



CNME 2014

congreso nacional de medicina experimental 15-17 oct. 2014

CNME 2014

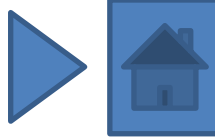


9º congresso nacional de mecânica experimental
Universidade de Aveiro 15-17 outubro 2014

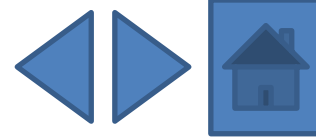
[ARTIGOS](#)

[AUTORES](#)

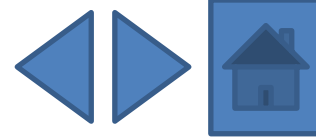
ISBN: 978-989-95695-6-0



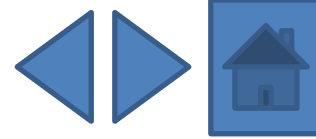
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **104:** *Estabilidade dimensional das madeiras de pinho, freixo, castanho e carvalho na presença de água*
D. Ferreira, E. Fonseca, C. Pinto, P. Borges
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **107:** *Dispositivo para investigação da resposta pupilar: considerações experimentais*
C. Bim, J. Canestri, M. Stófel, H. Oliva, R. Guimarães, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **108:** *Formulação de caldas à base de cal para injeção de alvenaria antiga*
E. Luso, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **109:** *Estudo da influência do adjuvante no desempenho de caldas fluidas à base de cal*
E. Luso, A. Monteiro
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **110:** *Monitorização e avaliação do comportamento de parafusos pré-esforçados BobTail®*
R. Matos, C. Rebelo
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **112:** *Colapso de pavimento elevado num edifício habitado: Causas e medidas de segurança imediatas*
F. Pinho
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **113:** *Amplificador mecânico de deformação*
D. Caseiro, S. Santos, C. Ferreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **114:** *Avaliação da temperatura na broca e no osso durante a furação, metodologia experimental e clínica*
C. Sampaio, E. Fonseca, R. Cerqueira



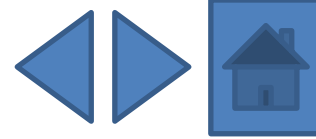
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **115:** *Metodologia para avaliar o efeito da temperatura em tecidos ósseos*
C. Sampaio, E. Fonseca, L. Barreira, J. Meireles
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **117:** *Validação numérica de lajes celulares em madeira com perfurações ao fogo*
J. Meireles, E. Fonseca, P. Piloto, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **118:** *Estudo dos efeitos da delaminação em compósitos de matriz polimérica*
O. Andrade, L. Durão
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **119:** *Estudo e caracterização de espécies portuguesas de madeira termicamente modificada*
J.C. Costa, J. Branco, A. Camões
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **120:** *Estudo preliminar das propriedades físicas dos implantes mamários*
N. Ramião, P. Martins, A. A. Fernandes, M. Barroso, D. Santos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **122:** *O papel dos efeitos locais e das características da fonte na resposta sísmica de estruturas afetadas por sismos nos Açores*
J. Estêvão, A. Carvalho
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **123:** *Verificação experimental do nível de precisão do método dos elementos de fibras de contacto*
J. Estêvão, A. Carreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **124:** *Evaluation main stress point of an oronasal interface for noninvasive ventilation*
L.S. Barros, R. Correa, M. Drummond, J. Gabriel, R. Natal



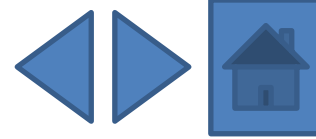
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **125:** *Avaliação experimental do comportamento ao fogo de lajes celulares em madeira com diferentes perfurações*
J. Meireles, P. Piloto, E. Fonseca, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **126:** *Análise experimental do desempenho de um turbocompressor em condições reais de operação*
A. Almeida, N. Pires, H. Santos, N. Martinho, J. Pereira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **128:** *Termografia e cicatrização de feridas cutâneas*
M. Chaves, A. Freire, R. Andrade, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **130:** *Estudo experimental e calibração numérica de ligações metálicas entre vigas I e colunas tubulares*
L. Magalhães, C. Rebelo, S. Jordão
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **134:** *Avaliação térmica da furação no osso cortical com e sem irrigação*
M. Fernandes, M. Vaz, R. Natal, E. Fonseca
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **135:** *Modelo 3D para análise térmica durante o processo de furação do osso cortical*
M. Fernandes, E. Fonseca, R. Natal
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **136:** *Estudo do processo de quinagem para aplicação prática em programação CNC de quinadoras*
R. Amaral, A. Santos, J. Bessa Pacheco, S. Miranda
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **138:** *Desenvolvimento de uma plataforma de força para análise quantitativa do equilíbrio postural*
S.F. Santos, J. Canestri, R. Guimarães, M. Pinotti



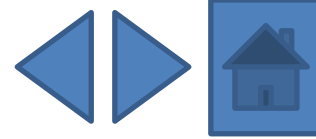
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **139:** *Sistema experimental para caracterização de materiais com o ensaio de expansão*
H. Campos, A. Santos, B. Martins, J. Bessa Pacheco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **146:** *An experimental framework for the support of multi-physics simulation models of aerial lime for historic masonry structures*
M. Oliveira, A. Meneghini, M. Azenha, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **148:** *Determinação das propriedades físicas da parede do colmo do bambu*
M.A. Smits, V. Pizzol, E. Carrasco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **151:** *Estimativa da densidade e dureza Janka de madeiras tropicais por meio do método de penetração*
R.C. Alves, M.A. Smits, E. Carrasco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **152:** *Instrumentação das pás directrizes da turbina Wells da central de ondas da Ilha do Pico*
M. Vieira, A. Ribeiro, A. Sarmiento, L. Reis
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **153:** *Ancoragens de pré-esforço por aderência - exploração de uma solução*
H. Fernandes, V. Lúcio, D. Faria
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **154:** *Comportamento mecânico da liga de magnésio AZ31B sob carregamento multiaxial*
H. Videira, V. Anes, R. Cláudio, M. Freitas, L. Reis
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **155:** *Vigas lintel para estruturas de alvenaria e aplicação em caso de estudo*
J.P. Gouveia, G. Vasconcelos, P. Bernardino, P. Costa, P. Lourenço



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **156:** *Determinação da rigidez de uma areia com recurso a bender elements e acelerómetros: princípio de medição e aplicações*
C. Pereira, A. Correia, C. Ferreira, N. Araújo
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **158:** *Dispositivo experimental para caracterização do comportamento viscoelástico do betão sob a ação da retração restringida*
L. Leitão, R. Faria, L. Teixeira, M. Azenha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **159:** *Streamlining field inspections for infrastructures life-cycle management*
B. Gonçalves, J. Matos, P. Lourenço, P. Gonçalves
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **161:** *Mechanical characterization of traditional timber connections: experimental results*
E. Poletti, G. Vasconcelos, J. Branco, A. Koukouviki
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **163:** *The bone tissue remodelling analysis using meshless methods: a femoral implant study*
J. Belinha, L. Dinis, R. Natal
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **165:** *Revestimentos PVD em microcavidades para moldação por injeção*
B. Mestre, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **167:** *Comportamento à fadiga de aços estruturais. Comparação de resultados de deformação-viga e taxas de propagação de fendas de fadiga*
D. Carvalho, A. Silva, A. Jesus, A. A. Fernandes



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **168:** *Comportamento experimental de configurações inovadoras de ligações de emenda em perfis tubulares*
R. Simões, S. Jordão, J. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **170:** *Aplicação de filmes de diamante nanocristalino como camada protetora em células fotovoltaicas*
R.N. Simões, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **171:** *Estudo de tolerância de dano num componente ferroviário de aço vazado ASTM148-90-60*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **172:** *Correlação entre ensaios com câmara termográfica e resistógrafo na avaliação da integridade de vigas antigas de madeira*
J.T. Pinto, V. Cunha, A. Arêde, J. Miranda Guedes, S. Cunha, A. Feio, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **173:** *Influência de revestimentos de nanodiamante no fluxo polimérico em microinjeção*
C. Santos, M. Oliveira, T. Zhiltsova, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **174:** *Paredes de alvenaria de pedra de folha única: caracterização geométrica e comportamento estrutural*
C. Almeida, J. P. Guedes, A. Arêde, A. Costa
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **175:** *Avaliação experimental do comportamento de T-stubs sujeitos a ações de impacto*
P. Barata, A. Santiago, C. Rigueiro, J.P. Rodrigues



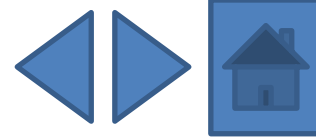
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **176:** *Vibração de uma viga elástica com grandes amplitudes*
F. Queirós de Melo, M. Vaz, P. Rebelo, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **177:** *Perfis IPE ao fogo: método da capacitância global versus modelo computacional*
E. Fonseca, D. Ferreira, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **178:** *Forqueta de bicicleta em fibra de carbono com fibras piezoelétricas*
M. Frade, R. Ruben, C. Capela
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **179:** *Caracterização dinâmica de estruturas à escala real produzidas com agregados grossos reciclados de betão*
J. Pacheco, J. Brito, J. Ferreira, D. Soares
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **180:** *Caraterização de poliuretanos com memória de forma reforçados com nanotubos de carbono para controlo ativo*
M. Fonseca, B. Silva, L. Ferreira, J. Amaral, M.S. Oliveira, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **181:** *Utilização de redes de Bragg em fibras óticas para caracterização da memória de forma de poliuretanos reforçados com nanotubos de carbono*
M. Fonseca, N. Alberto, B. Silva, V. Neto, R. Nogueira, M.S. Oliveira, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **182:** *Análise termomecânica de perfis enformados a frio*
L. Mesquita, M. Mendonça, R. Ramos, L. Barreira, P. Piloto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **183:** *Eficiência da proteção ao fogo de tintas intumescentes com granulado de cortiça*
L. Mesquita, M. Teixeira, P. Piloto, L. Barreira



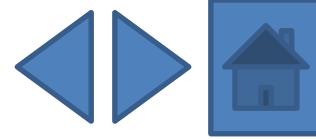
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **184:** *Previsão do comportamento de tecidos cartilagíneos em bioreator em resposta a estímulos mecânicos*
C. Bandeiras, A. Completo, A. Ramos, A. Rufino, M. Ribeiro, J. Pinto Ferreira, A. Mendes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **186:** *Análise experimental da resistência à compressão a altas temperaturas de um betão com chips de PET*
H. Caetano, J. Rodrigues, P. Pimienta
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **187:** *Estudo da delaminação sob fadiga em modo II de laminados carbono/epóxico*
J.A. Sousa, A. Pereira, A. Morais
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **188:** *Determinação de relações tensão-abertura de fenda de BRFA através de análise inversa*
N.D. Gouveia, A. Custódio, D. Faria, A. Ramos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **190:** *Comportamento à fadiga oligocíclica extrema de aços para pipelines – uma abordagem experimental*
J.C.R. Pereira, A. Jesus, A. Fernandes, J. Xavier
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **191:** *Avaliação da eficiência fotodinâmica de extratos de uma planta do cerrado brasileiro para utilização em terapia fotodinâmica*
C. Nunes de Melo, R. Cruz, R. Pietra, B. Soares, M. Ferreira, M. Pinotti
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **196:** *Vulnerabilidade de sistemas de revestimento exterior de coberturas*
J. T. Pinto, S. Pereira, A. Briga-Sá, J. Vieira, A. Borges, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **197:** *Desenvolvimento e ensaios experimentais de módulos energéticos para revestimento de edifícios*
R. Oliveira, R. Coelho, A. Torres Marques, J.A.O. Simões, C. Torres



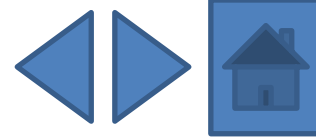
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **198:** *Método da Aproximação Local no estudo de vida à fadiga de um componente ferroviário*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **199:** *Validação do modelo numérico da ligação tipo T-stub sujeita a acções de impacto*
J. Ribeiro, C. Rigueiro, A. Santiago
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **200:** *Métodos experimentais usados na determinação das propriedades mecânicas de betões a altas temperaturas*
C. Santos, J. P. Rodrigues, H. Caetano
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **202:** *Bond performance in NSM-strengthened masonry brick*
H. Maljaee, B. Ghiassi, P. Lourenço, D. Oliveira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **204:** *Caraterização do comportamento ao corte de alvenaria de blocos de terra compactada com junta seca*
R.A. Silva , D. V. Oliveira, T. Miranda, E. Soares, N. Cristelo, P. Lourenço
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **206:** *Monitorização térmica do processo de moldação por injeção plástica com redes de Bragg em fibra ótica*
N. Alberto, R. Nogueira, V. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **207:** *Análise da integridade de juntas de cimento-cola em mosaicos decorativos de fachadas*
F. Queirós de Melo, L. Silva, C. Lopes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **209:** *Investigação experimental de catalisadores de três vias para veículos automóveis*
H. Santos, M. Costa



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **210:** *The influence of moisture content and gaps on the withdrawal resistance of self tapping screws in CLT*
C. Silva, A. Ringhofer, J. Branco, P. Lourenço, G. Schickhofer
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **212:** *Comparação entre duas técnicas ópticas emergentes na IND de estruturas compósitas - interferometria laser e termografia*
J. Monteiro, H. Lopes, M. Vaz
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **213:** *Biomechanical analysis of metaphyseal sleeves used for tibial bone*
A. Chan, A. Completo, J. Gamelas, J. Folgado, P. Fernandes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **214:** *Controlo de vibrações em comportas de borracha insufláveis com largura de ancoramento variável*
J. Amorim, J. Dias Rodrigues
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **216:** *Análise vibroacústica de placas com tratamentos parciais de amortecimento usando uma teoria layerwise e o método de Rayleigh-Ritz*
J. Amorim, J. Dias Rodrigues
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **218:** *Experimental evaluation of the stiffness of the sheep cervical vertebrae*
A. C. Pires, F. Vaz, J. Folgado, P. Fernandes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **219:** *Análise do comportamento cíclico de pilares de pontes reforçados com bandas de CFRP*
P. Delgado, F. Sousa, P. Rocha, A. Arêde, N. Vila Pouca, A. Costa, R. Delgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **221:** *Estudo das vibrações induzidas no sistema mão - braço de atletas de Basquetebol*
P. Santos, A. Amaro, L. Roseiro, M. Neto, C. Alcobia



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **222:** *Vibrações induzidas no sistema braço-mão na manipulação de uma roçadora de mato*
L. Roseiro, V. Maranhã, C. Alcobia, A. Amaro, M. Neto
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **223:** *Lock-in thermography online*
A. Silva, M. Vaz P. Moreira e J. Gabriel
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **225:** *Caracterização do comportamento cíclico de vigas de betão armado fendilhadas, com sensores de Bragg*
C. Sousa, C. Rodrigues, J. Malveiro, R. Calçada, A. Neves
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **226:** *Development of a simplified model for joints in steel structures*
F. Gentili, R. Costa, L. S. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **230:** *Pilares mistos com placas de base abertas solicitados à flexo-compressão*
R. Neuenschwander, E. Carrasco, F. Rodrigues, R. Fakury
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **238:** *Fadiga em pavimentos rodoviários flexíveis: uma abordagem experimental*
A. Costa, A. Benta
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **239:** *Avaliação experimental e numérica da resistência de vigas com secções em Ω enformadas a frio furadas*
N. Lopes, P. Vila Real, A. Reis, F. Arrais
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **241:** *Caracterização do comportamento mecânico de uma vertebra lombar; com e sem cimentação*
C. Carneiro, M. Vaz, N. Neves, C. Ribeiro



- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **242:** *Análise experimental de tensões geradas por aperto de parafusos através de fotoelasticidade*
A.P. Salazar, F. Brites
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **243:** *Verificação da resistência de um perfil laminado com concentrador de tensões*
F. Brites, I. Barbosa
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **244:** *Análise por molhabilidade e AFM da superfície de Ti6Al4V submetido à texturização mecânica*
F. Brites, I. Barbosa, L. Santos
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **245:** *Desenvolvimento de um método de ensaio para avaliação experimental in-situ do comportamento fora do plano de paredes de alvenaria*
A. Costa, A. Arêde, A.A. Costa, T. Ferreira, A. Gomes, H. Varum
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **246:** *Comportamento de lajes de betão armado reforçadas à flexão usando a técnica NSM com laminados de CFRP pré-tensionados*
S.J. Dias, M. Hosseini, J. Barros
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **247:** *Caracterização experimental do comportamento de aderência de varões compósitos têxteis*
A. Martins, G. Vasconcelos, R. Frangueiro, F. Cunha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **248:** *Caracterização experimental de pilares de betão armado reforçados e reparados sujeitos à flexão biaxial*
H. Rodrigues, A. Arêde, A. Furtado, P. Rocha
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **249:** *Caracterização experimental do comportamento para fora do plano das paredes de alvenaria de enchimento*
A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde



A B C D E **F** G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

Fakury, R.H.	230	Ferreira, J.P.	184
Faria, D.M.	153 188	Ferreira, M.	191
Faria, R.	158	Ferreira, T.	245
Feio, A.	172	Folgado, J.	213 218
Fernandes, A.	120 167 190	Fonseca, E.	104 114 115 117 125 134 135 177
Fernandes, M.	134 135	Fonseca, M.	180 181
Fernandes, H.	153	Frade, M.	178
Fernandes, P.	213 218	Frangueiro, R.	247
Ferreira, D.	104 177	Freire, A.	128
Ferreira, C.D.	113	Freitas, M.	154
Ferreira, C.	156	Furtado, A.	248 249
Ferreira, J.G.	179		
Ferreira, L.	180		

AVALIAÇÃO TÉRMICA DA FURAÇÃO NO OSSO CORTICAL COM E SEM IRRIGAÇÃO

THERMAL EVALUATION OF BONE DRILLING IN A CORTICAL BONE WITH AND WITHOUT IRRIGATION

Fernandes, M.G.A. ¹; Vaz, M. ²; Natal, R.M.J. ²; Fonseca, E.M.M. ³

¹ PhD Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

² Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

³ Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança



RESUMO

A osteotomia ou corte do tecido ósseo é um procedimento comum na cirurgia ortopédica, nomeadamente no tratamento cirúrgico de fraturas e reconstrutoras. No entanto, o calor produzido durante a perfuração óssea é um problema que se contrapõe aos benefícios deste tipo de intervenção cirúrgica. Estudos revelam que temperaturas acima dos 47°C provocam osteonecrose térmica agravando-se com a utilização de brocas com diâmetros $\geq 4,5$ mm, sem irrigação. No presente estudo utilizou-se um método de análise da temperatura durante a furação óssea. Numa fase inicial, com a utilização de termopares tipo k e uma câmara termográfica, mediu-se a temperatura ocorrida durante um processo de furação em blocos da Sawbones com propriedades aproximadas às do osso humano cortical. Posteriormente, desenvolveu-se um modelo numérico para simular o aumento de temperatura no osso durante o processo de furação através da análise por elementos finitos. Os resultados numéricos e experimentais são concordantes e permitiram identificar quais as situações e zonas consideradas mais propícias para a ocorrência de necrose térmica.

ABSTRACT

The osteotomy or bone cutting is a common procedure in orthopedic surgery, mainly in the treatment of fractures and reconstructive surgery. However, the heat produced during the bone drilling is a problem that oppose the benefits of this type of surgery. Studies show that temperatures above 47 ° C cause thermal osteonecrosis and worse with the use of drills by diameters ≥ 4.5 mm, without irrigation. The main goal of this study was to use a method for analyzing the temperature during bone drilling. We used thermocouples type k and a thermal imaging camera for measuring temperature during a drilling process into biomechanical blocks, supplied by Sawbones with similar properties those of human cortical bone. Subsequently, we developed a numerical model to simulate the temperature increase in the bone during the drilling process by finite element analysis. The numerical and experimental results agree and allow identify which situations and more critical regions with more probability for bone necrosis.

1- INTRODUÇÃO

As intervenções cirúrgicas que envolvem a furação do tecido ósseo são uma prática cada vez mais frequente na medicina. E com ela surgiu a necessidade de aprimorar o processo, reduzindo a geração de calor nos tecidos envolventes, e consequentemente a necrose óssea.

O calor gerado é o resultado da fricção entre a superfície cortante da broca em contacto com o orifício e os fragmentos de osso formados durante a furação (Abbage 1998; Carvalho et al. 2004). Assim, são vários os parâmetros de corte envolvidos no processo de furação óssea que influenciam diretamente as temperaturas geradas no local perfurado: a velocidade de rotação, a velocidade de avanço, a força de corte, a profundidade do corte, o tipo de material e a geometria da broca, bem como o tipo de osso envolvido (Sezek et al. 2012; Lopes 1977).

Em processos de furação óssea, os efeitos da geração de calor são, habitualmente, bastante severos, uma vez que a ferramenta de corte encontra-se inserida numa área restrita e permanece em contacto constante com as aparas. Nestes casos, o controlo do calor gerado é essencial para assegurar a integridade do osso e dos tecidos envolventes (Tu et al. 2013). No entanto, a intensidade do calor gerado e a distribuição de temperatura na interface de corte são difíceis de serem determinados.

Existem diversos estudos encontrados na literatura envolvendo a determinação da temperatura no osso, resultante do processo de furação. A maioria desses estudos baseiam-se em estudos experimentais com diferentes metodologias, usando ossos de animais mortos tais como porco, coelho, boi, e até mesmo ossos humanos. Alguns desses estudos são complementados com métodos convencionais para aquisição dos valores de temperatura nomeadamente, termopares inseridos no osso em posições adjacentes à broca e ainda recentemente o recurso à termografia. Em geral, as análises experimentais visam estabelecer a relação

dos parâmetros de corte com o calor gerado no osso, fornecendo uma boa indicação de como seria o comportamento térmico do osso humano vivo quando submetido a diferentes conjuntos de parâmetros de corte (Sezek 2012; Shin e Yoon 2006). Contudo, a medição direta das temperaturas neste tipo de processos é extremamente complexa devido às condições físicas, como por exemplo o movimento da broca e a presença de aparas (Sousa 2009). Estas limitações induzem a necessidade de complementar os modelos experimentais com modelos numéricos para a determinação do fluxo de calor gerado na interface, assim como o campo de temperaturas na interface de corte e em todo o tecido envolvente.

Neste estudo, o principal objetivo foca-se no desenvolvimento de uma metodologia para a análise da temperatura durante processos de furação óssea, com recurso aos métodos experimentais e numéricos. Na metodologia experimental são utilizados termopares tipo k e uma câmara termográfica. O registo experimental das temperaturas é efetuado em blocos da *Sawbones* com propriedades similares à do osso cortical. Na metodologia numérica é utilizado o método dos elementos finitos para simular o aumento da temperatura durante o processo de furação, através de uma análise térmica transiente.

2- MODELO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de medir a variação da temperatura durante um processo de furação óssea, foi utilizado um bloco da *Sawbones* (Fig. 1) com uma dimensão de 130mmx180mmx40mm e com densidade aproximada à do osso humano cortical. O registo da temperatura no interior do bloco foi efetuado através da instalação de termopares tipo k, colocados em duas faces opostas do bloco e em posições adjacentes à broca. Todos os termopares estavam ligados a um sistema de leitura para a aquisição de dados, o *MGCplus*.

Avaliação Térmica da Furação no Osso Cortical Com e Sem Irrigação



Fig. 1- Bloco teste da *Sawbones* e furações.

A instalação dos termopares realizou-se através de furações laterais com diâmetro de 3,5mm. Numa das faces considerou-se os termopares colocados à mesma distância da broca (Lado A), e na outra face os termopares foram colocados a distâncias diferentes (Lado B), Fig. 2.

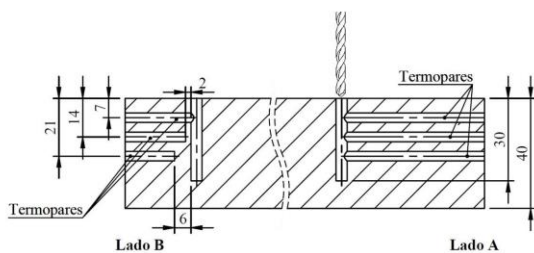


Fig. 2 – Posição dos termopares.

Os termopares foram devidamente etiquetados para a identificação de cada canal e respetiva ligação ao sistema de aquisição de dados. A Fig. 3 representa o desenho de definição do bloco em estudo.

Tabela 1- Identificação dos termopares.

ID Termopar	Definição
A/B-T	Lado A ou B, termopar a 7mm de profundidade
A/B-M	Lado A ou B, termopar a 14mm de profundidade
A/B-R	Lado A ou B, termopar a 21mm de profundidade

Para a realização das furações, durante o registo de temperaturas, utilizou-se uma máquina de comando numérico CNC, Fig. 4. Foram utilizados 2 blocos com as mesmas características, tendo sido efetuadas 28 furações verticais (16 num bloco e 12 noutro bloco) com diâmetro de 4mm e profundidade de 30mm. Durante o processo de furação efetuou-se o registo de temperaturas com e sem irrigação. Na furação com irrigação utilizou-se ar comprimido e na furação sem irrigação o processo decorreu sem qualquer efeito externo.

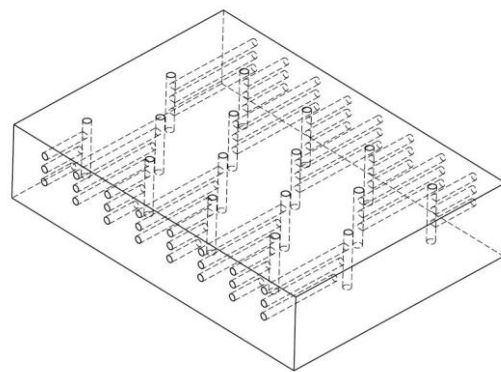
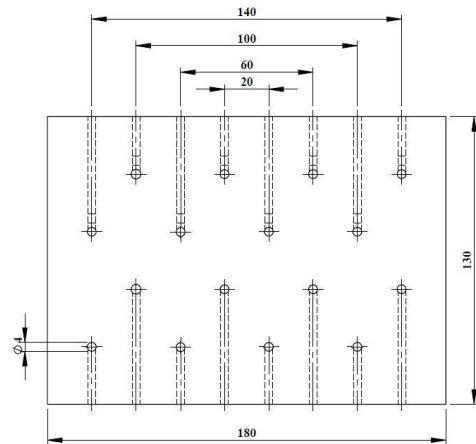


Fig. 3 – Modelo CAD do Bloco da *Sawbones*.

Para cada furação registaram-se três leituras no interior do bloco, considerando a profundidade do furo e a distância entre a broca e o termopar. A broca utilizada neste método experimental é de aço rápido sinterizado, 4mm de diâmetro, 40mm de comprimento e um ângulo de ponta igual a 135°. Para além da utilização de termopares para o registo de temperaturas no bloco, também foi utilizada uma câmara termográfica FLIR® T365 que permitiu medir a temperatura na broca, durante o processo de furação, Fig. 4. Esta câmara foi posicionada a uma distância de 1,5 m da zona de furação.

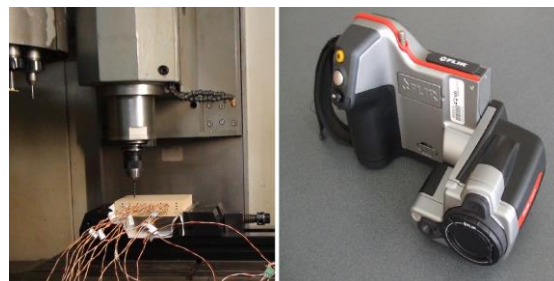


Fig. 4 - Furação do bloco e máquina termográfica.

As 28 furações foram efetuadas atendendo a um conjunto de parâmetros definidos na tabela 2, (Fonseca et al. 2012).

Tabela 2 – Parâmetros utilizados na furação.

Parâmetros	
Diâmetro da broca	4 mm
Comprimento da broca	30 mm
Velocidade de rotação	800 rpm
Velocidade de avanço	50 mm/min
Tempo total (furação e arrefecimento)	45 s + 55 s

3- MODELO NUMÉRICO

Respeitando as dimensões do bloco utilizado no modelo experimental, todas as variáveis envolvidas, e o uso ou não da irrigação, considerou-se um modelo numérico tridimensional com o objetivo de simular a variação da temperatura no interior do bloco durante o processo de furação. Para este propósito utilizou-se o método dos elementos finitos através do programa Ansys® (versão 14.5). Efetuou-se uma análise em regime transiente para um tempo total de 100s. Na tabela 3 estão representadas as propriedades consideradas na análise numérica (Magalhães et al. 2013, The European Union 2005).

Tabela 3 – Propriedades térmicas.

Propriedades	Broca	Cortical
Densidade (kg/m ³)	7850	800
Condutividade térmica (W/mK)	53,3	0,4
Calor específico (J/kgK)	440	1260

Optou-se por efetuar uma malha de elementos finitos representativa de uma furação, incluindo o material cortical e o material da broca, Fig. 5. Para este tipo de análise foi utilizado um elemento térmico 3D de 8 nós, *Solid70*, com capacidade de formação de elementos tetraédricos com 4, 5 ou 6 nós.

Considerou-se uma temperatura inicial em todo o modelo de 18,5°C. Com base no registo de curvas de temperatura obtidas com a câmara termográfica, referentes à broca durante o processo de furação óssea, as condições de fronteira impostas no modelo numérico foram de temperatura prescrita em regime transiente.

Para o caso do modelo sem irrigação a temperatura na broca registou a evolução apresentada na Fig. 6. No modelo com irrigação a temperatura na broca manteve-se constante, com valores registados na ordem dos 19°C. Os valores destas temperaturas foram colocadas como condição fronteira na superfície da broca, Fig. 5. Simultaneamente, na superfície superior, relativa ao osso, foi considerada convecção natural.

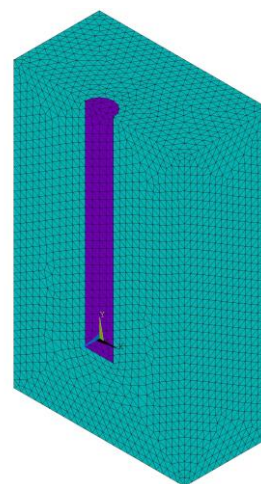


Fig. 5 – Malhas de elementos finitos.

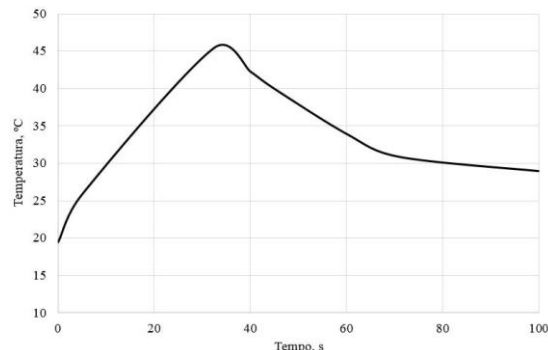


Fig. 6 – Curva de calor da broca, obtida com a câmara termográfica, sem irrigação.

4- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Respeitando as distâncias dos termopares em relação à broca no modelo experimental (Fig. 2), foram consideradas 5 posições nodais diferentes no modelo numérico. Os resultados dos campos de temperatura nodais foram comparados com os obtidos experimentalmente e estão representados nas figuras 7 a 10. Utilizou-se a legenda identificada na tabela 1, com a designação E para experimental e N para resultados numéricos.

Avaliação Térmica da Furação no Osso Cortical Com e Sem Irrigação

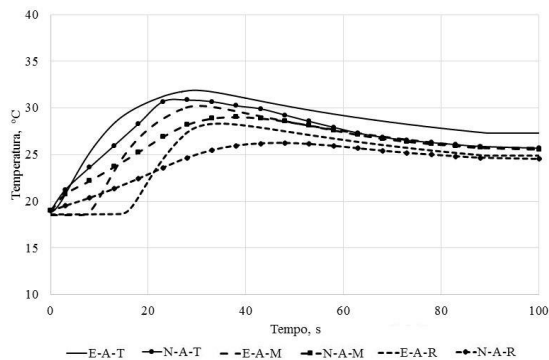


Fig. 7 – Furação Lado A, sem irrigação.

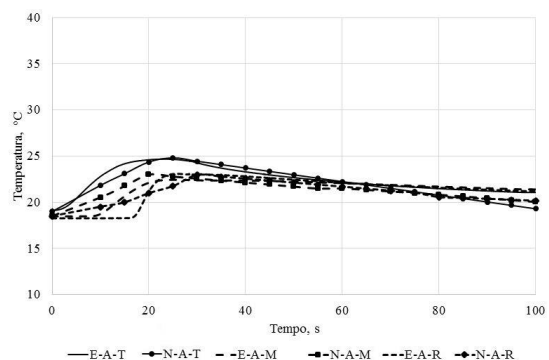


Fig. 8 - Furação Lado A, com irrigação.

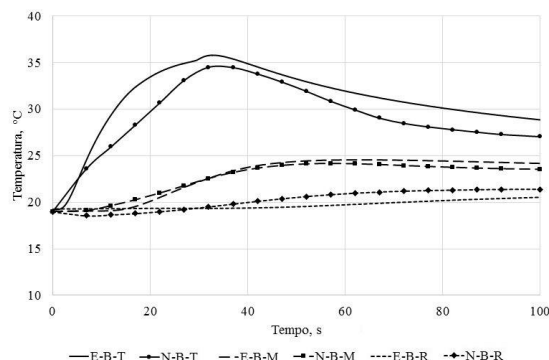


Fig. 9 – Furação Lado B, sem irrigação.

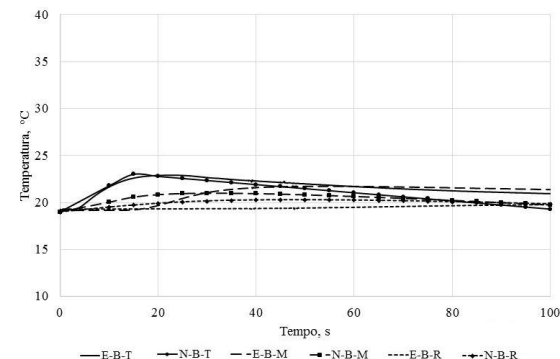


Fig. 10 - Furação Lado B, com irrigação.

Na interpretação dos resultados verifica-se que as temperaturas obtidas no tecido ósseo durante o processo de furação têm um comportamento similar às obtidas no modelo numérico. Uma vez que o calor gerado ao longo da furação não é facilmente conduzido para fora do tecido ósseo, é importante analisar a distribuição da temperatura na vizinhança próxima do furo. Assim, confirmou-se que a temperatura aumenta muito rapidamente na região do osso, na zona adjacente ao furo e vai diminuindo com o afastamento da zona de furação. Este acontecimento já era previsto, uma vez que o osso é considerado um mau condutor térmico e por isso não conduz facilmente o calor gerado ao longo da furação para fora da zona do furo. Os resultados obtidos numericamente confirmam este mesmo comportamento. Comparando os lados A e B é evidente que os picos máximos de temperatura atingidos encontram-se nos termopares localizados na interface da broca e do osso, e nas profundidades próximas da zona do orifício. Os picos máximos de temperatura foram atingidos, tanto para os modelos experimentais como numéricos, no intervalo de tempo entre os 25s-35s. Em geral, todos os furos encontram-se a temperaturas entre os 18°C e os 40°C, não ultrapassando o limite que pode originar lesão óssea nos tecidos, segundo (Augustin, et al., 2008; Augustin, et al., 2012).

Outro aspeto evidente nos resultados apresentados é a diferença de temperaturas considerando a utilização de irrigação, através do ar comprimido, durante o processo de furação. Este procedimento permite a refrigeração de todo o material envolvido e consequentemente as temperaturas atingidas são menores quando comparadas com os furos onde esse procedimento não foi utilizado. Para cada ensaio de furação foram retiradas, através da câmara termográfica, duas imagens térmicas da broca, considerando o instante inicial, antes de iniciar o furo e o instante logo após a conclusão do furo. Nas figuras 11 e 12 estão representadas imagens considerando dois furos, com e sem irrigação.

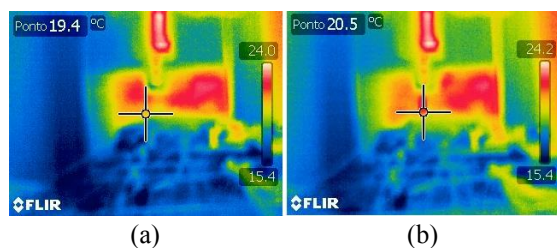


Fig. 11 – Imagem termográfica da broca para furo com irrigação: (a) antes e (b) após a furação.

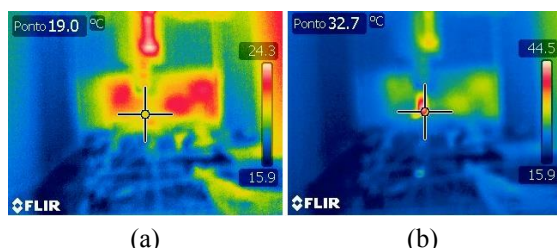


Fig. 12 - Imagem termográfica da broca para furo sem irrigação: (a) antes e (b) após a furação.

Para uma análise geral de todos os furos realizados, calculou-se a média e o desvio padrão (SD) da distribuição das temperaturas obtidas nos diferentes termopares, tabela 4. Do total das furações

realizadas, foram utilizadas 11 com irrigação e 11 sem irrigação. Após a análise de todos os ensaios de furação, verifica-se que os termopares situados em posições mais próximas da zona de furação registaram valores de temperatura mais elevados, assim como as furações em que não foi utilizada a irrigação. A comparação entre os diferentes desvios padrões obtidos permitiu verificar que existe uma maior discrepância nas temperaturas registadas em furos realizados sem recurso à irrigação, em comparação com os furos realizados com recurso à irrigação. Este comportamento era previsível, uma vez que as furações acompanhadas de ar comprimido registam gamas de valores menos alargados. O pico máximo de temperatura atingido encontra-se no termopar T do Furo 7, sem irrigação e no Lado B, com um valor médio de 33,23°C, enquanto que o valor mais baixo regista-se no termopar R do Furo 1, com irrigação e também no Lado B.

Tabela 4 – Média e desvio padrão (SD) das temperaturas registadas nos diferentes furos e termopares.

Nº Furo	Termopar	Com irrigação				Sem irrigação			
		Lado A		Lado B		Lado A		Lado B	
		Média	SD	Média	SD	Média	SD	Média	SD
1	T	22,5	1,3	22,33	1,96	27,67	2,96	32,53	5,41
	M	21,5	1,2	20,77	0,93	26,99	3,43	23,99	2,39
	R	21,4	1,6	19,19	0,19	—	—	19,83	0,64
2	T	20,38	0,82	21,40	0,83	27,64	3,22	30,61	3,47
	M	21,75	1,55	21,35	1,08	25,66	3,67	23,11	1,96
	R	19,97	1,44	19,52	0,19	24,28	3,72	19,87	0,53
3	T	21,26	0,89	21,57	0,83	28,33	3,44	27,58	3,04
	M	21,71	1,30	21,01	0,89	26,17	3,63	23,49	1,74
	R	20,41	0,88	19,52	0,19	24,55	3,52	20,41	0,75
4	T	24,52	2,72	23,00	1,78	26,00	2,32	32,41	4,83
	M	23,42	2,00	21,29	0,98	25,51	2,84	24,54	1,98
	R	22,12	1,84	19,63	0,20	24,38	3,37	20,26	0,75
5	T	—	—	23,45	1,35	—	—	31,34	4,06
	M	—	—	21,86	1,16	—	—	25,21	2,98
	R	—	—	19,81	0,21	—	—	20,38	0,75
6	T	—	—	22,97	1,04	—	—	30,39	3,30
	M	—	—	20,88	0,82	—	—	25,64	2,83
	R	—	—	20,15	0,12	—	—	20,86	0,89
7	T	—	—	22,69	1,08	—	—	33,23	4,45
	M	—	—	21,26	0,94	—	—	26,53	3,32
	R	—	—	20,26	0,14	—	—	20,93	0,86

5- CONCLUSÕES

Este estudo permitiu apresentar resultados experimentais de temperaturas obtidas durante um processo de furação óssea, considerando ou não o uso de irrigação. Foram também apresentados resultados numéricos que traduzem robustez e concordância com os resultados experimentais, revelando-se ótimas ferramentas de análise para este tipo de situações. Os ensaios realizados permitiram concluir que o uso de irrigação, através de ar comprimido, diminui significativamente a agressão ao tecido ósseo, uma vez que foram os modelos que registaram campos de temperaturas menos elevados. Tanto os ensaios experimentais como os modelos numéricos indicaram que os picos de temperatura registavam-se nas zonas adjacentes à broca e perto do orifício de furação. A temperatura diminui com o afastamento destas zonas, concluindo-se assim que as zonas mais críticas para a ocorrência de necrose térmica são junto ao furo. No entanto, e de acordo com estudos encontrados na literatura, os modelos considerados neste estudo, apresentam uma gama de valores que não é suficiente para a ocorrência da necrose térmica.

6- AGRADECIMENTOS

A autora deste trabalho agradece o apoio do Projeto “Biomechanics: contributions to the healthcare” cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (ON.2 – O Novo Norte), ao abrigo do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

7- REFERÊNCIAS

Abagge, M. 1998. Necrose Térmica do Osso Produzida por Perfuração com Broca Metálica, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná.

Augustin, G., Davila, S., Mihoci, K., Udiljak, T., Vedrinar, D. S., & Antabak, A. 2008. Thermal osteonecrosis and bone drilling parameteres revisited. Arch orthop Trauma surg, 128:71-77.

Augustin, G., Davila, S., Udiljak, T., Staroveski, T., Brezak, D., & Babic, S. 2012. Temperature changes during cortical bone drilling with a newly designed step drill and an internally cooled drill. International Orthopaedics.

Carvalho, D.S., Abrão, A.M., Rubio, J.C.C. 2004. Monitoramento da Temperatura de Usinagem, XI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, Nova Friburgo, Rio de Janeiro.

EN 1993-1-2:1995 2005. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design, CEN.

Fonseca, E.M.M., Magalhães, K., Fernandes, M.G.A., Barbosa, M.P., Sousa, G. 2012. Numerical Model of Thermal Necrosis due a Dental Drilling Process, II Inter. Conf. On Biodental Engeneering, R.M. Natal Jorge et al (Eds), CRC PRESS, Taylor & Francis.

Lopes, M.C.A. 1997. Reparação Óssea Após Osteotomia com Broca Tronco-Cônica, Serra Oscilatória e serra recíprocante. Estudo Histológico em Cães, Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

Magalhães, K., Fonseca, E.M.M., Monteiro, D.C.A. 2013. Metodologia para Determinação da Elevação da Temperatura por Cimentação ou Furação num Modelo Dentário, 5º Cong. Nac. Biomecânica, R.M. Natal (Ed), p613-617.

Sawbones – Worldwide Leaders in Orthopaedic and Medical Models, www.sawbones.com/

Sezek, S., Aksakal, B., Karaca, F. 2012. Influence of drill parameters on bone temperature and necrosis: A FEM modelling and in vitro experiments, Journal of Comp. Materials Science, 60, p.13-18.

Shin, H.C., Yoon, Y.S. 2006. Bone temperature estimation during orthopaedic round bur milling operations, Jour. Biomechanics, 39(1), p.33-39.

Sousa, P.F.B. 2009. Estudos de Processos Térmicos Decorrentes da Usinagem: Aplicação de Problemas Inversos em Furação, Tese PhD, Univ. Federal Uberlândia.

Tu, Y.K., Chen, L.W., Ciou, J.S., Hsiao, C.K., Chen, Y.C. 2013. Finite Element Simulations of Bone Temperature Rise During Bone Drilling Based on a Bone Analog, Journal of Medical Biological Eng., 33(3), p.269-274.

Vasconcellos, V. d. (2012). Avaliação do Desempenho de Fresas Cirúrgicas Para Implantes Osseointegráveis. Inst. Militar de Engenharia, Rio Janeiro.