

ATAS DO
5º CONGRESSO NACIONAL DE BIOMECÂNICA
*PROCEEDINGS OF THE
5TH PORTUGUESE CONGRESS ON BIOMECHANICS*



COMISSÃO ORGANIZADORA / *ORGANIZING COMMITTEE*

Renato M. Natal Jorge, FEUP
João Manuel R.S. Tavares, FEUP
Jorge Américo de Oliveira Pinto Belinha, IDMEC-FEUP
Marco Paulo Lages Parente, IDMEC-FEUP
Pedro Alexandre Lopes de Sousa Martins, IDMEC-FEUP

PATROCÍNIOS E APOIOS INSTITUCIONAIS / *SPONSORSHIP AND INSTITUTIONAL SUPPORT*



COMISSÃO CIENTÍFICA / *SCIENTIFIC COMMITTEE*

Adélia Sequeira, IST-UTL
António Completo, Univ de Aveiro
António Silva, UTAD
António Torres Marques, FEUP
António Veloso, FMH-UTL
Arcelina Marques, ISEP-IPP
Aurélio Faria, UBI
Cristina Mateo Martinez, IDMEC
Eduardo Borges Pires, IST-UTL
Elza Fonseca, IPB
Fernanda Gentil, IDMEC, ESTSP-IPP
Fernando Simões, IST-UTL
Filipa Manuel Machado Sousa, FADEUP-UP
Gilberto Costa, FMUP-UP
Helena Moreira, UTAD
João Folgado, IST-UTL
João Levy Melancia, FML-Univ Lisboa
João MCS Abrantes, Univ Lusófona
João Paço, Hospital CUF, FML-Univ Lisboa
João Paulo Flores Fernandes, Univ Minho
João Paulo Vilas-Boas, FADEUP-UP
João Santos Baptista, FEUP-UP
Joaquim Silva Gomes, FEUP-UP
Jorge Ambrósio, IST-UTL
José Alberto Ramos Duarte, FADEUP-UP
José Carlos Reis Campos, FMDUP-UP
José Manuel Casanova, FM-Univ Coimbra
José Oliveira Simões, Univ de Aveiro
Kostas Gianikellis, Univ de Extremadura, Espanha
Leandro Machado, FADEUP-UP
Lídia Carvalho, Univ de Aveiro
Luís Roseiro, ISEC-IPC
Luisa Sousa, FEUP-UP
Manuel Gutierres, FMUP-UP
Mário Augusto Vaz, FEUP-UP
Mario Forjaz Secca, FCT, Univ Nova de Lisboa
Miguel Tavares da Silva, IST-UTL
Miguel Velhote Correia, FEUP-UP
Paulo Piloto, IPB
Paulo Rui Fernandes, IST-UTL
Ronaldo Calçada Dias Gabriel, UTAD
Rui Barreiros Ruben, IPL
Rui Lima, IPB
Rui Miranda Guedes, FEUP-UP
Santos Rubim, ESTSP-IPP

ÍNDICE

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA ACELERAÇÃO TIBIAL ASSOCIADO AO CENTRO DE PRESSÃO PLANTAR NO CHUTE DE JOGADORES DE FUTEBOL DE CAMPO. <i>SILVA, Marcelo Guimarães, HIRATA, Tamotsu</i>	1
THE ROLE OF POROELASTICITY ON THE BIOMECHANICS OF THE INTERVERTEBRAL DISC: A FINITE ELEMENT STUDY <i>André Castro, Paulo Flores, António Completo e J. L. Alves</i>	7
ESTUDO DO ESTÍMULO MECÂNICO EM CONSTRUÇÕES CELULARES DE AGAROSE <i>Joana Pereira, António Completo, António Ramos, Carlos Relvas e José Simões</i>	13
ARTICULAÇÃO RADIOCARPAL – ESTUDO NUMÉRICO DE UM MODELO ESPECÍFICO DE PACIENTE <i>Joana Pereira, António Completo, António Ramos, Carlos Relvas e José Simões</i>	17
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE UM DISPOSITIVO GERADOR DE PULSOS MECÂNICOS PAR A INDUÇÃO DO AUMENTO DA DENSIDADE ÓSSEA <i>A. I. Arroyave Guzmán e R. Gonzalez Lima</i>	23
ANÁLISE CINEMÁTICA DA MARCHA NO 3.º TRIMESTRE DE GRAVIDEZ E PÓS-PARTO <i>Marco Branco, Rita Santos Rocha, Liliana Aguiar, Filomena Vieira e António Veloso</i>	29
RELAÇÃO DAS FORÇAS REATIVAS DO APOIO DURANTE O CAMINHAR E A ATIVIDADE FÍSICA EM MULHERES PÓS-MENOPÁUSICAS <i>João P.C. Fonseca, Ronaldo E.C.D. Gabriel, João Manuel R. S. Tavares, Florbela R. Aragão, Adriana S. Leite, José Aurélio M. Faria e Maria Helena R. Moreira</i>	33
FORÇAS REATIVAS DO APOIO DURANTE O CAMINHAR E DENSIDADE MINERAL ÓSSEA DO CALCÂNEO EM MULHERES PÓS-MENOPÁUSICAS <i>Marisa Pereira, Ronaldo Gabriel, Florbela Aragão, João Fonseca, Adriana Leite, Aurélio Faria e Helena Moreira</i>	39
THE HARMONIC MODE OF THE LEG SPRING <i>Wangdo Kim, Antonio P. Veloso, Filípa João,</i>	45
BONE IMPLANT MANUFACTURE FROM LYOPHILIZED HUMAN BONE <i>F.A. Rojas, L.M. Bernal</i>	47
ESTUDO BIOMECÂNICO DO DIRECCIONAMENTO DAS FIBRAS DA CAMADA CENTRAL DA MEMBRANA TIMPÂNICA DO OUVIDO MÉDIO <i>Carolina Garbe, Fernanda Gentil, Carla Santos, Marco Parente, Renato Natal Jorge</i>	53
UTILIZAÇÃO DE TÉCNICA TERMOGRÁFICA, PARA DETERMINAÇÃO DE DESEQUILÍBRIOS MUSCULARES, DURANTE O TRANSPORTE DE LAPTOP EM MOCHILA SUPORTADA POR UM ÚNICO OMBRO <i>João Rocha, Luís Queijo e Jorge Santos</i>	59
COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO E ANÁLISE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA DE VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS PARA PRÓTESES DENTÁRIAS <i>Cincio, R. L., Pastoukbov, V.</i>	63
FROM MACRO TO SUBDOMAIN MODELLING AND NUMERICAL SIMULATION OF THE BIOMECHANICAL BEHAVIOUR OF NATIVE CARTILAGE <i>S. Cortez, A. Completo e J.L. Alve</i>	67
CONTRIBUIÇÃO DOS MOMENTOS DE FORÇA DO MEMBRO INFERIOR NO SALTO UNILATERAL (HOPPING) <i>Filípa João, António Veloso, Sílvia Cabral, Vera Moniz-Pereira e Thomas Kepple</i>	73

MECANISMOS DE ORIENTAÇÃO E DE BLOQUEIO PARA ANDARILHOS COM RODAS <i>Ana Fartaria, Carlos Campos e Jorge Siopa</i>	79
INFLUÊNCIA DO POSICIONAMENTO NA QUALIDADE DOS MOVIMENTOS DE ALCANÇAR E TRANSPORTAR EM INDIVÍDUOS COM ESCLEROSE MÚLTIPLA <i>Ana Pereira, Ângela Fernandes, Helena Sousa, Rubim Santos</i>	85
AVALIAÇÃO POSTURAL POR FOTOGAMETRIA EM ATLETAS DA JUVENTUDE VIDIGALENSE <i>Inês Domingues, Carlos Campos e Jorge Siopa</i>	91
INFLUÊNCIA DE MODELOS CINEMÁTICOS NOS MOMENTOS DE FORÇA DOS MEMBROS INFERIORES GERADOS POR IDOSOS DURANTE A LOCOMOÇÃO <i>Vera Moniz-Pereira, Sílvia Cabral, Filomena Carnide e António P. Veloso</i>	97
ANÁLISE DE COMPONENTES ACETABULARES COM ABAS <i>Rui B. Ruben, Diogo Teixeira e Nuno M. Alves</i>	103
SEGMENTAÇÃO DO FÉMUR COM RECURSO A CONTORNOS ACTIVOS PARA APOIO À ARTROPLASTIA TOTAL DA ANCA <i>Diogo Ferreira de Almeida, Rui B. Ruben, João Folgado e Paulo R. Fernandes</i>	107
DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DA ARTICULAÇÃO TEMPOROMANDIBULAR <i>R. J. Duarte, A. Ramos, M. Mesnard, H. R. Marques, C. Relvas, A. Completo, J.A. Simões</i>	113
ESTUDO NUMÉRICO DA FIXAÇÃO DE IMPLANTE TEMPOROMANDIBULAR, INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE PARAFUSOS <i>R. J. Duarte, A. Ramos, M. Mesnard, C. Relvas, A. Completo, J.A. Simões</i>	117
A INFLUÊNCIA DE UM CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO NO ESCOAMENTO SANGUÍNEO COM NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS <i>N. Pereira, M. Mujika, S. Arana, T. Correia, A. M. T. Silva, H. T. Gomes, P. J. Rodrigues, R. Lima</i>	123
A NOVEL METHODOLOGY FOR MEASUREMENT OF THE INTRADISCAL PRESSURE AND HEIGHT DISC VARIATION OF INTERVERTEBRAL DISC UNDER COMPRESSION <i>Ângelo Araújo; Nuno Peixinho, António Pinho & J.C.P. Claro</i>	129
EFFECT OF THE SINTERING CYCLE ON THE PROPERTIES OF ALUMINA/LAS DENTAL CERAMIC <i>M. Guedes, D. Arteiro, M. I. Delgado and A. C. Ferro</i>	135
METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA COLUNA VERTEBRAL PRÉ E PÓS VERTEBROPLASTIA <i>Gabriela Guevara, Elza M. M. Fonseca e Luísa M. S. Barreira</i>	141
MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO GLOBAL NO ESTUDO DA CINEMÁTICA DA MARCHA NA MULHER GRÁVIDA <i>Liliana Aguiar, António P. Veloso, Rita Santos-Rocha, Marco Branco e Filomena Vieira</i>	147
REMODELAÇÃO DO TECIDO ÓSSEO DO OSSO DA MANDÍBULA UTILIZANDO UM MÉTODO NUMÉRICO SEM MALHA <i>J. Belinba, L.M.J.S. Dinis e R.M. Natal Jorge</i>	153
ANÁLISE DO INCISIVO CENTRAL DO MAXILAR USANDO UM MÉTODO SEM MALHA <i>S.F. Moreira, J. Belinba, L.M.J.S. Dinis e R.M. Natal Jorge</i>	159
ANÁLISE DE UM IMPLANTE DENTÁRIO UTILIZANDO UM MÉTODO SEM MALHA <i>J. Rafael Andrade, J. Belinba, L.M.J.S. Dinis e R.M. Natal Jorge</i>	165
REMODELAÇÃO NUMÉRICA DO TECIDO ÓSSEO DEVIDO À APLICAÇÃO DE IMPLANTES DENTÁRIOS <i>A.S. Ferreira, J. Belinba, L.M.J.S. Dinis e R.M. Natal Jorge</i>	171

BLOOD FLOW STUDY IN A STENOSED CAROTID BIFURCATION <i>Lúcia C. Sousa, Catarina F. Castro, Carlos C. António, Rui Chaves, Rosa Santos, Pedro Castro and Elsa Azevedo</i>	177
FROM MEDICAL IMAGE TO 3D ENTITIES CREATION <i>Diogo, S G; Claro, J C P</i>	181
VARIAÇÃO DA DENSIDADE MINERAL ÓSSEA EM FUNÇÃO DA MASSA CORPORAL NO COLO DO FÊMUR E COLUNA VERTEBRAL <i>Jairson C. Dinis, Ana I. Pereira, Elza M. M. Fonseca</i>	187
DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE POSTURAS, CONFORME A METODOLOGIA OWAS, USANDO CÂMERAS DE PROFUNDIDADE <i>Karoline Viana Leão, Anselmo Cardoso de Paiva, Aristóфанes Correa Silva e Ivana Marcia Oliveira Maia</i>	193
EFEITO DE UM PROGRAMA DE EXERCÍCIOS SEGUNDO PILATES EM INDIVÍDUOS COM ASMA CONTROLADA – CONTROLO MOTOR/FUNÇÃO VENTILATÓRIA <i>António Mesquita Montes, Paulo Carvalho, Daniel Costa, Camilo Moreira, Pedro Monteiro e Manuel Rubim Santos</i>	197
AUXILIARES DE MARCHA E FORÇAS DE REACÇÃO AO SOLO <i>C. Melo, C. Crasto, A. Montes e R. Santos</i>	205
A INFLUÊNCIA DA IMOBILIZAÇÃO DO JOELHO NA CINEMÁTICA DO MEMBRO CONTRALATERAL <i>Mariana Santos, Alexandre Lopes, Inês Mesquita e Carlos Crasto</i>	211
METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA NECROSE TÉRMICA POR FURAÇÃO NUM MODELO 3D DE UMA MANDÍBULA HUMANA <i>Diana C. A. Monteiro, Elza M. M. Fonseca, Luísa M. S. Barreira, Kelly Magalhães</i>	217
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ÓSSEA DA VÉRTEBRA L3 EM DIFERENTES PACIENTES DO GÉNERO FEMININO <i>Sónia F. D. Silva, Elza M. M. Fonseca e Luísa M. S. Barreira</i>	223
INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE PENETRAÇÃO NO LIMAR DA DOR À COMPRESSÃO <i>Micaela Rodrigues, Vera Bernardo, Paula Silva and Célio Figueiredo-Pina</i>	229
ESTIMATION OF CADAVERIC RIGIDITY – MODIFICATIONS OF THE MECHANICAL PROPERTIES <i>F. Ferreira, P. Martins e R.N. Jorge</i>	235
BIOMECHANICAL MODELS FOR HUMAN GAIT ANALYSES USING INVERSE DYNAMICS FORMULATION <i>Pedro Moreira, Urbano Lujrís, Javier Cuadrado, Paulo Flores</i>	241
ESTUDO CASO DA EFICIÊNCIA MECÂNICA NA EXECUÇÃO DO TOQUE AO LADO, DA GINÁSTICA AERÓBICA, NUM PRATICANTE INEXPERIENTE <i>Cristiana Mercê, Andreia Raposo, Carolyne Silva, Lílíana Faúlba, Ana Conceição, Hugo Louro, Vítor Milbeiro e Marco Branco</i>	247
FINITE ELEMENT SIMULATION OF DAILY ACTIVITIES HELD BY THE INTERVERTEBRAL DISC <i>Hélder Correia, André Castro, J.C.P. Claro e J.L. Alves</i>	253
ARTICULAÇÃO DA ANCA: MODELO BIOMECÂNICO BASEADO NA ANATOMIA ESPECÍFICA DO PACIENTE <i>D.G. Tavares, J. Lourenço, F.M.F. Simões, E.B. Pires e P.A. Rego</i>	259
MODELLING OF A PROSTHETIC HAND FEATURING INDIVIDUAL GRIP ON EACH ONE OF THE FIVE FINGERS <i>Joana Rosa, Joana Sousa and R. Baptista</i>	265
VALIDAÇÃO DE ELÉTRODOS TÊXTEIS PARA MEDIÇÃO DE ELETROMIOGRAFIA <i>Pedro Fonseca, Márcio Borgonovo-Santos, André Catarino, João Paulo Vilas-Boas, Miguel Velbote Correia</i>	271

ANÁLISE CINEMÁTICA 3D DA TÉCNICA FOSBURY FLOP <i>Paulo Oliveira, Rui B. Ruben e Pedro Morouço</i>	277
LOWER LIMB KINEMATICS OF TRANSFEMORAL AMPUTEES' GAIT: A PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS APPROACH <i>Denise Soares, Marcelo Castro, Emilia Mendes and Leandro Machado</i>	281
UNDERSTANDING THE ROLE OF THE ANNULUS FIBROSUS IN THE BIOMECHANICS OF THE INTERVERTEBRAL DISC <i>Clara Cavalcanti, J. L. Alves</i>	285
OFF INFLUENCES THE NUMBER OF MICROTUBULES AT THE BASE OF PRIMARY CILIA <i>Lina C. Espinha, David A. Hoey, Paulo R. Fernandes, Hélder C. Rodrigues e Christopher R. Jacobs</i>	291
ANÁLISE AO DESEMPENHO DE ATLETAS NO LANÇAMENTO DO DARDO <i>Diogo Correia, João Matias, Nuno André, Paulo A. P. Gameiro e Rui B. Ruben</i>	295
FABRICAÇÃO DE MICROCANAIS UTILIZANDO O MÉTODO DE XUROGRAFIA: VISUALIZAÇÃO DA CAMADA LIVRE DE CÉLULAS <i>E. Pinto, D. Pinho, D. Bento, T. Correia, V. Garcia, R. Dias, J. M. Miranda, R. Lima</i>	301
ESTIMAÇÃO E ANÁLISE AUTOMÁTICA DE PARÂMETROS DA POSTURA ERGONÔMICA UTILIZANDO SENSORES DE PROFUNDIDADE <i>Darlan Quintanilha, Aristóфанes Silva e Anselmo Paiva</i>	307
ANÁLISE BIOMECÂNICA DAS FRATURAS DO FÉMUR: ESTUDO PRELIMINAR DE UMA HASTE INTRAMEDULAR BLOQUEADA <i>Maria G. A. Fernandes, Daniel N. Rocha, Jorge V. L. Silva, Elza M. M. Fonseca, Marcos P. Barbosa</i>	313
TRANSFEMORAL AMPUTEES' GAIT: PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF THE KNEE MOMENTS <i>Denise Soares, Marcelo Castro, Emilia Mendes and Leandro Machado</i>	319
DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMAS DE FORÇAS EXTENSOMÉTRICAS SUBAQUÁTICAS PARA APLICAÇÃO EM NATAÇÃO DESPORTIVA <i>Karla de Jesus, Hélio Roesler, Kelly de Jesus, Luis Mourão, Ricardo J. Fernandes, Mário Vaz, João Paulo Vilas-Boas</i>	323
DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA MARCHA EM DOENTES COM ORTÓTESES TORNOZELO-PÉ <i>C. Pessoa, F. Martins, I. Fonseca, L. Roseiro, A. Almeida F. Carvalho</i>	329
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS DISCOS INTERVERTEBRAIS DA REGIÃO LOMBAR QUANDO SUJEITOS A CARGAS VERTICAIS <i>Bebiana Mendonça, João Ribeiro, Mário Vaz e H. Lopes</i>	335
MEASUREMENT OF RED BLOOD CELLS DEFORMATION INDEX IN A HYPERBOLIC MICROCHANNEL <i>Vera Faustino, Diana Pinho, Tomoko Yaginuma, Ricardo C. Calbelha, Geyong Man-Kim, Sergio Arana, Rui Lima, Isabel C.F.R. Ferreira and Mónica S.N. Oliveira</i>	341
PESQUISA DA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA DA PRÓTESE ARTERIAL USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS <i>Linda V. S. Alves, Catarina F. Castro e Luísa C. Sousa</i>	345
DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL APPARATUS TO DETERMINE IMPACT RESPONSE OF ARTICULAR CARTILAGE <i>Janeite Alves, Pedro Correia, Nuno Peixinho e Paulo Flores</i>	349
AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DE VÁRIOS MÚSCULOS DA PERNA QUANDO SUBMETIDOS A EXERCÍCIO FÍSICO INTENSO COM A TÉCNICA BOLD <i>Ana Rita Justo Pereira, José Nuno Alves, Sérgio Saraiva Alves, Filipa João, Mário Forjaz Secca e António Veloso</i>	355

CELL-FREE LAYER MEASUREMENTS IN A BIFURCATION MICROCHANNEL: COMPARISON BETWEEN A MANUAL AND AUTOMATIC METHODS <i>David Bento, Diana Pinbo, Elmano Pinto, Tomoko Yaginuma, Teresa Correia, José Lima, Ana I. Pereira, Carla S. Fernandes, Ricardo Dias, Rui Lima</i>	359
AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DOS MÚSCULOS DA PERNA POR IRM ATRAVÉS DE T2 <i>José Nuno Alves, Ana Rita Justo Pereira, Sérgio Saraiva Alves, Filipa Oliveira João, Mário Forjaz Secca e António Prieto Veloso</i>	363
DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE DESGASTE EM PRÓTESE TOTAL DE QUADRIL <i>Michel Haddad, Mauro Pedro Peres e Marcelino Pereira Nascimento</i>	367
FABRICO DE UMA PRÓTESE FEMORAL POR MAQUINAGEM CNC NUMA FRESADORA DE 3 EIXOS <i>Pedro Ferreira, Fernando Simões, Carlos Relvas e António Ramos</i>	371
ANÁLISE DE PONTE SOBRE IMPLANTES DENTÁRIOS USANDO UM MÉTODO SEM MALHA <i>H.M.S. Duarte, J. Belinha, L.M.J.S. Dinis e R.M. Natal Jorge</i>	377
ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CIMENTO-EM-CIMENTO NA REVISÃO DA ARTROPLASTIA DA ANCA <i>Nuno Jorge, Luís Roseiro, Fernando Simões e Pedro Carvalhais</i>	379
ENHANCED VELOCITY OF RED BLOOD CELLS IN HIGHLY BRANCHED VESSELS: INFLUENCE OF THE VESSELS DIAMETER <i>Bianca Pires, Luís Pimparel, Diana Pinbo, Rui Lima and Ricardo Dias</i>	385
DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UMA PRÓTESE PARA CICLISTAS COM AMPUTAÇÃO TRANSTIBIAL <i>P. Ferreira, L. Roseiro, V. Lopes, I. Costa, J. Almeida e Telmo Pinão</i>	391
BIOMECÂNICA DA COLUNA CERVICAL: INFLUÊNCIA DOS LIGAMENTOS <i>P. C. Fernandes, J. Folgado e P. R. Fernandes</i>	397
AUTOMATIC CALCULATION OF THE SKIN'S LINES OF NON-EXTENSION AT THE ANKLE JOINT <i>Sara P. Marreiros, Ana R. Domingues, Jorge M. Martins, Miguel T. Silva and Dava J. Newman</i>	401
DESENVOLVIMENTO DE UM MICRODISPOSITIVO BIOMÉDICO PARA A SEPARAÇÃO DE CÉLULAS SANGUÍNEAS <i>Susana Novais, Diana Pinbo, Ana I. Pereira, Maite Mujika, Sergio Arana, Rui Lima</i>	407
THERMO-MECHANICAL BEHAVIOR OF TRANSTIBIAL PROSTHESIS INTERFACES: INFLUENCE ON CORRECT PROSTHETIZATION <i>Adriana Cavaco, A. Ramalho, Sandra Pais and Luísa Durães</i>	411
COMPARAÇÃO DE CRIANÇAS COM E SEM JOELHOS VALGOS, PRATICANTES DE HÓQUEI EM PATINS, UTILIZANDO SISTEMAS DE ANÁLISE DE MOVIMENTO <i>Nuno M.J. Oliveira, Rubim Santos, M.A.P. Vaz e M.A. Marques</i>	417
MODELING AND ANALYSIS OF AN ANKLE-FOOT ORTHOSIS (AFO) USING MULTIBODY METHODOLOGIES <i>P. Ferreira, F. G. Flores, P. Flores, M. Siebler and A. Kecskeméthy</i>	423
ANÁLISE CINEMÁTICA DA TÉCNICA DE CRAWL EM DIFERENTES VARIANTES DE UM PROTOCOLO INCREMENTAL E INTERMITENTE PARA OBTENÇÃO DO VO2MÁX <i>Kelly de Jesus, Karla de Jesus, João Paulo Vilas-Boas e Ricardo J. Fernandes</i>	429
PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM PEDAL INSTRUMENTADO PARA BICICLETA <i>Vítor Lopes, Luís Roseiro, Pedro Ferreira, Inácio Costa e José Almeida</i>	435

CONSIDERAÇÕES HIDRODINÂMICAS DE VÁLVULAS NEUROLÓGICAS DE DERIVAÇÃO LIQUÓRICA <i>Camila Bim, Edson Del Rio Vieira, Sérgio Said Mansur, Marcos Pinotti, José Ricardo Camilo e Angelo Luiz Maset</i>	441
IMAGE FILTERING, CONTRAST ENHANCEMENT AND DEFORMATION ANALYSIS OF COMPLEX ANATOMICAL CONDUITS AND MICROCIRCULATION EXPERIMENTS. <i>Ana J. João, Alberto M. Gambaruto e Adélia Sequeira</i>	445
ÚLTIMOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉCTRICA FUNCIONAL NA MARCHA <i>Cátia Galvão, Carlos Vasconcelos, Jorge Martins, Miguel Silva, Paulo Melo</i>	451
CONTROL OF A FORCE SENSING ACTUATOR TO ASSIST THE ANKLE JOINT MOVEMENT <i>Carlos F. Vasconcelos, Paulo L. Melo, Jorge M. Martins and Miguel T. Silva</i>	457
ANÁLISE CINEMÁTICA DO PUTTING EM JOGADORES PERITOS: ESTUDO DO EFEITO DO AFASTAMENTO DA BOLA AO BURACO <i>Gonçalo Dias, Rui Mendes, Maria António Castro, Micael Conceiro, Orlando Fernandes, João Paulo Vilas-Boas</i>	463
PLATAFORMA ELECTROMECASTRÓNICA PARA EXERCÍCIOS FISIOTERAPÊUTICOS DE ELEVADA PRECISÃO <i>Ana L. G. Fernandes¹, Fernando J. T. E. Ferreira e Miguel Couceiro</i>	467
AVALIAÇÃO DO EFEITO DO EXERCÍCIO INTENSO NA ESTRUTURA E ARQUITECTURA DE VÁRIOS MÚSCULOS DA PERNA ATRAVÉS DE TENSORES DE DIFUSÃO EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA <i>Sérgio Saraiva Alves, Ana Rita Justo Pereira, José Nuno Alves, Filipa João, Mário Forjaz Secca e António Veloso</i>	471
GESTURE'S NARRATIVE IN CONTEMPORARY MUSIC FOR PERCUSSION: A PRELIMINARY RESEARCH. <i>Aroso N., Baltazar A., Lourenço S., Martins L.G., Ferreira Lopes P.</i>	475
OPTIMIZAÇÃO DE FORMA MULTI-OBJECTIVO DE UM STENT CORONÁRIO <i>Nelson Ribeiro, João Folgado e Hélder Rodrigues</i>	481
REMODELAÇÃO ÓSSEA DA OMOPLATA APÓS UMA ARTROPLASTIA TOTAL DO OMBRO <i>Carlos Quental, João Folgado, Paulo Fernandes e Jacinto Monteiro⁴</i>	487
ANÁLISE DO ÂNGULO DE PENACÃO DO GASTROCNÉMIO NUMA POPULAÇÃO JOVEM SEDENTÁRIA E ATIVA. <i>Maria António Castro, Alexandra André, Margarida Pocinbo, Paula Tavares, Orlando Fernandes</i>	491
INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DO ATLETA NA BICICLETA NA DISTRIBUIÇÃO DO PESO CORPORAL PELO SELIM E PELO GUIADOR EM CICLISTAS NÃO COMPETITIVOS <i>Vitor Milbeiro; Hugo Louro; Marco Branco; Ana Conceição</i>	497
FIBER OPTIC SENSORS FOR BIOMECHANICAL AND BIOMEDICAL APPLICATIONS <i>Paulo Roriz, Orlando Frazão, José Luís Santos and José Simões</i>	503
IS THE CALLUS SHAPE AN OPTIMAL RESPONSE TO A MECHANOBIOLOGICAL STIMULUS? <i>F. Ribeiro, P.R. Fernandes, J. Folgado, J.M. García-Aznar</i>	509
MARCHA DO OBESO: RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DAS FORÇAS DE REACÇÃO DO SOLO ANTES E APÓS CIRURGIA BARIÁTRICA. <i>Mafalda Cortez, Marcelo P. Castro, Sofia Abreu, Maria João Matos, Paula Freitas, Davide Carvalho, Leandro Machado</i>	515
DESENVOLVIMENTO DE CORDAS BIODEGRADÁVEIS EM PDO PARA REGENERAÇÃO DE LIGAMENTOS <i>André C. Vieira, Joana C. Vieira, Juliana Cruz, Raul Figueiro e Rui M. Guedes</i>	517
DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE SCAFFOLDS PARA ENGENHARIA DO TECIDO ÓSSEO UTILIZANDO DFC <i>Rubina Marques, Marta Dias, José Miranda Guedes e Paulo Fernandes</i>	523

HIDROGÉIS BASEADOS EM ALGINATO PARA A REGENERAÇÃO DE PELE <i>Rúben F. Pereira, Ausenda Mendes e Paulo J. Bártolo</i>	529
THE ELASTIC PROPERTIES OF THE BREAST SKIN <i>Nílza Ramião, Pedro Martins e António Fernandes</i>	535
ANÁLISE DE TENSÕES NO TORNOZELO ANTES E APÓS UMA ARTROPLASTIA TOTAL <i>Daniela Rodrigues, João Folgado e Paulo Fernandes</i>	541
ANÁLISE DAS PROPRIEDADES BIOMECÂNICAS DO PAVIMENTO PÉLVICO E DO FETO <i>M.E.T. Silva, M.P.L. Parente, R.M. Natal Jorge, T. Mascarenbas, A.A. Fernandes</i>	547
NUMERICAL STUDY OF THE FLOW OF A BLOOD ANALOG FLUID IN A BIFURCATION WITH A STENOSIS: PULSATILE FLOW AND ELASTICITY OF THE FLUID <i>S.I.S. Pinto, E.D. Costa, J.B.L.M. Campos, J.M. Miranda</i>	553
DISTRIBUIÇÃO DAS FIBRAS MUSCULARES DO PAVIMENTOS PÉLVICO: COMPARAÇÃO ENTRE TRATOGRAFIA E MODELO DE ELEMENTOS FINITOS <i>Sofia Brandão, Marco Parente, Thuane Roza, Hugo Ferreira, Teresa Mascarenbas, Isabel Ramos, Renato Natal Jorge</i>	559
INFLUÊNCIA DA IDADE NA MOBILIDADE DO PAVIMENTO PÉLVICO EM MULHERES COM INCONTINÊNCIA URINÁRIA DE ESFORÇO <i>Thuane Da Roza, Sofia Brandão, Teresa Mascarenbas, José Alberto Duarte, Marco Parente e Renato Natal Jorge</i>	565
COMPORTAMENTO BIOMECÂNICO DO PÉ TRAUMÁTICO PRÉ E PÓS ORTÓTESE PLANTAR <i>Rodrigues, F., Ramos, A., Duarte, R. J., Relvas, C., Completo, A., Simões, J. A.</i>	569
PRODUÇÃO DE MEMBRANAS DE ALGINATO DE SÓDIO CONTENDO LEVODOPA E SUA LIBERTAÇÃO CONTROLADA <i>Margarida Franco, Tânia Viana, Sara Biscaia e Paulo Bártolo</i>	571
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DOS DANOS NOS MÚSCULOS DO PAVIMENTO PÉLVICO DURANTE UM PARTO VAGINAL <i>P. Maia, M.P.L. Parente, R.M. Natal Jorge, A.A. Fernandes</i>	577
FEMORAL NECK BONE ADAPTATION TO HABITUAL WEIGHT-BEARING PHYSICAL ACTIVITY BY COMPUTATIONAL ANALYSIS <i>M. M. Machado, P. R. Fernandes, G. Cardadeiro and F. Baptista</i>	581
DISPOSITIVO MECÂNICO PARA A PRÁTICA DE CICLISMO ADAPTADO COM COMPETIÇÃO EM CLASSE C2 <i>L. Roseiro, P. Ferreira, V. Lopes, I. Costa, J. Almeida e T. Pinão</i>	587
INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO PARAFUSO NA TRANSFERÊNCIA DE CARGA NA PRÓTESE TMJ, ESTUDO NUMÉRICO <i>Ramos, A., Mesnard, M., Relvas, C., Completo, A., Simões, J. A.</i>	591
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ENTRE ESTRUTURAS DE ZIRCONIA DE 3 MARCAS: VITA IN-CERAM YZ, SIRONA INCORIS ZI E IVOCLAR IPS EMPRESS CAD <i>Gonçalo Silva, Lúcia Carvalho</i>	597
ESTUDO MECÂNICO DE NANOCOMPÓSITOS PLA/GNP E COMPÓSITOS PLA/BIOVIDRO PARA DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO LIGAMENTAR <i>Viviana Correia Pinto, José Xavier, Artur Pinto, Fernão D. Magalhães, Rui Miranda Guedes</i>	601
MODELOS CONSTITUTIVOS HIPERELÁSTICOS PARA A MODELAÇÃO NUMÉRICA DO TECIDO MUSCULAR DO PAVIMENTO PÉLVICO <i>Dulce A. Oliveira, Marco P.L. Parente e Renato M. Natal Jorge</i>	607

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA POR CIMENTAÇÃO OU FURAÇÃO NUM MODELO DENTÁRIO <i>Kelly Magalhães, Elza M. M. Fonseca e Diana C. A. Monteiro</i>	613
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESTRUTURAS ÓSSEAS UTILIZANDO UMA FORMULAÇÃO ISOGEOMÉTRICA <i>R.P. Tavares, M.P.L. Parente, R.M. Natal Jorge, A.A. Fernandes</i>	619
DISTINÇÃO ENTRE INCIDÊNCIAS NUMA MAMOGRAFIA <i>Rita Filipa S. Teixeira e João Manuel R. S. Tavares</i>	62
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ORIENTAÇÃO DINÂMICA PARA UM ACTUADOR FLUÍDICO FLEXÍVEL <i>Daniel Pina, Joaquim G. Mendes, Renato N. Jorge, António Augusto Fernandes, António Moreira</i>	631
ANÁLISE DA PRESSÃO PLANTAR EM ATLETAS (8-14 ANOS) EM FUNÇÃO DA CLASSE OCLUSAL MOLAR DE ANGLE <i>Marta América, Janete Leiras, Joaquim Moreira, Lídia Carvalho</i>	637
ANÁLISE BIOMECÂNICA DO PROTOCOLO – SALTO COM CONTRA MOVIMENTO <i>Paulo A. G. Piloto, Luísa M. S. Barreira</i>	643
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO POSICIONAMENTO DA BICICLETA NAS VIBRAÇÕES INDUZIDAS AO CORPO HUMANO EM PRÁTICA DE CICLISMO INDOOR <i>Paulo Dechichi, Leandro Furtado, Carlos Alcobia, Luís Roseiro e Ana Amaro</i>	649
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA EM ARTROPLASTIAS DO JOELHO <i>Carlos Alcobia, Luís Roseiro, Pedro Carbais, Augusta Neto</i>	655
ESTUDO NUMÉRICO DA INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO DA TAC NO COMPORTAMENTO DO ÚMERO. UM CASO CLÍNICO. <i>Bola, M., Ramos, A., Rebas, C., Completo, A., Simões J.A.</i>	659
ANÁLISE VASCULAR DE SCAFFOLDS SOB DEGRADAÇÃO <i>Susana R. Almeida, Henrique A. Almeida e Paulo J. Bárto</i>	665
DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA INTEGRADA PARA AVALIAÇÕES ERGONÓMICAS <i>Ana Catarina Mateus, Henrique A. Almeida e Nuno Alves</i>	669
APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO À SELEÇÃO DE PRÓTESE PARA A ARTROPLASTIA DA ANCA <i>Pedro Carreira, Henrique A. Almeida e Paulo J. Bárto</i>	675
TÉCNICAS DE EXTRUSÃO PARA PRODUÇÃO DE SCAFFOLDS PARA APLICAÇÕES EM ENGENHARIA DE TECIDOS <i>Sara Biscaia, Tânia Viana, Henrique A. Almeida e Paulo J. Bárto</i>	681
3D COMPARISON BETWEEN MIMICS AND INVASIVE BONE RECONSTRUCTION MODELS <i>Ruba Zeibak, Dino Freitas, Henrique A. Almeida and Paulo J. Bárto</i>	683
DEVELOPMENT OF A WALKING INTEGRATIVE REHABILITATION DEVICE <i>Manabu Okui, Dino Freitas, Henrique A. Almeida and Paulo J. Bárto</i>	689
ANÁLISE ELETROMIOGRÁFICA TEMPORAL DOS MÚSCULOS DO TRONCO DURANTE O SWING COM DIFERENTES TACOS DE GOLFE <i>Luís Silva, Sérgio Marta, João Vaz, Orlando Fernandes, Maria António Castro, Andreia De Paula, Pedro Pezarat-Correia</i>	695
EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO COLAGÉNIO DE ESCAMAS DE SARDINHA <i>Ermelinda Alves Almeida, Daniela C. Vaz e Ausenda L. A. Mendes</i>	701

REABILITAÇÃO VESTIBULAR EM SÍNDROMES VERTIGINOSAS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO EM ELEMENTOS FINITOS <i>Carla Santos, Fernanda Gentil, Carolina Garbe, Marco Parente, Renato Natal Jorge</i>	707
INFLUÊNCIA DAS FLANGES NAS PRÓTESES CIMENTADAS DA ARTICULAÇÃO DA ANCA <i>Ángela Pedrosa e Rui B. Ruben</i>	713
ANÁLISE DINÂMICA DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO OUVIDO MÉDIO COM PRÓTESE TOTAL <i>Fernanda Gentil, Marco Marques, Carolina Garbe, Carla Santos, Marco Parente, Pedro Martins, Renato Jorge</i>	719
CONTRIBUIÇÃO DOS MOMENTOS DE FORÇA DOS MEMBROS INFERIORES PARA A ACELERAÇÃO DO CENTRO DE MASSA NA PARTIDA DE BLOCOS <i>Sílvia Cabral, Vera Moniz-Pereira, Filipa João e António P. Veloso</i>	723
LIPOTOOL: ESTUDO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO TECIDULAR <i>T. F. Andrade, M. T. Restivo, M. R. Quintas, M. F. Chouzal, C. M. Silva, T. M. Amaral</i>	729
ANALYSIS OF THE BILATERAL COORDINATION PATTERNS OF LOWER LIMB SEGMENTS AT DOWN SYNDROME IN RUNNING <i>Andreas Skiadopoulos, Carlos Espino Palma and Kostas Gianikellis</i>	733
3D KINEMATICS OF SURGEONS' UPPER-ARM ROTATION IN LAPAROSCOPY <i>Andreas Skiadopoulos, Carlos Espino Palma and Kostas Gianikellis</i>	737
"DINAMSOFT 1.0": A SOFTWARE FOR 3D BIOMECHANICAL ANALYSIS OF STANDARD FORCE TRAINING EXERCISES AND WEIGHT LIFTING <i>Kostas Gianikellis, Andreas Skiadopoulos, Jorge Barrios Muriel and Ignacio Domínguez</i>	741
CIMENTO ÓSSEO ACRÍLICO CONTENDO ANTIBIÓTICOS: AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS <i>Matos A, Vaz M., Almeida AJ, Bettencourt A</i>	745
ESTIMATING LEG MUSCLES SHORT-RANGE STIFFNESS IN VIVO AT DIFFERENT KNEE ANGLES <i>Ana C. V. Ferreira, Erwin de Vlugt, Jurriaan H. de Groot and Hugo A. Ferreira</i>	751
ANÁLISE DO MOVIMENTO DE LEVANTAR: ESTUDO DE CASO <i>Rita Proença, Clara Cavalcanti</i>	757
DESENVOLVIMENTO DE UMA CADEIRA DE RODAS MOTORIZADA DE BAIXO CUSTO <i>Samuel F. Do Nascimento, Keyll Carlos R. Martins, Vítor R. P. Santos e Lídia Santos P. Martins</i>	763
INFLUENCE OF RESTORATIVE TECHNIQUE ON THE FRACTURE RESISTANCE AND MODE, STRAIN, AND STRESS DISTRIBUTION OF ENDODONTICALLY TREATED MAXILLARY PREMOLARS. <i>Milito, Giovana A., Novais, Veridiana R., Noritomi, Pedro Y., Araújo, Cleudmar A., Gomide, Henner A., Fernandes Net, Alfredo J., Soares, Carlos J., Soares, Paulo V.</i>	769
INFLUENCE OF RESTORATIVE TECHNIQUE, CERVICAL LESION AND TYPE OF LOAD ON THE BIOMECHANICAL BEHAVIOR OF ENDODONTICALLY TREATED MAXILLARY PREMOLARS <i>Machado, Alexandre C., Pereira, Fabícia A., Reis, Bruno R., Milito, Giovana A., Zeola, Livia F., Meira, Josete B.C., Cesar, Paulo F., Soares, Paulo V.</i>	775
INFLUENCE OF NON-CARIOUS CERVICAL LESIONS MORPHOLOGY LOAD TYPE AND RESTORATION ON BIOMECHANICAL BEHAVIOR OF MAXILLARY PREMOLARS: A FINITE ELEMENT ANALYSIS. <i>Vilela, Ana L.R, Machado, Alexandre C., Milito, Giovana A., Zeola, Livia F., Faria, Vítor L.G., Naves, Marina F.L., Souza, Paola G., Soares, Paulo V.</i>	781

NON-CARIOUS CERVICAL LESIONS: INFLUENCE OF MORPHOLOGY AND LOAD TYPE ON BIOMECHANICAL BEHAVIOUR OF MAXILLARY INCISORS <i>Tolentino, Andrea B., Faria, Vitor L.G., Naves, Marina F.L., Michael, Jason A., Ranjitkar, Sarbin, Kaidonis, John, Townsend, Grant and Soares, Paulo V.</i>	787
INFLUENCE OF DENTAL CORONARY STRUCTURE REDUCTION ON BIOMECHANICAL BEHAVIOR OF UPPER PREMOLARS <i>Zeola, Livia F. , Santos-Filbo, Paulo C.F., Menezes, Murilo S., Novais, Veridiana R., Neves, Flávio D., Fernandes-Neto, Alfredo J., Soares, Carlos J., Soares, Paulo V.</i>	793
INFLUENCE OF ABFRACTION DEPTH, ROOT MORPHOLOGY AND LOADING ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF PREMOLARS <i>Naves, Marina F.L., Souza, Lorraine V., Pereira, Fabricia A., Reis, Bruno R., Machado, Alexandre C., Milito, Giovana A., Fernandes-Neto, Alfredo J., Soares, Paulo V.</i>	799
EFFECTS OF NCCL LESION SIZE AND LOADING CONDITIONS ON STRESSES AND STRAINS IN PREMOLAR TEETH <i>Souza, Paola G., Spini, Pedro H.R., Zeola, Livia F., Milito, Giovana A., Faria, Vitor L.G., Machado, Alexandre C., Pereira, Fabricia A., Soares, Paulo V.</i>	805
EFFECT OF NON-CARIOUS CERVICAL LESIONS AND CORONARY STRUCTURE LOSS ASSOCIATION ON BIOMECHANICAL BEHAVIOR OF MAXILLARY PREMOLARS. <i>Gonzaga, Ramon C.Q., Souza, Paola G., Tolentino, Andrea B., Zeola, Livia F., Milito, Giovana A., Machado, Alexandre C., Reis, Bruno R., Soares, Paulo V.</i>	811
INFLUENCE OF TYPE PREPARATION AND RESTORATIVE MATERIAL ON STRESS DISTRIBUTION IN PREMOLARS <i>Faria, Vitor L.G., Reis, Bruno R., Pereira, Fabricia A., Meira, Josete B.C., Souza, Paola G., Machado, Alexandre C., Quagliatto, Paulo S., Soares, Paulo V.</i>	817
MECHANICAL BEHAVIOUR OF THE PIP BREAST IMPLANTS UNDER COMPRESSION <i>Rita Rynkevici, Pedro Martins, Marco Parente, Maria Barroso, Diana Santos, Renato Natal</i>	823
ANÁLISE DO CAMPO DE DEFORMAÇÕES NOS LIGAMENTOS CRUZADOS DO JOELHO COM FORMULAÇÃO ISOGEOMÉTRICA <i>J.P.S. Ferreira, M.P.L. Parente, R.M. Natal Jorge e A.A. Fernandes</i>	829
ESTUDO BIOMECÂNICO DO ÚTERO DURANTE O PARTO <i>P. Rocha, M.P.L. Parente, R.M. Natal Jorge e T. Mascarenhas</i>	835
INFLUENCE ROOT MORPHOLOGY ON BIOMECHANICAL BEHAVIOR OF ENDODONTICALLY TREATED MAXILLARY PREMOLARS <i>P.V. Soares, M.S. Menezes, P.C.F. Santos-Filbo, P. Noritomi, C.J. Soares, A.J. Fernandes-Neto, L.R.M. Martins</i>	839
ON THE DEVELOPMENT OF ADVANCED METHODOLOGIES TO ASSIST ON THE DIAGNOSIS OF HUMAN ARTICULATIONS PATHOLOGIES: A BIOMECHANICAL APPROACH <i>Ana Leal, Filipe Silva, Paulo Flores, Hélder Pereira, João Espregueira-Mendes</i>	845
A PERSPECTIVE ON BONE-CEMENT INTERFACE LOOSENING IN HIP IMPLANTS <i>Natacha Rosa, António Torres Marques</i>	851

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DA COLUNA VERTEBRAL PRÉ E PÓS VERTEBROPLASTIA

Gabriela Guevara¹, Elza M. M. Fonseca² e Luisa M. S. Barreira³

¹ Engenharia Biomédica, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; demigaby922@hotmail.com

² Departamento de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; efonseca@ipb.pt

³ Laboratório Estruturas e Resistência Materiais, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal; lbarreira@ipb.pt

PALAVRAS CHAVE: Biomecânica, Resistência, Vertebroplastia, Coluna vertebral

RESUMO: *Com o avanço tecnológico novas técnicas de intervenção cirúrgica foram introduzidas, uma delas é a vertebroplastia percutânea. O principal objetivo deste estudo é simular o comportamento das vértebras L3-disco intervertebral-L4 à compressão, de duas pacientes com e sem patologia associada. É utilizado um programa para tratamento de imagens médicas e um programa de elementos finitos. O estudo realizado permite obter valores da energia de deformação no corpo vertebral, sendo efetuada a comparação entre pacientes com e sem osteoporose. A vertebroplastia permitirá associar o material cimento ao corpo vertebral osteoporótico, sendo possível numericamente obter resultados para a comparação com um corpo vertebral sem patologia.*

1 INTRODUÇÃO

Nos primeiros anos de vida a massa óssea está constantemente a ser alterada, entrando depois numa fase estacionária, sendo que posteriormente sofrerá uma diminuição na densidade. A complexidade do crescimento, desenvolvimento e manutenção, além do relacionamento com outros sistemas orgânicos tornam o sistema esquelético incomumente vulnerável a influências adversas [1].

A osteoporose é uma patologia que se caracteriza pela perda de massa óssea e a deterioração da microestrutura no tecido, com consequente aumento da fragilidade e da probabilidade do osso vir a sofrer uma fratura. A idade avançada e a presença de patologias são fatores que permitem realizar uma comparação histológica dos tecidos ósseos. Frequentemente, após a vertebroplastia, e num tempo aproximado entre 55 a 127 dias, o risco do surgimento de novas fraturas é relativamente elevado.

Estudos efetuados por alguns autores afirmam que as vértebras adjacentes à vértebra anteriormente tratada, têm um risco de fratura 4 vezes maior em comparação com as que se encontram mais distantes [2]. É importante notar que o fator de risco relaciona-se com as zonas de maior tensão sobre a coluna. Este valor varia de paciente para paciente, dependendo de fatores como, a postura, o grau de cifose, ou o tipo de atividade a que o paciente se encontra sujeito [3].

A causa das novas fraturas ainda não está totalmente compreendida, por poder estar relacionada com a adaptação à nova resistência da vértebra, onde foi injectado o cimento, ou ao eventual avanço natural da osteoporose [3].

No estudo realizado a 2009, com a aprovação da *Borgess Medical Center* (Kalamazoo, Mich) [3], no período compreendido entre 30 de Abril 2002 a 26 de Junho 2008, um total de 403 pacientes

(homens e mulheres) com idade média de $76,7 \pm 10,3$ anos foram submetidos a um inquérito após cirurgia. Foram tratados com a técnica da vertebroplastia devido a fraturas de causa osteoporótica (357 pacientes), trauma (35 pacientes) e carcinomas metastáticos (11 pacientes). O total de fraturas tratadas foi de 720, das quais 544 foram as primeiras fraturas e 176 eram fraturas ocorridas pós vertebroplastia. A segunda fratura ocorreu adjacente à primeira em 44 (12%) dos 357 pacientes com patologia osteoporótica. Os resultados obtidos neste estudo revelaram que as vértebras que possuíam uma maior probabilidade de fratura, por razões osteoporóticas, são as vértebras T12, L1 e L2. O volume do cimento injetado nas vértebras tratadas representa em média 5,1mL, estando compreendido entre 1 a 16mL. Também foi observado que o extravasamento do cimento para o interior das veias, dos tecidos moles, ou do disco intervertebral, representando 33% das vértebras tratadas. Uma das conclusões obtida nesse estudo revela que o volume do cimento injectado não determina o grau do alívio no paciente após vertebroplastia.

2 A VERTEBROPLASTIA

A vertebroplastia foi inicialmente utilizada para o tratamento de tumores situados na espinha dorsal, angiomas, metástases e múltiplos mielomas [4]. Atualmente, a técnica da vertebroplastia percutânea é prioritariamente utilizada no tratamento de fraturas ósseas por forças compressivas.

A técnica de vertebroplastia percutânea consiste na injeção de cimento ósseo PMMA (polimetilmetacrilato) no corpo vertebral danificado, evitando a expansão do colapso vertebral [5, 6]. É um tratamento guiado por imagens e minimamente invasivo sendo que a injeção do cimento ósseo é guiada por radioscopia. Esta técnica tem como finalidade o reforço de uma vértebra fraturada, aliviando assim a dor e estabilizando o corpo vertebral [6]. Sabe-se

que o cimento retorna a integridade biomecânica da vértebra fraturada, repondo a rigidez e a robustez, diminuindo conjuntamente a deformação óssea [3]. Contudo, o mecanismo utilizado na vertebroplastia não oferece informação suficiente para parametrizar o grau de alívio após o tratamento da vértebra.

Em relação ao cimento ósseo ideal, este deve ser biodegradável, não tóxico, de baixa temperatura e com uma reação biomecânica semelhante ao osso humano. As propriedades do cimento ósseo têm grande impacto nos resultados finais da vertebroplastia. Além das características anteriormente mencionadas, as propriedades mecânicas do cimento tomadas em consideração são a capacidade para aumentar a resistência do corpo vertebral danificado e promover a recuperação da deformação inicial da vértebra [6]. Segundo alguns autores a quantidade máxima de cimento ósseo a ser aplicada numa única vértebra é de 15mL. Resultados obtidos recentemente sugerem que a quantidade do cimento deve ocupar 30% do volume da vértebra [8, 3]. Dependendo da vértebra em questão, esta percentagem corresponde em média, a valores da injeção de cimento entre 4 a 8mL. A tabela 1 representa alguns dos valores considerados para o volume ocupado pelo cimento numa determinada vértebra.

Tabela 1 - Relação entre a quantidade de cimento e a vértebra fraturada [3].

Zona Vertebral	Volume de cimento, mL
T3-T8	3,5
T9-T12	5
L1-L5	6

Outro aspeto importante a considerar é a polimerização do cimento ósseo. Durante este processo o cimento liberta calor para os tecidos ósseos adjacentes. Há estudos que indicam que a necrose térmica do tecido ósseo ocorre quando a temperatura ultrapassa os 50°C por minuto [8].

A vertebroplastia percutânea é considerada uma técnica rápida e segura. No entanto, o extravasamento, a lesão neurológica e a embolia pulmonar podem ser alguns dos riscos associados.

No ano 2002 foi realizado um estudo sobre a diminuição da probabilidade de ocorrência de lesões durante e após vertebroplastia, através da utilização da venografia. Embora a venografia ofereça informação sobre os locais onde possa ocorrer um maior extravasamento, os riscos que possam surgir, de forma ocasional, com a adição do agente de contraste (a alteração das propriedades biomecânicas do cimento e possíveis reações alérgicas) podem vir a comprometer a própria cirurgia. O estudo conclui que a realização da técnica de vertebroplastia percutânea pode ser realizada sem a necessidade da pré-avaliação do sistema venoso vertebral [9].

3 PROPRIEDADES BIOMECÂNICAS DA COLUNA VERTEBRAL

A figura 1 representa o deslocamento em função de forças compressivas aplicadas em modelos vertebrais com osso trabecular, considerando que essas forças variaram com a idade (<50 anos, 50-75 anos e > 75 anos). O registo foi obtido através de um estudo experimental [10].

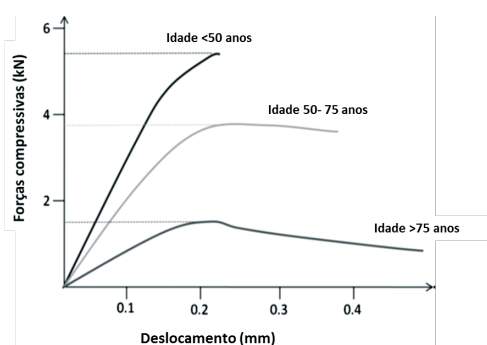


Fig. 1 Forças compressivas em função do deslocamento da coluna vertebral [10].

Com este estudo conclui-se que a força admissível à compressão decresce com o aumento da idade do paciente. Em todas as curvas há uma zona linear de carregamento,

passando depois a grandes deslocamentos quando a força máxima é atingida. Com base nos ensaios enunciados é possível determinar as propriedades biomecânicas do osso.

Uma das funções do esqueleto humano é sustentar as cargas a que está sujeito. Os ossos adaptam-se a essa função, relacionando-se com as propriedades dos materiais e com a sua geometria [11].

A alteração da estrutura óssea pode ser explicada pela Lei de Wolf, a qual oferece uma explicação para a distribuição das propriedades mecânicas do tecido ósseo. A ideia subjacente consiste numa visão dinâmica da estrutura óssea como consequência da sua adaptabilidade às diversas solicitações externas. A Lei de Wolff relaciona o crescimento ósseo e a sua capacidade de adaptação às mudanças de tamanho, forma e estrutura, em função dos estímulos aos esforços mecânicos a que o tecido é submetido [12].

No presente estudo e para os materiais considerados (osso cortical, trabecular, disco intervertebral e cimento ósseo) serão utilizadas as propriedades biomecânicas definidas na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades dos materiais [13].

Material	Módulo de Elasticidade, MPa	Coefficiente de Poisson
Trabecular	34	0,2
Cortical	8040	0,3
PMMA	2200	0,3
Disco	500	0,3

4 MODELO BIOMECÂNICO PRÉ E PÓS VERTEBROPLASTIA

No presente trabalho será efetuada uma análise numérica a dois modelos de coluna vertebral de duas pacientes, uma sem patologia associada (L83) e outra com osteoporose (F70). Para esse efeito foram utilizadas imagens médicas obtidas por tomografia computadorizada no formato DICOM. Para obter o modelo tridimensional em estudo foi aplicada a técnica de segmentação (*thresholding*) para

a detecção de contornos utilizando-se o programa ScanIP. Com base na técnica de processamento de imagem foi possível obter-se o modelo CAD 3D para cada modelo da coluna de cada paciente, conforme se apresenta na figura 2.

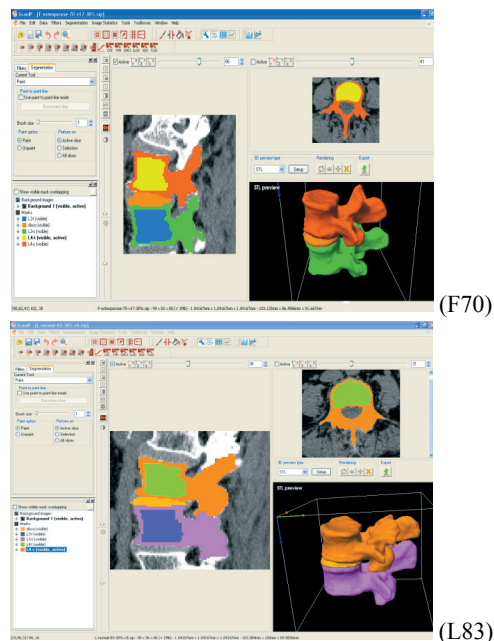


Fig. 2 Modelo CAD 3D do conjunto L3-disco-L4.

Posteriormente são obtidos os modelos em formato STL a serem utilizados num programa de elementos finitos (ANSYS) conforme malhas de elementos finitos representadas na figura 3.

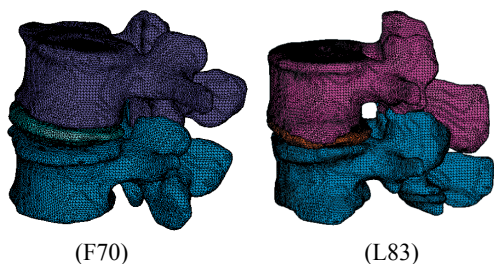


Fig. 3. Modelos de elementos finitos, L3-disco-L4.

Cada um dos modelos biomecânico L3-disco-L4 é submetido a um conjunto de forças compressivas com valor igual a 2500N. O estudo numérico efetuado por elementos finitos incidiu na análise dos dois modelos (L83 e F70) em pré vertebroplastia, figura 4. Como estudo complementar, e no modelo biomecânico

da paciente com osteoporose (F70), é injetado cimento ósseo no tecido trabecular. Optou-se por um valor percentual de ocupação de cimento na vértebra de aproximadamente 50%, sendo que este valor poderá ser inferior tal como referido anteriormente. Nesse modelo, considerado em pós vertebroplastia, cimento ósseo PMMA foi injetado na vértebra L3, na vértebra L4 ou simultaneamente na L3 e L4, conforme se representa na figura 5.

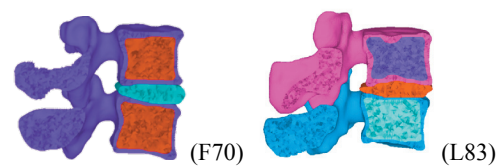
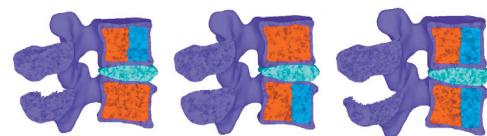


Fig. 4. Modelos pré vertebroplastia.



com: PMMA L3; PMMA L4; PMMA L3 L4
Fig. 5. Modelos pós vertebroplastia (F70).

Serão calculadas as tensões e as deformações ao longo do corpo vertebral, para posterior cálculo da energia de deformação nos modelos em estudo. Será efetuada uma análise comparativa entre os modelos, de forma a evidenciar a aplicação da técnica de vertebroplastia.

A deformação é um parâmetro de avaliação importante na estrutura óssea. Quando o seu valor aumenta em determinados ossos, poderão surgir várias consequências como por exemplo, o possível esmagamento das vértebras, que dará origem ao desenvolvimento de desvios na coluna, ou curvaturas exageradas da zona dorsal, denominada cifose. Atendendo à definição de energia de deformação, se o corpo absorver energia em excesso poderá também ocorrer a rutura dos tecidos, por excesso de sobrecarga. No caso de uma estrutura fragilizada (osso osteoporótico), o osso estará mais predisposto à falha sob uma carga fisiológica.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No total foram efetuadas cinco diferentes análises, conforme resultados apresentados na figura 5 para o cálculo da energia de deformação.

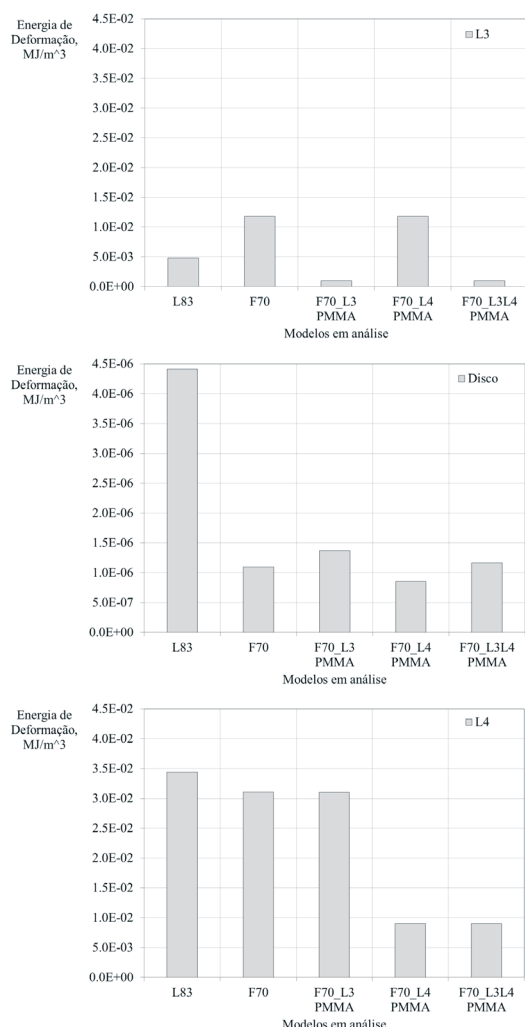


Fig. 5. Comparação dos resultados numéricos.

Foram observadas diferenças significativas entre os dois modelos biomecânicos, pré vertebroplastia.

O disco intervertebral na coluna normal (L83) sofre uma maior deformação em comparação com o disco do modelo osteoporótico (F70), uma vez que as vértebras da coluna saudável são mais resistentes não estando debilitadas pela osteoporose.

Com a injeção de cimento ósseo, ou pós vertebroplastia, houve um aumento considerável da resistência biomecânica dos

modelos, pela diminuição da energia de deformação.

Como consequência, o aumento da resistência de um corpo vertebral por injeção do cimento ósseo, altera as condições dos corpos aos tecidos adjacentes, onde pode ser observado um aumento da energia de deformação.

Com o aumento da resistência num corpo vertebral, e o aumento da energia de deformação dos corpos vizinhos, pode vir a verificar-se um rearranjo na estrutura da coluna.

6 CONCLUSÕES

Este estudo pode ser a base para futuros projetos que tenham como objetivo estabelecer padrões que delimitem a quantidade mínima ou máxima de cimento, de modo a obter melhores resultados após a vertebroplastia.

A vértebra em que é realizada a intervenção aumenta a sua resistência dependendo da quantidade de PMMA introduzido. No entanto, um aumento drástico da resistência pode originar o aumento das tensões a que os corpos ósseos que a rodeiam são submetidos. Este aumento da tensão pode também vir a provocar futuras fraturas nas vértebras adjacentes.

Quanto maior for a quantidade de cimento PMMA injetado maior será o aumento da resistência óssea. Este efeito provoca uma redistribuição das tensões que se aplicam na vértebra com cimento e nas vértebras adjacentes.

AGRADECIMENTOS

A autora deste estudo agradece o acesso a exames médicos obtidos na clínica Dr. Krug de Noronha.

REFERÊNCIAS

- [1] Kumar, Vinay; Abbas, Abul K.; Fausto, Nelson, "Ossos, Articulações e Tumores de Tecidos Moles", in Andrew E. Rosenberg, *Robbins & Cotran Patologia- Bases Patológicas das Doenças*. Rio de Janeiro, 1331-1385, 2005.
- [2] Trout A., Kallmes D., Kaufmann T., "New Fractures after Vertebroplasty: Adjacent Fractures Occur Significantly Sooner". *AJNR Am J Neuroradiol* 27:217-23, 2006.

- [3] Al-Ali F., Barrow T., Luke K., “Vertebroplasty: What Is Important and What Is Not”; *AJNR Am J Neuroradiol* 30:1835–39, 2009.
- [4] Cotten A, Dewatre F, Cortet B, *et al.* “Percutaneous vertebroplasty for osteolytic metastases and myeloma: effects of the percentage of lesion filling and the leakage of methyl methacrylate at clinical follow-up”. *Radiology*; 200:525–530, 1996
- [5] Cotten A, Deprez X, Migaud H, Chabanne B, Duquesnoy B, Chastanet P., “*Malignant acetabular osteolyses: percutaneous injection of acrylic bone cement*”, *Radiology*; 197:307–310, 1995.
- [6] Sean Molloy, Lee H. Riley III, Stephen M. Belkoff, “*Effect of Cement Volume and Placement on Mechanical-Property Restoration Resulting from Vertebroplasty*”, *AJNR Am J Neuroradiol*, 26:401-404, 2005.
- [7] Provenzano M., Murphy K., Riley III L., “Bone Cements: Review of Their Physicochemical and Biochemical Properties in Percutaneous Vertebroplasty”. *AJNR Am J Neuroradiol* 25:1286-1290, 2004.
- [8] Molloy S., Riley III L., Belkoff S., “Mechanical-Property Restoration Resulting from Vertebroplasty”. *AJNR Am J Neuroradiol* 26:401–404, 2005.
- [9] Vasconcelos C., Gailloud P., *e tal.*, “Pretreatment Venography Safe? Evaluation of 205 Consecutives Procedures”; *AJNR Am J Neuroradiol* 23:913–917, 2002.
- [10] K. McDonald, J. Little, M. Pearcy e C. Adam (2010); “Development of a multi-scale finite element model of the osteoporotic lumbar vertebral body for the investigation of apparent level vértebra mechanics and micro-level trabecular mechanics”; *Medical Engineering & Physics*, 32:653–661, 2010.
- [11] Kisner, C., “Exercícios Terapêuticos, Fundamentos e Técnicas”, 3a Ed., Manole, São Paulo, 141-161p., 1998.
- [12] Diniz, Júlia S.; Dionísio, Valdeci C. e tal; “*Propriedades Mecânicas do Tecido Ósseo: uma Revisão Bibliográfica*”. Universidade do Vale do Paraíba.
- [13] Xiang C., Haiyun L., Xinjian Y., “A Patient-Specific Approach to Assessment of Biomechanical Stability Following Percutaneous Vertebroplasty Using CT Images”, *Beijing Neurosurgical Institute*, 100069, 670-673, 2007.

ISBN 978-989-96276-3-5



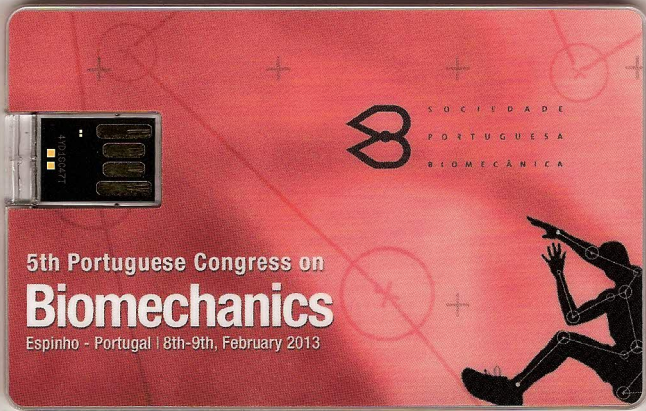
U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

FCT
Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CIÊNCIA

idmec
FEUP engenharia mecânica

inegi driving innovation

U. PORTO



5th Portuguese Congress on
Biomechanics
Espinho - Portugal | 8th-9th, February 2013

B SOCIEDADE
PORTUGUESA
BIOMECÂNICA