser para pesquisar qualquer palavra no título ou nome de autor.

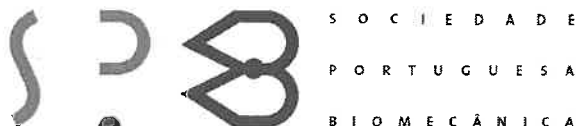
Remark:

- you can always use the "**Ctrl F**" functionality of your browser to search any word in the title or author's name.
-

Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2017

**ATAS DO
7º CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA**

*PROCEEDINGS OF THE
7TH PORTUGUESE CONGRESS ON BIOMECHANICS*



COMISSÃO DE HONRA | HONOR COMMITTEE

Reitor da Universidade do Minho

Doutor António M. Cunha

Presidente da Câmara Municipal de Guimarães

Dr. Domingos Bragança

Presidente do Health Cluster Portugal

Doutor Luís Portela

Presidente da Sociedade Portuguesa de Biomecânica

Doutor Paulo Fernandes

Presidente da Sociedade Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária

Doutor Pedro Mesquita

COMISSÃO ORGANIZADORA | ORGANIZING COMMITTEE

Paulo Flores, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

Filipe Marques, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

Filipe Silva, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

José Carlos Teixeira, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

José Luís Alves, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

José Pimenta Claro, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

Nuno Dourado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

Sara Cortez, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho

João Folgado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

PATROCÍNIOS E APOIOS INSTITUCIONAIS | SPONSORSHIP AND INSTITUTIONAL SUPPORT



COMISSÃO CIENTÍFICA | *SCIENTIFIC COMMITTEE*

Adélia Sequeira (IST)	José Luís Alves (UM)
Amílcar Ramalho (UC)	José Manuel Casanova (FMUC)
António Completo (UA)	José Oliveira Simões (UA)
António Figueiredo (UC)	Josep Llagunes (UPCatalonia)
António Ramos (UA)	Leandro Machado (FADEUP)
António Silva (UTAD)	Lídia Carvalho (INESCTEC)
António Veloso (FMH)	Luciano Menegaldo (UFRJ)
Aurélio Faria (UBI)	Luís Rocha (UM)
Cristina Santos (UM)	Luís Roseiro (ISEC)
Daniela Vaz (IPL)	Luísa Sousa (FEUP)
Elza Fonseca (IPB)	Manuel Gutierrez (FMUP)
Fernando Simões (IST)	Marco Parente (FEUP)
Fernando Gilberto Costa (FMUP)	Maria Augusta Neto (UC)
Filipa João (FMH)	Mário Augusto Vaz (FEUP)
Filipe Carvalho (CMRRC-Rovisco Pais)	Mário Forjaz Secca (UNL)
Filipe Silva (UM)	Mário João Gamelas (UNL)
Gonçalo Dias (UC)	Miguel Tavares da Silva (IST)
Helena Moreira (UTAD)	Miguel Velhote Correia (FEUP)
Hélder Rodrigues (IST)	Nuno Dourado (UM)
Jacinto Monteiro (FMUL)	Paulo Flores (UM)
Javier Cuadrado (UCoruña)	Paulo R. Fernandes (IST)
Joana Costa Reis (UÉvora)	Paulo Piloto (IPB)
João Espregueira-Mendes (CEM)	Pedro Coelho (UNL)
João Folgado (IST)	Pedro Martins (FEUP)
João MCS Abrantes (ULusófona)	Pedro Morouço (IPL)
João Manuel Tavares (FEUP)	Renato Natal Jorge (FEUP)
João Paulo Vilas-Boas (FADEUP)	Rita Santos Rocha (IPS)
Jorge Ambrósio (IST)	Ronaldo Gabriel (UTAD)
Jorge Belinha (FEUP)	Rui Barreiros Ruben (IPL)
Jorge Laíns (CMRRC-Rovisco Pais)	Rui Lima (UM)
José Alberto Ramos Duarte (FADEUP)	Rui Miranda Guedes (FEUP)
José Carlos Reis Campos (FMDUP)	Vera Moniz-Pereira (FMH)
José Luís Alves (UM)	

ANÁLISE DE TENSÕES EM BLOCOS COMPÓSITOS SUBMETIDOS A FURAÇÃO COM VELOCIDADE DE ROTAÇÃO CONSTANTE

*Lucas Azevedo*¹, *Goreti Fernandes*², *Elza Fonseca*³ e *Renato Natal*⁴

¹ Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; ldazevedo10@gmail.com

² INEGI, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal; mgfernandes@inegi.up.pt

³ LAETA, INEGI, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; efonseca@ipb.pt

⁴ LAETA, INEGI, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal; rnatal@fe.up.pt

PALAVRAS CHAVE: Furação, Elementos Finitos, Tensão.

RESUMO: *Este trabalho de investigação tem como objetivo a avaliação do estado de tensão gerado durante o processo de furação utilizando materiais sólidos de espumas de poliuretano rígidas com características similares ao osso cortical humano cadavérico. Foi desenvolvido um modelo experimental com recurso à técnica de extensometria e termografia, para obtenção das deformações no material e da temperatura na broca. Em simultâneo, foi desenvolvido um modelo numérico de dinâmica explícita calibrado com os resultados experimentais. Com base no estudo efetuado verificou-se que a diminuição da velocidade de avanço, para uma velocidade de rotação constante durante o processo de furação, provoca o aumento das tensões no material, em regiões próximas da zona de furação. Em relação à resistência mecânica do material, e para a zona instrumentada, não há registo de dano, com exceção da zona de furação devido à remoção do material.*

1 INTRODUÇÃO

A furação do tecido ósseo é uma operação mecânica extensamente realizada em procedimentos cirúrgicos ortopédicos. Em ambiente cirúrgico é fundamental o controlo dos parâmetros de furação envolvidos tendo em conta a qualidade e a densidade do osso [1, 2]. Existem diversos fatores relacionados com o processo de furação que podem induzir dano no tecido ósseo. O principal desafio em furação óssea é obter os furos pretendidos sem causar dano térmico e mecânico ao osso [3].

A redução do dano desempenha um importante papel na recuperação e regeneração do tecido ósseo. Assim, torna-se importante compreender os efeitos das condições de furação, geometria da ferramenta e do comportamento do material quando solicitado pelos esforços de corte.

Durante a furação óssea ocorre um aumento da temperatura que pode resultar em necrose do osso, i.e. morte celular quando a temperatura ultrapassa um determinado valor. A exposição a temperaturas iguais ou superiores a 50°C compromete a capacidade regenerativa do tecido ósseo, ocorrendo necrose quando a exposição é prolongada por mais de 30 segundos [4, 5]. Além da necrose, a aplicação de grandes esforços durante a furação pode resultar em dano mecânico para o osso, diminuindo significativamente a sua resistência [6]. Os principais parâmetros estudados e reportados pela literatura são a velocidade de avanço, a velocidade de rotação e a geometria da ferramenta. Têm sido realizadas diversas investigações numéricas e experimentais no sentido de verificar a

influência destes parâmetros em processos de furação óssea [7, 9, 10]. O aumento da velocidade de avanço provoca uma redução nos esforços de corte e na energia específica de corte durante a furação óssea. Este efeito deve-se à alteração no coeficiente de atrito que ocorre entre a broca e o osso quando existe aumento na velocidade de avanço [8].

No presente estudo, a componente experimental foi desenvolvida com recurso a materiais sólidos de espumas de poliuretano rígidas da *Sawbones* com propriedades mecânicas similares ao osso cortical humano cadavérico. Em simultâneo, foi desenvolvido um modelo numérico tridimensional (3D) de dinâmica explícita, através do método de elementos finitos (MEF), para simulação do processo de furação. Este modelo permite o cálculo das tensões geradas no material em função das condições de furação, das propriedades e comportamento do material, assim como da geometria da ferramenta de corte. O principal objetivo deste estudo é avaliar as tensões geradas na superfície dos materiais sólidos, quando solicitados por processos de furações, com a variação da velocidade de avanço e a velocidade de rotação considerada constante.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COMPONENTE EXPERIMENTAL

A componente experimental foi desenvolvida com recurso a dois blocos retangulares de espuma de poliuretano rígida. Os blocos apresentam dimensões de 130x180x40 mm e massa volúmica igual a 800 kgm⁻³. Os blocos foram instrumentados à superfície com 9 extensómetros lineares (1-LY18-6/120, 120Ω ± 0,35%, HBM) e conectados a um sistema de aquisição de dados (Vishay Micro Measurements P3 Strain Indicator Recorder) com ligação a um computador. A extensometria permitiu a leitura e o registo das deformações ao longo do tempo de furação, bem como obter o

perfil de tensões à superfície do bloco. Foram realizados 18 furos, com auxílio de uma máquina CNC (DMC 63V), cuja distância do centro do extensómetro foi considerada igual a 3,5 mm, conforme representado na Figura 1.

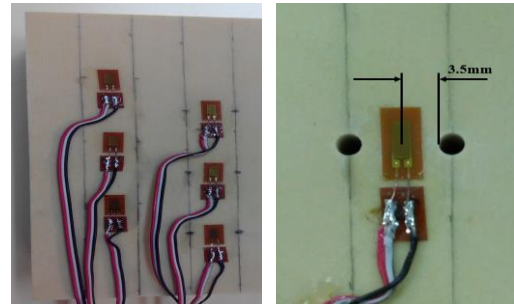


Fig. 1 Disposição dos extensómetros à superfície dos blocos

Nos parâmetros de furação foram utilizadas diferentes velocidades de avanço para uma velocidade de rotação constante. Foram analisadas três combinações de parâmetros, conforme definido na Tab. 1.

Tab. 1 Parâmetros de furação

Parâmetros de Furação	
Velocidade de avanço	25, 50, 75 mm/min
Velocidade de rotação	1200 rpm
Diâmetro da ferramenta	4 mm
Ângulo de ponta	118°
Profundidade do furo	30 mm

As temperaturas na ferramenta foram registadas, com uma câmara termográfica FLIR®T365, imediatamente antes e após a furação a 1,5 m de distância. As furações foram realizadas à temperatura ambiente e a emissividade do aço foi definida como 0,7. O setup utilizado para a componente experimental é apresentado na Fig. 2.

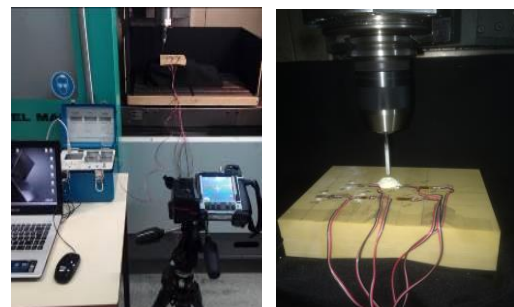


Fig. 2 Setup experimental

2.2 COMPONENTE NUMÉRICA

O MEF permite a concepção de modelos numéricos capazes de prever razoavelmente os esforços de corte gerados no material. Diferentes métodos de Lagrange podem ser utilizados em problemas que envolvam grandes deformações, sendo neste estudo utilizado o MEF com erosão de elementos. Os modelos numéricos 3D foram desenvolvidos de forma a simular o processo de furação. A análise foi realizada com recurso a um código de elementos finitos explícito, ANSYS LS-DYNA (LSTC, Livermore). O modelo numérico consiste numa broca reduzida, desenvolvida em SolidWorks, e no material sólido com configuração circular representativa do bloco, conforme apresentado na Fig. 3. O material sólido apresenta 5 mm de espessura e Ø12 mm, representando uma zona circular envolvente de um furo real.

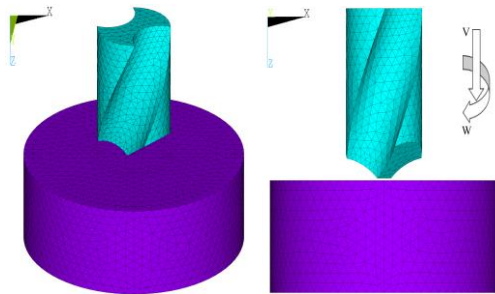


Fig. 3 Modelo numérico 3D

Foram realizados estudos de convergência de malhas, tendo sido adotada uma malha com elementos de dimensão igual a 0,5 mm em todo o modelo. O elemento finito utilizado no modelo numérico foi o *Solid 164*, que apresenta oito nós com três graus de liberdade nas direções x, y e z, elemento apenas disponível para análises dinâmicas explícitas. O modelo 3D foi discretizado com um total de 44058 elementos (o bloco com 38613 elementos e a broca com 5445 elementos).

A base do bloco foi considerada fixa com constrangimentos em todos os graus de liberdade. De forma a reduzir o tempo e o esforço computacional, a broca foi modelada como um corpo rígido, com

imposição da velocidade de rotação (W) no eixo longitudinal e velocidade de avanço (V) sobre o bloco. Devido à variação da velocidade de avanço, tornou-se necessário definir tempos de simulação diferentes, de forma a garantir a furação total do bloco representativo.

O comportamento do material sólido foi considerado elástico-plástico dependente da taxa de deformação e do critério de cedência do material. Foi utilizado o modelo de Cowper-Symonds (Eq. 1) em que se considera o endurecimento por deformação plástica e o efeito da velocidade de deformação plástica. No modelo de Cowper-Symonds com comportamento cinemático plástico [11], a relação de potência para o cálculo da tensão de cedência é a seguinte:

$$\sigma_y = \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{1/p} \right] \left(\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_p^{eff} \right) \quad (1)$$

Onde σ_y representa a tensão de cedência, β é o parâmetro de endurecimento por deformação plástica, que varia entre 0 para endurecimento cinemático e 1 para endurecimento isotrópico, σ_0 é a tensão de cedência inicial, $\dot{\epsilon}$ corresponde à intensidade da velocidade de deformação plástica, C é um parâmetro do material que define o efeito da intensidade da velocidade de deformação plástica, $1/p$ é constante do material definindo a sensibilidade da velocidade de deformação plástica, ϵ_p^{eff} corresponde à intensidade da deformação plástica. E_p é o parâmetro do material dependente do módulo de endurecimento de deformação plástica, designado por módulo tangente E_{tan} , e do módulo de Young E , obtidos pela Eq. 2.

$$E_p = \left(\frac{E_{tan} E}{E - E_{tan}} \right) \quad (2)$$

As propriedades mecânicas do bloco e da broca consideradas na análise são apresentadas na Tab. 2 [9, 11, 12].

Tab. 2 Propriedades dos materiais

Propriedades	Broca	Bloco
Massa volúmica [kg/m ³]	7850	800
Módulo de Young [MPa]	200000	987,1567
Coefficiente de Poisson	0,3	0,3
Tensão de cedência inicial		22,59
Módulo tangente [MPa]		0,91
Parâmetro de endurecimento		0,1
Parâmetro do material (C)		2,5
Constante do material (P)		7
Critério de erosão		0,0504

O contacto entre a broca e o bloco foi efetuado através de um algoritmo de contacto disponível no código LS-DYNA (*CONTACT_ERODING_SURFACE_TO_SURFACE). Este algoritmo é utilizado quando existe penetração da superfície de um corpo na superfície de outro corpo.

A remoção do material ocorre pela erosão de elementos, durante a deformação plástica quando este atinge o seu limite através de um critério pré-definido. No presente estudo foi utilizado o critério de erosão por falha de deformação, sendo que a erosão inicia quando o limite de deformação geométrico instantâneo é alcançado.

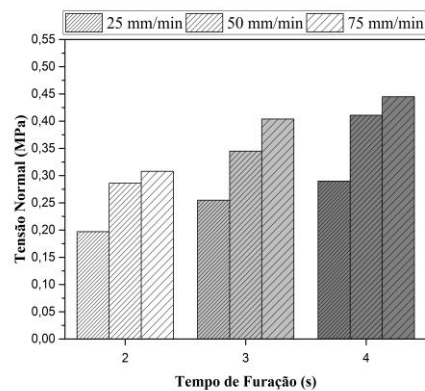
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas diferentes conjunções de parâmetros com o objetivo de verificar o efeito da velocidade de avanço na obtenção das tensões geradas à superfície do material. Foram utilizadas três velocidades de avanço (25, 50, 75 mm/min) para uma velocidade de rotação constante (1200 rpm) nas componentes experimental e numérica. Devido à diferença na profundidade de furação entre a componente experimental e numérica, os resultados são comparados em diferentes instantes de tempo (2, 3, 4s), permitindo uma melhor comparação. Os resultados experimentais (Fig. 4a) e numéricos (Fig. 4b) sugerem, que em processos de furação, a tensão normal

aumenta com a velocidade de avanço para o mesmo instante de furação. Esta tendência é mais evidente para maiores velocidades de avanço. Para o mesmo instante de furação, velocidades de avanço superiores implicam maior profundidade de furação, originando níveis de tensão mais elevados.

Os resultados numéricos (Fig. 4b), apesar de ligeiramente superiores, apresentam-se em concordância com os resultados experimentais (Fig. 4a).

(a)



(b)

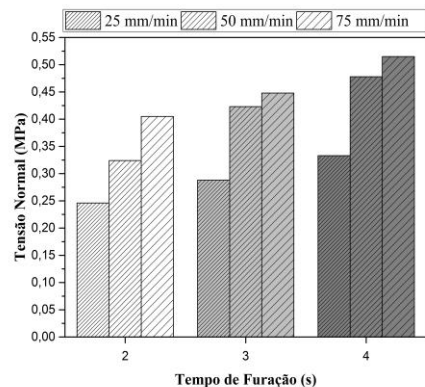


Fig. 4 Resultados experimentais (a) e numéricos (b), para diferentes instantes de tempo

A tensão normal tende a aumentar com a profundidade do furo, registrando-se o pico de tensão no final da furação. Assim, o estudo da tensão gerada no final do processo de furação revela-se essencial para a melhoria das condições de furação.

O efeito da velocidade de avanço na furação total do bloco (5 mm) para a componente experimental e numérica é apresentado na Fig. 5.

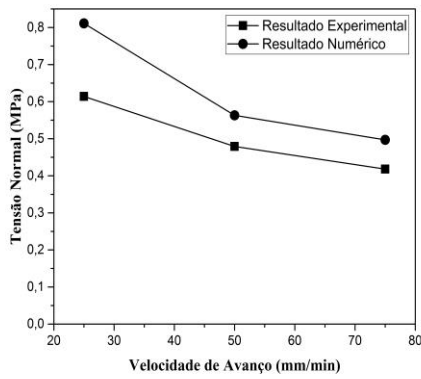


Fig. 5 Comparação da tensão normal máxima das componentes experimental e numérica.

Analisando a furação total do bloco, verifica-se que o aumento da velocidade de avanço provoca diminuição da tensão normal. Esta tendência observa-se tanto na componente experimental como na componente numérica. A diminuição da tensão com a utilização de velocidades de avanço superiores deve-se ao tempo de furação que é substancialmente menor. Os resultados da temperatura na broca depois da furação para os diferentes furos em função da velocidade de avanço são apresentados na Fig. 6.

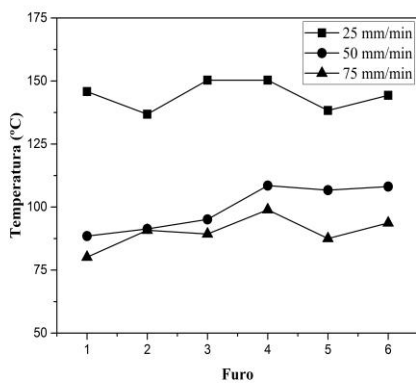


Fig. 6 Temperatura na broca, °C.

Na Fig. 6 verifica-se o efeito da velocidade de avanço na temperatura gerada na broca em processos de furação. Para a velocidade de rotação constante, o aumento na velocidade de avanço provoca a diminuição da temperatura gerada na broca.

Na Fig. 7 é apresentada a distribuição das tensões equivalentes de von Mises ((a) 25 mm/min, (b) 50 mm/min e (c) 75 mm/min).

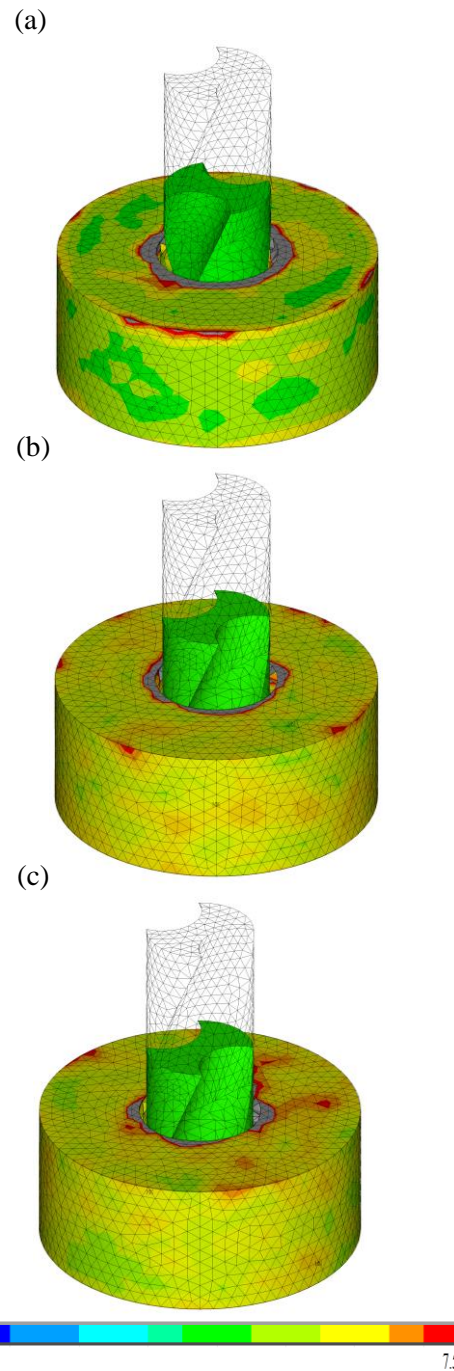


Fig. 7 Distribuição das tensões equivalentes de von Mises.

4 CONCLUSÃO

Foram analisadas diferentes conjugações de parâmetros com o objetivo de verificar o efeito da velocidade de avanço nas tensões geradas à superfície do material. O aumento

da velocidade de avanço provoca uma redução nos esforços de corte e na energia específica de corte durante a furação óssea. Para velocidade de rotação constante, o aumento na velocidade de avanço provoca diminuição do campo de tensões gerado na superfície do material sólido e diminuição da temperatura na ferramenta.

REFERÊNCIAS

- [1] R.K. Pandey, S.S. Panda, "Drilling of bone: A comprehensive review", *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, Vol. 4, nº 1, 15 – 30, 2013.
- [2] M.G.A. Fernandes, E.M.M. Fonseca, R.M. Natal, "Three-dimensional dynamic finite element and experimental models for drilling processes", *Proc IMechE Part L: J Materials: Design and Applications*, 1-9, 2015. DOI: 10.1177/1464420715609363 (in press).
- [3] J. Lee, B.A. Gozen, Y.R.B. Ozdoganlar, "Modeling and experimentation of bone drilling forces", *Journal of Biomechanics*, Vol. 4, 1074 – 1086, 2012.
- [4] R.A. Eriksson, T. Albrektsson, "The effect of heat on bone regeneration: na experimental study in the rabbit using the growth bone chamber", *Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, Vol. 42, 705 – 711, 1984.
- [5] J. Lundskog, "Heat and bone tissue: na experimental investigation of the thermal properties of bone and threshold levels injury", *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, Vol. 9, 1 – 80, 1972.
- [6] F.J. O'Brien, D. Taylor, T.C. Lee, "The effects of bone microstructure on the initiation and growth of microcracks", *Journal of Orthopaedic Research*, Vol. 23, nº 2, 475 – 480, 2005.
- [7] M. Basiaga, Z. Paszenda, J. Szewczenko, M. Kaczmarek, "Numerical and experimental analyses of drills used in osteosynthesis", *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol. 13, nº 4, 29 – 36, 2011.
- [8] J. Soriano, A. Garay, P. Aristimuño, et al., "Effects of rotational speed, feed-rate and tool type on temperatures and cutting forces when drilling cortical bone", *Machining Science and Tecnology: An International Journal*, Vol. 17, 611 – 636, 2013.
- [9] M.G.A. Fernandes, R. Natal, E.M.M. Fonseca, "*Analysis of stresses in drilled composite materials*", IEEE 4th Portuguese meeting in bioengineering (ENBENG), Porto, Portugal, 1 – 4, 2015.
- [10] – Cátia S.T. Sampaio, Elza M.M. Fonseca, Rui Cerqueira, Nelson Ferreira; Avaliação térmica provocada pela furação no tecido ósseo, *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, Vol.20, Nº1, 49-59, 2016.
- [11] – Lucas D. Azevedo, Maria G. A. Fernandes, Elza M.M. Fonseca, Renato M. Natal, "Análise de Tensões em Materiais Sólidos de Espumas de Poliuretano Rígidas Sob

Furação", *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, RIBIM, Vol.20, Nº2, 35-43, 2016.

[12] – M.G.A. Fernandes, E.M.M. Fonseca, R.J. Natal, "Thermal Analysis during bone drilling using rigid polyurethane foams: numerical and experimental methodologies", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol.38, Issue 7, 1855-1863, Springer, DOI: 10.1007/s40430-016-0560-4