

PROCEEDINGS CLME'2011/ IIIICEM

6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia
3º Congresso de Engenharia de Moçambique
Maputo, 29 Ago-2 Set 2011

Editores:
J.F. Silva Gomes
Carlos C. António
Clito F. Afonso
António S. Matos

Edições INEGI
2011
ISBN: 978-972-8826

Organização

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo
Ordem dos Engenheiros de Portugal
Ordem dos Engenheiros de Moçambique

PROCEEDINGS CLME'2011/IIICEM

**6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia
3º Congresso de Engenharia de Moçambique**

*FEUP - FEUEM - OEP - OEM
Maputo, 29Ago - 2Set 2011*

Editores

*J.F. Silva Gomes, Carlos C. António
Clito F. Afonso e António S. Matos*

Edições INEGI
2011
(ISBN: 978-972-8826-24-6)

ENTER

**6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e
III Congresso de Engenharia de Moçambique
Maputo/Moçambique, 29 Agosto a 2 Setembro 2011**

Prefácio dos Editores

A população mundial é actualmente superior a seis mil milhões de pessoas. O Planeta Terra está sobrelotado, consome-se demasiado e isso traduz-se numa devastação acelerada dos recursos ainda disponíveis. É hoje universalmente reconhecido e aceite que os sistemas naturais estão a ser constantemente alterados pelo homem a uma velocidade estonteante e absolutamente insustentável. Para lidar com estes problemas que ameaçam tão drasticamente a sustentabilidade do nosso planeta, três questões se levantam: (i)-A primeira questão consiste em saber se será possível satisfazer as necessidades básicas relativamente ao abastecimento de água potável, saneamento, alimentação, saúde, segurança e trabalho digno para todos os seres humanos, sem alterar as condições de equilíbrio do nosso eco-sistema. Tais compromissos estão bem caracterizados no documento “*The Millenium Development Goals*”, subscrito por todos os 192 países membros das Nações Unidas e mais de 23 organizações internacionais, em Assembleia Geral da Nações Unidas em 18 de Setembro de 2000. (ii)-A segunda questão diz respeito ao papel que os engenheiros e profissionais de engenharia podem desempenhar na restauração deste mundo tão esgotado. Certamente que, com a nossa capacidade de inovação e criação, temos uma responsabilidade colectiva para com o bem-estar dos seres humanos e a preservação dos recursos naturais da Terra. (iii)-Finalmente, a terceira questão tem a ver com a educação/formação dos actuais e dos futuros engenheiros.

Surpreendentemente, espera-se ainda que nas próximas duas décadas a população do Planeta aumente em mais de dois mil milhões de indivíduos, 95% dos quais em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Este crescimento significativo da população mundial criará necessidades sem precedentes nas áreas da energia, alimentação, terreno cultivável, água, transportes, materiais, tratamento de lixo, cuidados de saúde, preservação do ambiente, telecomunicações, etc.. O nosso papel como profissionais de engenharia será vital para a satisfação dessas necessidades a diferentes escalas, que variam desde as mais pequenas e remotas comunidades em África, até às grandes áreas urbanas mais desenvolvidas da Europa, por exemplo. Incontornavelmente, não temos possibilidade de escolha, uma vez que a alternativa do “*não fazer nada*” terá um efeito devastador sobre a nossa prosperidade futura e estabilidade à escala mundial.

Tendo em conta os problemas com que nos debatemos nos dias de hoje e os problemas que se antecipam para os próximos cem anos, os engenheiros deverão reformatar as suas mentalidades e adoptar uma postura mais pragmática e adaptada à realidade actual. A sua missão deverá ser a de assegurar a construção de um mundo mais sustentável, estável e equitativo, que conduza ao aumento do bem-estar dos seus habitantes e não à devastação do eco-sistema em que vivemos. No passado, a prática de engenharia assentava num paradigma mais ou menos selvagem de domínio e controlo da natureza, em vez duma postura de cooperação e aprendizagem com ela e, assim, foram-se criando enormes barreiras entre o homem e o mundo natural. Não foram consideradas as consequências a longo prazo pelo facto de forçarmos a nossa vontade sobre o ambiente e explorarmos o nosso mundo sempre com uma postura de confrontação e manipulação. É claro que isso não deve, de maneira nenhuma, menosprezar as importantes realizações conseguidas no passado pelos profissionais de engenharia em terra, no mar e no espaço. De qualquer forma, muitos dos projectos de engenharia patrocinados pelas grandes organizações foram desenvolvidos sem levar em consideração os seus impactos sociais, económicos e ambientais sobre os nossos sistemas naturais, sendo conduzidos apenas pelo interesse dos dirigentes e accionistas dessas organizações em obter o máximo retorno dos capitais investidos.

Ao entrarmos neste novo século, devemos adoptar uma abordagem mais holística da engenharia. Isto requer, naturalmente, uma mudança substancial da nossa maneira de pensar e da maneira como tratamos o planeta. Esta mudança de paradigma deverá substituir o controlo da natureza por uma atitude mais participativa com ela e uma consciência mais sólida dos efeitos que as nossas actividades têm sobre o eco-sistema, a preservação de recursos e o desenvolvimento sustentável. As instituições e os responsáveis pelo ensino da engenharia deverão dar mais atenção à maneira como são formados os futuros profissionais de engenharia, por forma a enfrentar os problemas da sociedade e satisfazer as necessidades do próximo século. Os alunos de hoje serão os

responsáveis pelo mundo de amanhã, e devemos estar atentos e não subestimar o papel dos engenheiros no desenvolvimento das populações. Há muito a fazer para assegurar o aprovisionamento limpo e seguro de água potável, saneamento, produção de energia, protecção social, urbanismo, infraestruturas, produção e distribuição de alimentos, comunicações, etc.. Como engenheiros, seremos naturalmente chamados a desenvolver soluções sustentáveis cada vez mais abrangentes, que integrem todos os aspectos sociais, ambientais, culturais e económicos das populações.

Neste contexto, e sob o tema geral “*A Engenharia como Alavanca para o Desenvolvimento e Sustentabilidade*”, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, em associação com as Ordens dos Engenheiros de Portugal e de Moçambique, realizam a sexta edição do Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia em conjunto com o 3º Congresso de Engenharia de Moçambique, que decorrerá nas instalações do Hotel VIP, em Maputo, de 29 de Agosto a 2 de Setembro de 2011.

Para este 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e 3º Congresso de Engenharia de Moçambique foram recebidos mais de 600 propostas de comunicações, tendo sido seleccionadas 462 artigos para apresentação durante o Congresso, cujos textos são publicadas no presente *Livro de Resumos* e no *CD-ROM* complementar que constituem os *Proceedings* do Congresso. Os artigos seleccionados resultam da contribuição de um total de mais de mil autores oriundos não só de Portugal e Moçambique, na sua maior parte, mas também do Brasil e de outros países Africanos e do Mundo. O Congresso inclui também a apresentação de seis *Conferências Plenárias*, por reputados especialistas convidados, sobre temas importantes e actuais da engenharia.

A organização do Congresso, este Livro de Resumos e o *CD-ROM* das Comunicações são o resultado do esforço conjunto de várias instituições e individualidades. Fica aqui expresso o reconhecimento e gratidão da Comissão Organizadora a todas as instituições e empresas que apoiaram a realização do Congresso, a todos os membros da Comissão de Honra, da Comissão Científica, das Comissões Locais e dos Coordenadores dos *Simpósia*, pelo esforço e empenho que puseram em atrair participantes e, naturalmente, aos autores e aos moderadores das diferentes sessões, pelo número e qualidade excelente das comunicações apresentadas e pelo rigor e profundidade com que os diversos temas são abordados e discutidos.

Maputo, Agosto 2011

Joaquim Silva Gomes
Carlos Conceição António
Clito Félix Afonso
António Santos Matos

**6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia e
III Congresso de Engenharia de Moçambique
Maputo/Moçambique, 29 Agosto a 2 Setembro 2011**

Organização

[Instituições](#)

[Comissão Executiva](#)

[Comissão Organizadora](#)

[Comissão Científica](#)

[Comissão de Honra](#)

[Patrocinadores](#)

[Secretariado](#)

Instituições Organizadoras

***Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane
Ordem dos Engenheiros de Portugal***

Ordem dos Engenheiros de Moçambique

[voltar](#)

Comissão Executiva

Joaquim Silva Gomes
(FEUP/INEGI)

Carlos Conceição António
(FEUP/IDMEC)

Clito Félix Afonso
(FEUP/IDMEC)

António Santos Matos
(FEUEM)

[voltar](#)

Comissão Organizadora

<i>A. Carmo Vaz</i>	<i>A. Machado e Moura</i>	<i>A. Silva Afonso</i>	<i>Abdul Faquir</i>
<i>Alexandra Neves</i>	<i>Alfredo S. Ferreira</i>	<i>Ana Maria Martins</i>	<i>Ana Virtudes</i>
<i>Anabela Alves</i>	<i>André L. Aquere</i>	<i>Aníbal G. Costa</i>	<i>António F. Diogo</i>
<i>António Fiúza</i>	<i>António Matos</i>	<i>Archimedes Raia Jr</i>	<i>Carla P. Rodrigues</i>
<i>Carlos C. António</i>	<i>Carlos Félix</i>	<i>Catarina F. Castro</i>	<i>Cátia R. Pinto</i>
<i>Celina P. Leão</i>	<i>Clíto F. Afonso</i>	<i>Daniel Fumo</i>	<i>Eduardo Qualharini</i>
<i>Elza Fonseca</i>	<i>Fátima Artur</i>	<i>Feliciano Dias</i>	<i>Fernanda Ferreira</i>
<i>Fernando Branco</i>	<i>Fernando Caldeira</i>	<i>Filomena O. Soares</i>	<i>Franz-Josef Kahlen</i>
<i>Helena Navas</i>	<i>Humberto Varum</i>	<i>Isabel C. Gouveia</i>	<i>J. Mora Ramos</i>
<i>J. Reis Campos</i>	<i>J. Rodrigues Dias</i>	<i>J. Santos Baptista</i>	<i>J.F. Silva Gomes</i>
<i>Jerónimo Mahoque</i>	<i>João C. Lanzinha</i>	<i>João G. Ferreira</i>	<i>João M.F. Calado</i>
<i>João Marcelino</i>	<i>João Portugal</i>	<i>Joaquim I. Barbosa</i>	<i>Jorge Carvalho</i>
<i>Jorge Martins</i>	<i>José A. Carmo</i>	<i>José A. Rodrigues</i>	<i>José C. Teixeira</i>
<i>José D. Carvalho</i>	<i>José M. Cirne</i>	<i>L. Picado Santos</i>	<i>Lázaro Zuquette</i>
<i>Luís A. Pais</i>	<i>Luis B. Martins</i>	<i>Luís M. Pinto</i>	<i>Luísa P.C. Lopes</i>
<i>M. Graça Rasteiro</i>	<i>Madalena Moreira</i>	<i>Manuel R. Cordeiro</i>	<i>Marcilene Ferreira</i>
<i>Maria Amélia R. Loja</i>	<i>Maria José Abreu</i>	<i>Maria T. Restivo</i>	<i>Mário A.P. Vaz</i>
<i>Mário Forjaz Secca</i>	<i>Mário Talaia</i>	<i>Miguel Nepomuceno</i>	<i>Miguel P. Amado</i>
<i>Orlando Zobra</i>	<i>Paulo Cachim</i>	<i>Paulo Carvalho</i>	<i>Paulo G. Piloto</i>
<i>Paulo Pereira</i>	<i>Pedro D. Silva</i>	<i>Pedro Sing Sang</i>	<i>Raquel P.F. Guiné</i>
<i>Raúl Figueiro</i>	<i>Reinaldo Lorandi</i>	<i>Rosa M. Miranda</i>	<i>Rui Camposinhos</i>
<i>Rui M. Lima</i>	<i>Rui M. Sousa</i>	<i>Silva Magaia</i>	<i>Telmo Santos</i>

[voltar](#)

Comissão Científica

<i>A. Barata da Rocha</i>	<i>A. Carmo Vaz</i>	<i>A. Castro Vide</i>	<i>A. Lopes Campos</i>
<i>A. Machado e Moura</i>	<i>A. Pires da Costa</i>	<i>A. Torres Marques</i>	<i>Abdul Faquir</i>
<i>Alberto Cardoso</i>	<i>Alexandra Neves</i>	<i>Alfredo S. Ferreira</i>	<i>Álvaro Cunha</i>
<i>Ana M. Segadães</i>	<i>Ana Maria Martins</i>	<i>Ana Virtudes</i>	<i>Anabela Alves</i>
<i>André L. Aquere</i>	<i>Aníbal Costa</i>	<i>António F. Diogo</i>	<i>António J.M. Ferreira</i>
<i>António Navarro</i>	<i>Archimedes Raia Jr.</i>	<i>Bárbara Alves</i>	<i>C. Mota Soares</i>
<i>Carlos C. António</i>	<i>Carlos Félix</i>	<i>Carlos Rodrigues</i>	<i>Carlos V. Quadros</i>
<i>Carlos Varandas</i>	<i>Catarina F. Castro</i>	<i>Cátia R. Pinto</i>	<i>Celina P. Leão</i>
<i>Clíto F. Afonso</i>	<i>Daniel A. Fumo</i>	<i>Diamantino Freitas</i>	<i>Elias Paulo</i>
<i>Elsa Caetano</i>	<i>Elza Fonseca</i>	<i>F. Veloso Gomes</i>	<i>Fátima Artur</i>

<i>Feliciano Dias</i>	<i>Feliciano Massingue</i>	<i>Fernanda Ferreira</i>	<i>Fernando Branco</i>
<i>Fernando Caldeira</i>	<i>Filomena O. Soares</i>	<i>Franz-Josef Kahlen</i>	<i>Gabriel L. Amós</i>
<i>Hélder Araújo</i>	<i>Humberto Varum</i>	<i>J. Dinis Carvalho</i>	<i>J. Mora Ramos</i>
<i>J. Reis Campos</i>	<i>J. Rodrigues Dias</i>	<i>J. Santos Baptista</i>	<i>J. Silva Gomes</i>
<i>João A. Sousa</i>	<i>João Ferreira</i>	<i>João Gomes</i>	<i>João Lemos Pinto</i>
<i>João M. Tavares</i>	<i>João Marcelino</i>	<i>Joaquim S. Pinto</i>	<i>Jorge J.G. Martins</i>
<i>Jorge Lino Alves</i>	<i>Jorge Nhambiu</i>	<i>Jorge O. Seabra</i>	<i>José A. Rodrigues</i>
<i>José A. do Carmo</i>	<i>José F. Gomes</i>	<i>José L. Esteves</i>	<i>José M. Cirne</i>
<i>José P. Vieira</i>	<i>Júlio B. Martins</i>	<i>Júlio M. Silva</i>	<i>L. Oliveira Santos</i>
<i>L. Picado Santos</i>	<i>Liliane Machado</i>	<i>Louis Pelembe</i>	<i>Lucas da Silva</i>
<i>Luis Amaral</i>	<i>Luis B. Martins</i>	<i>Luísa P.C. Lopes</i>	<i>M. Graça Madureira</i>
<i>M. Jossai Cumbi</i>	<i>M. Luisa Madureira</i>	<i>M. Pires Amado</i>	<i>M. Teresa Restivo</i>
<i>Manuel R. Cordeiro</i>	<i>Marcelo M. Moura</i>	<i>Maria Belém Martins</i>	<i>Maria J. Geraledes</i>
<i>María José Abreu</i>	<i>Maria M. Moreira</i>	<i>Mário F. Secca</i>	<i>Mário Ferreira</i>
<i>Mário P. Vaz</i>	<i>Mário Talaia</i>	<i>Nelson Beate</i>	<i>Nuno O. Fernandes</i>
<i>P. Vila Real</i>	<i>Paiva Munguambe</i>	<i>Pascoal Bacela</i>	<i>Paulo Cachim</i>
<i>Paulo Carvalho</i>	<i>Paulo G. Piloto</i>	<i>Paulo Pereira</i>	<i>Pedro Sing Sang</i>
<i>Pedro T. Pinho</i>	<i>Raquel P.F. Guiné</i>	<i>Raúl Fangueiro</i>	<i>Reinaldo Lorandi</i>
<i>Renato N. Jorge</i>	<i>Romualdo R. Salcedo</i>	<i>Ronei Moraes</i>	<i>Rosa M. Miranda</i>
<i>Rosa Vasconcelos</i>	<i>Rui C. Barros</i>	<i>Rui Lima</i>	<i>Ruy M. Cravo</i>
<i>Rui M. Sousa</i>	<i>Rui S. Camposinhos</i>	<i>Rui Vasco Siteo</i>	<i>S. Carmo Silva</i>
<i>Shaker Meguid</i>	<i>Silva Magaia</i>	<i>Silvino Moreno</i>	<i>Telmo Santos</i>

[voltar](#)

Comissão de Honra

A. Sousa Fernando
(Bastonário da O.E. de Moçambique)

Aiuba Cuereneia
(Min. Planif. e Desenv. de Moçambique)

António Cunha
(Reitor da U. Minho)

Cadmiel Muthemba
(Min. Obras Públ. e Hab.de Moçambique)

Esperança Bias
(Ministro dos Rec. Nat. de Moçambique)

Filipe Couto

Aires Aly
(Primeiro Ministro de Moçambique)

Alcinda Abreu
(Min. Coord. Acção Amb. de Moçambique)

Armando Inroga
(Ministro da Ind. e Com. de Moçambique)

Carlos Matias Ramos
(Bastonário da O.E de Portugal)

F. Seabra Santos
(Ex-Reitor da U. Coimbra)

J. Marques dos Santos

(Ex-Reitor da UEM)

João A.S.R. Queiroz
(Reitor da UBI)

Jorge Nhambiu
(Director da FEUEM)

Orlando Quilambo
(Reitor da UEM)

Salvador Namburete
(Ministro da Energia de Moçambique)

Venâncio Massingue
(Ministro C&T de Moçambique)

(Reitor da U. Porto)

João Gabriel Silva
(Reitor da U. Coimbra)

Manuel A.C. Assunção
(Reitor da U. Aveiro)

Paulo Zucula
(Min. Transp. e Comum. de Moçambique)

Sebastião Feyo de Azevedo
(Director da FEUP)

Zeferino Martins
(Ministro da Educação de Moçambique)

[voltar](#)

Patrocínios

Este documento contém os textos das comunicações apresentadas no 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / 3º Congresso de Engenharia de Moçambique, realizado em Maputo/Moçambique, 29 de Agosto-2 de Setembro de 2011. O evento beneficiou do patrocínio especial das seguintes instituições:

[Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto](#)
[Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane](#)
[Ordem dos Engenheiros de Portugal](#)
[Ordem dos Engenheiros de Moçambique](#)
[Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial](#)
[Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento](#)
[Hidroeléctrica de Cahora Bassa](#)
[Electricidade de Moçambique](#)

e do apoio de:

Consulado de Moçambique no Porto e Região Norte de Portugal, Abreu/PCO-Professional Congress Organizers, Instituto Politécnico de Bragança, Instituto Politécnico de Setúbal, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Superior de Engenharia do Porto, LAM-Linhas Aéreas de Moçambique, ENEIDA®, LNEC-Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LREC-Lab. Reg. de Eng. Civil, Universidade da Beira Interior, Universidade de Aveiro, Universidade de Coimbra, Universidade de Évora, Universidade de Trás-os-Montes e Alto

Douro, Universidade do Algarve, Universidade do Minho, Universidade Nova de Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, Riversdale Mining Ltd, Vale Moçambique SA, Motraco, ATP/Moçambique-Engenharia e Consultoria Lda, HCB, Mcel, CFM, Fipag, DNA, BIM, MOZAL, MSC-Maputo, Construtora Norberto Odebrecht SA e AON Seguros (Moçambique).

[voltar](#)

Secretariado

Maria de Fátima Silva Gomes

Nuno Trancoso Santos

Com o apoio de ABREU-PCO, Professional Congress Organizer (<http://pco.abreu.pt/>)

[voltar](#)

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PRÓTESES PARCIAIS FIXAS

Paulo Piloto*¹, André Correia², Mário Vaz³, J.C. Reis Campos², Joana Silva⁴

¹Instituto Politécnico de Bragança, IDMEC, Bragança, Portugal

²Fac. Medicina Dentária da Universidade do Porto, LOME, Porto, Portugal

³Fac. Engenharia da Universidade do Porto, LOME, Porto, Portugal

⁴Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

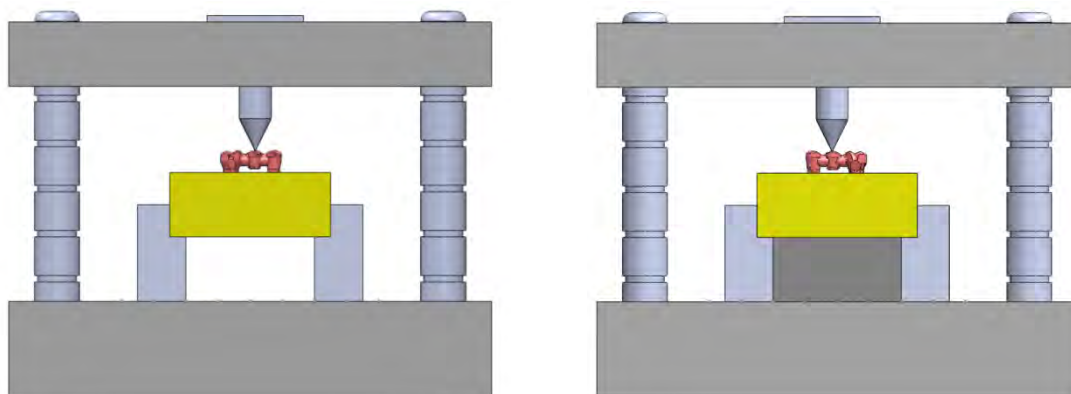
*Email: ppiloto@ipb.pt

RESUMO: A utilização de próteses parciais fixas (PPF) tem como objectivo a substituição de dentes ausentes, ou dos dentes extensamente destruídos, por estruturas protéticas que possibilitem uma reabilitação funcional e estética do sistema estomatognático. Este artigo avalia o comportamento à flexão e a capacidade resistente à fractura de uma PPF de três elementos, em zircónia com revestimento cerâmico, representativas das posições dentárias 34-35-36. As próteses foram cimentadas sobre pilares maciços, aparafusados em implantes de titânio, implantados num bloco de tecido ósseo mandibular. Nos ensaios foram medidas as forças exercidas nas próteses e as deformações no tecido ósseo e no pântico.

1. INTRODUÇÃO

Um dos aspectos importantes na biomecânica da reabilitação protética implanto-suportada está relacionado com a determinação do esforço sobre o implante e como este é transmitido ao tecido ósseo. As deformações que resultam desta actividade podem condicionar o processo de osteointegração. A micro-estrutura do osso pode assim ficar afectada pelo campo de deformações desenvolvido por acção mecânica. O processo de remodelação óssea depende da actividade mecânica e biológica, razão pela qual diversos investigadores decidiram medir e validar numericamente o valor das deformações na zona dos implantes, [Arturo, 2008; Clarice et al, 2010; Lian et al, 2010; Piloto et al, 2011]. Foram efectuados ensaios de flexão em duas PPF, figura 1a, para avaliar as deformações provocadas.

Um outro aspecto, igualmente importante, está relacionado com a capacidade resistente à fractura. A utilização de materiais frágeis e com elevada dureza nas PPF, condiciona a geometria e utilização destas estruturas protéticas. Neste trabalho são apresentados os valores de resistência à fractura de três PPF, determinados através de ensaios à flexão, ver figura 1b.



1a) Ensaio à flexão.

1b) Ensaio de rotura.

Fig. 1 – Modelo da estrutura de suporte para ensaios das PPF.

Na figura 1 estão representados dois tipos de ensaios. O ensaio de flexão distingue-se do ensaio de resistência à fractura pela existência de um bloco rígido de suporte ao bloco de tecido ósseo.

2. ENSAIOS DE FLEXÃO

Nos ensaios de flexão foram utilizadas duas próteses devidamente instrumentadas, implanto suportadas, com vista à substituição de três dentes posteriores, importantes para um desempenho eficaz da actividade mastigatória. Trata-se de uma prótese com uma infra-estrutura em zircónia, maquinada num sistema CAD-CAM (CEREC, SIRONA) e com um revestimento cerâmico manual, desenvolvido em laboratório dentário.

Para avaliar o desempenho à flexão, foram medidas as deformações no tecido ósseo cortical, na zona circundante dos implantes na direcção mesio-distal, de ambos os lados (labial e lingual). Estas medições já foram validadas numericamente [Piloto et al, 2011] e servem para validar o campo de deformações determinado pelo método dos elementos finitos, no interior de todos os elementos envolvidos (pilares, implantes e tecidos 1/2). Foram ainda efectuadas medições das deformações produzidas em duas direcções ortogonais no dente intermédio, ver figura 2.

Para análise experimental das deformações “in-vitro” provocadas pela acção mecânica numa prótese parcial fixa, foram utilizadas duas pontes de três elementos, representativas das posições dentárias 34-35-36, cimentadas sobre pilares maciços aparafusados a implantes (Straumann®), em material de titânio, fixos numa estrutura óssea representativa de uma mandíbula, ver figura 2.

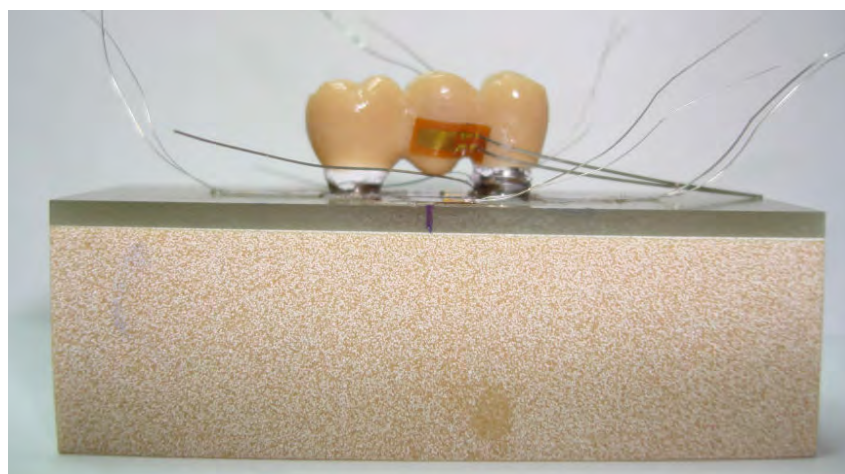


Fig. 2 Prótese parcial fixa de três elementos e bloco de tecido ósseo.

Os ensaios de flexão foram realizados em laboratório, tendo sido construída uma estrutura rígida de suporte para solicitação da prótese mandibular. O bloco de tecido ósseo foi apoiado nas duas extremidades laterais e a prótese foi solicitada através de uma força pontual, aplicada na fossa do pântico (dente em falta), com incrementos de 35 [N], utilizando um sistema mecânico apropriado, ver figuras 3 e 4.

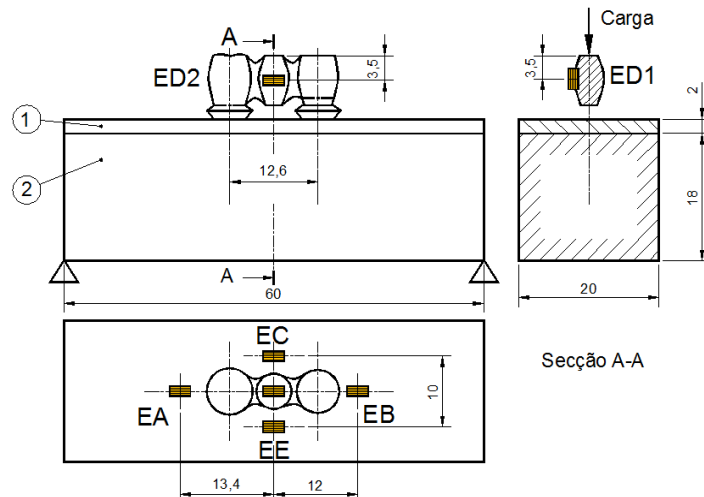


Fig. 3 Identificação dos locais de medição das deformações.

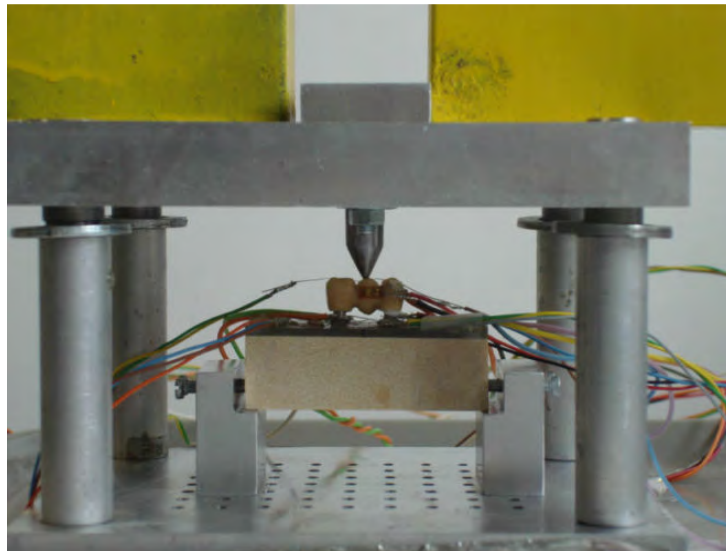


Fig. 4 Ensaio de flexão.

Foram identificadas zonas para medição da deformação no tecido ósseo, tendo em consideração a zona peri-implantar. Na figura 3 estão representadas duas camadas de tecido, sendo que a camada cortical (1) possui uma espessura de 2 [mm], enquanto a camada trabecular (2) possui uma espessura de 18 [mm]. Foram colocados cinco extensómetros na superfície superior da camada cortical (EA, EB, EC, ED e EE) e mais dois extensómetros no pântico para medição da deformação na direcção mesio-distal (ED2) e na direcção apical-incisal (ED1).

Para medição das deformações foram utilizados extensómetros HBM 1-LY18-3/350 para aplicação em materiais plásticos.

O bloco do tecido ósseo de 3ª geração foi adquirido na empresa Sawbones, sendo constituído por fibra de vidro epoxy e por espuma de poliuretano, com massa específica de 1.7 [g/cm³] e 0.48 [g/cm³], respectivamente. Estes materiais apresentam propriedades mecânicas consistentes com os materiais de uma estrutura mandibular e constituem um meio alternativo para ensaio do tecido ósseo cortical e trabecular, ver tabela 1.

Tab. 1 – Propriedades mecânicas dos materiais.

Material	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coefficiente de Poisson [-]
Osso trabecular	0.518	0.30
Osso cortical	10.000	0.30
Cerâmica rev.	66.900	0.29
Titânio	105.000	0.37
Zircônia	250.000	0.34

Nas figuras 5-6 estão representados os resultados dos ensaios de flexão efectuados em duas próteses. As medições foram efectuadas com incrementos de força até um valor limite de 350 [N]. Este valor é inferior ao valor médio de rotura, medido para o colapso de três prótese parcial fixas, (1463.1 [N]).

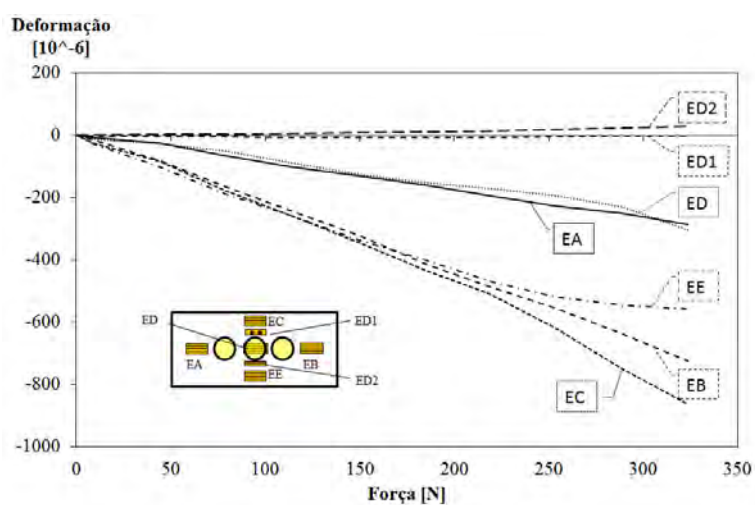


Fig. 5 Deformações com prótese 1, ensaio flexão.

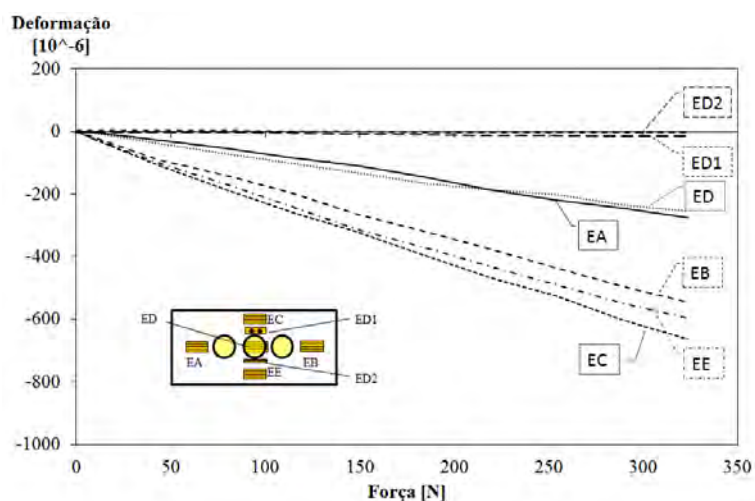


Fig. 6 Deformações com prótese 2, ensaio flexão.

A deformação medida varia linearmente com o incremento da força. Os resultados obtidos com as duas próteses são semelhantes e coerentes. As zonas que apresentam maiores valores

de deformação estão localizadas nas extremidades vestibular (EE) e lingual (EC). O valor da deformação por baixo da zona do pântico (ED) apresenta um valor de deformação, na direcção mesial-distal, próximo das zonas circundantes dos implantes, eliminando qualquer incerteza em relação a ausência de actividade mecânica.

O valor da deformação medida na posição EB não coincide com o valor medido em EA pelo facto da posição dos extensómetros não ser simétrica em relação ao ponto de aplicação da carga.

O valor das deformações medido nas posições ED1 e ED2 é muito pequeno, quando comparado com os valores obtidos no tecido ósseo. Este resultado está relacionado com o elevado valor relativo do módulo de elasticidade do material utilizado na infra-estrutura das próteses (zircónia).

A reprodutibilidade do ensaio de flexão é boa, podendo explicar as pequenas diferenças nas deformações de ambos ensaios pela eventual pequena diferença de geometria de revestimento de cada prótese.

3. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FRACTURA

Na figura 7 está representado o sistema experimental utilizado para ensaio das próteses parciais fixas à rotura. Foram ensaiadas três próteses até se atingir o estado limite de fissuração. O critério utilizado para determinar este estado limite foi a observação da primeira fissura visível, com separação de material, ver figura 8.

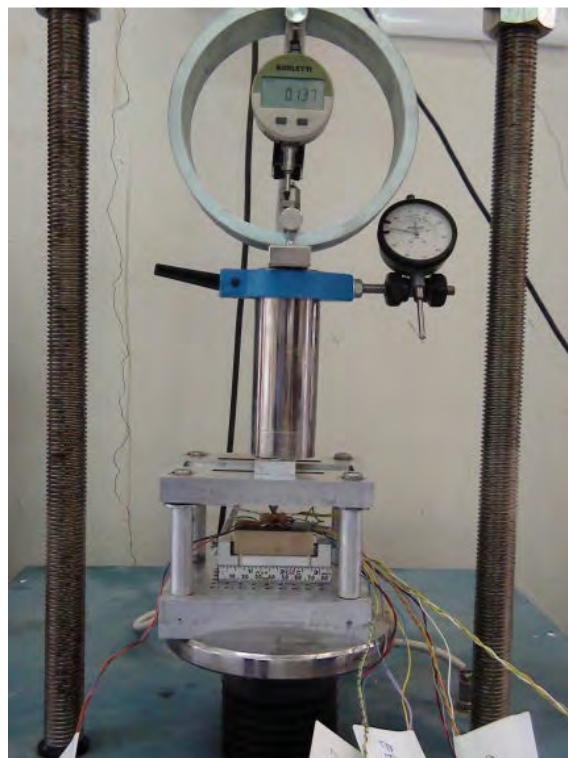


Fig. 7 Ensaio de rotura.

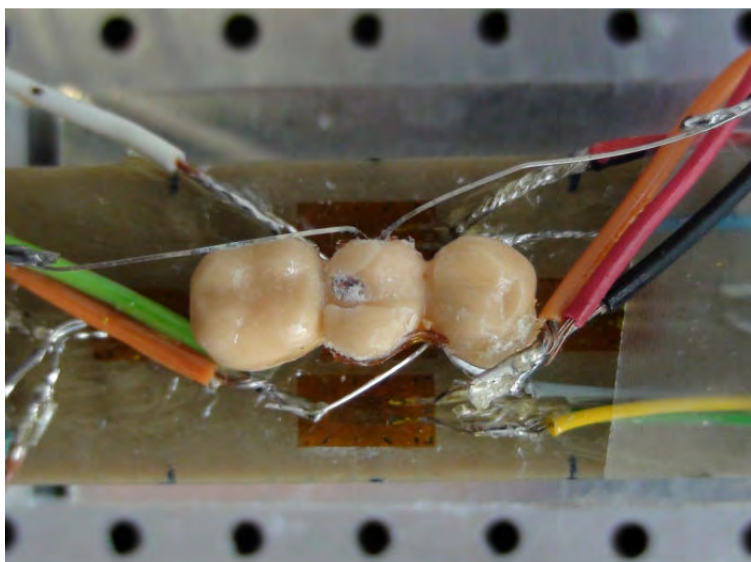


Fig. 8 Estado limite para ensaio de resistência à fractura.

Foram efectuadas medições de deformações durante a realização dos ensaios. As deformações medidas no pântico (ED1) foram sempre de compressão e com valor muito inferior às deformações medidas no tecido. A evolução da deformação apresentou uma evolução não linear para os três ensaios, em particular para valores de forças superiores a 800 [N].

A força foi aplicada no mesmo local (pântico), com uma velocidade de 0.02 mm/min. As próteses foram solicitadas até ao valor de uma força limite de 1119.7, 1760.9 e 1508.9 [N], respectivamente. A resistência média foi de 1463.15 [N], ver tabela 2.

Tab. 2 - Resultados de resistência à fractura.

Prótese	Força limite [N]
Prótese 1	1119.7
Prótese 2	1760.9
Prótese 3	1508.9
Média ± DP	1463.1 ±263.8

3. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um sistema dedicado para aplicação de carga no pântico da prótese e aplicados extensómetros para avaliar o campo de deformação no tecido ósseo cortical e no pântico.

Foram realizados dois ensaios à flexão, com próteses parciais fixas cimentadas em dois pilares aparafusados sobre implantes, devidamente fixados num bloco de tecido ósseo. Estes ensaios de flexão foram realizados com carga incremental, até ao valor limite de referência. As deformações medidas confirmam o estado de compressão desenvolvido à superfície do tecido cortical e a detecção de actividade mecânica na região inter-implantar.

Foram ainda realizados três ensaios de rotura para determinação da capacidade última deste tipo de próteses. A variação dos resultados sugere a realização de mais ensaios experimentais e a simulação do processo de ensaio, com recurso a modelos de fissuração distribuída.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a colaboração do Dr. Manuel Neves - Médico Dentista, Director Clínico da Clínica Dr. Manuel Neves – Porto – Portugal e ao Sr. Nuno Alves - Técnico Superior de Prótese Dentária, da mesma clínica.

REFERÊNCIAS

Arturo N. Natali, “Dental Biomechanics, Taylor and Francis, 2003.

Clarice Field, Qing Li, Wei Li, and Michael Swain, “Biomechanical Response in Mandibular Bone due to Mastication Loading on 3-Unit Fixed Partial Dentures,” *Journal of Dental Biomechanics*, vol. 2010, Article ID 902537, 2010, 11 pages.

Z. Lian, H. Guan, S. Ivanovski, Y-C. Loo, N.W. Johnson, H. Zhang, “Effect of bone to implant contact percentage on bone remodelling surrounding a dental implant”, *International journal of oral and maxillofacial surgery*, volume 39, issue 7, 1 July 2010, pp 690-698.

Paulo Piloto, André Correia, Mário Vaz, J. C. Reis Campos e Hernâni Lopes, “Análise de deformações provocadas por uma prótese parcial fixa em tecido ósseo mandibular”; 4º Congresso Nacional de Biomecânica, ISBN 978-989-97161-0-0, Coimbra, Portugal, 4 e 5 de Fevereiro, 2011, pp 329-333.