



CNME 2014
congreso nacional de medicina experimental 15-17 oct. 2014

CNME 2014

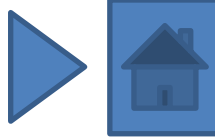


9º congresso nacional de mecânica experimental
Universidade de Aveiro 15-17 outubro 2014

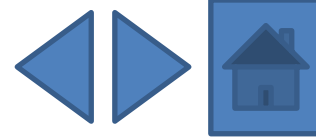
[ARTIGOS](#)

[AUTORES](#)

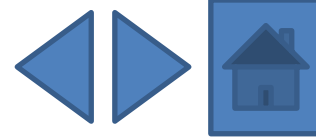
ISBN: 978-989-95695-6-0



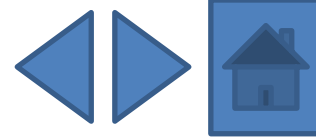
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **104:** *Estabilidade dimensional das madeiras de pinho, freixo, castanho e carvalho na presença de água*
D. Ferreira, E. Fonseca, C. Pinto, P. Borges
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **107:** *Dispositivo para investigação da resposta pupilar: considerações experimentais*
C. Bim, 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



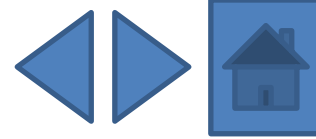
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **115:** *Metodologia para avaliar o efeito da temperatura em tecidos ósseos*
C. Sampaio, E. Fonseca, L. Barreira, J. Meireles
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **117:** *Validação numérica de lajes celulares em madeira com perfurações ao fogo*
J. Meireles, E. Fonseca, P. Piloto, H. 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



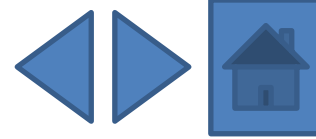
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **125:** *Avaliação experimental do comportamento ao fogo de lajes celulares em madeira com diferentes perfurações*
J. Meireles, P. Piloto, E. Fonseca, H. Santos, L. Barreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **126:** *Análise experimental do desempenho de um turbocompressor em condições 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



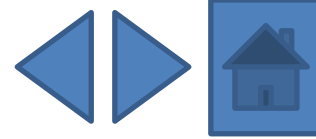
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **139:** *Sistema experimental para caracterização de materiais com o ensaio de expansão*
H. Campos, A. Santos, B. Martins, J. Bessa Pacheco
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **146:** *An experimental framework for the support of multi-physics simulation models of aerial lime for historic 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



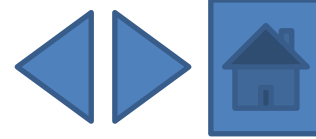
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **168:** *Comportamento experimental de configurações inovadoras de ligações de emenda em perfis tubulares*
R. Simões, S. Jordão, J. Silva
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **170:** *Aplicação de filmes de diamante nanocristalino como camada protetora em células fotovoltaicas*
R.N. 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



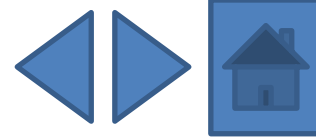
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **176:** *Vibração de uma viga elástica com grandes amplitudes*
F. Queirós de Melo, M. Vaz, P. Rebelo, R. Moreira
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **177:** *Perfis IPE ao fogo: método da capacitância global versus modelo computacional*
E. Fonseca, D. Ferreira, L. Barreira
- [RESUMO](#) [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



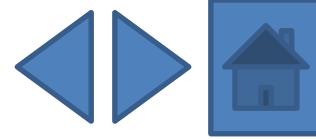
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **184:** *Previsão do comportamento de tecidos cartilagíneos em bioreator em resposta a estímulos mecânicos*
C. Bandeiras, A. Completo, A. Ramos, A. Rufino, M. Ribeiro, J. Pinto Ferreira, A. Mendes
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **186:** *Análise experimental da resistência à compressão 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



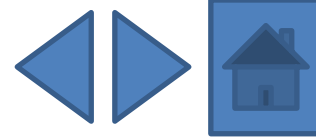
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **198:** *Método da Aproximação Local no estudo de vida à fadiga de um componente ferroviário*
T. Morgado
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **199:** *Validação do modelo numérico da ligação tipo T-stub sujeita a acções de impacto*
J. Ribeiro, C. Rigueiro, A. Santiago
- [RESUMO](#) [ARTIGO](#) **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		

MODELO 3D PARA ANÁLISE TÉRMICA DURANTE O PROCESSO DE FURAÇÃO DO OSSO CORTICAL

3D MODEL FOR THERMAL ANALYSIS DURING A CORTICAL BONE DRILLING PROCESS

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

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

² Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança

³ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto



RESUMO

A produção excessiva de calor durante os processos de furação óssea é um procedimento que pode resultar na osteonecrose térmica, reabsorção óssea e prejudicar a osteointegração dos implantes. A análise dos diferentes parâmetros de furação e materiais utilizados podem reduzir a temperatura durante o processo de furação óssea e contribuir para um maior sucesso deste tipo de intervenções cirúrgicas. Neste contexto, o principal objetivo deste estudo foi a construção de um modelo numérico tridimensional para simular o processo de furação considerando a influência da irrigação e a densidade óssea do osso cortical normal e osteoporótico. A metodologia numérica foi complementada com uma metodologia experimental anteriormente realizada. Recorreu-se a um processo de irrigação, essencial para diminuir os danos no tecido ósseo em processos de furação. Verificou-se que a furação no tecido ósseo osteoporótico apresenta valores de temperatura inferiores quando comparado com o tecido cortical normal. O modelo numérico desenvolvido revelou-se uma ótima ferramenta de análise em processos desta natureza.

ABSTRACT

The excessive heat produced during the bone drilling process can result in thermal osteonecrosis, bone reabsorption and to damage the osseointegration of implants. The analysis of different drilling parameters and materials can decrease the temperature during the bone drill process and contribute to a greater success of this kind of surgical interventions. The main objective of this study was to build a numerical three-dimensional model to simulate the drilling process considering the influence of irrigation and the bone density of the cortical normal bone and osteoporotic bone. The numerical methodology was coupled with an experimental methodology. The use of irrigation proved to be essential to decrease the damage in the bone tissue in the process of drilling and it was concluded that the drilling in the osteoporotic bone presents temperature values much smaller when compared with the normal cortical. The developed numerical model proved to be a great tool of this type of analysis.

1- INTRODUÇÃO

Atualmente existem vários procedimentos cirúrgicos que envolvem o tecido ósseo, sendo de extrema importância o conhecimento sobre o comportamento durante e após o ato cirúrgico. A furação do tecido ósseo tem sido discutida na literatura com frequência, tanto a nível clínico como a nível experimental, devido aos problemas de produção de calor que este procedimento acarreta. O aumento excessivo de calor, durante a furação óssea, pode produzir danos irreversíveis na matriz orgânica do osso (Matthews e Hirsch 1972; Lavelle e Wedgwood 1980; Eriksson et al. 1982; Eriksson e Albrektsson 1983). A gravidade dos danos está diretamente relacionada com o tempo de exposição e a temperatura atingida (Lopes 1997). Alguns autores debruçaram-se em estudos relacionados com o registo das temperaturas alcançadas durante processos de furação óssea e concluíram que quando o osso cortical atinge uma temperatura de 47°C por um minuto ocorre a morte do tecido ósseo (Tu et al. 2013; Eriksson e Albrektsson 1983). Outros autores relataram que quando atingidas temperaturas acima dos 55°C por um período superior a 30 segundos provocam lesões irreversíveis no tecido ósseo (Tu et al. 2013; Hillery e Shuaib 1999). A temperatura gerada nestes processos encontra-se ligada às condições de corte impostas, tais como velocidade de corte, velocidade de avanço, geometria da broca, pressão exercida para o avanço da ferramenta, profundidade do furo, uso ou não de um sistema de irrigação e também a densidade dos materiais envolvidos (Carvalho et al. 2004). O controlo adequado destes parâmetros é fundamental para manter a integridade física e funcional do tecido ósseo perfurado, assim como o controlo das temperaturas registadas na interface de corte, através do desenvolvimento de metodologias que possibilitem a obtenção do campo de temperaturas na ferramenta de corte e no material perfurado.

Nesse sentido, o principal objetivo deste estudo é desenvolver novas

metodologias que possibilitem a obtenção da distribuição de temperatura nas proximidades das paredes dos furos e nos tecidos envolventes, durante processos de furação óssea, a partir de métodos experimentais e numéricos. O método experimental referido neste trabalho já tinha sido desenvolvido para obtenção das temperaturas durante a furação de blocos da *Sawbones*, considerando a influência da densidade e a aplicação ou não de irrigação. O modelo numérico proposto neste trabalho vai de encontro com a geometria dos blocos utilizados no método experimental e pretende simular a temperatura atingida em processos de furação desta natureza. O complemento de ambos os métodos permite validar os resultados obtidos.

2- MODELOS DE ANÁLISE TÉRMICA

2.1 - Modelo Experimental

Neste estudo foram utilizados dois blocos da *Sawbones* (Fig.1), ambos com uma dimensão de 130mmx180mmx40mm e com densidades similares às do osso cortical humano, considerando osso normal e osteoporótico. Em ambos os blocos foram realizadas furações com registo das temperaturas no interior do material e na ferramenta de corte.

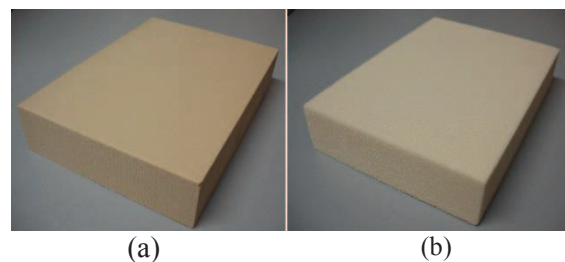


Fig. 1- Blocos da *Sawbones*: (a) Cortical Normal, (b) Cortical Osteoporótico.

Através da utilização de termopares tipo k posicionados em duas faces opostas de ambos os blocos e em posições adjacentes à broca, registaram-se os valores de temperatura no interior do material. Todos os termopares foram colocados estrategicamente com o objetivo de estudar a intensidade do calor gerado e a distribuição da temperatura na interface de corte e vizinhança próxima do furo. Assim, numa das faces do bloco colocaram-se os

termopares à mesma distância da broca (Lado A) com profundidades diferentes. Na outra face consideraram-se termopares a distâncias diferentes da broca com profundidades diferentes (Lado B), Fig.2. A inserção dos termopares foi realizada através de furações laterais com diâmetro de 3,5mm.

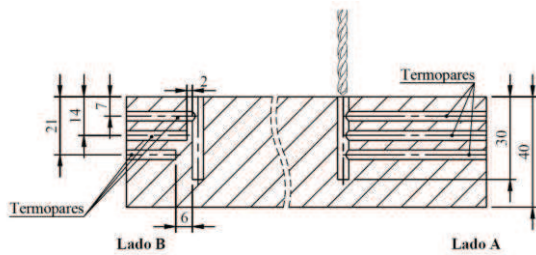


Fig. 2 – Posição dos termopares.

Com o objetivo de facilitar a identificação de cada termopar e posterior leitura dos dados, etiquetaram-se conforme a tabela 1 para posterior ligação a um sistema de aquisição de dados, o *MGCplus*. Este sistema permitiu a leitura das temperaturas obtidas no interior do bloco ao longo do tempo, Fig. 3.

Tabela 1 – Etiquetagem 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

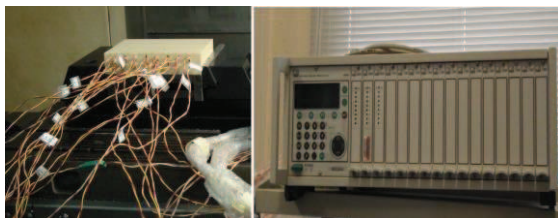


Fig. 3 – Colocação dos termopares e *MGCplus*.

O registo da temperatura na ferramenta de corte foi efetuado com recurso à termografia. Utilizou-se uma câmara termográfica FLIR® T365, posicionada a uma distância de 1,5 m da zona de furação que permitiu obter imagens termográficas e vídeos das furações efetuadas, Fig. 4.

Com uma broca metálica de aço rápido sinterizado realizaram-se 32 furações verticais (16 furações no cortical normal e 16 furações no cortical osteoporótico) com diâmetro de 4mm, e uma profundidade de 30mm, Fig. 4. A broca apresentava um ângulo de 135°. Em todas as furações ponderou-se um conjunto de parâmetros considerados aceitáveis neste tipo de procedimentos. A tabela 2 ilustra todos os parâmetros considerados (Fonseca et al. 2012).

Tabela 2 - Parâmetros para a furação óssea.

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)	45s + 55s

A utilização de irrigação durante o processo de furação foi efetuada com ar comprimido e apenas para alguns furos do bloco cortical normal. O cortical osteoporótico apesar de apresentar um volume anatómico igual ao do cortical normal contém uma porosidade aumentada (Santos 2007). Este fato faz com que o uso de irrigação não produza diferenças no registo das temperaturas, uma vez que o calor dissipa para fora do furo mais facilmente.

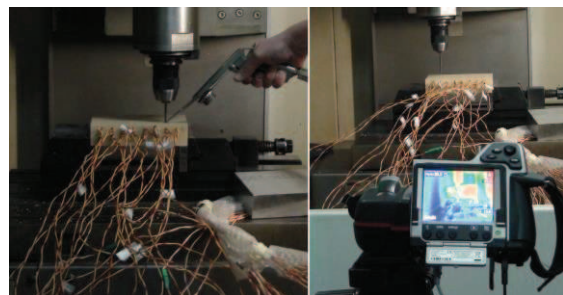


Fig. 4 – Furações e câmara termográfica.

A distância entre as furações efetuadas, bem como o tempo de espera de arrefecimento da broca para cada furação também foi tido em conta, garantindo que o aquecimento de cada furo não interferira nos valores de temperatura do furo seguinte. A Fig. 5 ilustra a geometria dos blocos utilizados no estudo e a distância entre os furos efetuados.

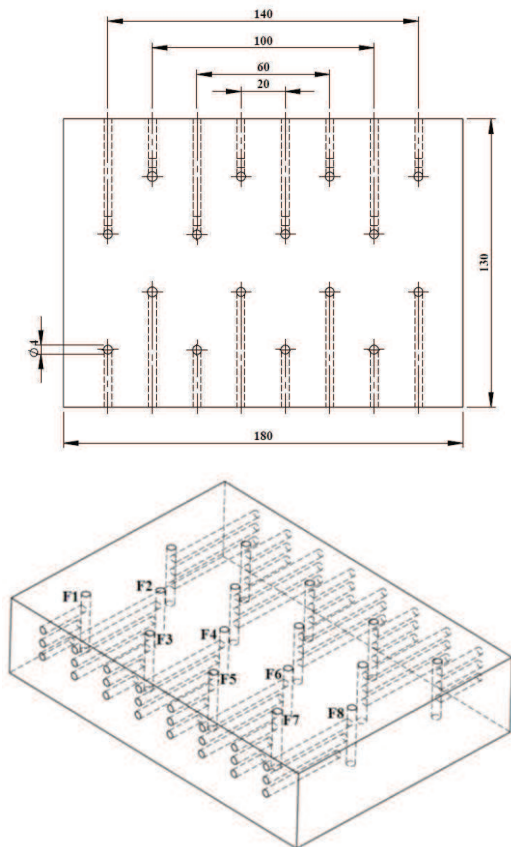


Fig. 5 – Modelo CAD dos blocos em estudo.

2.2 - Modelo de Elementos Finitos

Neste trabalho desenvolveu-se um modelo numérico tridimensional representativo de metade de um bloco da *Sawbones*, com as respetivas oito furações representadas na Fig. 6. Este modelo respeita as dimensões dos blocos reais utilizados neste estudo e todas as variáveis envolvidas no processo de furação. Atendendo às características térmicas do osso cortical e da broca utilizada no modelo experimental utilizou-se um conjunto de propriedades térmicas, apresentadas na tabela 3 (Magalhães et al. 2013, The European Union 2005).

Tabela 3 – Propriedades térmicas.

Material	Massa específica kg/m ³	Condutividade W/mK	Calor específico J/kgK
Broca	7850	53,3	440
Cortical normal	800	0,4	1260
Cortical osteop.	80	0,4	1260

Através do programa *Ansys*® criou-se uma malha de elementos finitos, Fig. 6. Foi utilizado um elemento térmico 3D de 8 nós com capacidade de condução de calor, *Solid 70*, (*Ansys Mechanical APDL Thermal Analysis Guide*, 2015).

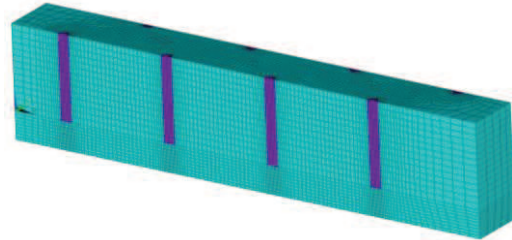


Fig. 6 - Malha de elementos finitos.

Para a simulação da fonte de calor no interior do bloco recorreu-se ao registo de curvas de temperatura no tempo obtidas com a câmara termográfica, referentes à broca durante o processo de furação óssea. Essas curvas foram impostas como condição térmica de temperatura prescrita nos modelos numéricos à superfície da broca.

As Figuras 7 e 8 representam a evolução da temperatura registada na broca, ao longo da furação num processo sem irrigação, para o osso cortical normal e osteoporótico, respetivamente.

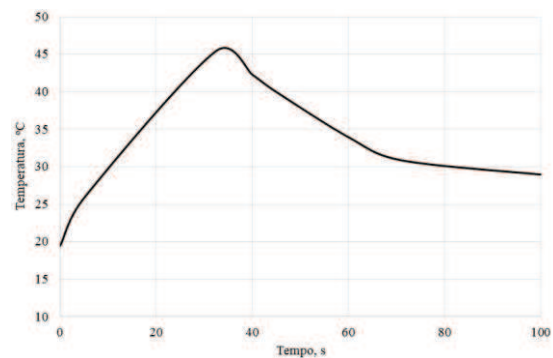


Fig. 7 - Curva de calor da broca para cortical normal.

Modelo 3D para Análise Térmica durante o Processo de Furação do Osso Cortical

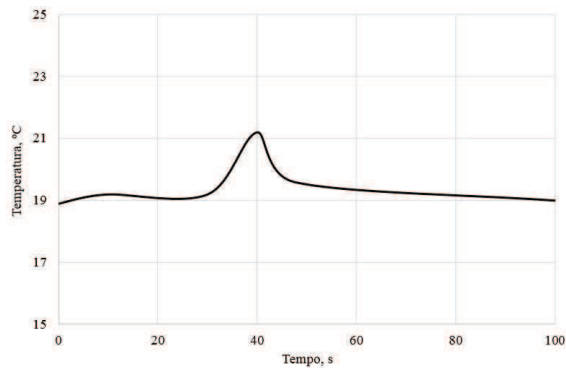


Fig. 8 - Curva de calor da broca para cortical osteoporótico.

As furações efetuadas com o acompanhamento de irrigação mantiveram uma temperatura constante na ferramenta de corte, com valores que rondam os 19°C. Para estas furações também foram impostos nos modelos numéricos valores de temperatura prescrita à superfície da broca, mas constantes.

Em todas as simulações efetuou-se uma análise térmica em regime transiente. Considerou-se uma temperatura inicial em todo o modelo de 19°C e uma convecção natural na superfície superior do osso. Respeitando os tempos de furação do modelo experimental, estabeleceu-se no modelo numérico um tempo de furação total de 800 segundos, 45 segundos de furação seguidos de 55 segundos de arrefecimento para cada um dos 8 furos.

3- RESULTADOS OBTIDOS

Como já foi referido anteriormente, são várias as variáveis que podem influenciar a geração de calor durante a furação do tecido ósseo. Neste estudo avaliou-se a influência do uso de irrigação durante a furação óssea e a influência da densidade do osso, através de duas metodologias diferentes (experimental e numérica).

Para avaliar a influência da irrigação considerou-se apenas o osso cortical normal. Os resultados finais são apresentados graficamente com base na comparação das temperaturas obtidas experimentalmente e numericamente. No

modelo numérico o registo das temperaturas é efetuado em diferentes posições nodais, respeitando as posições dos termopares como descrito na Fig. 2.

As Figuras 9, 10 e 11 representam as temperaturas obtidas ao longo do tempo de furação e arrefecimento para dois furos do bloco, com irrigação e sem irrigação. Utilizou-se a legenda descrita na tabela 1 e designou-se E como experimental e N numérico.

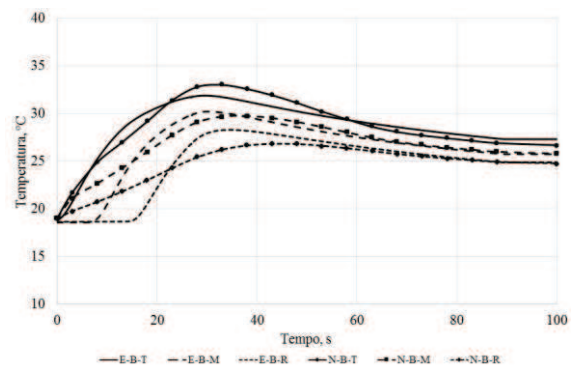


Fig. 9 - Cortical Normal: Lado A, sem irrigação.

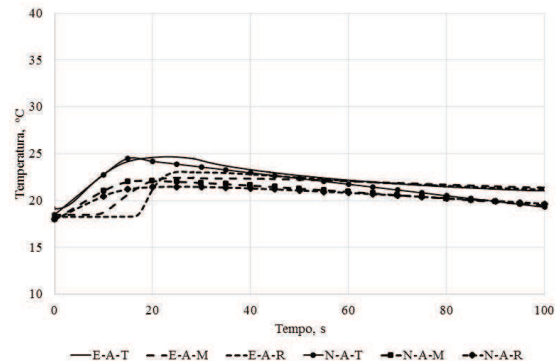


Fig. 10 - Cortical Normal: Lado A, com irrigação.

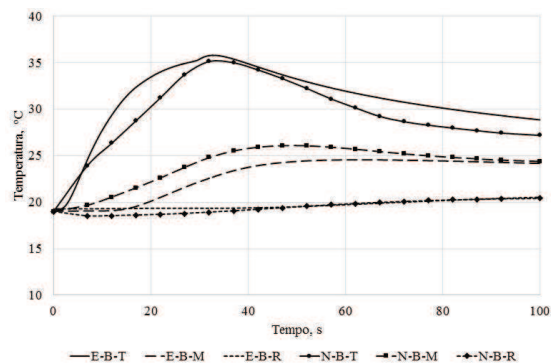


Fig. 11 - Cortical Normal: Lado B, sem irrigação.

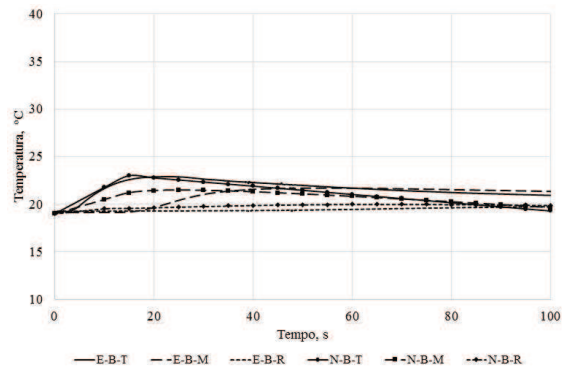


Fig. 12 - Cortical Normal: Lado B, com irrigação.

Os resultados obtidos esclarecem a influência significativa que o uso de irrigação produz na distribuição de temperaturas obtidas no interior do osso. Tanto no modelo experimental como no modelo numérico verifica-se que a utilização de refrigeração na zona de corte diminuiu a agressão ao tecido ósseo, uma vez que as temperaturas atingidas nestas circunstâncias não ultrapassam os 25°C. Quando realizadas furações sem recurso à irrigação observa-se um acentuado aumento da temperatura para valores entre 30 a 40°C.

A comparação dos resultados obtidos entre os lados A e B também permitiu verificar e comparar a variação de temperatura no interior do osso para cada posição dos termopares, de acordo com a profundidade e distância da zona de furação. Como seria de esperar, os valores críticos de temperatura são atribuídos aos termopares posicionados na interface da broca-osso e nas profundidades próximas da zona do orifício. As furações efetuadas atingiram os picos máximos de temperatura no intervalo de tempo entre os 20-40s. No geral, os resultados numéricos e experimentais apresentam resultados concordantes.

Considerando os blocos cortical normal e osteoporótico, foi analisada a influência da qualidade e densidade do osso em processos de furação. A Fig. 13 representa os perfis de temperatura obtidos para o mesmo furo do modelo cortical normal e cortical osteoporótico respetivamente, no instante de tempo em

que o tecido ósseo regista os valores mais críticos de temperatura nesse mesmo furo.

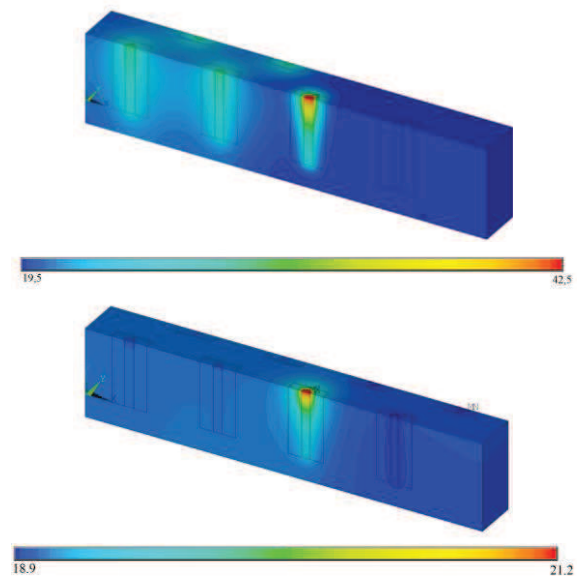


Fig. 13 - Temperatura durante a furação a 440s: cortical normal e cortical osteoporótico.

Através dos modelos é bastante perceptível a diferença que a densidade óssea provoca no aquecimento do tecido ósseo. Verificam-se valores de temperatura entre 30-43°C no cortical normal, enquanto que no cortical osteoporótico não ultrapassam os 22°C. Como referido anteriormente o osso cortical osteoporótico apresenta uma porosidade bastante maior quando comparado com o cortical normal. Esta situação permite que a furação seja mais fácil quando impostos os mesmos parâmetros que no osso cortical normal, para além disso a formação de fragmentos ósseos na superfície de corte da broca é bastante menor, evitando a obstrução do furo e por sua vez a redução de calor durante a furação. Outro aspeto evidente é o ligeiro aquecimento dos furos realizados anteriormente conforme se representa na Fig. 13. No modelo cortical osteoporótico este acontecimento não é tão evidente, uma vez que o calor se dissipa facilmente ao longo do modelo e para fora do furo, estando o pico de temperatura muito próximo da temperatura inicial do bloco.

Todos os furos realizados no modelo cortical osteoporótico, registam um campo de temperaturas no interior do osso quase contante, que rondam os 18-22°C. A tabela 4 apresenta a média das temperaturas

Modelo 3D para Análise Térmica durante o Processo de Furação do Osso Cortical

registradas nos diferentes furos deste bloco, para ambas as metodologias descritas. No modelo numérico foram consideradas diferentes posições nodais para cada furo,

respeitando sempre as distâncias mantidas nos termopares no modelo experimental.

Tabela 4 – Média das temperaturas nos diferentes furos e termopares do cortical osteoporótico.

#	Termopar	Experimental		Numérico	
		Lado A	Lado B	Lado A	Lado B
F1	T	20,25	19,53	19,34	19,34
	M	20,16	18,61	19,28	19,23
	R	19,89	18,22	19,23	19,11
F2	T	—	19,31	19,34	19,34
	M	21,2	19,00	19,27	19,22
	R	20,45	18,95	19,23	19,09
F3	T	—	18,61	19,34	19,34
	M	19,67	18,59	19,27	19,22
	R	19,27	18,65	19,22	19,12
F4	T	18,96	18,63	19,34	19,34
	M	18,56	18,24	19,27	19,22
	R	18,76	18,35	19,22	19,08
F5	T	19,20	19,07	19,31	19,31
	M	19,06	18,80	19,23	19,17
	R	19,60	18,74	19,17	19,06
F6	T	18,81	19,43	19,34	19,34
	M	18,47	18,75	19,27	19,21
	R	18,50	18,63	19,22	19,08
F7	T	18,23	18,38	19,34	19,34
	M	18,20	18,45	19,27	19,22
	R	18,17	18,42	19,22	19,11
F8	T	18,90	18,69	19,34	19,34
	M	18,87	18,84	19,27	19,23
	R	18,39	18,46	19,23	19,11

Analisando as furações realizadas no modelo cortical osteoporótico verifica-se que os resultados experimentais e numéricos apresentam valores muito próximos. Todos os termopares registam uma distribuição de temperaturas constante, com tendência a diminuir conforme o afastamento do termopar da zona de furação. No entanto a diferença de

temperatura de termopar para termopar é mínima. Em alguns furos realizados experimentalmente verifica-se que os termopares mais afastados da zona de furação não apresentam valores de temperatura mais baixos quando comparados aos termopares mais próximos da zona de furação. Este acontecimento pode ser explicado por pequenas deslocações do termopar no interior do

bloco durante a furação, não garantindo sempre a distância pretendida em relação à zona de corte. Em blocos desta natureza em que a porosidade do osso é bastante maior quando comparado com o cortical normal, existe também maior facilidade do calor gerado se espalhar dentro do osso.

Numericamente todos os parâmetros envolvidos no registo de temperatura estão controlados, permitindo verificar que a tendência em todos os furos é a diminuição da temperatura em posições mais afastadas da zona de furação. Como seria de esperar os resultados encontrados numericamente nos diferentes furos são muito próximos ou até mesmo iguais. Furações realizadas em blocos desta natureza verifica-se que 55s de arrefecimento são suficientes para que não haja interferência dos valores de temperatura de furo para furo.

Para complementar os resultados obtidos também foram retiradas imagens térmicas da broca, antes e após a realização do furo. Tais imagens mostram novamente a influência que a densidade óssea tem na distribuição de temperaturas em processos de furação.

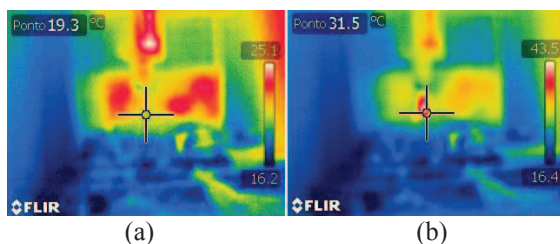


Fig. 14 - Imagem termográfica da broca, cortical normal: (a) antes e (b) após a furação.

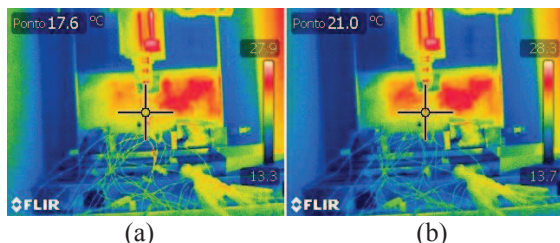


Fig. 15 - Imagem termográfica da broca, cortical osteoporótico: (a) antes e (b) após a furação.

Com o objetivo de verificar a distribuição da temperatura, considerando a furação de todos os furos em simultâneo,

efetuou-se numericamente a furação dos oito furos no bloco. A figura 16 mostra a distribuição das temperaturas ao longo do bloco cortical normal e cortical osteoporótico, para um tempo de furação de 100s.

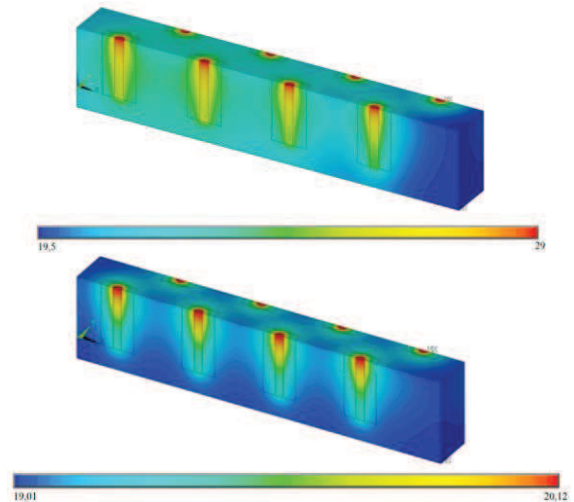


Fig. 16 – Temperatura no cortical normal e cortical osteoporótico.

Em ambos os blocos, sobretudo no osso cortical normal, observa-se que a realização dos 8 furos, e para o mesmo instante de tempo, origina um aquecimento maior no restante bloco, comprometendo ainda mais os tecidos envolventes.

4- CONCLUSÕES

Nos processos de furação óssea há variáveis que interferem diretamente nos valores de temperatura registados durante a furação óssea. O controlo adequado dessas variáveis e o desenvolvimento de novas metodologias de análise é essencial para perceber como manter a integridade do tecido ósseo neste tipo de processos. O presente estudo apresentou uma metodologia numérica que permitiu obter os campos de temperatura em processos de furação óssea, considerando a influência da irrigação e a densidade do osso envolvido. Os modelos numéricos registam concordância com os resultados experimentais já anteriormente obtidos. No osso cortical normal verificou-se que as furações realizadas com o acompanhamento de refrigeração registam uma temperatura

menor quando comparadas com as furações realizadas sem qualquer agente externo. A qualidade e a densidade do osso envolvido é outro aspeto que interfere significativamente no registo de temperaturas. Nas furações realizadas no osso cortical osteoporótico não houve diferença significativa dos valores de temperatura, com valores muito próximos e que não ultrapassaram os 21°C. Já no osso cortical normal verificaram-se valores entre os 30°C a 40°C, sendo notória a diminuição da temperatura com o afastamento da zona de furação. O modelo numérico apresentado neste estudo pode ser aplicado em diversos casos de furação, considerando diferentes variáveis. A obtenção de resultados é rápida e permite um controlo preciso das variáveis envolvidas.

5- 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).

6- REFERÊNCIAS

Anslys Mechanical APDL Thermal Analysis Guide, Release 15.0, 2015.

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.

Eriksson, A.R., Albrektsson, T., Grane, B., Mcqueen, D. 1982. Thermal injury to bone. A vital microscopic description of heat effects, *Int J Oral surg* 11:115-121.

Eriksson, A.R., Albrektsson, T. 1983. Temperature threshold levels for heat induced bone tissue injury. A vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent* 50:101-107.

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 Engineering, R.M. Natal Jorge et al (Eds), CRC PRESS, Taylor & Francis.

Hillery, M.T., Shuaib, I. 1999. Temperature effects in the drilling of human and bovine bone, *J. Mater. Process. Technol.*, 92-93:302-308.

Lavelle, C., Wedgwood, D. 1980. Effect of internal irrigation on frictional heat generated from bone drilling. *J Oral Surg* 38: 499-503.

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.

Matthews, L.S., Hirsch, C. 1972. Temperatures measured in human cortical bone when drilling, *J. Bone Joint Surg. Am.*, 54: 297-308.

Santos, L.M.F. 2007. Análise Comparativa dos Parâmetros quantitativos do osso osteoporótico – Modelo Computacional de Remodelação Óssea VS Resultados Clínicos de DEXA, pag. 18, Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, Faculdade de Medicina.

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

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.