

TÉCNICA 01

Revista de Engenharia

2013



aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico



Protocolo AEIST/BPI

O futuro começa hoje.



O BPI, em parceria com a Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico (AEIST), desenvolveu o Cartão AEIST/BPI que dá acesso a um conjunto alargado de vantagens e descontos, apresentando ainda todas as funcionalidades de um Cartão de Débito Visa Electron.

Abra uma conta no BPI, caso ainda não seja titular, e peça o seu cartão no BPI. O futuro começa agora.

Toda a informação no Balcão BPI do Instituto Superior Técnico e 800 22 10 22 (linha grátis com atendimento personalizado, das 7h às 24h).

ÍNDICE

- 04** EDITORIAL
- 06** MIRA FERNANDES E A FÍSICA-MATEMÁTICA NA FUNDAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA REVISTA TÉCNICA _ José P. Sande Lemos
- 14** ABORDAGEM DETERMINÍSTICA E ESTOCÁSTICA À PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS EXTERIORES DE FACHADA _ A. Silva, J. D. Silvestre e J. de Brito
- 21** ANÁLISE DAS IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE HUMANA DO USO DAS NANOTECNOLOGIAS _ Albuquerque, P.C.S. e Gomes, J.F.P.
- 27** NORMAS DE ADMISSÃO DE TRABALHOS E INSTRUÇÕES PARA AUTORES
- 28** A SEGURANÇA SÍSMICA NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS _ Carlos Sousa Oliveira, Ema Coelho, Aníbal Costa, Paula Teves Costa, Mário Lopes, Rui Carrilho Gomes e Rogério Bairrão
- 34** BRINGING THE POWER OF THE SUN TO EARTH: PORTUGUESE CONTRIBUTION _ Bruno Gonçalves, Alberto Vale and Carlos Silva
- 44** ENVIRONMENTAL ASPECTS ASSOCIATED WITH THE USE OF GEOTHERMAL RESOURCES: HIGH VS. LOW ENTHALPIES _ Matos, C., Marques, J.M. and Carreira, P.M.

FICHA TÉCNICA:

TÉCNICA, Revista de Engenharia
ISSN 0040-1714
Distribuição gratuita limitada ao stock existente

Propriedade

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, 1 – 1049-001 Lisboa, Portugal
Tel: 218 417 248 . Fax: 218 417 250
e-mail: aeist@ist.utl.pt
website: <http://www.aeist.pt>

Administração

e-mail: TECNICA@aeist.pt

Concepção Gráfica

The Lab
Rua Eduardo Bairrada, 3º B, 1300-212 Lisboa, Portugal
e-mail: geral@thelab.pt
Website: <http://www.thelab.pt/>



editorial



Presidente da AEIST: João Pedro Costa

Após o ano de comemoração do seu centenário a AEIST, Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, reedita uma nova edição da sua revista Técnica, 95 anos após o seu primeiro número. Esta revista, despertou grande interesse da comunidade científica e de investigação ligada à área da engenharia em Portugal. Com comercialização nacional e internacional a revista Técnica permitiu a abertura de horizontes a milhares de Estudantes através da partilha e promoção do desenvolvimento científico e tecnológico feito pelos Estudantes e grupos de Investigação do Instituto Superior Técnico.

Esta nova edição procura recuperar este trabalho de promoção e divulgação do trabalho desenvolvido pelo Técnico. Um projecto feito por Estudantes para Estudantes e que conta com a colaboração dos mais variados grupos de Investigação. Importa mostrar, na actual conjuntura, o que de melhor se faz no nosso país e apelar ao positivismo e capacidade técnica da nossa geração. Estimular o espírito empreendedor e activo muitas vezes associado ao perfil de um Engenheiro.

Que o trabalho e dedicação aplicados neste projecto sejam semelhantes a muitos projectos para o desenvolvimento do país. Um desenvolvimento que certamente os Estudantes do Técnico estarão envolvidos.



Presidente do IST: Arlindo Oliveira

É com grande prazer que vejo reeditada a revista Técnica, que cumpre uma importante missão de divulgação interna e externa do que melhor se faz no Instituto Superior Técnico. A atividade de investigação e desenvolvimento dos professores e investigadores do IST, tão reconhecida internacionalmente, é por vezes pouco conhecida internamente, por colegas investigadores, docentes e alunos, que trabalham paredes meias. O presente número é um bom exemplo de como a Técnica pode cumprir essa missão de divulgação interna e externa, com artigos que dão uma interessante perspetiva da diversidade da investigação feita no Técnico, e que vão desde as ciências básicas à engenharia civil, passando por áreas tão atuais como a energia, o ambiente e a biotecnologia. Tenho a certeza que estes artigos serão muito interessantes para toda a comunidade IST. Reeditar uma revista com tão longa tradição como a Técnica é um ato tão importante como corajoso, numa altura em que os projetos de edição científica atravessam desafios significativos causados pela evolução tecnológica e social. Muitas revistas de grande prestígio internacional, especializadas ou não, debatem-se com a procura de um modelo que permita simultaneamente cumprir a sua missão de divulgação e manter o equilíbrio financeiro. A Associação de Estudantes do IST, a quem desejo os melhores sucessos nesta iniciativa, está de parabéns por aceitar este desafio.

MIRA FERNANDES E A FÍSICA-MATEMÁTICA NA FUNDAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DA REVISTA TÉCNICA

José P. Sande Lemos

Centro Multidisciplinar de Astrofísica – CENTRA, Departamento de Física, Instituto Superior Técnico – IST, Universidade Técnica de Lisboa – UTL, Avenida Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal
Email: joselemos@ist.utl.pt



Resumo

Mira Fernandes (1884 -1958), célebre professor de matemática no Instituto Superior Técnico (IST), foi um pioneiro no âmbito da física-matemática em Portugal. Publicou artigos científicos em diversas áreas da física e da matemática em distintas revistas, contribuindo com um bom número de trabalhos para a revista Técnica. Neste artigo faremos um percurso pelos trabalhos publicados por Mira Fernandes na revista Técnica.

1. Introdução

É um grande regozijo para todos nós o retomar da edição regular da revista Técnica. A revista Técnica foi criada em Dezembro de 1925, uma iniciativa maior da Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico (AEIST), tendo esta associação sido fundada em 1911, quase concomitantemente com o próprio Instituto Superior Técnico (IST). A revista começou por ter como título e subtítulo “Técnica - Revista de Engenharia dos Alunos do Instituto Superior Técnico”, e mais tarde, “Técnica - Revista de Engenharia de Investigação Científica e Desenvolvimento”, entre outros subtítulos. Em 1999 foi descontinuada, provisoriamente. Treze anos depois temos a revista de novo. A revista tinha e tem como objectivo a divulgação do trabalho de investigação feito no IST, de modo que os seus alunos e professores conheçam mais facilmente esse trabalho.

Neste contexto, é apropriado revelar um dos grandes colaboradores da Técnica no passado, Mira Fernandes, professor de Matemática no IST desde a sua fundação em 1911, até 1954, ano em que se aposentou.

2. Mira Fernandes e os artigos de física e matemática na Técnica

2.1 Os artigos

Mira Fernandes escreveu 47 trabalhos na revista Técnica, o número exacto depende de como se faz a contagem, sendo o primeiro publicado em 1927 e o último em 1955. As suas publicações englobam assim os primeiros 30 anos (1925-1955) da revista e devido ao número elevado e alto nível científico ajudaram na sua fundação e consolidação. Escreveu também muitos outros trabalhos em outras revistas.

Alguns dos seus 47 artigos na Técnica são originais, outros reproduzem notas e artigos publicados em outras revistas, por vezes artigos em que o original está em italiano. Os trabalhos publicados na Técnica distribuem-se pelos seguintes temas: mecânica clássica; mecânica quântica; teorias de unificação em física e teorias cosmológicas; geometria diferencial, geometria Riemanniana e cálculo tensorial; outros temas em matemática como teoria de grupos, análise e cálculo variacional, e equações diferenciais. Também publicou artigos de divulgação científica, ora transcrevendo palestras ora pequenas biografias sobre cientistas eminentes. Finalmente, ainda aparecem artigos emitindo opiniões e ensinamentos. A divisão dos trabalhos em temas apresentada é pessoal, existem trabalhos que intersectam diferentes temas e tanto podem ser classificados num tema como noutra. As reproduções de partes de textos de artigos de Mira Fernandes e os títulos dos seus trabalhos nas Referências estão aqui transcritos com a grafia da época.

Em mecânica clássica os trabalhos de Mira Fernandes publicados na Técnica aparecem em [1,2,3,4,5,6,7]. Em mecânica quântica os trabalhos de Mira Fernandes são [8,9,10,11]. Em teorias de unificação em física e teorias cosmológicas temos [12,13]. Em geometria diferencial, geometria Riemanniana e cálculo tensorial os trabalhos publicados são vários, a saber [14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25]. Em outros temas em matemática, temos em teoria de grupos [26,27], em análise e cálculo variacional [28,29,30,31,32,33,34,35], e em equações diferenciais [36,37]. Em divulgação científica, Mira Fernandes reproduziu palestras que proferiu em [38,39] e escreveu biografias ou pequenas notas em [40,41,42]. Em opiniões e ensinamento escreveu [43,44,45,46,47].

Os trabalhos científicos e académicos de Mira Fernandes foram coligidos e reimpressos pela Fundação Gulbenkian em três volumes, entre 2008 e 2010 [48]. Esta compilação simplifica tremendamente o estudo e a compreensão de Mira Fernandes e a sua época. Todos os trabalhos citados [1-47] estão contidos em [48].

2.2 Comentários breves sobre alguns artigos

Cada um dos trabalhos de Mira Fernandes merece ser lido e judiciosamente interpretado. Para este relançamento da Técnica comentarei brevemente sobre 11 artigos que entendi de interesse.

Nos artigos "Relações intrínsecas da geometria das massas" de 1929 [2] e "Generalização dum teorema de Crofton" de 1930 [5],

Mira Fernandes entretém-nos com algumas propriedades mecânico-geométricas de sistemas de partículas pontuais com massa. O assunto pertence certamente à Mecânica, muito embora nas notas de aula do seu curso de Mecânica Racional, publicadas pela Secção de Folhas da AEIST em 1944, ele diga explicitamente que a geometria das massas é um capítulo da geometria mais do que da mecânica (ver [49], Livro II, 4a parte, p. 365). Em [2] através de propriedades geométricas de duas configurações do mesmo sistema de partículas e da definição de momento de inércia, Mira Fernandes deriva de forma simples os teoremas de König (matemático e físico alemão da primeira metade do século XVIII que estudou com os Bernoullis). Um destes teoremas diz que a energia cinética de um sistema de partículas é igual à energia cinética associada ao centro de massa mais a energia cinética associada ao movimento das partículas em torno do centro de massa. O outro diz respeito ao momento angular do sistema. Em [3] Mira Fernandes discute e generaliza um resultado de Crofton, matemático irlandês da segunda metade do século XIX, professor na Universidade Queen's de Belfast e na Real Academia Militar de Londres, com resultados importantes em teoria da probabilidade geométrica e um teorema famoso com o seu nome, e com trabalhos em mecânica aplicada (à artilharia) relacionados com sistemas de barras com juntas de pinos, um assunto que tinha também interessado Maxwell. O resultado de Crofton, que Mira chama de teorema afirma: O centro de massa dum sistema de pontos materiais de massas iguais não muda, quando esses pontos se transportam de maneira tal que a soma dos vectores de transporte seja nula. É um resultado fácil de visualizar para o caso de um sistema de duas partículas no plano. Mira Fernandes vai além e mostra o seguinte resultado novo: o centro de massa dum sistema de pontos materiais quaisquer (isto é, não necessariamente com a mesma massa) não muda, quando esses pontos se transportam de maneira tal que o mesmo sistema de massas, colocadas nas extremidades dos vectores de transporte, aos quais se atribuiu uma origem comum O , tem nesse ponto o respectivo centro de massa. Este resultado mais rebuscado, também é de visualização exequível para o caso de um sistema de duas partículas no plano. Mira Fernandes mostra então que quando as massas são iguais recai-se no resultado de Crofton. O resultado de Crofton não se encontra nem em livros-texto nem em livros especializados que consultei. É possível que estejam em livros do próprio Crofton, sobre mecânica aplicada e publicados na segunda metade do século XIX, mas não devem ser estes a fonte usada. Mira Fernandes era parco em citações em todos os seus artigos, tornando difícil encontrar as fontes.

Ainda em mecânica clássica, no artigo "O princípio de trabalho mínimo" de 1947 [7], Mira Fernandes mostra interesse maior, tardio, pelos fundamentos da teoria da elasticidade, ao fazer um comentário e complementando um artigo de Locatelli (físico italiano) de 1939, publicado nos Rendiconti della Accademia dei Lincei (Actas da Academia dos Lincei), uma revista italiana. Inicialmente deriva o teorema de Menabrea (um engenheiro-matemático de Turim, com carreira militar e política, tendo sido primeiro-ministro da Itália em 1867), que diz que num corpo elástico as tensões aplicadas adquirem valores que tornam mínima a energia elástica de deformação. Este é um teorema de energia mínima. Para deformações não-elásticas, não sendo possível definir uma energia potencial, recorre-se à noção mais

primitiva, e por isso mais geral, de trabalho, resultando num princípio de trabalho mínimo que Mira Fernandes então expõe e fornece as condições em que é aplicável. Estes teoremas têm interesse na prática de engenharia, nomeadamente, em engenharia civil. Maxwell também se interessou por estes problemas.

Em mecânica quântica, comentamos o artigo “Bodas de prata” de 1951 [11]. É o segundo artigo de Mira Fernandes na revista Técnica com o título “Bodas de prata”. O primeiro, de 1937, comemora os 25 anos do IST, já na Alameda, embora ainda em conclusão de construção, e destaca que o Instituto, devido à sua vitalidade, rapidamente se colocou como uma prestigiada escola superior do País. O segundo artigo “Bodas de prata”, sob análise, é comemorativo dos 25 anos da própria revista Técnica. Ressalta que a revista é uma revista escolar devendo acolher todos os assuntos ligados aos domínios científicos que na Escola se praticam. Aproveita o ensino e, passando de imediato a outro assunto, Mira Fernandes mostra como desenvolvimentos matemáticos e físicos podem-se unir em prol de ideias novas. Comenta um trabalho de Léon Motchane (um matemático russo de origem que em 1918 emigrou para França e mais tarde fundou o Institute des Hautes Études Scientifiques em Paris) de 1949. Partindo da constatação que fenómenos físicos devem, dado que conhecemos o passado e não o futuro, ser representados por funções esquerdas do tempo (imaginando que o tempo vai da esquerda para a direita numa recta) e usando propriedades de certas integrais, Mira Fernandes mostra que algumas propriedades das variáveis quânticas, como saltos nos seus valores ao longo do tempo, emergem naturalmente. Enaltece a existência de uma harmonia nas descobertas científicas. Mais uma vez, nenhum dos trabalhos a que Mira Fernandes se refere são citados no seu artigo.

Em teorias de unificação em física e teorias cosmológicas devemos mencionar o artigo “Modernas concepções da mecânica” de 1933 [12], publicado ao longo de quatro números da revista Técnica. É uma transcrição das magníficas lições proferidas por Mira Fernandes em 1933 no Instituto de Altos Estudos em Lisboa, onde discorre de forma notável sobre os desenvolvimentos da física, nomeadamente, sobre mecânica Newtoniana, relatividade restrita, relatividade geral, teorias unitárias e cosmologia, e mecânica quântica. Esta pletora de tópicos demonstra que era um profundo conhecedor de física teórica. De especial relevo nestas lições é a sua análise das teorias unitárias, teorias que, a partir da década de 1920, tentavam unificar os campos gravitacional e electromagnético, os dois únicos campos fundamentais conhecidos então. Actualmente existem mais dois campos fundamentais, o nuclear forte descrito pela cromodinâmica quântica e o nuclear fraco descrito, em conjunto com o electromagnético, pela teoria electrofraca. Com o tempo, as teorias unitárias passaram a chamar-se teorias de unificação e, por fim, teorias de tudo. Mira Fernandes publicou entre 1932 e 1933 três trabalhos originais sobre teorias unitárias nos Rendiconti della Accademia dei Lincei (Actas da Academia dos Linceus), a revista italiana onde gostava de publicar (ver [48]). Em 1934 publicou ainda outro trabalho neste assunto na mesma revista (ver [48]). Nomes importantes que se debruçaram sobre teorias unitárias são Weyl (físico e matemático alemão), Eddington (astrofísico inglês), Einstein, Cartan (matemático francês) e outros. Estes, interessaram-se pelos fundamentos matemáticos da

teoria da relatividade geral de Einstein e propuseram novas formas de espaços-tempos, ou cronotopos como Mira Fernandes lhes chamava, na tentativa de englobar o electromagnetismo e a gravitação numa só teoria, a teoria unitária. No artigo “Modernas concepções da mecânica” [12], no capítulo que se refere às teorias unitárias, Mira Fernandes desenvolve a motivação dos seus trabalhos originais. Com o seu conhecimento de geometria diferencial, percebe que os trabalhos de Straneo, um físico-matemático italiano, podem ter desenvolvimentos interessantes. Em espaços curvos, assim como em espaços-tempos curvos, para se poder comparar vectores em diferentes pontos é necessário possuir uma conexão, um objecto matemático que faz essa comparação e possibilita a existência da operação derivada. Em geral, existem dois tipos de vectores, os chamados contravariantes e os covariantes, com cada tipo tendo uma conexão distinta. Estas duas conexões distintas estão inter-relacionadas através de um objecto, o conector C , que na forma mais simples é um vector C_α com α sendo um índice espaço-temporal variando de 1 a 4. Mira Fernandes mostra que num contexto abrangente da teoria da relatividade geral, isto é, numa teoria unitária em que o espaço-tempo, além de curvatura, possui torsão e não-metricidade, este conector C_α pode ser interpretado como o potencial-vector A_α do campo electromagnético, tal que, $A_\alpha = -\frac{1}{2}C_\alpha$ possibilitando a unificação do campo gravitacional, dado pela métrica, com o campo electromagnético, dado pelo conector. Em geometria Riemanniana, e assim, em relatividade geral, o conector é zero. Note-se ainda que a influência do matemático no título deste artigo é notória. Um físico escreveria “Modernas concepções da física”. Para Mira Fernandes, claramente, os desenvolvimentos modernos da física faziam parte da mecânica. A disciplina de mecânica racional, iniciada em sua plenitude por Euler, era ensinada por matemáticos desde o fim do século XVIII. Mira Fernandes, ensinou mecânica racional durante muitos anos, e certamente considerava-a um ramo da matemática. As notas de aula correspondentes já mencionadas [49], mostram uma abordagem da grande variedade de tópicos de física apresentados anos antes no artigo “Modernas concepções da mecânica” [12].

Ainda em teorias de unificação em física e teorias cosmológicas mencionamos a nota “Mecânica e geometria” de 1936 [13]. Neste artigo sucinto, refere-se a espaços geométricos usados por Milne, um cosmólogo britânico contemporâneo, e a espaços de Hilbert como usados por Destouches, um físico-matemático francês também contemporâneo, para mostrar que o princípio variacional, como lei geral da mecânica, é um princípio fundamental que deve ser alargado. É uma visão do que, de facto, seria a física teórica no futuro. Desde a década de 1960, que se acredita que todas as leis da física fundamentais devem ser deriváveis, simultaneamente, de uma acção, contendo os campos fundamentais, e do princípio variacional de Hamilton.

Em geometria diferencial, geometria Riemanniana e cálculo tensorial, citamos o artigo “Aspectos da moderna geometria diferencial” de 1942 [21]. Felix Klein, um matemático alemão, sugeriu na segunda metade do século XIX que uma dada geometria pudesse ser definida a partir da invariância de uma variedade ou espaço, relativamente a todas as transformações de um grupo actuando nessa variedade. Mostrou-se mais tarde que esta ideia é limitada,

por exemplo, não inclui a geometria Riemanniana. Por outro lado, Levi-Civita, um matemático italiano, mostrou em 1917 como definir, através de uma conexão geral, independente da métrica, um vector paralelo a outro numa variedade curva, ideia essa reinventada por Weyl no mesmo ano. Em geral, o transporte paralelo de vectores depende do caminho. Para um caminho fechado e infinitesimal, se, após transporte, o sistema de vectores de referência no ponto final coincide com o sistema de referência inicial, o espaço é dito holónimo, caso contrário é não-holónimo. Neste último caso o espaço tem em geral, além de curvatura, torsão. As transformações dos sistemas de referência que correspondem aos caminhos fechados formam um grupo, o grupo de holonomia. Agora, num dado espaço definem-se caminhos homotópicos como sendo o conjunto de caminhos fechados que podem ser deformados entre si de forma contínua. Uma dada variedade pode admitir várias famílias de caminhos, formando estas um grupo para a composição de caminhos, denominado o grupo fundamental da variedade. Mais, numa variedade plana, dois caminhos fechados homotópicos fornecem a mesma transformação linear para o sistema de referência associado, e por isso, neste caso o grupo de holonomia é uma representação do grupo fundamental da variedade. Mas para variedades curvas, a curvatura muda o transporte paralelo entre caminhos fechados homotópicos, a diferença dos vectores transportados sendo dada pelo tensor de Riemann e pela torsão. Estas são ideias de Cartan. Mira Fernandes neste artigo flutua por estas ideias mostrando como a ideia inicial de Klein foi generalizada por Cartan, e como a colaboração entre vários domínios da matemática, como os domínios algébrico, geométrico e variacional, ajudaram a construir uma abrangente teoria da geometria.

Ainda em geometria diferencial, geometria Riemanniana e cálculo tensorial, mencionamos o artigo "As geodésicas dos espaços unitários" de 1950 [24]. Este artigo fez um certo furor. Generaliza resultados de Coburn, um físico-matemático de Michigan, interessado em teoria da elasticidade, fluidos e relatividade, e que escreveu um livro-texto conhecido sobre análise vectorial e tensorial.

Em outros temas em matemática, podemos indicar os artigos de análise "Funções contínuas sobre uma superfície esférica" de 1943 [32] e "Funções contínuas sobre uma superfície esférica" de 1945 [34]. Nestes dois trabalhos com o mesmo título e correlacionados, Mira Fernandes usa resultados de Rademacher, um matemático alemão, e um trabalho de 1942 de Kakutani, um matemático japonês-americano, para mostrar que sob certas condições uma função sobre a esfera tem valores iguais em três pontos bem definidos da própria esfera.

Em divulgação científica nomeamos o artigo "Prémio Nobel da Física" de 1934 [41]. Neste artigo Mira Fernandes homenageia os construtores da mecânica quântica. A Heisenberg foi atribuído o prémio de 1932, somente recebido em 1933 por atraso no julgamento do comité Nobel, pela criação da mecânica quântica. A Schrödinger e Dirac foi atribuído conjuntamente o prémio de 1933, recebido no próprio ano. Schrödinger recebeu-o pela criação da mesma mecânica quântica através de um formalismo totalmente diferente e mais natural, e Dirac obteve-o pelo desenvolvimento da mesma para a esfera relativista com a criação da equação para o electrão, a equação de Dirac, que unifica mecânica quântica, relatividade e spin, e a consequente previsão da existência do positrão, previsão essa que se

veio a confirmar de forma espectacular logo em 1932 por Anderson no Caltech.

Em opiniões e ensinamentos, podemos referir o artigo "Oração de sapiência" de 1928 [43]. Esta Oração foi lida na sessão de abertura do ano académico de 1927-1928 no IST (ainda situado na Rua do Instituto Industrial). Desde a sua fundação esta seria a primeira vez que o IST inauguraria o ano escolar com uma sessão solene. Certamente Mira Fernandes foi convidado por Duarte Pacheco, seu ex-aluno e agora colega e amigo, director do IST desde Agosto desse ano, com apenas 27 anos. No artigo, Mira Fernandes discorre sobre o que é ser professor e revela "Só é professor quem possui e sabe transmitir conhecimentos, criando aspirações de saber, desenvolvendo-as, utilizando-as na facilitação do seu mister de ensinar". E logo a seguir "Por isso, ser professor é também uma arte". Conjuntamente, fala sobre o estudante e sustenta "Eu creio que deve chamar-se bom estudante àquele que possui, simultaneamente, dotes de inteligência e de vontade, aliados à elevação moral necessária para não dispensar a crítica, do que se sabe e a consciência do que se aprende". E logo a seguir "Bom estudante é aquele que ajusta o seu esforço ao do mestre, não só com intuítos de solidariedade, mas também de estímulo. O bom aluno é um dos mais notáveis agentes de formação do bom professor". Num outro contexto, destaca ainda o princípio de liberdade ou de autonomia para os graus superiores de ensino.

3. Mira Fernandes: o mestre e o sábio

Quem foi Mira Fernandes?

Tendo nascido em 1884 no Alentejo, Aureliano Lopes de Mira Fernandes formou-se e doutorou-se em Matemática em 1910 e 1911, respectivamente, na Universidade de Coimbra, sob a orientação de Sidónio Pais, à data ainda professor nessa Universidade (mas não por muito mais tempo). Desde cedo mostrou também interesse em física teórica, sendo por isso um físico-matemático natural.

Entrou para o Instituto Superior Técnico (IST) em 1911, logo a seguir ao seu doutoramento, como Professor Catedrático. O IST tinha acabado de ser fundado pela República, certamente uma das grandes obras desta. Estava instalado na Rua do Instituto Industrial (perto da Rua Conde Barão) ao lado do rio Tejo em instalações provisórias. Só se mudou para a Alameda, com instalações dignas e prestigiadas, pelo ano de 1937, devido ao esforço inaudito de Duarte Pacheco [50]. No IST, Mira Fernandes leccionou, até à sua aposentadoria em 1954, as disciplinas de Matemáticas Gerais, de Cálculo Infinitesimal, Integral e das Variações, e de Mecânica Racional. Também foi professor no Instituto Superior do Comércio, actual Instituto Superior de Economia e Gestão (ISEG).

Como professor, Mira Fernandes tinha enorme prestígio entre muitos alunos. Por exemplo, no seu Jubileu, os cursos que tiveram início nos cinco primeiros anos do IST, isto é, os cursos com início em 1911 e seguintes até 1916, homenagearam o professor numa festa. No discurso, Mira Fernandes com apego diz: "Aprendi convosco a dar os primeiros passos na missão de ensinar, sem alardes duma perfeição inatingível, mas com uma devoção que não cansou em largos anos de

exercício” (ver [48]).

Como cientista Mira Fernandes notabilizou-se. Os trabalhos originais mais reconhecidos estão publicados nos Rendiconti della Accademia dei Lincei (Actas da Academia dos Linces). Enviava-os a Levi-Civita, que por sua vez os comunicava à Academia dos Linces, e assim eram finalmente publicados. Estes trabalhos debruçam-se sobre os assuntos mais queridos a Mira Fernandes, como geometria diferencial e teorias de unificação, entre outros. Correspondeu-se também com Cartan, que, significativamente, num dos seus trabalhos agradece a Mira Fernandes por tê-lo ajudado na simplificação de uma fórmula.

Vários trabalhos citam os artigos de Mira Fernandes, um facto prestigiante para o próprio e para a instituição em que se trabalha. Um artigo seu renomado, “Sulla teoria unitaria dello spazio fisico” de 1932, publicado nos Rendiconti della Accademia dei Lincei (ver [48]), e a que Mira Fernandes alude nas magníficas aulas “Modernas concepções da mecânica” [12], é citado por Synge, um físico-matemático irlandês, no seu famoso livro de 1960, estudado por várias gerações de relativistas, *Relativity: The general theory*. O artigo “As geodésicas dos espaços unitários” [24], foi publicado no mesmo ano na Revista da Faculdade de Ciências, em italiano, com o título “Le geodetiche degli spazi unitari”. O nome do seu autor e o título percorreram o mundo, já que o artigo foi citado em 1954 no célebre livro *Ricci Calculus* de Schouten. Os trabalhos deste matemático holandês em torno da década de 1920 tinham sido exaustivamente estudados por Mira Fernandes. Podemos assim admitir que esta citação tenha sido motivo para júbilo maior. Também é citado no livro *La théorie du champ unifié d’Einstein et quelques-uns de ses développements* de 1955, de Mme. Tonnelat, uma física francesa, onde se expõem as teorias unitárias de Einstein e Schrödinger, à época ainda em voga. O artigo “Funções contínuas sôbre um superfície esférica” de 1943 [32] também apareceu em italiano com o título “Funzioni continue sopra una superficie sferica”, publicado no mesmo ano na revista *Portugaliae Mathematica*. Baritomba, Löwen, Polster e Ross, num artigo com o título “Mathematical table turning revisited”, publicado na revista *Mathematical Intelligencer* em 2007, citam este artigo de Mira Fernandes, o que não deixa de ser admirável.

Mira Fernandes também exerceu actividades em prol do desenvolvimento da ciência em Portugal.

Mira Fernandes foi mais do que reconhecido entre pares, designadamente por Vicente Gonçalves, professor de Matemática em Coimbra, e António Silveira, professor de física no IST, entre muitos outros matemáticos portugueses com quem se correspondeu. Foi membro da Academia das Ciências de Lisboa a partir de 1928, e logo que considerou oportuno, em 1932, indicou Levi-Civita e Einstein para membros estrangeiros da mesma Academia. Em 1930 foi nomeado sócio correspondente da Real Academia de Ciências de Madrid. António Aniceto Monteiro, matemático activo nos anos de 1930 e posteriores, fez reimprimir em 1940 no volume 1 da revista *Portugaliae Mathematica*, todos os trabalhos de Mira Fernandes publicados até então nos Rendiconti della Accademia dei Lincei.

Após a sua morte foram-lhe prestadas várias homenagens. Menciono quatro. Em 1971, e seguindo os passos de Aniceto Monteiro, houve uma primeira tentativa de publicar a obra completa

de Mira Fernandes, mas só um volume de textos saiu, editado por Vicente Gonçalves e publicado pelo Centro de Estudos de Estatística do Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras (actual ISEG). A revista *Técnica* de 1978 [51] é inteiramente dedicada a Mira Fernandes, com um excelente artigo de introdução de Abreu Faro, professor do IST e editor da *Técnica*. Na capa dessa revista encontram-se as equações $\frac{\partial \gamma}{\partial e_\alpha} = 0$. Estas aparecem originalmente no artigo de Mira Fernandes “Equazioni della Dinamica”, publicado na *Portugaliae Mathematica* em 1941 (ver [48]). O próprio Mira Fernandes diz que estas equações dão a forma mais condensada de escrever as equações da dinâmica. Aqui ∂ denota derivada parcial. O símbolo γ é uma função escalar definida por, $\gamma = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{(F_i - m_i a_i)^2}{m_i}$ e F_i , m_i e a_i são a força sobre a partícula i , a massa e a aceleração da partícula i , respectivamente, para um sistema de N partículas. As quantidades e_α são velocidades generalizadas efectivas que Mira Fernandes chama de características cinéticas. Para um sistema de N partículas descrito por n coordenadas generalizadas q_k e sujeito a p vínculos não-holónomos (isto é, vínculos ao sistema que não podem ser exprimidos simplesmente por uma relação funcional entre as coordenadas generalizadas da configuração), o índice α em e_α varia de 1 a $n-p$. O símbolo $'$ em e_α' denota derivada em relação ao tempo. A aceleração a_i é função dos e_α' . Estas equações são originais, podendo ser denominadas equações de Mira Fernandes. A partir delas pode-se mostrar que as equações de Appell (matemático francês versado em mecânica racional) e as equações de Maggi (matemático italiano versado em mecânica racional), como apresentadas no livro *Lezioni di Meccanica Razionale* de 1926 de Levi-Civita e Amaldi (matemático italiano) seguem das equações de Mira Fernandes. Ainda outra homenagem da revista *Técnica* de 1995 [52] é da maior relevância neste relançamento. Nesta edição da revista de 1995, reproduzem-se vários artigos históricos. É de interesse indicar o artigo do engenheiro civil Fernando de Sousa apresentando o nº 1 da *Técnica* de Dezembro de 1925, e excertos do artigo “Modernas concepções da mecânica” de 1933 [12], que comentámos acima. A mais recente homenagem aconteceu em 2008, quando se celebrizaram os 50 anos de sua morte. Foi promovida pela Universidade Técnica de Lisboa, com a sessão de abertura no ISEG em 2008, e a organização no IST em 2009 das conferências “Mira Fernandes e a sua época, uma conferência histórica em memória de Aureliano de Mira Fernandes (1884-1958)” da qual saíram actas [53], e “Relatividade Matemática em Lisboa”. Nesta oportunidade deu-se ainda início, finalmente, ao lançamento das suas obras completas [48].

Para mais informações com detalhes técnicos da obra de Mira Fernandes ver [54,55], e para um estudo de Mira Fernandes no contexto da introdução da teoria da relatividade geral em Portugal ver [56].

4. Conclusão

Mira Fernandes foi um grande e fiel colaborador da revista *Técnica* desde praticamente a sua incipiência em 1925. O seu primeiro trabalho publicado na revista foi "Forças interiores" em 1927 [1] e o seu último, "As geodésicas na definição de curvatura" [25], saiu em 1955, já depois de se aposentar. Os seus trabalhos mostram erudição e virtuosidade invejáveis. Que o seu labor nos sirva de exemplo para podermos continuar a ter uma revista *Técnica* de excepcional categoria, ainda mais nos tempos próximos em que o IST se deve impor continuamente como uma escola de frente a nível nacional e internacional.

Termino com a seguinte história. Numa reunião informal, alguém entre os participantes contava: "Nós, os sábios, éramos sete. Três sabiam muito de física, três sabiam muito de matemática; só um sabia muito de física e matemática, mas a minha modéstia não me permite dizer quem era." Por um lado, Mira Fernandes nunca poderia ter sido o protagonista desta história de domínio público, dada a sua educação, respeito e humildade demonstradas nos seus escritos e nas opiniões de colegas, alunos, e amigos. Por outro, podemos dizer que se havia alguma pessoa em Portugal que dominava a física teórica e a matemática nesse período, essa pessoa era ele. Esta competência está desfilada de forma patente pela revista *Técnica* ao longo de 30 anos.

Agradecimentos – Agradeço a Amaro Rica da Silva conversas sobre Mira Fernandes e sua obra. Agradeço a Susana Maia a ajuda na edição final do artigo.

Referências

- [1] A. L. de Mira Fernandes, "Forças interiores", *Técnica* 7, 42 (1927).
- [2] A. L. de Mira Fernandes, "Relações intrínsecas da geometria das massas", *Técnica* 17, 12 (1929).
- [3] A. L. de Mira Fernandes, "O princípio de Hertz", *Técnica* 18, 42 (1929).
- [4] A. L. de Mira Fernandes, "Uma propriedade do elipsoide de Clebsch", *Técnica* 21, 130 (1929).
- [5] A. L. de Mira Fernandes, "Generalização dum teorema de Crofton", *Técnica* 24, 225 (1930).
- [6] A. L. de Mira Fernandes, "Sistemas canónicos às derivadas parciais", *Técnica* 99, 87 (1939).
- [7] A. L. de Mira Fernandes, "O princípio de trabalho mínimo", *Técnica* 177, 563 (1947).
- [8] A. L. de Mira Fernandes, "Sobre o momento gradiente de fase", *Técnica* 27, 311 (1930).
- [9] A. L. de Mira Fernandes, "Valores médios em mecânica ondulatória", *Técnica* 34, 66 (1931).
- [10] A. L. de Mira Fernandes, "A mecânica geral", *Técnica* 61, 475 (1934).
- [11] A. L. de Mira Fernandes, "Bodas de prata", *Técnica* 209-210, 263 (1951).
- [12] A. L. de Mira Fernandes, "Modernas concepções da mecânica", *Técnica* 50, 74 (1933); *Técnica* 51, 113 (1933); *Técnica* 52, 153

- (1933); *Técnica* 53, 186 (1933).
- [13] A. L. de Mira Fernandes, "Mecânica e geometria", *Técnica* 71, 261 (1936).
- [14] A. L. de Mira Fernandes, "Sobre a derivação parcial do tensor fundamental", *Técnica* 31, 440 (1930).
- [15] A. L. de Mira Fernandes, "Curvatura linear", *Técnica* 38, 203 (1931).
- [16] A. L. de Mira Fernandes, "Vectores derivados e direcções associadas", *Técnica* 49, 40 (1934).
- [17] A. L. de Mira Fernandes, "Tensores paramétricos", *Técnica* 58, 369 (1934).
- [18] A. L. de Mira Fernandes, "Derivação tensorial composta nos espaços não pontuais", *Técnica* 65, 72 (1935).
- [19] A. L. de Mira Fernandes, "Derivadas tensoriais simétricas", *Técnica* 93, 604 (1938).
- [20] A. L. de Mira Fernandes, "Axiomática dos espaços de elemento linear", *Técnica* 113, 831 (1940).
- [21] A. L. de Mira Fernandes, "Aspectos da moderna geometria diferencial", *Técnica* 131, 949 (1942).
- [22] A. L. de Mira Fernandes, "Conexões finitas", *Técnica* 158, 519 (1945).
- [23] A. L. de Mira Fernandes, "Transportes finitos", *Técnica* 199, 895 (1950).
- [24] A. L. de Mira Fernandes, "As geodésicas dos espaços unitários", *Técnica* 201, 1005 (1950).
- [25] A. L. de Mira Fernandes, "As geodésicas na definição das curvaturas duma superfície", *Técnica* 254, 557 (1955).
- [26] A. L. de Mira Fernandes, "Evolução do conceito de grupo", *Técnica* 46, 487 (1932); *Técnica* 47, 526 (1932).
- [27] A. L. de Mira Fernandes, "Equações de estrutura", *Técnica* 96, 1 (1939).
- [28] A. L. de Mira Fernandes, "Um problema de análise", *Técnica* 40, 283 (1932).
- [29] A. L. de Mira Fernandes, "Distância e vizinhança", *Técnica* 62, 511 (1934); *Técnica* 63, 1 (1935).
- [30] A. L. de Mira Fernandes, "Evolução do cálculo variacional", *Técnica* 79, 1 (1936).
- [31] A. L. de Mira Fernandes, "Linearidade", *Técnica* 107, 519 (1940).
- [32] A. L. de Mira Fernandes, "Funções contínuas sobre um superfície esférica", *Técnica* 142, 563 (1943).
- [33] A. L. de Mira Fernandes, "Problemas auxiliares no cálculo variacional. Lugares geométricos generalizados", *Técnica* 151, 53 (1944).
- [34] A. L. de Mira Fernandes, "Funções contínuas sobre um superfície esférica", *Técnica* 160, 631 (1945).
- [35] A. L. de Mira Fernandes, "Uma generalização da série de Fourier", *Técnica* 228, 201 (1953).
- [36] A. L. de Mira Fernandes, "Há cinquenta anos", *Técnica* 37, 173 (1931).
- [37] A. L. de Mira Fernandes, "A teoria das equações diferenciais e a ciência francesa", *Técnica* 60, 442 (1934).
- [38] A. L. de Mira Fernandes, "O espírito matemático e a cultura geral", *Técnica* 16, 227 (1928).
- [39] A. L. de Mira Fernandes, "Em 25 anos", *Técnica* 78, 521 (1936).

[40] A. L. de Mira Fernandes, "Galileo", *Técnica* 12, 81 (1928).

[41] A. L. de Mira Fernandes, "Prémio Nobel da Física", *Técnica* 56, 297 (1934).

[42] A. L. de Mira Fernandes, "Lagrange", *Técnica* 73, 331 (1936).

[43] A. L. de Mira Fernandes, "Oração de sapiência", *Técnica* 11, 33 (1928).

[44] A. L. de Mira Fernandes, "Bodas de Prata", *Técnica* 85, 219 (1937).

[45] A. L. de Mira Fernandes, "Congresso de história da actividade científica portuguesa - Oração inaugural", *Técnica* 115, 43 (1940).

[46] A. L. de Mira Fernandes, "O livro e o mestre", *Técnica* 180, 729 (1948).

[47] A. L. de Mira Fernandes, "Convencer", *Técnica* 19, 69 (1929); "Autoridade", *Técnica* 22, 161 (1929); "Curiosidade e Vocação", *Técnica* 28, 337 (1930); "Iniciativa", *Técnica* 42, 337 (1932); textos reproduzidos em "Epitomes", *Técnica* separata (1954).

[48] A. L. de Mira Fernandes, *Obras*, Volume I (1910-1927), editores: N. Crato, V. Lameiras (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2008). A. L. de Mira Fernandes, *Obras*, Volume II (1928-1934), editores: N. Crato, L. T. Campos, E. B. Pires, J. M. Ramos, V. Lameiras (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2009). A. L. de Mira Fernandes, *Obras*, Volume III (1935-1957), editores: N. Crato, L. T. Campos, E. B. Pires, J. M. Ramos, V. Lameiras (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2010).

[49] A. L. de Mira Fernandes, *Mecânica Racional* (2ª edição, Secção de Folhas da Associação de Estudantes do IST, Lisboa, 1943-1944), notas de aula coligidas por Olívio Bento, José de Lucena e Laginha Serafim, 2ª edição revista e aumentada por Henrique Marques Pereira; 1ª Parte – Complementos de análise, 2ª Parte – Complementos de cálculo vectorial, 3ª Parte – Cálculo tensorial ou cálculo absoluto, 4ª Parte – Geometria das massas, 5ª Parte – Complementos de cálculo integral das funções de mais de uma variável, 6ª Parte – Mecânica clássica e mecânica dos fluidos, 7ª Parte – Mecânica relativista, 8ª Parte – Mecânica quântica, Aditamentos (sistemas canónicos, séries trigonométricas, valores próprios e espectro, equações integrais); estas Partes estão distribuídas por quatro livros, o Livro I engloba a 1ª parte, o Livro II as 2ª, 3ª, 4ª, e 5ª partes mais uma fração da 6ª parte, o Livro III o resto da 6ª parte, e o Livro IV as 7ª e 8ª Partes e os Aditamentos. Este curso de mecânica racional encontra-se na Biblioteca do Instituto Superior Técnico, Colecção Ferreira de Macedo.

[50] Comissão do Centenário do Instituto Superior Técnico, Duarte Pacheco, do Técnico ao Terreiro do Paço (althum.com, Lisboa, 2011).

[51] M. J. Abreu Faro, A. Aniceto Monteiro, F. E. Rebelo Simões, A. Brotas, *Técnica* 449-450 (1978), edição dedicada a A. L. de Mira Fernandes. [25].

[52] M. J. Abreu Faro et al, *Técnica* 4/95 (1995).

[53] L. Saraiva, J. T. Pinto (editores), *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática*, Número Especial - Aureliano Mira Fernandes, (Sociedade Portuguesa de Matemática, Lisboa, 2010), baseado nas palestras convidadas da conferência "Mira Fernandes and his age - An historical Conference in honour of Aureliano de Mira Fernandes (1884-1958)", Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho 2009.

[54] J. P. S. Lemos, "General relativity, differential geometry, and unitary theories in the work of Mira Fernandes", *Proceedings of the 12th Marcel Grossman Meeting* (Paris 2009), editores: T. Damour, R. Jantzen, R. Ruffiniet al (World Scientific, Singapore, 2012), p. 1745;

arXiv: 1011.6269 [physics.hist-ph] (2010).

[55] J. P. S. Lemos, "Unitary theories in the work of Mira Fernandes (beyond general relativity and differential geometry)", *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática*, Número Especial - Aureliano Mira Fernandes, editores: L. Saraiva e J. T. Pinto, (Sociedade Portuguesa de Matemática, Lisboa, 2010), p. 147, baseado na palestra convidada da conferência "Mira Fernandes and his age - An historical Conference in honour of Aureliano de Mira Fernandes (1884-1958)", Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho 2009; arXiv:1012.5093 [physics.hist-ph] (2010).

[56] J. P. S. Lemos, "Mira Fernandes e a introdução da teoria da relatividade geral em Portugal", *Gazeta de Física* 34-2, 27 (2011).



José Pizarro de Sande e Lemos, nascido em 1957 em Lisboa, graduou-se em Física e Engenharia Mecânica na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e doutorou-se em Astrofísica em 1987 pela Universidade de Cambridge. Foi investigador no Observatório Nacional do Rio

de Janeiro. É actualmente Professor Catedrático e Presidente do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico, instituto onde lecciona desde 1996. Membro fundador do Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA) do Instituto Superior Técnico é presentemente seu presidente. Tem mais de uma centena de trabalhos publicados em revistas internacionais na área de astrofísica relativista, gravitação, buracos negros, cosmologia e física fundamental. É membro da General Relativity and Gravitation Society, da Sociedade Portuguesa de Física e da Sociedade Portuguesa de Astronomia. Obteve o prémio UTL/Santander de 2009, atribuído ao professor ou investigador da Universidade Técnica de Lisboa que se distinguiu na respectiva área pelo número e pelo impacto dos trabalhos que publicou em revistas científicas de circulação internacional e, foi-lhe conferido, em 2010 pela American Physical Society, o prémio vitalício de "Outstanding Referee" pela qualidade dos pareceres sobre artigos submetidos às revistas *Physical Review Letters* e *Physical Review D*.

Crédito Formação BPI/AEIST

O seu parceiro de estudo.

Invista na sua formação com o BPI. Com prestações mensais muito reduzidas, o Crédito Formação BPI/AEIST (TAEG de 4,144%)¹ oferece condições especiais aos sócios da AEIST, para financiar as suas despesas com Licenciaturas, Pós-Graduações, Mestrados ou Doutoramentos, em Portugal e no estrangeiro, nomeadamente pagamento de propinas, material didáctico, viagens e estadias.

¹TAEG de 4,144%, mensalidade de € 301,65 para um financiamento de € 30.000 a 120 meses, sem período de carência e com taxa de juro indexada à Euribor a 3 meses (0,205%) + spread de 3,5%. Montante total imputável ao Cliente de € 36.498,00. Valores válidos em Fevereiro de 2013.

Toda a informação no Balcão BPI do Instituto Superior Técnico e 800 22 10 22 (linha grátis com atendimento personalizado, das 7h às 24h).

ABORDAGEM DETERMINÍSTICA E ESTOCÁSTICA À PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DOS REVESTIMENTOS EXTERIORES DE FACHADA

A. Silva , J. D. Silvestre e J. de Brito

Resumo

A previsão da vida útil das construções sempre foi objecto de estudo; no entanto, tem-se assistido a uma crescente preocupação por parte dos intervenientes na construção relativamente à durabilidade dos materiais utilizados. O conhecimento da durabilidade das construções e dos seus elementos permite uma gestão mais racional dos recursos empregues na construção, podendo constituir uma ferramenta útil na definição de planos de manutenção pró-activa, permitindo não só um aumento do desempenho desses elementos e, conseqüentemente, da sua vida útil, mas também proporcionando uma diminuição dos custos de reparação associados a reparações urgentes.

A previsão da vida útil pode ser um problema complexo e moroso, existindo diversas abordagens a esta temática. As principais metodologias podem dividir-se nos modelos determinísticos (mais simples) e nos modelos estocásticos (mais precisos e que permitem englobar a incerteza no cálculo da vida útil). No presente estudo, utiliza-se estas duas abordagens na previsão da vida útil de duas soluções de revestimentos exteriores de fachada, os rebocos correntes e os revestimentos pétreos.

Palavras-chave: previsão da vida útil, modelos determinísticos, modelos estocásticos, revestimentos exteriores de fachada.

1. Introdução

A ISO 15686-1 [1] define a vida útil como o período de tempo, após a construção, no qual o edifício e seus elementos igualam ou excedem os requisitos mínimos de desempenho. Os edifícios sofrem ao longo da sua vida útil vários tipos de depreciação que conduzem, em última instância ao fim dessa mesma vida útil. O ciclo de vida de um edifício ou dos seus componentes é assim caracterizado pelo período de tempo que decorre desde que é colocado em utilização até que atinge o fim da sua vida útil. Muitas vezes, esta análise aparece referida na literatura sobre o tema como “do berço ao túmulo” (“cradle to grave”). Ao longo do seu ciclo de vida, todas as construções sofrem alterações e mudanças devido, por exemplo, à mudança dos seus ocupantes ou das suas necessidades e expectativas, a remodelações e/ou ampliações, ao envelhecimento e substituição de componentes e sistemas [2]. Apesar da relativa simplicidade do conceito de vida útil, esta é extremamente difícil de prever ou simular através de modelos pois depende da definição de critérios de aceitação, variáveis em função da época, do lugar, do avaliador e, de facto, de todo o contexto social, económico, político, estético, ambiental ou normativo que enquadra o julgamento sobre a construção [3].

Os modelos de previsão da vida útil têm inúmeras incertezas associadas. Tais incertezas devem-se à variabilidade inerente ao próprio fenómeno físico de degradação e às imperfeições relativas à sua modelação [4]. A vida útil de referência dos elementos da construção pode ser obtida através de métodos empíricos, determinísticos, probabilísticos, estatísticos ou através da recolha de dados em

¹ Mestre em Engenharia Civil, Doutoranda, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, e-mail: anasilva931@msn.com

² Assistente, Doutorando, Departamento de Engenharia Civil, Departamento de Arquitectura e Georrecursos, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, e-mail: jds@civil.ist.utl.pt

³ Professor Catedrático, Departamento de Engenharia Civil, Departamento de Arquitectura e Georrecursos, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, Portugal, e-mail: jb@civil.ist.utl.pt

trabalhos científicos, devendo sempre ser tidas em consideração as condições de utilização dos elementos em estudo [5].

Neste estudo, discute-se a aplicação de uma abordagem determinística e de outra probabilística na previsão da vida útil de dois tipos de revestimentos exteriores de fachada (rebocos correntes e revestimentos pétreos). A maioria das metodologias determinísticas existentes é alvo de diversas críticas, prendendo-se as principais com a demasiada simplicidade com que abordam e tratam um fenómeno tão complexo como a degradação e a vida útil das construções. Por se tratar de um fenómeno essencialmente aleatório, devem ser utilizadas ferramentas estatísticas e modelos estocásticos que permitam englobar a variabilidade e incerteza associada ao fenómeno de degradação nas previsões da vida útil dos elementos da construção.

2. Degradação dos revestimentos exteriores

Quando se analisa a vida útil dos edifícios, é necessário compreender que nem todos os elementos que o constituem atingem o fim da sua vida útil no mesmo instante. As construções podem assim ser classificadas de acordo com camadas de durabilidade [6]. Os revestimentos exteriores funcionam como a “pele” do edifício, funcionando como primeira protecção da estrutura. São por isso o elemento da construção mais sujeito às acções de degradação. Os revestimentos exteriores desempenham um papel fundamental no desempenho dos edifícios. Teoricamente, os revestimentos são elementos muito duráveis. São prova disso os edifícios centenários que mantêm a totalidade dos elementos que constituem o revestimento e continuam a ter um desempenho satisfatório [7]. No entanto, verifica-se na prática que, muitas vezes, estes elementos possuem uma vida útil muito mais reduzida do que o edifício em si, sendo necessário ao longo do ciclo de vida útil deste proceder à manutenção periódica dos revestimentos e, em algumas situações, à recuperação ou substituição dos revestimentos. A degradação dos revestimentos acarreta consequências graves em termos da qualidade do espaço urbano, no conforto dos ocupantes e utilizadores e nos custos de manutenção e reparação dos edifícios. São, por isso, necessárias ferramentas que permitam avaliar de forma mais racional e tecnicamente informada as acções de manutenção e substituição de que os revestimentos devem ser alvo ao longo do ciclo de vida de um edifício.

2.1. Quantificação da degradação global dos revestimentos

Para quantificar a degradação global dos revestimentos analisados, utiliza-se a metodologia preconizada por Gaspar e de Brito [8] e Gaspar [3]. Esta metodologia baseia-se na análise da degradação dos revestimentos exteriores em condições reais de serviço, com recurso apenas a inspecção visual. Esta metodologia constitui uma alternativa aos ensaios em laboratório que, segundo alguns autores, representam uma simplificação da realidade e cujos resultados não possuem uma correspondência clara com a complexidade dos fenómenos associados à degradação natural em condições reais de utilização [9]. Os autores propuseram um índice numérico, designado de

“severidade da degradação” que é obtido através da razão entre a extensão da degradação das fachadas, ponderada em função do estado de degradação e da gravidade das anomalias, e uma área de referência, equivalente à extensão máxima de degradação para a fachada estudada, tal como indicado na expressão (1).

$$(1) S_w = \frac{\sum A_n \times k_n \times k_{a,n}}{A \times k}$$

Onde: S_w - severidade da degradação da fachada, normalizada, expressa em percentagem; A_n - área de fachada afectada por uma anomalia n , em m^2 ; k_n - constante de ponderação das anomalias n , em função da sua condição, tomando os valores pertencentes ao espaço $K = \{0, 1, 2, 3, 4\}$; $k_{a,n}$ - constante de ponderação do peso relativo das anomalias detectadas, em que $k_{a,n} \in \mathbb{R}^+$, caso não exista qualquer especificação, dever-se-á assumir $k_{a,n} = 1$; k - constante de ponderação igual ao nível de condição mais elevada da degradação de uma fachada de área A ; A - área da fachada, em m^2 .

3. Previsão da vida útil dos revestimentos exteriores

Hovde [10] refere que a previsão da vida útil pode ser um processo complexo e moroso que tem associadas inúmeras variáveis. Os principais métodos utilizados para a estimativa da vida útil podem dividir-se em determinísticos, probabilísticos e de engenharia (simbiose entre os outros dois métodos) [11] [12]. Os métodos determinísticos baseiam-se na análise dos factores e mecanismos de degradação que afectam os elementos estudados, quantificando-os em funções de degradação. O grande impulso a nível destas metodologias surgiu através do Método Factorial [13] que, mais do que uma metodologia, corresponde a um enquadramento geral para a estimativa da vida útil.

Os métodos probabilísticos surgem no pressuposto de que não existem duas construções que se degradem da mesma forma ao longo do seu ciclo de vida. Estes métodos abordam a degradação como sendo um processo estocástico, que evolui probabilisticamente ao longo do tempo, conhecendo-se apenas os parâmetros iniciais [14]. Estes modelos, regra geral, possuem uma elevada complexidade, uma vez que procuram lidar com as diferenças estatísticas e incluir a incerteza decorrente dos períodos de tempo considerados. Rudbeck [15] propõe como melhoria às metodologias existentes o recurso a ferramentas estatísticas.

3.1. Abordagem determinística da previsão da vida útil

No âmbito da previsão da vida útil, surgiram vários estudos e documentos normativos com o intuito de estimar uma vida útil de referência para os edifícios e seus componentes. O primeiro documento normativo a abordar a questão da durabilidade e da previsão da vida útil foi o guia japonês desenvolvido em 1989 pelo *Architectural Institute of Japan* [13]. Esta metodologia foi pioneira a nível mundial e representa a génese dos chamados métodos factoriais, onde a vida útil estimada é obtida através do produto entre a vida útil de referência do elemento e um conjunto de factores modificados em função das condições específicas do elemento analisado. Segundo este docu-

mento, o fim da vida útil é determinado tendo em consideração quer a deterioração física quer a obsolescência dos elementos analisados.

Em 1992, foi publicada no Reino Unido a norma 7543 para a durabilidade “*British guide to durability of building elements, products and components*” [16] que lista diversos métodos para estimar valores de vida útil de produtos da construção. Esta norma propõe que a vida útil dos edifícios seja definida em função do tipo de utilização a que se destinam, referindo ainda que os revestimentos de fachada devem possuir, com manutenção periódica adequada, uma vida útil semelhante à do edifício.

Inspirada no regulamento japonês, surge a norma ISO/DIS 15686 “ ” que é constituída, actualmente, por 11 partes que definem os princípios gerais, enquadramento e procedimentos da metodologia de previsão da vida útil proposta. Além disso, definem os critérios de desempenho funcional que devem ser respeitados em fase de projecto e ao longo da vida útil das construções e, que em última instância, contribuem para a definição do fim da vida útil dos elementos analisados [17].

Além dos documentos normativos, surgiram vários estudos no Instituto de Tecnologia de Israel relativos ao estudo da degradação das fachadas e à determinação da sua vida útil [18] [19]. Nestes trabalhos, é proposta uma classificação da degradação das fachadas através da média entre a sua degradação física e visual. Esta análise é realizada com recurso a inspecções visuais. Quantificada a degradação das fachadas, os autores propõe que sejam definidos padrões de degradação que permitam avaliar a perda de desempenho ao longo do tempo. O fim da vida útil é atingido quando, para uma dada amostra, a curva média de degradação atinge um limite mínimo de desempenho admissível. Shohet e Paciuk [19] definem dois limites mínimos de des-

empenho: o primeiro corresponde a situações onde os revestimentos devem possuir um elevado nível de desempenho; o segundo corresponde a um nível de desempenho mais reduzido, relativo a situações em que os proprietários dos edifícios pretendem minimizar as acções de manutenção nos revestimentos.

Todos estes estudos encaram a vida útil dos revestimentos de fachada como um valor determinístico. Esta abordagem tem sido alvo de inúmeras críticas, devido ao facto de a vida útil ser vista como um valor absoluto, não dando qualquer informação relativa ao processo de degradação nem à mudança de um estado de degradação para outro [20] e não incorporando, por isso, toda a variabilidade associada aos processos de degradação [21].

Na Tabela 1, é apresentada a vida útil de referência proposta por diferentes autores e documentos normativos para os dois tipos de revestimentos exteriores analisados.

3.2. Abordagem estocástica da previsão da vida útil

Na sequência dos estudos desenvolvidos no Instituto Tecnológico de Israel [18] [19], surgiram métodos empíricos que procuram definir a condição de degradação dos revestimentos ao longo da sua vida útil, em condições reais de utilização, recorrendo, para isso, a um extenso trabalho de campo [22]. Estes métodos permitem a representação gráfica dos padrões de degradação de diferentes tipos de revestimentos e a análise estatística do comportamento dos revestimentos ao longo do seu ciclo de vida, no intuito de prever a sua vida útil estimada em função de diferentes níveis de exigência. Este método designa-se vulgarmente por método gráfico. Seguindo esta metodo-

Tabela 1 - Vida útil de referência proposta por diferentes autores e documentos normativos

Autores	Rebocos correntes	Revestimentos pétreos
BSI [16] Vida útil recomendada (anos)	> 60 (edifícios correntes - habitação nova)	
AIJ [13] Vida útil recomendada (anos)	> 10	
Shohet et al. [18] Vida útil esperada (anos)	20	40
ISO 15686 [1] Vida útil sugerida para os componentes (anos)	25 (edifícios com uma vida útil estimada de 60 anos)	
Shohet and Paciuk [19] - componentes com elevado nível de desempenho		
Vida útil esperada (anos)	15	44
Intervalo de vida útil estimada (anos)	12-19	39-50
Shohet and Paciuk [19] - situações em que proprietários dos edifícios pretendem minimizar os custos de manutenção		
Vida útil esperada (anos)	23	64
Intervalo de vida útil estimada (anos)	19-27	59-70

logia, Gaspar [3] avalia a vida útil e durabilidade dos rebocos correntes, com base no estudo de 100 revestimentos situados na região de Lisboa. Com base na mesma metodologia, Silva et al. [23] analisam 140 revestimentos pétreos (fixados directamente ao suporte).

Outro método estatístico que pode ser empregue na previsão da vida útil dos revestimentos de fachada é a análise de regressão múltipla linear. Trata-se de uma extensão da análise de regressão simples linear que engloba mais do que uma variável independente [24], permitindo a obtenção de modelos mais eficazes [25]. Um estudo conduzido por Silva et al. [26] aborda a aplicação da análise de regressão múltipla linear na previsão da vida útil dos rebocos correntes. Com recurso a esta ferramenta estatística, os autores concluem que a idade, a exposição à humidade, o tipo de argamassa e o nível de protecção das fachadas são variáveis condicionantes para explicar a degradação das fachadas rebocadas. Num estudo análogo, Silva et al. [27] avaliam, com recurso a esta ferramenta, a vida útil dos revestimentos pétreos. Neste tipo de revestimento, os autores constataram que as variáveis condicionantes para explicar a degradação das fachadas são a idade, a proximidade do mar, o tipo de acabamento e área da placa pétrea.

Outro dos métodos estatísticos empregues na previsão da vida útil são as redes neuronais artificiais. Esta ferramenta constitui, na maioria das situações, uma emulação dos sistemas biológicos humanos. As redes “aprendem” com uma série de padrões que lhe são fornecidos relativos a um dado problema e com base na informação adquirida são capazes de prever o comportamento de novos padrões. Utilizando como variáveis explicativas aquelas que foram consideradas na regressão múltipla linear, Silva et al. [26] [28] abordam a aplicação desta ferramenta na previsão da vida útil tanto dos rebocos correntes como dos revestimentos pétreos.

Na Tabela 2, é apresentado o quadro resumo das vidas úteis estimadas pelos diferentes métodos estatísticos.

4. Discussão dos resultados

As acções de manutenção acarretam elevados custos económicos e ambientais. Como tal, são necessários modelos que permitam avaliar com a máxima exactidão possível o momento no qual se deve intervir, garantindo assim que os recursos canalizados para as acções de manutenção são os mais adequados.

Numa análise puramente determinística, assume-se que os revestimentos, independentemente das suas características, têm a mesma vida útil. De facto, todos os documentos normativos referidos no presente estudo admitem que os revestimentos pétreos e os rebocos correntes apresentam a mesma durabilidade (Tabela 1). O guia Japonês [13] prevê que os revestimentos possuam uma vida útil de pelo menos 10 anos. Por sua vez, a norma BSI 7543 [16] propõe que a vida útil dos edifícios seja definida em função do tipo de utilização a que se destinam; para edifícios com uma duração corrente, habitação nova ou edifícios hospitalares ou escolares, com vida útil de pelo menos 60 anos, a norma preconiza que os revestimentos de fachada devem possuir, com manutenção periódica adequada, uma vida útil semelhante à do edifício. A ISO 15686 [1] sugere que os revestimentos exteriores de fachada devem possuir uma vida útil de 25 anos no caso de edifícios correntes com uma vida útil de 60 anos.

Na prática, na fase de projecto, os decisores baseiam a tomada de decisão nos valores prescritos na normalização. Assim sendo, admitindo o valor prescrito na ISO 15686 [1], mais vulgarmente utilizada no âmbito da previsão da vida útil, e considerando que o edifício tem uma vida útil de 50 anos (valor mais comum na maioria dos regulamentos existentes), admite-se que ambos os revestimentos serão alvo de duas substituições no decorrer do ciclo de vida do edifício. O número de substituições é avaliado com base no rácio entre a vida útil de referência do edifício (50 anos) e a vida útil estimada para cada tipo de revestimento analisado. No entanto, parece pouco realista assumir que um revestimento pétreo tenha uma vida útil estimada igual aos rebocos correntes.

Tabela 2 - Quadro resumo das vidas úteis estimadas pelos diferentes métodos estatísticos

Métodos de previsão da vida útil		Rebocos correntes	Revestimentos pétreos
Método gráfico	Vida útil de referência (anos)	15	68
	Média da vida útil estimada (anos)	17.5	66
	Desvio-padrão (anos)	5.35	8.54
	Intervalo de confiança a 95% (anos)	±1.05	±1.40
Regressão múltipla linear	Média da vida útil estimada (anos)	15	77
	Desvio-padrão (anos)	2.90	11.21
	Intervalo de confiança a 95% (anos)	±0.57	±1.86
Redes neuronais artificiais	Média da vida útil estimada (anos)	17.5	80
	Desvio-padrão (anos)	2.74	9.34
	Intervalo de confiança a 95% (anos)	±0.90	±3.10

A abordagem probabilística da previsão da vida útil permite incorporar a incerteza na consideração da estimação do número de substituições de que os revestimentos serão alvo ao longo do ciclo de vida do edifício. No presente estudo, assume-se que os valores de vida útil estimada através dos diferentes métodos estatísticos utilizados (Tabela 2) seguem uma distribuição Normal. Uma das regras que permite avaliar se uma variável segue uma distribuição normal é o teorema do limite central, que diz que, à medida que a dimensão da amostra aumenta, a distribuição da média da amostra tende para a distribuição normal [29]. De um modo geral, assume-se que, para amostras de dimensão superior a 30, a distribuição da média da amostra é satisfatoriamente aproximada à normal [30]. O Teorema da Combinação Linear refere que a soma ou diferença entre duas ou mais variáveis aleatórias independentes com distribuição normal é também uma variável aleatória normal, permitindo assim que se possa somar a média e desvio-padrão das distribuições amostrais. Se cada período de vida útil até à substituição segue uma distribuição normal e sendo períodos independentes entre si, pode afirmar-se com base no Teorema da Combinação Linear, que o conjunto dos vários períodos de vida útil até que se atinjam os 50 anos segue também uma distribuição normal.

No presente caso, o número de substituições é avaliado com base no rácio entre a vida útil de referência do edifício (50 anos) e a vida útil estimada para cada tipo de revestimento analisado, para cada uma das metodologias utilizada e para cada caso de estudo. Com base no teorema do limite central e na dimensão da amostra (composta por 100 e 140 casos de estudo para os rebocos correntes e revestimentos pétreos, respectivamente) utilizada na previsão da vida útil pelo método gráfico e pela regressão múltipla linear, pode dizer-se que o número de substituições segue uma distribuição normal (como $n \gg 30$ então pode dizer-se que os valores de vida útil estimada $\sim N(\mu, s)$). No caso da amostra utilizada na previsão da vida útil através da utilização das redes neuronais, a amostra total é separada em duas amostras principais: a amostra de aprendizagem, utilizada para aprender com um conjunto de padrões fornecidos à rede; e a amostra de teste, que permite verificar se o modelo de previsão definido através

da amostra de aprendizagem possui uma boa capacidade de generalização. No presente estudo, a amostra de teste utilizada para estimar a vida útil dos revestimentos pétreos é composta por apenas 35 casos de estudo e, no caso dos rebocos correntes, a amostra de teste é composta por 36 casos. Neste caso, parece pouco razoável admitir que a dimensão da amostra é suficiente para justificar a adopção do pressuposto de que a vida útil estimada pelas redes neuronais segue distribuição normal. Assim sendo, para testar se a vida útil estimada segue uma distribuição normal, utilizam-se dois testes estatísticos: o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) [31] e o teste de Shapiro-Wilk [32]. Para os rebocos correntes, o teste K-S conduz a um valor de *p-valor* de 0,199 e o de Shapiro-Wilk conduz a um *p-valor* de 0,109; no caso dos revestimentos pétreos, o teste K-S conduz a um valor de *p-valor* de 0,177 e o de Shapiro-Wilk conduz a um *p-valor* de 0,069. Para um nível de significância de 5%, verifica-se que os valores de vida útil estimada para os dois tipos de revestimento analisados segue uma distribuição normal.

Existe uma incerteza associada à determinação da vida útil utilizando os métodos estatísticos apresentados. Por essa razão, a vida útil estimada é apresentada como um valor médio, associado a um desvio-padrão e intervalo de confiança de 95%. A Tabela 3 inclui um valor de referência para o número médio de substituições (determinística), bem como um valor estocástico que leva em conta a incerteza. Verifica-se que, para qualquer dos métodos estatísticos empregues na determinação da vida útil das soluções de revestimento, os revestimentos pétreos terão sempre um menor número de substituições.

Tabela 3 - Valor de referência e estocástico do número de substituições dos revestimentos num período de 50 anos (considerando que o número de substituições segue uma distribuição normal)

Revestimento exterior	Métodos de previsão da vida útil					
	Método gráfico MG		Regressão múltipla linear RML		Redes neuronais artificiais RNA	
	Número médio de substituições / Desvio-padrão	Valor estocástico de substituições [$\mu-s;\mu+s$]	Número médio de substituições / Desvio-padrão	Valor estocástico de substituições [$\mu-s;\mu+s$]	Número médio de substituições / Desvio-padrão	Valor estocástico de substituições [$\mu-s;\mu+s$]
Rebocos	3,10/0,906	[2,20; 4,01]	3,53/0,823	[2,71; 4,35]	2,93/0,476	[2,45; 3,40]
Pedra natural	0,77/0,108	[0,66; 0,88]	0,67/0,111	[0,55; 0,78]	0,64/0,079	[0,56; 0,71]

5. Conclusões

Nos últimos anos, têm surgido a nível internacional inúmeras normas e estudos com o intuito de estabelecer metodologias que permitam avaliar a durabilidade das construções assim como prever a sua vida útil. No presente estudo, utiliza-se duas abordagens distintas na previsão da vida útil de duas soluções de revestimento exterior de fachada, os rebocos correntes e os revestimentos pétreos.

A primeira abordagem é determinística e baseia-se no estudo dos factores de degradação que afectam os elementos estudados, na compreensão dos seus mecanismos de actuação e, por fim, na sua quantificação traduzida em funções de degradação. Esta abordagem é alvo de diversas críticas; a principal, refere-se à demasiada simplicidade com que abordam a problemática da vida útil das construções. No entanto, os métodos determinísticos apresentam importantes vantagens: são fáceis de compreender e aplicar; podem ser implementados com relativa rapidez, evitando redundância de informação; mantêm a sua operacionalidade mesmo quando não estão disponíveis todas as variáveis de um mesmo problema [33]. Segundo esta abordagem, os valores de vida útil dos revestimentos são analisados como um valor absoluto. Verifica-se que os documentos normativos consideram um valor único para a vida útil dos revestimentos, não fazendo a distinção entre os revestimentos pétreos e os rebocos correntes. Tal abordagem não parece adequada ou realista; de facto, os revestimentos pétreos constituem uma solução de revestimento mais durável e que necessitará de um menor grau de intervenção ao longo do ciclo de vida os edifícios.

Na segunda abordagem, estocástica ou probabilística, a vida útil dos revestimentos é determinada com base em ferramentas estatísticas avançadas. Uma das principais desvantagens desta abordagem deve-se à relativa complexidade dos modelos matemáticos utilizados. Além disso, na definição destes modelos, é necessária uma elevada quantidade de informação; os modelos estatísticos dependem significativamente do número de dados disponíveis, aumentando a sua precisão à medida que o número de dados aumenta. No entanto, com recurso à modelação estatística, esta abordagem de previsão da vida útil procura ultrapassar a incerteza relacionada com a forma de degradação dos revestimentos e a própria imprevisibilidade das respectivas condições de serviço [34].

Constata-se, neste estudo, que a utilização da abordagem estocástica permite determinar a vida útil das duas soluções de revestimento analisadas de forma mais precisa. Em alguns modelos, a vida útil é estimada relacionando a degradação apenas com a idade dos revestimentos, isto é, considerando que o envelhecimento dos elementos é a única condicionante na definição do fim da sua vida útil. No entanto, com recurso à regressão múltipla linear ou às redes neuronais artificiais, é possível estimar a vida útil dos revestimentos tendo em consideração algumas das características que são condicionantes para o seu processo de degradação, para além da idade. A abordagem estocástica permite englobar a incerteza associada à previsão da vida útil dos revestimentos de fachada, permitindo determinar um valor estocástico para o número de substituições de que estes revestimentos serão alvo ao longo do ciclo de vida do edifício.

Referências

- [1] ISO. (2000). Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles, ISO 15686-1:2000: International Organization for Standardization.
- [2] Augenbroe, G. & Park, C. (2005) Quantification methods of technical building performance. *Building Research & Information*, 33(2), pp. 159-172.
- [3] Gaspar, P. (2009) Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade dos elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- [4] Ang, A. & Tang, W. (1984) *Probability Concepts in Engineering Planning and Design: Decision, Risk and Reliability*. v. 2, 1ª Ed., Ed. John Wiley and Sons, 562p.
- [5] CEN (2011) Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. FprEN 15804. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation.
- [6] Manfron, N. (2003) Durability and use. Strategy in a design Project. WMDBP, paper 48.
- [7] Ashworth, A. (1996) Estimating the life expectancies of building components in life-cycle costing calculations. *Structural Survey*, 14(2): 4-8.
- [8] Gaspar, P. L. and de Brito, J. (2008) Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, 43(11): 1818-1828.
- [9] Daniotti, B. and Paolini, R. (2005) Durability design of External Thermal Insulation Composite Systems with rendering. In: 10th DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2005, Lyon, France. 269-276.
- [10] Hovde, P. J. (2004) Part A: Factor methods for service life prediction. Trondheim, Norway: CIB W080 / RILEM 175-SLM: Service Life Methodologies. Prediction of Service Life for Buildings and Components, Task Group: Performance based methods for service life prediction. State of the Art Reports.
- [11] Moser, K. (2004) Engineering design methods for service life prediction. Trondheim, Norway: CIB W80/RILEM 175 - Service Life Methodologies; Prediction of service life of Buildings and Components, Task Group: Performance based methods of service life prediction. pp. 52-95.
- [12] Lacasse, M. A. and Sjöström, C. (2004) Recent advances in methods for service life prediction of buildings materials and components - an overview. In: CIB World Building Congress, 2004, Canada. 1-10.
- [13] All (1993) *The English edition of Principal Guide for Service Life Planning of Buildings*, commented edition, Tokyo, Japan, Architectural Institute of Japan.
- [14] Moser, K. (1999) Towards the practical evaluation of service life - illustrative application of the probabilistic approach. In: 8th Int. Conference on Durability of Building Materials and Components, 1999, Vancouver, Canada. 1319-1329.
- [15] Rudbeck, C. (1999) Assessing the service life of building envelope construction. In: 8th Int. Conference on Durability of Building Ma-

- terials and Components, 1999, Vancouver, Canada. 1051-1061.
- [16] BSI (1992) Guide to durability of buildings and building elements, products and components. BS 7543. London, United Kingdom: British Standards Institution.
- [17] Hed, G. (1999) Service life planning of building components. In: 8th Int. Conference on Durability of Building Materials and Components, 1999, Vancouver, Canada. 1543-1551.
- [18] Shohet, I., Rosenfeld, Y., Puterman, M. and Gilboa, E. (1999) Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach. In: 8th Int. Conference on Durability of Building Materials and Components, 1999, Vancouver, Canada. 1666-1678.
- [19] Shohet, I. and Paciuk, M. (2004) Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. *Journal of Construction Management and Economics*, 22(10): 1081-1090.
- [20] Mc Duling, J.; Horak, P. E. & Cloete, C. (2008) Service life prediction beyond the 'Factor Method'. 11th DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turkey. pp. T42.
- [21] Hovde, P. J. (2000) Factor methods for service life prediction: a state-of-the-art. Draft Report. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology.
- [22] Gaspar, P. L. and de Brito, J. (2011) Limit states and service life of cement renders on façades. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(10): 1396-1404.
- [23] Silva, A., de Brito, J. and Gaspar, P. (2011a) Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate). *Construction and Building Materials*, 25(9): 3674-3684.
- [24] Satapathy, S. C., Murthy, J. V. R., Reddy, P. V. G. D. P., Misra, B. B., Dash, P. K. and Panda, G. (2009) Particle swarm optimized multiple linear regression linear model for data classification. *Applied Soft Computing*, 9(2): 470-476.
- [25] Wooldridge, J. M. (2009) Introductory econometrics: a modern approach, USA, South-Western College Publishing, Cengage Learning.
- [26] Silva, A., Dias, J. L. R., Gaspar, P. L. and de Brito, J. (2012) Statistical models applied to service life prediction of rendered façades. *Automation in Construction* (submitted for publication in 2012).
- [27] Silva, A., de Brito, J. and Gaspar, P. (2012) Application of the factor method to maintenance decision support for stone cladding. *Automation in Construction*, Elsevier, UK, 22(3): 165-174.
- [28] Silva, A., Dias, J., Gaspar, P. and de Brito, J. (2011b) Service life prediction models for exterior stone cladding. *Building Research and Information*, Taylor & Francis, UK, 39(6): 637-653.
- [29] Barnes, J. W. (1994) Statistical analysis for engineers and scientists. A computer based approach, New York, USA, McGraw-Hill.
- [30] Maroco, J. (2007). *Análise estatística com utilização do SPSS* (3ª Edição). Lisboa, Portugal: Editora Sílabo.
- [31] Chakravarti, I. M.; Laha, R. G. & Roy, J. *Handbook of Methods of Applied Statistics* (Vol. I). New York, USA: John Wiley & Sons.
- [32] Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4): 591-611.
- [33] Gaspar, P. (2002) Metodologia para o cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes. Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- [34] Bordalo, R.; de Brito, J.; Gaspar, P.; Silva A. (2011) Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. *Building Research and Information*, 39(1): 66-78.

ANÁLISE DAS IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE HUMANA DO USO DAS NANOTECNOLOGIAS

Albuquerque, P.C.S.¹, Gomes, J.F.P.^{2,3}

¹ Departamento das Ciências e Tecnologias Laboratoriais e Saúde Comunitária – Área Científica de Saúde Ambiental, Escola Superior de Tecnologia de Saúde de Lisboa, Av. João II, Lote 4.69.01, 1990-096 Lisboa

² Centro de Engenharia Química e Biológica, IBB-Instituto de Biotecnologia e Bioengenharia, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa

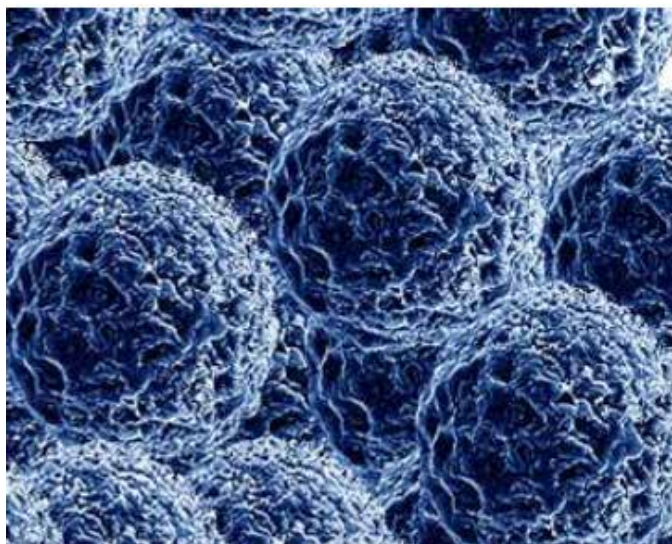
³ Área Departamental de Engenharia Química, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro, 1949-014 Lisboa



Sumário

As Nanotecnologias representam um importante potencial para a promoção da qualidade de vida e da competitividade industrial na Europa. Um material com nanodimensões tem uma relação superfície/volume que vai alterar as suas propriedades físicas, químicas, ópticas e magnéticas do material e fazer com que este reaja de maneira diferente e de uma forma desconhecida com os organismos e o ambiente. As nanopartículas são capazes de entrar facilmente no organismo através da pele, pulmões e capazes de originar efeitos no ambiente a nível de água, solo e ar. A nível de saúde muitos dos estudos são projectados como uma analogia à exposição humana ao quartzo, e ao amianto, e também no que concerne à poluição do ar e aplicações médicas (fármacos) com nanopartículas. Relativamente ao ambiente, existem ainda poucos estudos, mas ainda assim, surgem certas evidências que relatam, que dependendo das características e tipos de interacção dos nanomateriais com ecossistemas poderá ocorrer entre outros, retenção dos mesmos no ambiente. A investigação é ainda diminuta, fornecendo poucas evidências, no entanto, existem factos e resultados indicadores de que os efeitos na saúde e ambiente poderão ser prejudiciais. A prevenção da doença e do ambiente deverão ser salvaguardadas e serem objecto de intervenções prioritárias. O conhecimento das relações existentes entre nanopartículas emitidas para o ar e a saúde humana, em diferentes condições ambientais, é de importância primordial para melhorar as estimativas de exposição, assim como para o desenvolvimento de estratégias eficientes de controlo para reduzir a exposição humana, os riscos sobre a saúde, e, também para estabelecer, avaliar e melhorar os regulamentos e a legislação relativa à qualidade do ar, emissões e a utilização de nanomateriais em produtos de consumo corrente.

Palavras-chave: Nanopartículas, saúde ocupacional, saúde ambiental, riscos profissionais e avaliação de riscos.



1. Introdução

O carácter interdisciplinar das Nanotecnologias constitui um aspecto fortemente inovador face às abordagens já estabelecidas nos domínios da investigação, educação, propriedade industrial e regulamentação. Novos produtos, serviços e métodos de produção determinarão num futuro próximo o desenvolvimento e a procura de novos empregos assentes em competências inovadoras. Um objectivo específico das acções da Comissão Europeia no domínio das Nanotecnologias é melhorar a competitividade da indústria europeia

[1]. Prevê-se que a Comissão Europeia continue a incentivar, como por exemplo no âmbito do 7º Programa Quadro, a participação da Indústria e das pequenas e médias empresas nos projectos de I&D em colaboração na área das Nanotecnologias.

Por isso, a obtenção de conhecimento em todos estes aspectos constitui um enorme e premente desafio, assistindo-se actualmente ao emergir dum grande esforço de investigação, sendo o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) dos EUA uma referência –, no sentido de se obterem as respostas que também são críticas para a manutenção da competitividade no crescimento e na dinâmica das nanotecnologias. Esta busca de informação para preencher as lacunas do conhecimento, desenvolver estratégias de intervenção e produzir recomendações é dirigida prioritariamente a 10 áreas específicas, que o NIOSH identificou como as mais críticas na gestão dos riscos associados aos nanomateriais [2].

A aceitação pela sociedade é um aspecto essencial para o desenvolvimento das Nanotecnologias. Tem vindo a ser política da Comissão Europeia defender a aplicação das Nanotecnologias em condições de segurança, promovendo um debate público sobre o seu impacto global. Os seus benefícios previstos, bem como os seus riscos potenciais e quaisquer medidas necessárias, devem ser apresentados plena e rigorosamente permitindo às pessoas desenvolverem a sua própria opinião.

2. Conceitos base

A nanotecnologia é o estudo, concepção, criação, síntese, manipulação e aplicação de materiais funcionais, máquinas ou sistemas através do controlo da matéria à escala nanométrica (1-100 nanómetros, em que um nanómetro equivale a 10⁻⁹ do metro, ou seja a milionésima parte do metro). A nanotecnologia refere-se a tecnologias em que a matéria é manipulada à escala atómica e molecular para criar novos materiais e processos com características funcionais diferentes dos materiais comuns [3].

Na área da nanotecnologia, podem definir-se três vectores principais:

- Nanoelectrónica;
- Nanobiotecnologia;
- Nanomateriais.

No desenvolvimento da nanotecnologia, duas estratégias podem ser seguidas – *top-down* e *bottom-up*. A estratégia *top-down* envolve a ultraminuturização a partir de materiais de maiores dimensões ao passo que a estratégia *bottom-up* envolve a assemblagem de unidades mais pequenas (átomos e moléculas) para a obtenção de uma estrutura maior [4]. A nanotecnologia é um termo abrangente que inclui as nanociências, engenharias e tecnologias. É multidisciplinar e envolve áreas como a química, a física, a biologia e a engenharia tendo um enorme potencial para o desenvolvimento de novos processos e produtos que contribuirão decisivamente para a melhoria da qualidade de vida das pessoas [4]. A indústria das nanotecnologias deve adoptar estratégias de gestão de riscos, a fim de proporcionar um ambiente de trabalho seguro para seus trabalhadores e clientes, e obter produtos que cumpram os requisitos regulamentados. Dado que, o processamento de materiais à nano-escala bem como, as suas

características únicas, levantam diversas questões associadas à Segurança e para as quais as respostas ainda não são conhecidas.

Também se desconhece qual o efeito que os nanomateriais podem ter nos trabalhadores que os processam e que a eles são expostos, embora seja aceite que os principais perigos estejam, de momento, associados a nanopartículas individuais e nanotubos isolados. Esta preocupação tem a ver com uma maior área superficial das nanopartículas o que aumenta significativamente a sua probabilidade de penetração nas células, embora para que tal aconteça seja necessário que ocorra o contacto dos indivíduos com as partículas [4].

No que se refere aos riscos ambientais associados à utilização de nanotecnologias e nanopartículas, ainda não existem elementos disponíveis que permitam avaliar a extensão total do seu impacto. Assim, as nanotecnologias devem ser desenvolvidas de uma forma segura e responsável. Os princípios éticos devem ser respeitados e os riscos potenciais para a saúde, a segurança ou o ambiente devem ser estudados cientificamente de uma forma sistemática. É ainda necessário que o desenvolvimento das nanotecnologias seja acompanhado de perto pelo conhecimento do seu impacto na Segurança e na Saúde.

3. Implicações e riscos

As partículas atmosféricas são emitidas por uma grande variedade de fontes naturais e antropogénicas. A natureza da fonte influencia tanto as propriedades físicas (massa, dimensões, densidade, etc.) como a composição química das partículas. As partículas podem ser classificadas como primárias ou secundárias, dependendo do seu mecanismo de formação. As partículas primárias são emitidas directamente para a atmosfera, enquanto que as secundárias são as que se formam na própria atmosfera, geralmente, através de reacções químicas de gases precursores. A influência das emissões de partículas de origem natural sobre as concentrações de PM10 é muito importante no Sul da Europa. Os padrões climáticos e geográficos específicos do Sul da Europa poderão ser responsáveis por níveis de fundo de PM10 relativamente elevados. Quando se considera que o indivíduo se encontra exposto à emissão de determinados poluentes, é particularmente importante a exposição às partículas atmosféricas, e especificamente as suas fracções mais finas, tais como, nanopartículas, partículas ultra finas, PM 2,5 (partículas respiráveis D < 2,5 µm), bem como, PM10 (partículas inaláveis D < 10 µm). Naturalmente que, quanto menor for a partícula, maior será a probabilidade de penetração nas partes mais profundas do aparelho respiratório, ficando assim o indivíduo exposto a níveis mais elevados. Os impactos e riscos podem ir até danos concretos na saúde e no ambiente [5].

Existem alguns estudos que permitem identificar riscos e impactos importantes e que relacionam directamente as quatro características específicas das nanotecnologias. A primeira característica é a escala. As nanopartículas são tão pequenas que desaparecem na atmosfera e podem ser inaladas, podendo entrar na corrente sanguínea ou até penetrarem na epiderme. As consequências são algo imprevisíveis, tanto mais que não existe um único tipo de nanopartículas, mas sim vários, que por sua vez podem resultar em efeitos adversos, não se conseguindo assim, até ao momento avaliar a toxicidade destas nanopartículas.

A segunda característica é que, na escala nano, a matéria viva e não viva se confundem. Dada esta diferença entre o biótico e o abiótico, os nanobiotecnólogos são entusiastas da hibridação de implantes, sensores e distribuidores de drogas para uso humano, sendo já conhecidos alguns efeitos adversos. Outra das características das nanopartículas é ter diferentes propriedades físicas que os mesmos materiais numa escala superior.

Por último, é importante considerar ainda a questão da interdisciplinaridade que a área das nanotecnologias requer, ou seja, a convergência de múltiplos saberes científicos.

4. Avaliação dos riscos

O principal objectivo para a Indústria na área das nanotecnologias deve ser sempre a minimização do risco e a prevenção de acidentes e incidentes, em primeiro lugar; bem como, a realização de medições da exposição dos trabalhadores, a realização de testes toxicológicos que devem estar a par dos desenvolvimentos que ocorram nesta área.

Uma avaliação completa dos riscos inclui a avaliação da exposição (ou seja, a concentração de uma substância no meio e a duração do contacto), a dose (ou seja, a quantidade de uma substância), o perigo (ou seja, o potencial para causar danos) e o consequente risco (ou seja, o probabilidade da ocorrência de danos em função do perigo e da dose de uma substância e a exposição a essa mesma substância. A tomada de medidas ambientais, de saúde e de segurança adequadas devem englobar os seguintes passos:

- Identificação do perigo;
- Caracterização do perigo;
- Avaliação da exposição;
- Avaliação do risco;
- Prevenção e controlo dos riscos, e
- Avaliação das medidas de controlo.

A diminuição dos níveis de exposição é, em muitos casos, o único meio de minimizar os riscos associados à utilização uma substância perigosa, pois tanto o perigo e a dose de uma substância são altamente dependentes das suas propriedades físicas, químicas, e biológicas.

Na área das nanotecnologias, os materiais utilizados têm propriedades únicas, tornando difícil ou impossível substituí-los por outros.

Na Indústria Química Europeia, no entanto, o novo sistema de Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos (REACH) está no seu início de implementação, exigindo a substituição de substâncias nocivas após 5 anos do seu registo. Num relatório encomendado pelo Governo do Reino Unido, a Royal Society e a Royal Academy of Engineering recomendam que os nanomateriais, sejam referidos como novas substâncias ao abrigo do citado Regulamento REACH.

5. Potenciais implicações do uso das nanotecnologias para a saúde humana

Tem sido demonstrado que as nanopartículas são capazes de penetrar no organismo humano através de diversas vias de entrada, sendo a via de entrada mais provável de ocorrer, aquando do manuseamento de nanomateriais tanto em processos de uso ou de produção ou de fabrico, a via respiratória. Atingindo os pulmões, as nanopartículas poderão rapidamente entrar na corrente sanguínea, afectando possivelmente órgãos vitais do corpo humano [6].

De facto, estes três órgãos referidos têm uma histologia das partes em contacto com o ambiente muito diferentes umas das outras. O facto de que a pele constitui uma verdadeira barreira impeditiva da penetração de agentes no organismo, faz com que os pulmões e tracto intestinal (onde há transporte activo e passivo de nutrientes, água, etc.), constituam barreiras mais susceptíveis de serem violadas, sejam os órgãos mais prováveis de serem de via de entrada de nanopartículas para o organismo [6]. Portanto, para compreender o potencial risco da nanotecnologia (nanomateriais), é essencial considerar as defesas e barreiras, que o corpo humano utiliza em caso de ameaça e as propriedades que as nanopartículas têm para as ultrapassar. Essas barreiras e defesas são as mesmas, quer para microrganismos, quer para partículas, que entrando no organismo (após superarem essas defesas e barreiras) produzem efeitos tóxicos. Por isso, existem informações relativas a exposição a três elementos que poderão ser úteis na compreensão do potencial risco para a saúde. São eles [7]:

- quartzo;
- amianto;
- poluição do ar.
- aplicações médicas com nanopartículas (fármacos)

É importante realçar que a toxicidade de uma partícula corresponde às suas características e propriedades físico-químicas, ao passo que o risco de exposição é sempre relacionado com a concentração inalada que irá atingir o órgão [7].

O quartzo é um mineral natural ao qual muitos trabalhadores têm estado expostos como por exemplo nos sectores de exploração de minérios, postos de trabalho como pedreiras, entre outros relacionados. A exposição destes trabalhadores a partículas micrométricas de quartzo durante um curto período de anos a uma concentração de sensivelmente 1 mg/m³ de ar pode levar a fibrose pulmonar, entre outras doenças fatais ou incapacitantes [8].

5.2. Exposição a amianto (asbesto)

O amianto é conhecido como uma fibra mineral natural extraída de rochas, abundante na Natureza, de baixo custo e com propriedades interessantes para a indústria, sendo até ao conhecimento dos seus riscos para a saúde como a "rainha das fibras" [9]. É causador de diversas doenças fatais a nível do pulmão e da pleura, membrana mais externa envolvente do pulmão. O amianto encontra-se em imensas construções, daí ser extremamente fácil a sua inalação e portanto

ser normal que este se encontre nos pulmões de muitos de nós. Alguns estudos demonstram que, a toxicidade das partículas depende de factores físicos e químicos. Os factores físicos correspondem a:

- comprimento da partícula;
- diâmetro da partícula.

Os factores químicos correspondem a:

- actividade da superfície;
- resistência a degradação.

5.3. Exposição à poluição do ar

A poluição do ar é causada essencialmente por emissões de gases e partículas de determinadas fontes [5]. Podemos falar em diversas indústrias, incêndios florestais, indústrias de geração de energia, queima de resíduos, meios de transporte, como exemplos dessas fontes. Relembrando a classificação das nanopartículas, temos que estas podem ser naturais, poluentes e fabricadas.

Crê-se que muitas das associações referidas no Quadro 1, tenham a ver com a exposição dos indivíduos às partículas existentes no ar poluído, essencialmente através de duas evidências distintas:

- os efeitos mensuráveis na saúde estão associados a concentrações reduzidas. Por exemplo, um aumento de 10 microgramas por m³, é associado a um aumento de 1% das mortes por doença cardíaca;
- as partículas são, por vezes, constituídas por compostos químicos não tóxicos.

A concentração de nanopartículas é, em geral, reduzida, mas de qualquer maneira, corresponde a aproximadamente 10 milhares de nanopartículas por mililitro de partículas. A partir desta concentração podemos facilmente inferir que uma simples inalação de 300 ml vai conter milhões de nanopartículas, sendo que cerca de metade fica retida a nível pulmonar. Crê-se que a poluição atmosférica exerce os seus efeitos nefastos no conjunto de indivíduos com historial clínico

de doença, o que os torna inseridos nos grupos susceptíveis [7]. Como é óbvio, muitos estudos são ainda necessários, embora existam já conhecimentos a nível da poluição do ar que são dados importantes para o estudo da toxicologia de nanopartículas:

- os agentes invasores podem produzir os seus efeitos tóxicos nas células e nos órgãos;
- substâncias aparentemente não tóxicas podem também produzir efeitos tóxicos nas células e órgãos se estes estiverem expostos a uma dose suficiente a uma dimensão nanométrica [7].

5.4. Aplicações médicas com nanopartículas (fármacos)

Mais informação relacionada com possíveis efeitos de nanopartículas no organismo humano tem vindo a surgir a partir da indústria farmacêutica. Muitos estudos têm considerado os nanomateriais, mais especificamente partículas na nanoescala, como possíveis encaminhadores de compostos farmacêuticos para o órgão alvo, tal como já foi referido anteriormente, através de processos de inalação, ingestão, absorção cutânea mas essencialmente injeção endovenosa, dado que pelos outros processos são encontradas barreiras à absorção das nanopartículas, pulmões, tracto intestinal e pele, respectivamente. Nanomateriais que possuam este tipo de camadas ou membranas de revestimento protector podem atingir órgãos específicos:

- os testes de toxicidade deste tipo de nanomateriais devem ter em conta os seus revestimentos;
- nanopartículas que hipoteticamente são perigosas, ou pelo menos, indesejadas, podem penetrar a membrana de determinadas células;
- nanopartículas podem atravessar barreiras, que tenham um papel preponderante na eliminação de possíveis efeitos nefastos, que existam entre a corrente sanguínea e o cérebro.

Quadro 1 - Associações epidemiológicas entre a saúde humana e a poluição do ar [7]

Percentagem elevada de casos de doença cardíaca e morte, em indivíduos susceptíveis.
Percentagem elevada de casos de doença crónica pulmonar, em indivíduos susceptíveis
Aumento da percentagem do número de casos de asma.
Aumento de risco a longo prazo de contrair cancro de pulmão ou ataque cardíaco.
Possivelmente, aumento da percentagem de síndrome de morte súbita em bebés e de enfarte, em indivíduos susceptíveis.

6. Conclusões

Os estudos atrás referenciados apontam para que as nanopartículas sejam capazes de entrar facilmente no organismo através da pele, pulmões e capazes de originar efeitos no ambiente a nível de água, solo e ar. A nível de saúde muitos dos estudos são projectados como uma analogia à exposição humana ao quartzo, e ao amianto, e também no que concerne à poluição do ar e aplicações médicas (fármacos) com nanopartículas. Relativamente ao ambiente, existem ainda poucos estudos, mas ainda assim, surgem certas evidências que relatam, que dependendo das características e tipos de interacção dos nanomateriais com ecossistemas poderá ocorrer entre outros, retenção dos mesmos no ambiente. A investigação é, de momento, ainda diminuta, fornecendo poucas evidências, no entanto, existem factos e resultados indicadores de que os efeitos na saúde e ambiente poderão ser prejudiciais. A prevenção da doença e do ambiente deverão ser salvaguardadas e serem objecto de intervenções prioritárias. O conhecimento das relações existentes entre nanopartículas emitidas para o ar e a saúde humana, em diferentes condições ambientais, é de importância primordial para melhorar as estimativas de exposição, assim como para o desenvolvimento de estratégias eficientes de controlo para reduzir a exposição humana, os riscos sobre a saúde, e, também para estabelecer, avaliar e melhorar os regulamentos e a legislação relativa à qualidade do ar, emissões e a utilização de nanomateriais em produtos de consumo corrente.

Impõe-se, pois, a realização de estudos de inventariação, monitorização e caracterização, assim como epidemiológicos, para poder vir a avaliar, concretamente, o impacto do uso das nanotecnologias na saúde dos indivíduos expostos.

Referências

- [1] COMISSÃO EUROPEIA - COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO CONSELHO, AO PARLAMENTO EUROPEU E AO COMITÉ ECONÓMICO E SOCIAL EUROPEU; Nanociências e Nanotecnologias: Plano de Acção para a Europa 2005-2009. Primeiro Relatório de Execução 2005-2007 COM (2007), Bruxelas, 2007.
- [2] NIOSH – Strategic Plan for NIOSH Nanotechnology Research and Guidance “Filling the knowledge gaps”. DHHS (NIOSH) Publication N°. 2010-105. Nov. 2009
- [3] Fortunato, E. - As Metas da Nanotecnologia: Aplicações e Implicações. Centro de Investigação de Materiais, Universidade Nova de Lisboa – FCT. Lisboa, 2005.
- [4] TEIXEIRA, J.A. - Nanotecnologias: Que implicações para segurança e saúde? Colóquio Internacional sobre Segurança e Higiene Ocupacionais, 2006 - SHO [Internet] pp. 105-106 Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/5111>
- [5] GOMES, J.F.P. - Poluição Atmosférica: Um manual universitário. 2ª Edição, Publindústria, Porto, 2010.
- [6] HOET, P.H.M., BRÜSKE-HOHLFELD, I., SALATA, O.V. - Nanoparticles – Known and Unknown Health Risks. Journal of Nanobiotechnology, 2004. Disponível em: <http://www.jnanobiotechnology.com/content/2/1/12> [Acedida em: 15 de Janeiro de 2008]
- [7] THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING -

Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties. [Internet] Londres: The Royal Society, 2004. Disponível em: <http://www.raeng.org.uk/policy/reports/nanoscience.htm>

[8] SEATON, A., CHERRIE, J.W. - Quartz exposures and severe silicosis: a role for the hilar nodes. In: Occup Environ Med 1998 [Internet] 55 pp. 383-386 Aberdeen: University of Aberdeen Medical School, 1998. Disponível em: <http://oem.bmj.com/cgi/reprint/55/6/383> [Acedida em: 10 de Junho de 2008]

[9] REMIÃO, F. - FFUP – Homepage [Internet] Porto, Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, 2003. Disponível em: <http://www.ffup.pt>

Publique um artigo nas próximas edições da Técnica

Gostaria de ver um artigo seu numa das próximas edições da revista Técnica?

Consulte as normas de admissão de artigos na Revista, que se encontram nas páginas seguintes, e envie o seu artigo para TECNICA@aeist.pt.

NORMAS DE ADMISSÃO DE TRABALHOS E INSTRUÇÕES PARA AUTORES

1. A Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico (AEIST) publicará anualmente um mínimo de dois números da revista Técnica.

2. A Revista tem como objectivo a divulgação da actividade de investigação técnico-científica que diariamente é desenvolvida no Instituto Superior Técnico.

3. Atendendo ao contexto onde se insere e público a que, em conformidade e de modo principal, se destina, a revista integra-se a partir das três seguintes formas:

ARTIGOS DE REVISÃO

Destinam-se a trabalhos de síntese no domínio das ciências básicas da engenharia. Além do mais, procura-se que estes artigos se constituam fontes recomendadas de estudo aos alunos e de consulta para investigadores e docentes.

ARTIGOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS

São artigos submetidos a publicações. Destinam-se essencialmente a dar notícia sobre aquisições actuais da ciência e da tecnologia que vá para além da simples divulgação, sendo desejável que nesses trabalhos figurem parâmetros e referências que permitam elaborar juízos críticos e comparativos. Fundamentalmente, um artigo sucinto, com carácter crítico, que traduza o trabalho de investigação científica realizada pelo autor.

NOTAS CIENTÍFICAS

Destinam-se essencialmente à apresentação de novos resultados no domínio da investigação científica ou do desenvolvimento tecnológico. Pretende-se uma nota curta, realçando os resultados alcançados e referenciando trabalhos afins, evitando a exposição longa de antecedentes, que deverá ser remetida para referências.

4. Quando o autor ou autores forem alunos é necessário que

do trabalho conste a indicação de um supervisor de reconhecida idoneidade científica e técnica que tenha participado na análise crítica e prévia discussão do trabalho em causa (Ex: orientador da dissertação)

5. Os Artigos de Revisão, os Artigos Técnico-Científicos e as Notas Científicas devem estar em língua portuguesa ou inglesa, sendo a ortografia da responsabilidade dos autores.

6. Os autores deverão atender na elaboração dos artigos às seguintes condições:

6.1. Os Artigos devem ser disponibilizados num formato que possibilite a sua edição, de forma a que a AEIST possa manter uma identidade própria.

6.2. A estrutura do artigo fica ao critério do autor, sendo que caso se trate de um Artigo de Revisão ou Técnico-Científico não poderão exceder 10 páginas A4. No caso das Notas Científicas não poderão exceder 5 páginas A4, incluindo o espaço reservado a ilustrações. No entanto todos os artigos recepcionados serão sujeitos a avaliação por parte da AEIST.

6.3. A formatação do texto deverá obedecer às seguintes regras:

- espaçamento a 1,5 linhas;
- tamanho de letra: 10 pontos;
- notas de pé-de-página com espaçamento de 1 linha. Usar moderadamente, com tipo de letra de 9 pontos;
- margens: mínimo de 2,5 centímetros nos quatro lados;

6.4. As referências bibliográficas devem ser indicadas no texto por ordem numérica, usando algarismos árabes entre colchetes [], e a lista das mesmas, no final do artigo, obedecerá às seguintes normas:

- Artigos de revistas:
Nome(s) do(s) autor(es) e iniciais (ano de publicação entre parêntesis). Nome do artigo, Nome da revista, número do volume, página(s).
- Livros:
Nome(s) do(s) autor(es) e iniciais (ano de publicação entre parêntesis). Título, editora, página(s).
Trabalhos em que a matéria apresentada não esteja referenciada não são, em princípio, publicados.

6.5. As tabelas e figuras devem ser centradas no texto, numeradas e conter uma legenda que descreva o seu conteúdo; devem preferencialmente ser enviadas em anexo ao artigo.

7. Os autores deverão assegurar-se, antes de enviarem os originais, que estes não contenham erros, falta de dados, etc., pois que, na fase de revisão, já não se aceitam correcções ao artigo inicialmente recebido, apenas são feitas correcções de erros tipográficos.

NOTA: A AEIST salienta que qualquer artigo cedido para publicação na Revista fica à inteira responsabilidade do(s) autor (es).

A AEIST oferecerá três exemplares da Revista, por cada trabalho publicado, independentemente do número de autores.

A SEGURANÇA SÍSMICA NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Carlos Sousa Oliveira*¹, Ema Coelho*², Aníbal Costa*³, Paula Teves Costa*⁴,
Mário Lopes*¹, Rui Carrilho Gomes*¹, Rogério Bairrão*²

*Direcção da Sociedade Portuguesa de Engenharia Sísmica

¹ Professor do Instituto Superior Técnico

² Investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

³ Professor da Universidade de Aveiro

⁴ Professora da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Resumo

É sabido que zonas já atingidas por sismos fortes no passado, tais como Portugal continental e os Açores, voltarão a sê-lo no futuro. Os cenários sísmicos elaborados para Portugal continental identificam a possibilidade de ocorrência de perdas humanas e materiais importantes. No entanto, as principais consequências dos sismos podem ser significativamente reduzidas, pois a engenharia sísmica moderna tem a capacidade de dotar os edifícios e outras estruturas de resistência suficiente para superar sismos muito fortes.

Em Portugal, desde 1958 há legislação técnica que obriga ao cálculo sísmico de edifícios novos, mas não há mecanismos eficazes de fiscalização sistemática da sua aplicação no projecto e construção de edifícios correntes. No que diz respeito às obras de reabilitação de edifícios existentes, não há legislação técnica aplicável. Logo, até obras que reduzem a resistência sísmica dos edifícios são legais.

Na reabilitação de edifícios é fundamental passar a incluir a componente de reforço sísmico nas fases de projecto e de construção. Para este efeito é necessário:

- a) Elaborar recomendações e normas técnicas para o reforço sísmico das construções.
- b) Tornar obrigatório o reforço sísmico nas obras de reabilitação de edifícios.
- c) Defender o património construído de maior valor cultural.
- d) Informar a população sobre o problema do risco sísmico.
- e) Criar mecanismos de fiscalização sistemáticos e eficientes das obras de construção e reforço.
- f) Desenvolver a investigação e formação de pessoal especializado em técnicas de reforço de edifícios.

1 - Introdução

A reabilitação de edifícios em Portugal tem sido feita visando essencialmente a melhoria das condições de habitabilidade e estéticas, estimando-se que os casos em que a segurança estrutural é efectivamente melhorada sejam excepções. Esta questão é particularmente negativa no que diz respeito à resistência sísmica, pois uma larga maioria dos edifícios intervencionados foram construídos em épocas em que não havia a preocupação de lhes conferir resistência sísmica. A engenharia sísmica moderna em geral, e a portuguesa em particular, dispõe de capacidade técnico-científica para reforçar muitos desses edifícios com boa relação custo-benefício.

2 - O fenómeno sísmico

O fenómeno sísmico é um fenómeno natural resultante da libertação de energia acumulada na litosfera terrestre (crosta mais a parte exterior sólida do manto), que constitui a camada mais superficial do planeta. A litosfera é constituída por placas que se movem umas em relação às outras, gerando tensões que se vão acumulando ao longo do tempo na vizinhança das zonas de fronteira entre as placas. Quando estas tensões excedem a capacidade resistente do material, dá-se a rotura nessa zona, libertando grandes quantidades de energia que se propagam na crosta através de ondas sísmicas que dão origem às vibrações do terreno sentidas durante a ocorrência de um sismo. O mecanismo de geração dos sismos permite estabelecer a imprevisibilidade e recorrência destes fenómenos. Por imprevisibilidade entende-se a incapacidade de prever a data de ocorrência do

próximo sismo com potencial destrutivo significativo. Isto deve-se à natureza frágil da litosfera terrestre, que muito raramente indicia antecipadamente a ocorrência de uma rotura. A recorrência deriva do facto das zonas que já originaram sismos serem zonas de fragilidade da litosfera que gerarão sismos no futuro. A Figura 1 mostra um mapa de epicentros na zona de Portugal continental e regiões adjacentes, mostrando que é uma zona de potencial ocorrência de sismos.

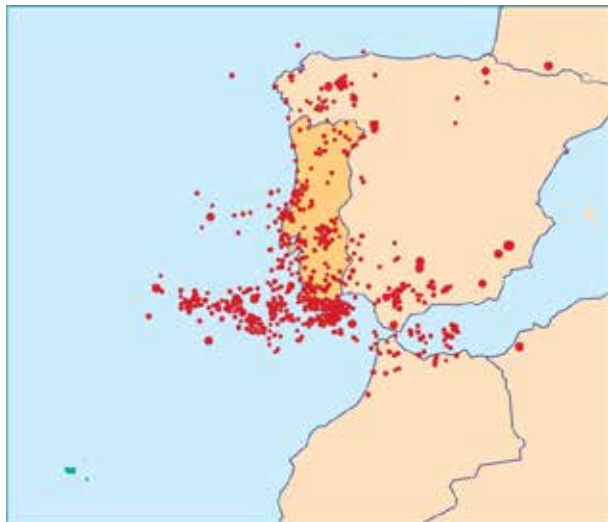


Figura 1 – Mapa de epicentros em Portugal continental e regiões adjacentes [1].

3 - Previsão de futuros sismos

Para avaliar as consequências de futuros sismos é preciso, em primeiro lugar, estimar as características desses sismos. A comunidade técnica tem efectuado inúmeros estudos com este objectivo, fazendo uso das ferramentas seguintes:

- Análise da sismicidade histórica, utilizando os relatos históricos para inferir as principais características de sismos passados, incluindo os danos provocados, devido à ausência de registos instrumentais do movimento sísmico.
- Análise da sismicidade instrumental, recorrendo à análise dos registos de sismos das últimas décadas, que permitem estimar com mais rigor as características da sismicidade regional.
- Estudo de falhas tectonicamente activas, isto é, falhas identificadas com potencial para gerar sismos, definindo as características dos sismos que são capazes de gerar e o tempo médio de ocorrência entre sismos de determinadas magnitudes.

A conjugação de todos estes tipos de estudos permite estimar as principais características dos sismos que se farão sentir numa dada região e num dado período de tempo. É com base nesta informação que os regulamentos para projectar edificações sismo-resistentes estabelecem os sismos de projecto para os quais as edificações devem ser preparadas para resistir.

O futuro regulamento europeu para as zonas sísmicas, Eurocódigo 8, prescreve uma acção sísmica que ocorre em média de 500 em 500 anos e que por isso tem uma probabilidade de ocorrência

aproximada de 10% em 50 anos. Naturalmente, o sismo de projecto varia de região para região, consoante as respectivas características de sismicidade.

4 - Potenciais consequências de sismos futuros

As consequências humanas e materiais dos sismos podem considerar-se o produto de 3 factores: perigosidade, exposição e vulnerabilidade. A perigosidade tem a ver com o fenómeno em si, ou seja, a probabilidade de no futuro ocorrerem em cada local sismos de determinadas características. A exposição depende das pessoas e bens expostos ao sismo, enquanto que a vulnerabilidade é condicionada pelo nível de resistência sísmica de edifícios e infraestruturas.

As possíveis consequências de futuros sismos em Portugal podem avaliar-se por comparação com sismos passados em Portugal, por comparação com sismos recentes noutros países com níveis de desenvolvimento semelhantes e a partir de simulação numérica.

Nos estudos de simulação numérica representa-se matematicamente a ocorrência de um sismo de uma dada magnitude num dado local, a atenuação das ondas sísmicas à medida que se afastam do epicentro, as acelerações (ou outros parâmetros relevantes do movimento sísmico) na rocha e no solo em cada local. Em função dessas acelerações estimam-se os danos e colapsos das construções existentes em cada local (exposição, previamente inventariada e incluída no simulador) em função das respectivas características de resistência sísmica (vulnerabilidade), e em função destes danos estimam-se os potenciais números de vítimas e prejuízos económicos.

Um dos simuladores mais avançados que existem foi desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Os estudos efectuados por Sousa [2], mostraram que a ocorrência de um sismo semelhante ao de 1755, um cenário que pode ser classificado como pessimista mas plausível, com as existências actuais (pessoas e bens expostos ao sismo) causaria 17 000 a 27 000 mortos, e prejuízos no parque habitacional de cerca de 20% do PIB português. Os prejuízos totais são mais difíceis de avaliar, mas a comparação com os danos causados por sismos em países com níveis de desenvolvimento comparáveis, indicaria que poderiam situar-se entre 50% e 100% do PIB. Diversos autores chegaram a conclusões um pouco mais gravosas, apontando para valores de danos económicos da ordem de 100% do PIB (e.g. [3], [4]). As comparações com sismos recentes noutros pontos do mundo, como por exemplo os sismos de Kobe em 1995 e da Turquia em 1999, apontam para conclusões semelhantes [1]. Comparações com o sismo de 1755, tendo em conta as diferenças no parque construído e população exposta entre 1755 e a actualidade, apontam no mesmo sentido [5].

Igualmente preocupantes são as estimativas de danos para cenários de sismos menos intensos, mas com maior probabilidade de ocorrência. De acordo com um estudo recente promovido pelo Conselho Nacional de Planeamento Civil de Emergência [6] um sismo com uma probabilidade de ocorrência de 50% em 50 anos, ou seja, uma probabilidade de ocorrência elevadíssima, produziria prejuízos de cerca de 10 mil milhões de euros (equivalente a 10 pontes Vasco da Gama). Quanto a vítimas basta pensar que só na cidade de Lisboa existem

mais de mil edifícios em risco de colapso eminente, o que significa que a sua resistência sísmica é baixíssima. Só nestes, existe um potencial para a ocorrência de um número de mortos elevadíssimo (centenas ou até milhares). Alguns destes edifícios caem por si sós, como é por vezes noticiado, imagine-se quantos colapsarão sob a acção de um sismo.

Como foi referido, uma das razões para estes resultados deve-se ao facto da vulnerabilidade de muitos edifícios ser bastante elevada. De acordo com os Censos de 2001, na cidade de Lisboa cerca de metade dos alojamentos unifamiliares foram construídos antes de 1958, ano da publicação da 1ª legislação técnica da era moderna que obrigava ao cálculo sísmico explícito dos edifícios. Isto pode constatar-se no Quadro 1, que mostra o nº de alojamentos unifamiliares de acordo com os Censos de 2001, em função da data de construção.

Época de construção	Cidade de Lisboa	Área metropolitana de Lisboa	Portugal Continental
Até 1919	10%	4%	6%
de 1919 a 1945	17%	7%	8%
de 1946 a 1960	19%	11%	10%
de 1961 a 1970	19%	18%	13%
de 1971 a 1980	13%	22%	18%
de 1981 a 1985	4%	10%	11%
de 1986 a 1990	4%	9%	10%
de 1991 a 1995	6%	9%	10%
de 1996 a 2001	7%	11%	13%
Total de Alojamentos	288 481	1 291 652	4 832 537

Quadro 1 – Alojamentos unifamiliares por data de construção

5 - Capacidade para evitar consequências dos sismos

5.1 - Protecção Civil

A nobre tarefa desempenhada pela Protecção Civil só ocorre após a declaração da Emergência. Como a maior parte das mortes ocorre durante o próprio sismo, a Protecção Civil vê-se incapacitada

de evitar danos humanos e materiais. É de realçar que a Protecção Civil tem uma missão insubstituível no apoio aos sobreviventes, em particular aqueles que ficam encarcerados ou que podem morrer devido aos ferimentos.

Analise-se o exemplo da valorosa participação Portuguesa nas missões de salvamento no sismo da Turquia de 1999: num sismo que matou mais de 30 000 pessoas, a missão portuguesa, de 45 elementos, apesar do grande esforço e dedicação, apenas tirou uma pessoa viva dos escombros (ver Figura 2).

5.2 - Capacidade técnica

A engenharia sísmica moderna tem a capacidade para projectar e reforçar edifícios, equipamentos e infraestruturas para resistir a sismos, mesmos os mais intensos. A Figura 3 exemplifica a forma simples como isto pode ser feito, numa estrutura de edifício com pilares e vigas. As acelerações do solo durante o movimento sísmico são transmitidas para cima e geram forças horizontais na massa dos pisos. Se o edifício for adequadamente projectado e construído para resistir a essas forças não colapsará durante um sismo. Assim, apesar de os sismos serem inevitáveis as suas principais consequências não o são.

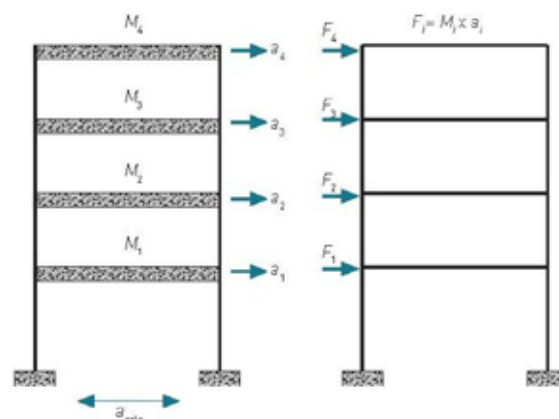


Figura 3 – Efeito de um sismo numa estrutura [7].

Os edifícios construídos antes da 1ª regulamentação sísmo-resistente moderna são em média mais fracos do que os construídos



Figura 2 - Folheto sobre a missão portuguesa à Turquia em 1999.

posteriormente, pois essa regulamentação aumentou os padrões de exigência a aplicar no projecto dos edifícios, apesar de não existir fiscalização sistemática da sua aplicação. Mesmo os edifícios antigos mais fracos podem ser eficientemente reforçados para resistir a sismos. A Figura 4 mostra a diferença de danos devidos ao sismo do Faial de 1998 em duas construções antigas adjacentes, uma reforçada antes do sismo e a outra não, ilustrando este efeito.



Figura 4 – Diferença de resistência sísmica entre construções [8].

No entanto no domínio do reforço ainda é necessário aumentar bastante os conhecimentos para melhorar os padrões de segurança e reduzir os custos. Além disso as intervenções de reabilitação de edifícios com reforço estrutural ainda são excepções, em particular porque quase não há legislação ou recomendações técnicas que obriguem a considerar a questão da resistência sísmica em obras de reabilitação de edifícios antigos. A excepção são as recomendações técnicas elaboradas para o Governo Regional dos Açores para a reconstrução após o sismo do Faial de 1998 [9].

Também existem lacunas graves na legislação técnica relativa ao fabrico e instalação de equipamentos electromecânicos [5] [10], fundamentais para as redes de infraestruturas e para a indústria e que se podem reflectir na vulnerabilidade sísmica de equipamentos importantíssimos. A Figura 5 mostra exemplos destas diferenças na subestação eléctrica de Sylmar, na Califórnia, EUA: antes e depois do sismo de S. Fernando (1971); antes e depois do sismo de Northridge (1994) são a mesma figura, isto é não ocorreram danos! Ambos os sismos provocaram fortes movimentos do solo na zona da subestação, com acelerações claramente superiores durante o sismo de Northridge. No entanto o primeiro sismo destruiu a maior parte dos equipamentos, e o segundo nem os danificou. Isto deveu-se ao facto de os equipamentos colocados na reconstrução após o sismo de S. Fernando terem sido adequadamente projectados, construídos e montados para resistir a sismos, o que não era o caso dos que foram destruídos pelo sismo de S. Fernando.



a) Antes do sismo de S. Fernando (1971)



b) Depois do sismo de S. Fernando (1971)



c) Antes e depois do sismo de Northridge (1994)

Figura 5 – Subestação eléctrica de Sylmar

6 - Reabilitação urbana

A reabilitação edifícios pode criar uma falsa sensação de segurança nos respectivos proprietários e utilizadores, porque na maioria dos casos apenas se procurou melhorar as condições de estética exterior e habitabilidade mas se ignorou a sua falta de resistência sísmica. Mas o que diremos quando um dia ocorrer um sismo, que nem precisa de ser muito intenso, e muitos desses edifícios colapsarem ou sofrerem danos severos, provavelmente causando danos humanos?

É fundamental que as obras de reabilitação de edifícios incluam a componente do reforço estrutural de forma sistemática. Para este efeito é necessário:

- Elaborar recomendações técnicas para reforço sísmico das construções, actualmente inexistentes.
- Obrigar por via legislativa ao reforço sísmico nas obras de reabilitação de edifícios. Porém, é necessário distinguir pequenas obras, como por exemplo reparar canalizações ou outras pequenas reparações, de obras de fundo num edifício que abranjam uma parte significativa da sua área ou com um custo relevante face ao seu valor. O nível de segurança a exigir nestas obras pode ser mais baixo do que o exigido em obras novas, por razões de exequibilidade e razoabilidade económica e social. No entanto, deve ser assegurado um nível mínimo razoável de protecção sísmica em todos os casos.
- Elaborar legislação para assegurar a defesa do património construído de maior valor cultural, limitando o grau de intrusão e não permitindo demolições.
- Informar a população sobre o problema do risco sísmico, pois sem percepção do risco pelos principais envolvidos não haverá redução do risco; os principais interessados no parque construído (inquilinos, senhorios, promotores, credores, empreiteiros, etc.) são precisamente a generalidade da população.
- Criar mecanismos de fiscalização sistemáticos e eficientes das obras de construção e reforço para melhorar ou garantir a qualidade do produto final, isto é as construções a edificar ou reforçar, incluindo a respectiva resistência sísmica.
- Desenvolver a investigação e formação de pessoal especializado em técnicas de reforço do edificado.

Além do exposto também é importante que se elabore legislação no sentido de proibir intervenções em edifícios que reduzam a sua resistência sísmica, estimando-se que estas sejam infelizmente bastante correntes.

7 - Controlo de qualidade

Do ponto de vista da actividade profissional dos engenheiros, de entre os pontos referidos interessa aprofundar a questão da fiscalização e controlo de qualidade.

Muitas empresas dispõem hoje de sistemas de controlo de qualidade. Mas estes são em geral sistemas de controlo de procedimentos, e por si só não garantem aquilo que interessa ao consumidor, que é a qualidade do produto final. As empresas e os técnicos também podem ser certificados para exercer determinadas actividades, e embora isso seja um contributo para evitar a falta de

qualidade de alguns trabalhos, é insuficiente para garantir a qualidade do produto final.

O controlo de qualidade do produto final implica a fiscalização tanto de projectos como de obras. A fiscalização sistemática de projectos de edifícios correntes não existe, como se pode constatar pela transcrição do artº 20 do Decreto-Lei 555/99 (Figura 6).

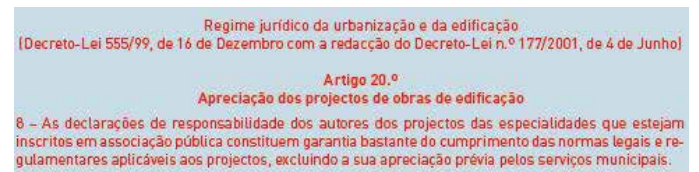


Figura 6 – Artº 20 do Decreto-Lei 555/99.

Note-se que, independentemente da competência e conhecimentos dos intervenientes, a falta de fiscalização, associada ao facto de a falta de resistência sísmica só se notar quando ocorrer um sismo, cria nos agentes do sector da construção uma certa sensação de falta de controlo e de impunidade que estimula a má qualidade de construção [11]. Por isso hoje no mercado de elevada competitividade como é o da construção, existe grande diversidade na qualidade, desde baixa qualidade até elevada qualidade, estimando-se que em termos médios a qualidade seja média a baixa.

A Figura 7a mostra uma obra na região de Lisboa, com um exemplo do que pode suceder: a sapata de fundação foi construída com desvio de alguns centímetros em relação à posição definida no projecto de estabilidade. Para esconder o erro, o empreiteiro preparava-se para construir o pilar na posição correcta, entortando os ferros de espera salientes da sapata para ligar ao pilar, destruindo a resistência à flexão da ligação sapata-pilar. Depois de construído, este erro de execução dificilmente seria detectado. A figura 7b mostra o estado de um edifício em que existiam problemas do mesmo tipo, após o sismo da Turquia de Agosto de 1999.



a) Exemplo em Portugal



b) Consequências no sismo de 1999 na Turquia

Figura 7 – Exemplos de má qualidade de construção [12].

As Câmaras Municipais em geral também não dispõem, nem individualmente têm capacidade para criar, meios que lhes permitam fiscalizar a qualidade dos edifícios construídos e a conformidade das obras com os respectivos projectos. Por isso uma simples alteração legislativa no sentido de responsabilizar as Câmaras pela fiscalização de projectos e obras não resolveria o problema. Correr-se-ia o risco de até ser contraproducente na medida, em poderia contribuir para “esconder” o problema.

A resolução deste problema passa por um debate e amadurecimento de ideias entre todos os agentes envolvidos. A abordagem a este problema pode passar pela fiscalização de projectos e obras por amostragem. Tem a vantagem de exigir muito menos recursos do que uma fiscalização sistemática e poder ser feita *à posteriori*. No entanto para ser eficaz exige que se apliquem medidas de punição dos prevaricadores.

Outra via possível, poderá passar pelo estabelecimento de prémios de seguro do edificado com cobertura de fenómenos sísmicos proporcionais aos riscos. Trata-se de pôr o mercado a funcionar a favor da segurança, atribuindo prémios dos seguros mais reduzidos às construções com melhor qualidade de projecto e construção. Para concretizar esta via é necessário que (i) a lógica de mercado funcione, ou seja, exista percepção do risco e vontade de o minimizar, e por isso envolve informar a população e as empresas; (ii) vontade de participação das Seguradoras, tendo a Associação Portuguesa de Seguradores (APS) manifestado em 2001 a disponibilidade para participar num processo deste tipo, no âmbito das actividades normais da actividade seguradora; (iii) a existência de legislação a definir com detalhe as responsabilidades dos vários intervenientes no processo construtivo.

A segunda proposta é de implementação mais difícil, mas apresenta as vantagens de ser um sistema auto-sustentável potencialmente mais eficiente, para além de minimizar a necessidade de intervenção do Estado. A descrição mais detalhada desta proposta e das suas condições de sucesso pode ser consultada em Lopes [13].

8 - Conclusões

O território nacional está exposto ao risco sísmico. É um imperativo nacional dar a conhecer à comunidade a existência desse risco e apontar caminhos para o mitigar.

Neste trabalho discutiram-se os diversos aspectos que condicionam a segurança sísmica do edificado, com destaque para a reabilitação de edifícios. São apresentadas propostas para melhorar a qualidade da construção das edificações, tendo em vista reduzir o risco sísmico.

Referências

- [1] Oliveira, C., S. (2008), Efeitos naturais, impacte e mitigação, Capítulo 3 do livro Sismos e Edifícios, edições Orion.
- [2] Sousa, M., L., (2006), Risco Sísmico em Portugal Continental, Tese de doutoramento, IST, Lisboa.
- [3] Muir-Wood, R. (2005), Earthquake Independence and Insurance Loss Modelling, *American Geophysical Union, Fall Meeting*.
- [4] Pélaez, D.G., Lopez-Casado, A. (2005), Economic Losses for a Current 1755 Seismic Scenario, *Conference on the 250th anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake*.
- [5] Lopes, M., e Oliveira, C., S. (2001), O Risco Sísmico e o Parque Industrial, livro Redução da Vulnerabilidade Sísmica do Edificado, SPES, 2001.
- [6] Sá, F., M. (2011), Programa Nacional para a Redução do Risco Sísmico em Infraestruturas Críticas. *Relatório elaborado para o CNPCE no âmbito do Programa Nacional de Protecção Infraestruturas Críticas*. Fuzzy, Engenharia de Sistemas e Decisão, Lda.
- [7] Lopes, M. (2008), Concepção de Estruturas, Capítulo 5 do livro Sismos e Edifícios, edições Orion.
- [8] Costa, A. (2008). Reparação e Reforço das Construções, Capítulo 11 do livro Sismos e Edifícios, edições Orion.
- [9] Carvalho, C., C., Oliveira, C., S., Fragoso, M. e Miranda, V. (2008). Regras gerais de reabilitação e reconstrução de edifícios correntes afectados pela crise sísmica do Faial, Pico e S. Jorge iniciada pelo sismo de 9 de Julho de 1998, Governo Regional dos Açores, 1998, livro Sismos e Edifícios, Anexo 3, Edições Orion.
- [10] Pais, I., Sá, F., M., Lopes, M. e Oliveira, C., S. (2011). Infraestruturas Críticas: Propostas para a Redução do Risco Sísmico, revista *Planeamento Civil de Emergência*, Conselho Nacional de Planeamento Civil de Emergência (CNPCE), nº23, pp. 16-21.
- [11] Lopes, M. (2001). A Importância da Qualidade na Resistência Sísmica das Construções, *Redução da Vulnerabilidade Sísmica do Edificado*, SPES.
- [12] Monteiro, M. e Lopes, M. (2008). Intervenções negativas e erros de execução. Capítulo 10 do livro Sismos e Edifícios, edições Orion.
- [13] Lopes, M., (2004). Sismos em Portugal: Consequências e Soluções, Parte II, *Revista Engenharia e Vida*, nº5, Setembro.

BRINGING THE POWER OF THE SUN TO EARTH: PORTUGUESE CONTRIBUTION

Bruno Gonçalves, Alberto Vale, Carlos Silva

{bruno,avale,csilva}@ipfn.ist.utl.pt

Instituto de Plasmas Fusão Nuclear, Laboratório Associado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1 – 1049-001 Lisboa, Portugal

1. ITER - the way to sustained energy

ITER will be the world's largest experimental fusion facility and is designed to demonstrate the scientific and technological feasibility of fusion power for energy purposes. Fusion research is aimed at developing a prototype fusion power plant that is safe and reliable, environmentally responsible and economically viable, with abundant and widespread fuel resources. Fusion has the potential to play an important role as part of a future energy mix for our planet. It has the capacity to produce energy on a large scale, using plentiful fuels, and releasing no carbon dioxide or other greenhouse gases. ITER is an important step on the road to fusion power plants. The ITER project, sited at Cadarache in the South of France, is being planned with great respect for the local environment, in keeping with the aim of producing an environmentally benign form of energy. Europe will contribute almost half of the costs of its construction, while the other six Members to this joint international venture (China, India, Japan, the Republic of Korea, the Russian Federation and the USA), will contribute equally to the rest. ITER is one of the best examples of globalization of science technology where the world has joined forces to establish one of the largest and most ambitious international science projects ever conducted.

1.1 What is Fusion?

Fusion is the process that powers the sun and the stars. When light atomic nuclei fuse together to form heavier ones, a large amount of energy is released. In the stars of our universe, gravitational forces have created the necessary conditions for fusion. Over billions of years, gravity gathered the hydrogen clouds of the early Universe into massive stellar bodies. In the extreme density and temperature of their cores, fusion occurs. The fusion of two light hydrogen atoms (H-H) produces a heavier element, helium. The mass of the resulting helium atom is not the exact sum of the two initial atoms, however—some mass has been lost and great amounts of energy have been gained. At extreme temperatures, electrons are separated from nuclei and a gas becomes a plasma: a hot and electrically charged gas. In a star as in a fusion device, plasmas provide the environment in which light elements can fuse and yield energy.

1.2 Fusion on earth

Without the benefit of gravitational forces at work in our Universe, achieving fusion on Earth has required a different approach. In ITER, the fusion reaction will be achieved in a toroidal device, named tokamak, which uses magnetic fields to contain and control the hot plasma. In order to produce a self-sustaining fusion reaction, the tritium and deuterium plasma must be heated to over 100 million °C, which requires powerful heating devices and minimal thermal loss. To sustain such a temperature the hot plasma must be kept away from the walls of the reactor. However, because the plasma is an electrically-charged gas it can be held or contained by magnetic fields. This allows the plasma to be held, controlled and even heated by a complex cage of magnets, whilst enabling the neutrons to escape as they have no electric charge. In a tokamak the plasma is held in a doughnut shaped

vessel. Using special coils, a magnetic field is generated, which causes the plasma particles to run around in spirals, without touching the wall of the chamber. Figure 1 shows the ITER of tokamak.

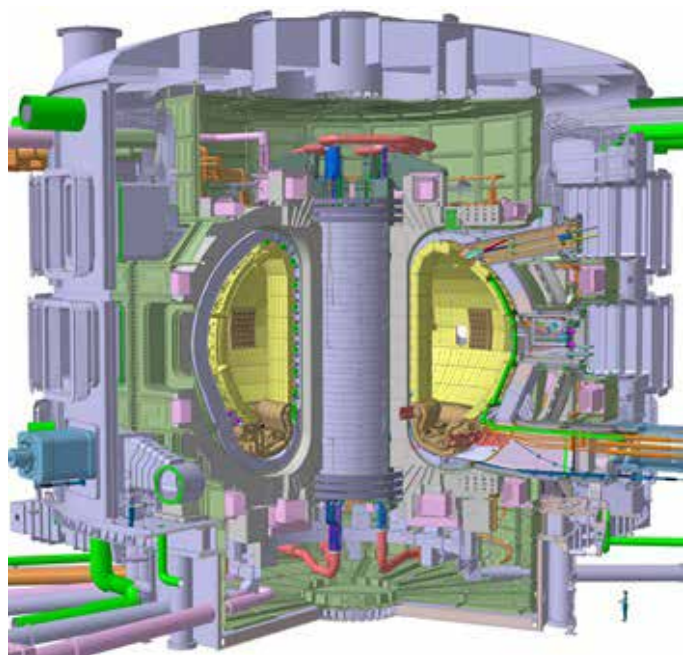


Figure 1: Tokamak of ITER: torus diameter of 12 meters, volume of plasmas of 800 m³ and a power fusion of 500 MWt

The fusion between deuterium and tritium will produce one helium nuclei, one neutron, and energy. The helium nucleus carries an electric charge which will respond to the magnetic fields of the tokamak and remain confined within the plasma. However, some 80 percent of the energy produced is carried away from the plasma by the neutron which has no electrical charge and is therefore unaffected by magnetic fields. The neutrons will be absorbed by the surrounding walls of the tokamak, transferring their energy to the walls as heat.

ITER will produce more power than it consumes: for 50 MW of input power, 500 MW of output power will be produced – the first of all fusion experiments to produce net energy. ITER is a large-scale scientific experiment that aims to demonstrate that it is possible to produce commercial energy from fusion. During its operational lifetime, ITER will test key technologies necessary for the next step: the demonstration fusion power plant that will prove that it is possible to capture fusion energy for commercial use. ITER will begin writing the chapter on 21st century fusion.

1.3 Portuguese contribution in ITER

The Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN) contributes to activities related to the construction of ITER and preparatory R&D activities leading to it. This programme also includes all the engineering activities towards diagnostic development and integration into different fusion machines. The programme for the Portuguese participation in the ITER construction is focused on:

- Control and Data Acquisition for long-time operation of fusion experiments and R&D on high-availability and high-reliability,

- Remote Handling and
- Plasma Position Control based on microwave reflectometry.

These activities are carried out through the European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy (F4E) calls for participation or through International calls issued by the ITER International Organisation. The total value of contract and grants awarded to IPFN, so far, in the areas of control and data acquisition, instrumentation and remote handling, amount to over 1 M€ and it is envisaged a new contract, for the plasma position microwave reflectometer diagnostic development, with a total value of 8.5 M€ on the fourth quarter of 2012. This last development is not covered in the present article.

2. Control and Data Acquisition

Real-time control of magnetically confined plasmas is a critical issue for the safety, operation and high performance scientific exploitation of the experimental devices on regimes beyond the current operation frontiers [1]-[2]. The important and increasing role that real-time control is playing in the operation of fusion experiments is mainly due to the need to optimize the plasma performance that requires adequate feedback control processes, with an increasing number of plasma parameters [3].

2.1 Why is control required in a fusion device?

Active feedback control systems are used to control global plasma parameters such as the plasma position, shape, heating, current drive, stabilization, start-up and safe termination of discharges [4]. The feedback controls which act on global plasma parameters may use up to hundreds of inputs and require response time to control phenomena which evolve with time constants from tens of microseconds to hundreds of milliseconds, while controls acting on local parameters generally use fewer input signals but require response time of hundreds of milliseconds [5]. For plasma instabilities with rapid rates of growth a very fast and low latency response is necessary to mitigate its effects on the plasma. In these cases the fast response times are measured in microseconds and low latency requirement of the real-time control systems are extremely important.

Current trends in fusion also indicate that future experiments will need intelligent and robust control and data acquisition systems due to their long duration pulses. Steady state conditions with high fusion gain Q require (i) control of confinement, for most advanced scenarios, which is closely related to the control of the safety factor and pressure profiles, (ii) control of the global plasma stability, (iii) control of the alfa-particles losses via collective instabilities, and (iv) control of particle exhaust to ensure acceptable levels of helium or other instabilities. This level of active control of a plasma discharge requires the use of a wide range of real-time sensor parameters and appropriate actuators [6]-[7]. The simultaneous control of these quantities with different characteristic time scales and response times of the available actuators complicates the requirements for real-time control of steady state discharges. The recent improvements in

diagnostic reliability and the rapidly growing capabilities of computers and communication networks have recently enhanced the prospect for multi-variable control and the combination of different plasma parameters in control schemes. In various experiments the central controller units are also being upgraded to facilitate the routine use of Multiple-Input and Multiple-Output (MIMO) control schemes, which are required for simultaneous current and pressure profile feedback control [8]. During tokamak operation hundreds of subsystems must operate correctly and simultaneously and, in modern tokamaks, the Plasma Control System is no longer expected to be only a plasma control tool, but has become an operation supervisor [9]. The control part of the system must be able to continuously monitor and control plasma activity independently of the data acquisition part. Demanding safety procedures are required to operate close to unstable regimes and on not yet explored parameter ranges [10]. For that reason it is crucial to develop hardware that is less prone to faults and the usage of fault detection and isolation techniques. These features are considerably challenging to implement with existing control systems. The successful development of advanced operational regimes depends strongly on the architecture and processing capacity of the installed control system. Past developments for different fusion devices have been based on different technologies (VME, PCI, ATCA), e.g. JET [11]-[12], COMPASS [13]-[14], TCV [15]-[16], MAST [17]-[18], ISTTOK [19].

ITER will be in most aspects similar to present tokamaks except for its size and energy content which imposes several restrictions to its operation. Furthermore, ITER is a nuclear facility and its operation demands an approach to safety which is not explored in present devices. Developing the ITER CODAC (Control, Data Acquisition and Communications) is a challenging endeavor. It will be responsible for the orchestration of over 150 plant systems with 40 CODAC systems, one million diagnostic channels, 300,000 slow control channels and 5000 fast control channels. The almost continuous operation demands technical solutions for streaming the data, continuous storing and experimental data access during a pulse, also underlining the need for the development of intelligent data acquisition strategies based on real-time data processing. However, among the major concerns for ITER is the requirement of a far higher level of availability and reliability than previous/existing tokamaks. In particular, the lost investment of a single prematurely aborted pulse or even a damaging event such as a disruption has to be prevented. ITER operation is expensive and component damage resulting from purely operational errors might lead to a high and avoidable repair cost. The unavoidable interaction of the plasma with first wall components is an area of tokamak physics that has been steadily rising in importance, as its key in determining the overall fusion performance and has a higher potential to effect surface damage to plasma facing components. Hence, the need for comprehensive protection of reactor tokamak systems against damage produced by plasma operation is arguably higher – for both economic and safety reasons – than in present tokamaks.

The difficulties of maintenance on large machines further emphasize the need to operate the tokamak first wall within its



Figure 2: JET interior during a plasma discharge. Top: Plasma before the disruption. Only mild interaction with the side walls is observed; Bottom: Large VDE disruption at JET. Huge thermal loads are observed on the Plasma Facing components on the top of the machine.

intended envelope, avoiding and/or mitigating any damaging conditions. A paradigmatic example is the vertical stabilization of the plasma column. Elongated plasmas are vertically unstable leading to loss of control if plasma reaches the vessel protecting tiles leading to considerable heat loads on JET plasma facing components [20] (Figure 2). Therefore, dedicated MIMO systems are designed to make the plasma vertically stable so that other controllers can successfully control the plasma position and shape. While at JET, a Vertical Displacement Event (VDE) can generate disruptions with a reduced impact in the machine, in ITER the loss of vertical plasma position control will cause thermal loads on plasma facing components of 30-60 MJ/m² for ~0.1s. With the present knowledge the plasma facing

components cannot be designed to sustain such (repetitive) thermal loads and the predicted horizontal and vertical forces of the order of 20-40 MN. This leads to the conclusion that the plasma vertical position control in ITER must be robust and reliable to ensure that a vertical plasma position control loss is a very unlikely event [20]. Redundancy on the systems that ensure the vertical stabilization control is a key requirement for ITER, for both the networks linked to the device operation as well as all critical hardware. Hence, robust and high-availability standards such as the Advanced Telecommunications Computing Architecture (ATCA) will be key for ITER Fast Plant System Controllers.

2.2 ITER Fast Plant System Controllers

The ITER Fast Plant System Controllers (FPSC) are based on embedded technologies and will be devoted to both data acquisition tasks (sampling rates >1 kSPS) and control purposes in closed-control loops whose cycle times are below 1ms. Fast Controllers will be dedicated industrial controllers with the ability to: i) supervise other fast and/or slow controllers; ii) interface to actuators and sensors and high performance networks. Under a contract with ITER Organization, IPFN has developed a FPSC prototype, specialized for data acquisition, based on the ATCA standard. This prototyping activity contributes to the ITER Plant Control Design Handbook (PCDH) effort of standardization, specifically regarding fast controller characteristics. The solution took into consideration the essential requirements for such system: i) data acquisition, resolution, sampling rates, the needs for signal conditioning such as filtering, galvanic isolation and channel density; ii) pre-processing needs; iii) synchronization and timing network based on IEEE 1588-2008; iv) high performance network for scientific data archiving and synchronous data transfer; v) integration into EPICS environment adopted by ITER; vi) redundancy and high availability.

For the prototype, IPFN developed and extensively tested a new family of ATCA modules targeting ITER requirements. The modules comprise an Advanced Mezzanine Card (AMC) carrier/data hub/timing hub compliant with the upcoming ATCA extensions for Physics and a multi-channel with galvanic isolation hot-swappable digitizer designed for serviceability. The design and test of a peer-to-peer communications layer for the implementation of a reflective memory over PCI Express and the design and test of an IEEE-1588 transport layer over an high performance serial link was also performed. The digitizer module architecture, compatible with the ATCA PICMG 3.4 and AXIe specifications, is based on a passive (connector-only) Rear Transition Module for IO connectivity, easing hot-swap maintenance and simultaneously increasing the life-cycle of IO cabling. The FPSC hardware management requirements lead also to the development of an Intelligent Platform Management Controller (IPMC) for the ATCA modules, and development and implementation of the software for the IPMC, based in the Intelligent Platform Management Interface (IPMI) Standard. The implementation of the ATCA system is shown schematically in Figure 3. The FPSC is made up of a set of standard components that were identified and/or will be supplied by ITER Organization:

- The system controller is a 19" Industrial 4U PC containing a motherboard with an INTEL CPU and several PCIe/PCI slots. One slot contains a ×16 PCIe card for linking with the ATCA shelf. Two other PCIe ×8 slots are required for the network cards. One PCI 2.2 slot is required for the IEEE-1588-2008 compliant card.
- The Plant System Host (PSH) has implemented the EPICS IOC to interface the mini-CODAC and the self-description data (SDD) to configure the CODAC core systems from the plant systems data.
- The fast controller interfaces actuators and sensors through a signal interface and has an interface to one or more high performance networks. The fast controller also interfaces the Interlock Controller and Remote I/O (the prototype will only consider the provision for such interface but will not implement it).
- The whole system is to be integrated into an ITER approved cubicle.
- Mini-CODAC is a system supplied by ITER Organization, running the ITER CODAC Core System. It has an EPICS IOC server, which provides a state machine, basic alarm log and Human-machine interfaces (HMI).
- High Performance Computers (HPC) are the systems responsible for plasma control. HPCs have interfaces with the FPSC through Synchronous Databus Network (SDN). For the case of ITER, contrarily to the JET implementation [5], the control algorithms run on the HPC, not directly coupled to the plant system controller.

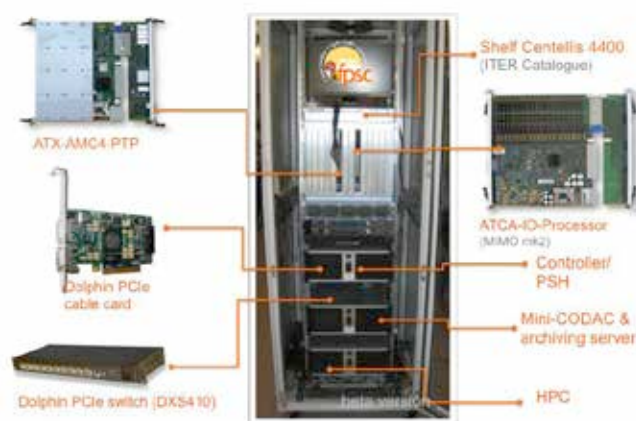


Figure 3: The FPSC on ITER cubicle. Connection to the PON and TCN and the PCIe switches to SDA and SDN are not visible (installed at the rear).

An ATCA card, compatible with the ATCA PICMG3.4 and AXIe specifications, was developed at IPFN for fast control and data acquisition (ATCA-IO-PROCESSOR), with I/O processing capability (Figure 4b) was developed for the FPSC to leverage the high channel density allowed by the real estate available per board for I/O channels. The high channel density makes this board a suitable solution for MIMO controllers' implementation. The card contains up to 48 galvanic isolated Analog-to-Digital or Digital-to Analog channels (any combination of both) and/or digital channels (inputs, outputs or a combination of both). Simultaneously digitized data from all ADCs of the board can be filtered/decimated in the FPGA, decreasing data throughput, increasing resolution, and sent through

PCI Express to multi-core processors in the ATCA shelf hub slots. Concurrently the multi-core processors can update the board DAC's in real-time. Full-duplex point-to-point communication links between all FPGAs, of peer blades inside the shelf, allow the implementation of distributed algorithms and MIMO systems. Support for several Timing and Synchronization architectures was incorporated. The card complies with ITER Fast Plant System Controller guidelines for rear I/O connectivity and redundancy, in order to provide high levels of reliability and availability to the Control and Data Acquisition Systems of nuclear fusion devices with long duration plasma discharges. The card also includes PICMG 3.0/3.4 redundancy support, in order to provide high levels of system reliability and availability. An ATCA Rear Transition Module passive card (xTCA compliant) was also developed to provide rear I/O connectivity for the analogue and digital I/O. This card supports the higher number of Analogue-to-Digital and Digital-to-Analogue conversion channels available and eases the hot-swap maintenance, simultaneously increasing the cabling life cycle.

An ATCA card (ATCA-PTSW-AMC4) that performs the functions of PCIe switch/hub, timing synchronization distribution hub and AMC 4-card carrier was developed. The timing functions implemented are compliant with the IEEE-1588-2008, IRIG-B and PICMG 3.0 standards and is also compatible with the upcoming PICMG ATCA Extensions for Physics. An ATCA Rear Transition Module (Figure 4a) was also developed to provide the back panel connectors to the ATCA-PTSW-AMC card to provide connectivity for remote control and communications. This module provides the connection to an external host computer through PCIe x16 cable, two Gigabit Ethernet ports for and three generic SFP optical interfaces. In addition the module also provides clock, trigger and generic I/O signals.



Figure 4: IPFN ATCA PCIe switch card and RTM_host (top) and Prototype of the ATCA PCIe node card for control and data acquisition developed at IPFN.

These boards include hardware health monitoring and management based on IPMC modules, which are being developed and integrated on the above referred boards. The communication between the IPMC and the ATCA Shelf-Manager card (which centralizes the management of all ATCA cards) was established and most of the IPM standard protocol developed. The power management protocol required for the hotswap capability of the ATCA modules was also implemented.

The FPSC software is based on the ITER CODAC core system, which is based on EPICS, adding selected components and customizations for Plant Systems. The MARTe real-time software framework, developed and previously tested extensively at JET [21], and its integration into EPICS [22] was shown to be a powerful solution for the development of real-time controllers. The FPSC software implementation uses MARTe [21] real-time modules over RHEL OS. MARTe is not part of the CODAC packages, but was introduced in the FPSC prototype in order to study how the real-time framework can be integrated and operated in multi-core and multi-socket CPU when running standard CODAC and RHEL with and without real-time extensions. Although EPICS was chosen as the default control software by ITER CODAC, MARTe proves to be much more deterministic, with bounded execution latencies [23]. Therefore to develop new solutions and devices targeted for ITER that have to exhibit real-time behavior, MARTe can be chosen only if it can communicate with EPICS [22]. For this purpose, a library was developed to connect MARTe and EPICS by implementing the Channel Access protocol.

Future work will be focused on the full implementation and test of the ATCA high availability features. Such work will also address the development of radiation tolerant hardware with built in single event upset resilience. The FPSC infrastructure will also be used to the development of plasma diagnostic case studies, namely its data processing system, allowing testing algorithms and controlling methodologies.

3. Remote Handling

Besides the major scientific objective of exploring the nuclear fusion as a source of energy, ITER aims to demonstrate that the future fusion power plants can be safely and effectively maintained through Remote Handling (RH) techniques, due to restrictions on human being in activated areas.

3.1 The Need for Remote Handling in ITER

Among the various RH systems that are expected to operate in ITER, as described in [24], this section focus on a large and complex transporter unit that was chosen for the transfer of heavy and contaminated loads between the two main buildings of ITER, the Tokamak Building (TB), lodging the Tokamak reactor and with access by vacuum vessel port cells (or simply ports) and the Hot Cell Building (HCB), that will work mainly as a support area. In Figure 5 it is depicted the two main buildings and their relative dimensions.

During ITER lifetime, the internal components of the

Vacuum Vessel of the reactor, such as the Blanket and Divertor modules detached in Figure 5-right, will become activated due to exposure to highly energetic neutrons released during the fusion reaction. Also, these in-vessel materials might get contaminated with small amounts of radioactive dust like Tritium radwaste. Hence, the components that provide the base functions for the ITER machinery will need to be periodically upgraded and inspected. To manage such operations and provided that human presence will be not authorized in activated areas, the ITER maintenance system will mostly rely on RH devices. The foreseen RH equipment will have a great impact on the design and assembly of the remaining ITER components, for instance, on building structural aspects and interfaces. During ITER operation, the RH equipment will be required to operate under specific and adverse conditions that are characterized by high gamma radiation, poor visibility spaces, some level of magnetic fields and in some cases, ultrahigh vacuum clean conditions. These conditions will significantly compromise the correct functioning and durability of fixed and mobile electronic devices (e.g. sensors). Moreover, the cluttered and geometrically complex environment and the particular nature of the RH problem, with heavy and large components to be handled, make the ITER's RH a unique challenge with an unprecedented complexity.

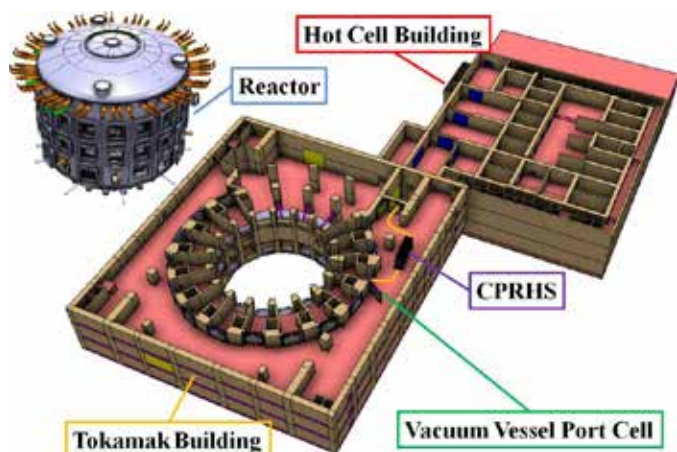


Figure 5: CAD models of the Tokamak Building, where the reactor is detached in the picture, the Hot Cell Building and the vehicle moving from the lift to a vacuum vessel port cell in level B1.

3.2 Cask Transfer Using Rhombic-like Vehicles

The Cask and Plug Remote Handling System (CPRHS) represented in Figure 6, is a large and complex transport unit to transport heavy and contaminated components between the TB and the HCB. A CPRHS is composed by three sub-systems: the cask envelope (container that encloses the in-vessel components and the RH tools to be transported), the Cask Transfer System (CTS), which can act as an autonomous mobile robot and the pallet (interface between the cask and the CTS and equipped with an handling platform to support the cask load and help on docking procedures). When underneath the pallet the CTS transports the entire CPRHS but it can also move independently of the pallet and cask. From past studies related to the CTS design [25], this vehicle has a rhombic

kinematic configuration with two pairs (one for spare purposes) of drivable and steerable wheels positioned on the front and rear of the vehicle and two swivel wheels on the sides (see Figure 6). This kinematic configuration endows the transporter with a high maneuverability and flexibility, which are key traits when considering the cluttered nature of the ITER environments.

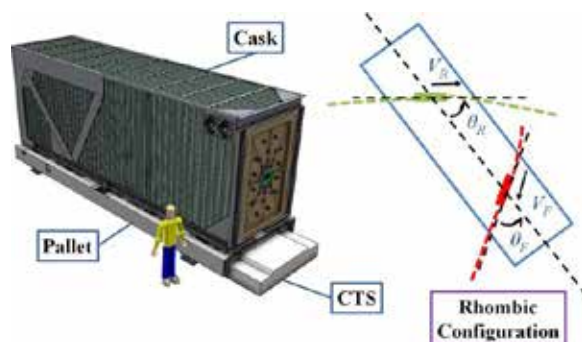


Figure 6: CAD model of the vehicle and the rhombic like configuration.

3.3 Path Planning and Trajectory Optimization

Since 1997, Portugal has been involved in RH activities of ITER. During the last two grants of F4E, the IST was the leader in two consortiums working in the RH, mainly focused on the path planning and trajectory optimization of the CPRHS/CTS. To solve the trajectory optimization problem associated with the different missions it is required specific information, which defines the inputs to the mentioned problem, as shown in Figure 7: vehicle model (geometric, kinematic and dynamic), environment model (the 2D model of the scenario from CAD models), the initial and goal conditions (positions and orientations where to start and finish the missions) and global trajectory (maximization of common parts of different trajectories). Together, these inputs define a motion query for the specified mission of the CPRHS/CTS in the ITER scenarios and are fed into a trajectory planner. This planner generates a strategy to be carried out by the CPRHS/CTS, i.e., a set of Cartesian coordinates (for specific vehicle reference points) and respective orientations that geometrically describe the vehicle motion. In addition to the geometric feasibility of the solution, which shall guarantee that the CPRHS/CTS reaches the goal configuration without colliding with obstacles, and considering the particular characteristics of the transportation problem inside the ITER buildings, it is desirable that the planned solution follows specific criteria requirements: path length, clearance and smoothness and the maximization of common paths of different trajectories.

Two main approaches were developed for solving the trajectory optimization problem of rhombic like vehicles: the line guidance approach, used in the most of the trajectories and the free roaming approach, used wherever line guidance is not feasible. Even though, in some situations, given the cluttered environment, the integration of maneuvers may keep the line guidance approach feasible. In addition, and in particular for the ITER scenario, especially in the TB, most of the trajectories share a long common part. Therefore, an additional feature was developed for maximizing the common part of different trajectories.

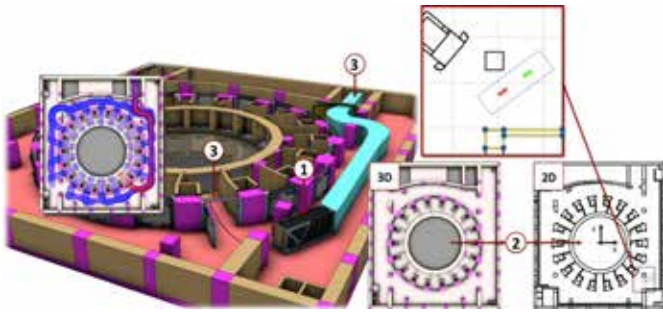


Figure 7: Trajectory optimization problem: 1 - The CPRHS, 2 - Environment model, and 3 - Initial and goal conditions.

The two main approaches, the line guidance and the free roaming, have three stages:

- Geometric path evaluation: given the environment model and initial and goal objectives, an initial geometric path is found. At this point the aim is to find a path connecting the initial and goal objectives that can act as an initial condition for the next path optimization stage.
- Path optimization: this module receives the preceding geometric solution as input and returns an optimized path. The optimization process will first apply a spline interpolation to satisfy weaker differential constraints such as smoothness requirements. Afterwards, a clearance based optimization is carried out to guarantee a collision free path that meets the safety requirements. In this study, a minimum safety distance between the vehicle and the obstacles must be guaranteed.
- Trajectory evaluation: in this final module, a velocity function is defined along the optimized path transforming it into a trajectory, which is the output of the proposed planning approach, a 2D trajectory to be followed by the vehicle.

The two first stages correspond to the path planning, while the third stage consists in the trajectory optimization. The stages are detailed for the line guidance and for the free roaming.

From previous work of RH in ITER [25], to avoid a complex and constrained railway system, the optimized paths would be implemented on the scenario using buried wired systems. Therefore, the rhombic like vehicles would follow the path by using a line guidance approach with both wheels following the same path. Given this ITER project requirement, the planning methodology presented returns directly the trajectory to be followed by the center of the wheels and not the one corresponding to the center of the vehicle. The environments can be modeled using a combinatorial planning approach, over other approaches [26] and [27]. To handle this first planning objective, the use of a cell decomposition approach is considered, but other combinatorial approaches [25] and [28] could be used. From the existent cell decomposition approaches, a triangle cell arrangement was adopted, using the Constrained Delaunay Triangulation (CDT) [29]. An optimization methodology was implemented, based on the elastic bands method [30]. The original concept associated with this approach appeared in the computer vision field, with the presentation of the so called "snakes" algorithm [31]. A snake is a deformable curve guided by artificial forces that pull it towards image features such as lines and edges. The evaluation process is illustrated in Figure 8. The

implemented algorithm is detailed in [32].

There are particular situations where the described methodology of line guidance fails to generate feasible solutions, due to the confined environment. The integration of maneuvers can greatly improve the path planning, by providing a feasible solution where none could be found before and also by improving the distance to obstacles.

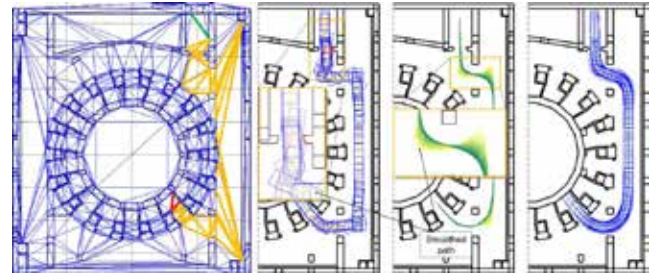


Figure 8: Example of line guidance approach applied in the trajectory evaluation to port 16 in level B1 of TB (from left to right: the initial map with the Constrained Delaunay Triangulation, the geometrical path, the evaluation of the optimization procedure and the final trajectory).

The line guidance methodology, even with maneuvers, entails that both vehicle wheels should follow the same physical path and therefore, the inherent rhombic flexibility was only partially explored. For the particular case illustrated in Figure 9, where both wheels are constrained to follow the same path, no feasible solution is found. However, the use of independent references for the wheels would simplify the motion problem. The achievement of this solution requires the use of dedicated motion planning techniques, in particular, the employment of an efficient path optimization method capable of handling the high maneuvering ability of the rhombic vehicle.



Figure 9: Comparison of non feasible trajectory using line guidance (left image) and the a feasible trajectory using free roaming (right image) to port 14 in level B1 of TB.

To evaluate the geometric path in the free roaming approach, it is used a randomized method, that acts on rough paths provided by global planners like the Rapidly-Exploring Random Tree (RRT), [33], or the Probabilistic Roadmap Method (PRM) [26]. The RRTs explicitly handle the vehicle geometry during the search and are thus able to directly generate collision-free paths for rigid bodies (in contrast with point like robot approaches). One variant of RRT was implemented [34] and used in the free roaming approach. Loosely following the elastic bands concept proposed by Quinlan and Khatib

in [30], this method, by considering each vehicle pose as a rigid body, enables the path deformation to explicitly consider the vehicle geometry and exploit the rhombic vehicle nature, issues considered until here as unattended on similar studies. The evaluation process is illustrated in Figure 10. The implemented algorithm is detailed in [34].

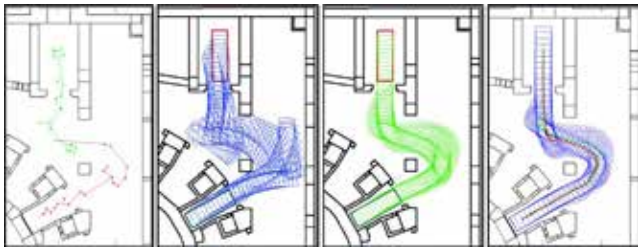


Figure 10: Example of free roaming approach applied in the trajectory evaluation to port 2 in level B1 of TB (from left to right: the initial map with the geometrical path returned by the Rapidly-Exploring Random Tree, the poses of the vehicle along the initial path, the evaluation of the procedure and the final trajectory).

The algorithms were implemented in the software tool Trajectory Evaluator and Simulator (TES), developed under the grants F4E-2008-GRT-276 and F4E-GRT-276-01, in the European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy (work programmes 2008 and 2010). The TES was developed to account the evaluation of trajectories using line guidance and free roaming approaches, for the evaluation of the 3D volume swept by the vehicle in CATIA V5R19 format and for the evaluation of common parts of different trajectories. The TES receives the buildings models and the models of different vehicles typologies and exports the optimized trajectories and the corresponding 3D swept volume directly to the CATIA V5R19. The TES provides also a GUI to evaluate the trajectory optimization, to manipulate the scenarios (for instance to test modifications in the doors aperture configuration if necessary), to easily choose the vehicle typology to be used in the simulation and to generate results.

More than 500 hundred trajectories were evaluated, most of them using line guidance, some of them with 1 and few with 2 maneuvers. The most critical points are in the vicinity of the pillars and in the entrance to the lift of ports, where sometimes the free roaming is the only feasible solution. The main of trajectory optimization were provided to the Fusion For Energy (F4E) and they have been essential to proceed with the construction of ITER building given its high priority with respect to the cask trajectories.

3.4 3D Virtual Reality and Human Machine Interface

A 3D Virtual Reality (VR) system, as illustrated in Figure 11, was developed aiming at serving the CPRHS and CTS prototyping engineering activities, especially by testing path trajectories. In addition, to evaluate the advantages of viewing system through simulated camera's, approaching the type and functions of Human Machine Interface (HMI) the CPRHS and CTS will have to incorporate.



Figure 11: Caption of 3D Virtual Reality software and Human Machine Interface developed by ASTRIUM in under the grant F4E-2008-GRT-016 won by the consortium of IST, ASTRIUM and CIEMAT, with IST as the leader.

3.5 Test Facility

Another challenge in the RH activities of ITER is the definition and specification of a suitable Test Facility (TF), as the one designed by IST and illustrated in Figure 12, in terms of space/geometry characteristics and requirements, structure of the fixed and movable elements within the facility building, and hardware and software requirements. The TF and the equipment/components to be installed should be versatile, flexible and adaptable in such a way that they can accommodate experiments that reproduce as closely as possible different situations that are predicted to occur during the operation of the CPRHS/CTS in the final ITER operation and even in situations that cannot be predicted beforehand. The results of the experiments in the TF may lead to the introduction of changes on the CPRHS/CTS design and its interfaces and/or the buildings. In a later stage, during ITER construction and afterwards, the TF may also serve as an environment mock-up used for training the RH ITER operators that will have to deal with CPRHS/CTS. The main results were: know what to test, identify the building requirements, equipment requirements and how to test an entire mission.

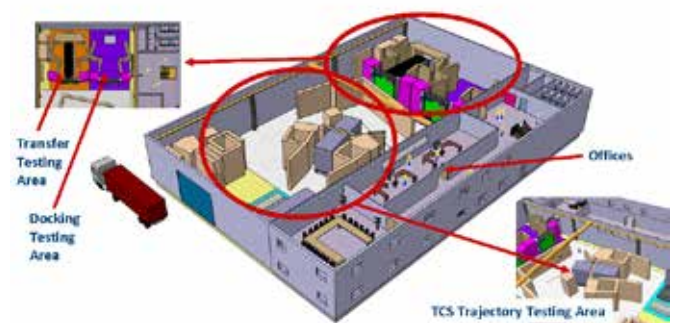


Figure 12: Proposal of a Test Facility.

4. Conclusions

ITER, the world's largest experimental fusion facility designed to demonstrate the scientific and technological feasibility of fusion power for energy purposes, is a challenging endeavor for the mankind. Such a large-scale, long-duration, multidisciplinary project has a strong potential to foster innovation. Portugal is strongly involved in this international project, providing competencies and expertise in several areas with several contracts and grants already

awarded in the areas of control and data acquisition, instrumentation, remote handling and diagnostics (in particular microwave diagnostics).

A strong effort is being done to standardize the FPSC solutions to be used in ITER. This article has shown the prototype FPSC developed at IPFN, based on ATCA form factor. The prototype was built using control and data acquisition cards fully design at IPFN, and was extensively tested against the requirements, providing crucial feedback to ITER on what are the major benefits and limitations of the tested solutions.

The main outputs of the research work developed at IPFN in the field of Remote Handling were provided to the ITER Organization by the F4E and they were crucial to proceed with the construction of the Tokamak Building and to for the prototyping of CPRHS/CTS.

ITER is an R&D project where industrial partnership will provide a key role. ITER's technological challenge and investment offers unique opportunities to technology and knowledge transfer and to stimulate innovation, creating unique opportunities for innovative companies and research institutions. These benefits go far beyond the economical benefits arising from the participation in such endeavor. IPFN has been improving the intellectual property policy in order to boost the competitiveness of its innovative developments (several of which were presented in this article). Through patenting, transfer of technology and licensing to industry, IPFN aims at enhancing the contribution of R&D activities to society.

References

- [1] A. Pironti and M.L. Walker, "Fusion, Tokamaks and Plasma Control", IEEE Control Systems Magazine, Oct 2005, pp. 30.
- [2] M. L. Walker, D. A. Humphreys, D. Mazon, D. Moreau, M. Okabayashi, T.H. Osborne and E. Schuster, "Emerging Applications in tokamak control", IEEE Control Systems Magazine, April 2006, pp. 35.
- [3] C.A.F. Varandas, et al, "On-site developed components for control and data acquisition on next generation fusion devices", paper accepted for publication in Fusion Engineering and Design.
- [4] M. L. Walker, E. Schuster, D. Mazon, and D. Moreau, "Open and Emerging Control Problems in Tokamak Plasma Control", Proceedings of the 47th IEEE Conference on Decision and Control, Cancun, Mexico, Dec. 9-11, 2008.
- [5] C. Gormezano, C.D. Challis, E. Joffrin, X. Litaudon, A.C.C. Sips, "Advanced tokamak scenario development at JET", Fusion Science and Technology. Vol. 53, no. 4, pp. 958-988. May 2008.
- [6] A. Luchetta and G. Manduchi, "General Purpose Architecture for Real-Time Feedback Control in Nuclear Fusion Experiments", Proceedings of the Fifth IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium, 1999, pp. 234.
- [7] H. Reimerdes, T.C. Hender, D.F. Howell, S.A. Sabbagh, A.C. Sontag and J.M. Bialek et al., "Active measurement of resistive wall mode stability in rotating high beta plasmas", Proceedings of the 20th IAEA Fusion Energy Conference Vilamoura, Portugal (2004).
- [8] R.J. La Haye, T.C. Luce, C.C. Petty, D.A. Humphreys, A.W. Hyatt and F.W. Perkins et al., "Complete suppression of the $m/n = 2/1$ neoclassical tearing mode using radially localized electron cyclotron current drive on DIII-D and the requirements for ITER", Proceedings of the IAEA Technical Committee Meeting on Electron Cyclotron Resonance Heating Physics and Technology for ITER Kloster Seeon, Germany (2003).
- [9] Fukuda T et al., Fusion Eng. Design, 46 (1999) 337.
- [10] Lister J.B., Nucl. Fusion 40 (2000) 1167.
- [11] Felton R. et al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 47 (2000) 174.
- [12] K. Kurihara, J.B. Lister, D.A. Humphreys, J.R. Ferron, W. Treutterer, F. Sartori et al., "Plasma control systems relevant to ITER and fusion power plants", Fusion Engineering and Design 83 (2008) 959-970.
- [13] RAUPP, G., et al, "Protection strategy in the ASDEX Upgrade control system", Proceedings of the 18th Symposium on Fusion Technology, Karlsruhe, 1994, Elsevier Science 679.
- [14] G.Arnaud, A.Loarte, V.Riccardo, W.Fundamenski, A.Huber, and JET EFDA contributors, "Heat Loads on Plasma Facing Components During Disruptions on JET", JET report, EFDA-JET-PR(08)42, 2008.
- [15] A. Neto et al., "The control and data acquisition software for the gamma-ray spectroscopy ATCA sub-systems of the JET-EP2 enhancements", Fusion Engineering and Design, Volume 83, Issues 2-3, April 2008, Pages 346-349.
- [16] R.C. Pereira et al., "ATCA data acquisition system for gamma-ray spectrometry", Fusion Engineering and Design, Volume 83, Issues 2-3, April 2008, Pages 341-345.
- [17] M. Hron et al., "Control, data acquisition, and communication system for the COMPASS tokamak", 25th Symposium on Fusion technology, 15-19 September, 2008, Rostock, Germany.
- [18] D.F. Valcárcel, A. Neto, J. Sousa, B.B. Carvalho, H. Fernandes, J.C. Fortunato et al., "An ATCA Embedded Data Acquisition and Control System for the Compass Tokamak", Fusion Engineering and Design, in press.
- [19] Rodrigues, A.P. et al, "TCV Advanced Plasma Control System Software Architecture and Preliminary Results", IEEE Transactions On Nuclear Science, vol. 55, pages 316-321 (2008).
- [20] N. Cruz et al, "The Integration of the New Advanced Digital Plasma Control System in TCV", Fusion Engineering and Design 83, 215-219 (2008).
- [21] A. P. Rodrigues et al, "Real-time Data Transfer in the TCV Advanced Plasma Control System", Fusion Engineering and Design pp 1939, vol. 81, 2006.
- [22] B.P. Duval et al, "Digital Control System for the TCV Tokamak", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 53, Issue 4, Part 2, pp 2179-2186, Aug. 2006.
- [23] A.P. Rodrigues et al, "A High Performance Real-Time Plasma Control and Event Detection DSP Based VME System ", Fusion Engineering and Design, 60, pp 435-441, 2002.
- [24] J. Sousa et al., "A distributed system for fast timing and event management on the MAST experiment", Fusion Engineering and Design, 43, 407, 1999.
- [25] D. Joonekindt, ITER Fast Controller Survey Report, ITER_D_2M3YGM,, May 2009.
- [26] J. Sousa et al., "The 32 bit Timing Unit of a real-time event-based control system for a nuclear fusion experiment", IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 45, 4, 2052, 1998.
- [27] C. A. F. Varandas et al, A VME timing system for the tokamak ISTTOK, Review of Scientific Instruments, Volume 66, Issue 5, May

1995, pp.3382-3384.

[28] A. Neto et al, "MARTE: A Multiplatform Real-Time Framework", Nuclear Science, IEEE Transactions on, 57, 479 -486 (2010), ISSN 0018-9499.

[29] A. Barbalace et al, "Performance comparison of EPICS IOC and MARTE in a Hard Real-Time control application", 17th IEEE NPSS Real Time Conference, Lisboa, Portugal, May 2010.

[30] D. F. Valcarcel et al, "EPICS as a MARTE Configuration Environment", Nuclear Science, IEEE Transactions on, Vol. 58 No. 4 (2011) 1472 - 1476.

[31] T. Lozano-Pérez and M. A. Wesley, "An algorithm for planning collision-free paths among polyhedral obstacles", Communications of the ACM, vol. 22, pp. 560-570, New York, USA, 1979.

[32] J. F. Canny, "A Voronoi Method for the Piano-Movers Problem", Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 530-535, USA, 1985.

[33] L. P. Chew, "Constrained Delaunay Triangulations", Proceedings of the Third Annual Symposium on Computational Geometry, pp. 215-222, Waterloo, Ontario, Canada, 1987.

[34] M. Kass, A. Witkin and D. Terzopoulos, "Snakes: active contour models", Int. Journal Computer Vision, vol. 1 (No. 4), pp 321-331, 1988.

[35] S. Quinlan and O. Khatib, "Elastic Bands: Connecting Path Planning and Control", Proceedings IEEE Conference Robotics and Automation, vol. 2, pp. 802-807, Atlanta, USA, 1993.

[36] L. E. Kavraki, P. Svestka, J.-C. Latombe and M. H. Overmars, "Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces", IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 12, pp 566-580, 1996.

[37] M. I. Ribeiro, P. Lima, R. Aparício and R. Ferreira, "Conceptual Study on Flexible Guidance and Navigation for ITER Remote Handling Transport Casks", Proceedings of the 17th IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering, pp. 969-972, San Diego, USA, 1997.

[38] S. M. LaValle, "Rapidly-exploring random trees: a new tool for path planning", Comput. Science Dept., Iowa State University, TR: 98-11.

[39] S. M. LaValle, J. J. Kuffner, "Rapidly-exploring random trees: Progress and prospects", In B. R. Donald, K. M. Lynch, and D. Rus., editors, Algorithmic and Computational Robotics: New Directions, pp. 293-308, A K Peters, Wellesley, MA, 2001.

[40] C. Gutiérrez, C. Damiani, M. Irving, J.-P. Friconeau, A. Tesini, M.I. Ribeiro and A. Vale, "ITER Transfer Cask System: status of design, issues and future developments", Proceedings of the 9th International Symposium on Fusion Nuclear Energy, China, 2009.

[41] D. Fonte, F. Valente, A. Vale and I. Ribeiro, "A Motion Planning Methodology for Rhombic-like Vehicles for ITER Remote Handling Operations", Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, Lecce, Italy, 2010.

[42] D. Fonte, F. Valente, A. Vale, I. Ribeiro, "Path Optimization of Rhombic-Like Vehicles: An Approach Based on Rigid Body Dynamic", Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Advanced Robotics, 106-111, Tallinn, Estonia, June 20-23, 2011

ENVIRONMENTAL ASPECTS ASSOCIATED WITH THE USE OF GEOTHERMAL RESOURCES: HIGH VS. LOW ENTHALPIES

Matos, C.¹, Marques, J.M.¹ and Carreira, P.M.²

¹ Instituto Superior Técnico, Centro de Petrologia e Geoquímica, Universidade Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal. jose.marques@ist.utl.pt

² Instituto Superior Técnico/Instituto Tecnológico e Nuclear (IST/ITN), Pólo de Loures, Technical University of Lisbon, Estrada Nacional nº 10, 2686-953 Sacavém, Portugal. carreira@itn.pt

Abstract

In this paper we present the main environmental aspects associated with the use of low and high enthalpy geothermal resources. The characterization of the environmental impacts of the use of geothermal resources allows not only the mitigation of its negative aspects, but also to maximize its positive aspects. Therefore, it is indispensable to implement strategies aimed at increasing the sustainability of the exploitation of geothermal resources. The case study of the low enthalpy geothermal system of Caldas de Moledo (N-Portugal) is presented. The SO_4 and K concentrations found in some of the Caldas de Moledo thermal spring waters show evidences of mixing between deep geothermal and shallow cold groundwater systems. Local shallow groundwaters showing the highest SO_4 and K concentrations were found at low altitude sites (enrichment in ^{18}O values). Such SO_4 and K concentrations originate from fertilizers and pesticides applied to the Port wine vineyards in the Douro River valley. However, the thermal waters from boreholes AC1 and AC2 do not show evidences of anthropogenic contamination from the spreading of such agrochemicals.

Key-words – Geothermal resources, low and high enthalpies, environmental impacts, Caldas de Moledo, N-Portugal.

1. Introduction

The promotion of the use of renewable energy resources to the detriment of non-renewable energy resources is ascribed to the reduced environmental impacts caused by the first ones, as well as the fact that their source is subject to constant renewal [1, 2, 3]. With respect to geothermal resources, they have, relative to other renewable resources (e.g. solar, wind, hydropower, tidal and wave power,

biomass energy and biogas energy), the following advantages: i) are not affected by seasonal and/or climate variations, ii) availability of resources in all regions of the world, especially for the low enthalpy [4]. However, the exploitation of geothermal resources must also be sustainable, which implies the resources protection and mitigation of potential environmental impacts of its operations.

The aim of this work is to perform a comparative study of the environmental impacts associated with the operation of geothermal systems, in order to determine its type and possible causes. Finally, a case study of a low-enthalpy geothermal system - Caldas de Moledo (northern Portugal) is presented.

2. High enthalpy geothermal systems vs. low-enthalpy geothermal systems

According to Hochstein (1990) in [5] a geothermal system (Fig. 1) can be schematically described as the convection of water at the top of Earth's crust, which in a confined space, transfers heat from the depth to the surface (e.g. a spring, a fumarole or a geyser) or near the surface (e.g. borehole, permeable geologic formation). It is considered that geothermal systems are made up of three main components: i) a permeable reservoir rock, ii) a fluid (in most cases meteoric water) required to transport heat from the reservoir to the surface and iii) a heat source [5]. [6] also indicate the need of the existence of a geological barrier to contain the accumulated heat, usually represented by an impermeable geological formation. Geothermal systems can be located in stable areas of the Earth's crust, characterized by a normal geothermal gradient ($0.03\text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$ or $30\text{ }^\circ\text{C}/\text{km}$) where the heat flow is lower, or in unstable areas (e.g. areas of plate boundaries) characterized by an anomalous geothermal gradient where the heat flow is higher. A geothermal system can be defined as of high or low enthalpy as the temperature of the fluid in the reservoir is, respectively, below or above $150\text{ }^\circ\text{C}$ [7].



Figure 1 – Conceptual model of a geothermal system. Adapted from Gao (2005) in [8].

3. Environmental impacts associated with the use of geothermal resources

3.1 Low enthalpies

In general, the low-enthalpy geothermal resources are located at shallower depths than the high enthalpy geothermal resources. Therefore, these shallow depths mean less time in the borehole drilling, which depends on the depth to be reached and the drilling method to be used. This phase may take only a few days to several weeks. Furthermore, the machinery required in the drilling phase is also smaller which results in less visual impact during the geothermal borehole drilling. Also, the noise associated with the exploitation of low enthalpy geothermal resources is only relevant in the drilling process and as noted above can only “be active” during a few days.

The visual impact is usually reduced, since low enthalpy geothermal facilities, such as balneotherapy, district heating and greenhouses heating do not involve major engineering works that could change the landscape. In addition, it is also noteworthy that the pipes that conduct thermal borehole waters to the place where they will be used (e.g. Spas) are usually underground located, in contrast to the hundreds of meters of surface pipelines that supply a geothermal power plant.

The exploitation of low enthalpy geothermal resources may also result in subsidence phenomena. However, these are smaller and scarce, because, in general, low enthalpy geothermal exploitation does not require high flow rates. Normally, the thermal waters are not reinjected into the reservoir. After its final use, they are released together with domestic waste waters or discharged into surface waters (e.g. local stream and/or rivers). In the latter case, they can lead to thermal and chemical pollution problems, contributing to impacts on the ecosystems.

The anthropogenic contamination affecting the hydrothermal systems can be local or diffuse. Local contamination occurs at specific sites and is easily recognized, as is the case of discharges of industrial plants, landfills and septic tanks. On the other hand, diffuse contamination occurs over extensive areas (e.g. for urban, agricultural and grazing areas).

3.2 High enthalpies

Most geothermal systems are located in regions of significant geodiversity that [9] defines as “the variety of features and geological processes, in any form, at any scale and, at any level of integration that exists on planet Earth”. Natural manifestations associated with high-temperature geothermal systems integrate a specific geodiversity ascribed to each site and present scientific, educational, recreational and economic interest [10]. The uncontained tourism has a negative impact on the thermal manifestations [11, 12]. The manifestations of geothermal activity are natural “habitats” of extreme thermo-geochemical conditions, inhabited by life forms adapted to harsh conditions. This is the case of thermophiles, organisms whose optimal growth temperature exceeds 45 °C [13].

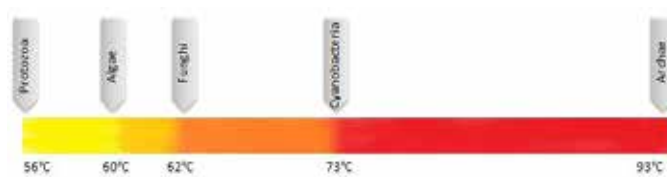


Figure 2 - Upper temperature resistance limits for different forms of life. Adapted from [14].

Due to the adaptation of thermophiles to high temperatures (Fig. 2), the temperature fluctuations of their habitat, caused by the industrial extraction of geothermal fluid, the effluent reinjection in the geothermal reservoir (at a temperature much lower than the fluid in the reservoir) enhance the loss of thermophilic biodiversity [15]. The visual impact is intense in the preparation, drilling and construction phases due to deforestation, earthmoving and the presence of heavy machinery. However, this impact is also evident in the operation phase of the geothermal power plants (Fig. 3).



Figure 3 – Visual impact due to the Ribeira Grande (São Miguel – Azores / Portugal) geothermal power plant. Photo by C. Matos (2011).

Much of the geothermal power plants are located in remote places, away from major urban centres. This way, the noise disturbs fundamentally local workers and wildlife [16]. Noise pollution due to

geothermal power plants can be considered divided into five distinct phases: i) preparation (road construction, deforestation, compaction and land levelling, etc.), ii) drilling (construction of the drilling pad, installation of drilling equipment, etc.), iii) borehole testing (with discharge of geothermal fluid to the atmosphere), iv) construction of the geothermal power plant (construction of the building, installation of machinery and pipelines from the boreholes to power plant) and, v) operation (geothermal fluid extraction, electricity production, fluid reinjection into the reservoir). During the operation of a geothermal power plant, much of the noise comes from the operation of the fans installed on top of the cooling towers, the steam ejectors and turbines [5]. To keep the noise below the legal limits is necessary to take measures to reduce it. It is possible to resort to the use of noise mufflers on machinery used in site preparation, drilling and during boreholes testing (see Fig. 4).



Figure 4 - Silencer in the borehole of the Krafla geothermal power (Iceland). Photo by Keith Clark (2000).

Hydrothermal eruptions are violent phenomena that occur due to sudden reduction of pressure in the reservoirs located relatively close to the surface. According to Germanovich and Lowell (1995) in [17], hydrothermal eruptions may occur naturally during the evolution of a geothermal system (e.g. due to earthquakes) or can be induced by the exploitation of geothermal resources, differing only in the crater depth and duration. Smith and McKibbin (2000) in [17] proposed a conceptual model shown in Figure 5. The decrease in the

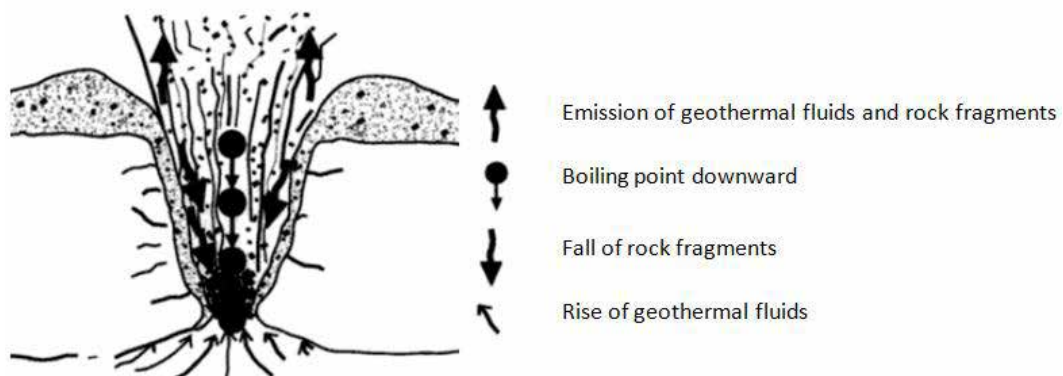


Figure 5 - Conceptual model of a hydrothermal eruption. Adapted from Smith and McKibbin (2000) in [17].

reservoir pressure origins the hot water to quickly achieve boiling and thus expands. In the presence of a permeable geological formation, fluids move to regions of lower pressure. If the pressure exerted by the expansion fluids is sufficient to overcome the cohesion and lithostatic pressure of overlying geological formations, they rise to the surface being expelled along with the clasts.

The release into the environment of the effluents of a geothermal power plant raises problems of thermal and chemical pollution [5]. The surface discharge of effluents to streams, rivers or oceans is extremely damaging to aquatic life, since living species are adapted to a certain temperature range, which leads in an extreme situation to the ecosystems in the surroundings of the geothermal power plant. On the other hand, chemical pollution put at risk the quality of the air, water and soil. Hydrogen sulphide, carbon dioxide and mercury are known to contribute to the degradation of the biosphere. Arsenic and mercury are the most worrisome contaminant loads [5].

The thermal contraction of the reservoir rock due to the injection of a fluid at a temperature lower than the reservoir and, fluid volume and pressure changes in the reservoir are the main mechanisms responsible for energy release. In most of the scientific literature, the seismicity induced by geothermal exploration has been designated as microseismicity. However, there were recorded earthquakes induced by the exploitation of geothermal resources induced with some relevance. For example, [18] mentioned the occurrence of an earthquake of magnitude 4.4 on the Richter scale during hydraulic fracturing of an enhanced geothermal system in El Salvador.

The extraction of fluids from underground reservoirs (e.g. aquifers, geothermal reservoirs and petroleum reservoirs) leads to the decrease in pore pressure of the geological formations that hosts the reservoir, which can lead to subsidence phenomena. The maximum recorded subsidence due to geothermal development occurred in New Zealand (Fig. 6). The overexploitation of the Wairakei-Tauhara geothermal field, for the supply of the Wairakei geothermal power plant has resulted, in an extension of 2 km², to remarkable subsidence phenomena, whose maximum vertical deflection is approximately 15 m. The subsidence extends beyond the 2 km², in an area of 50 km², where subsidence is 1 m [19].

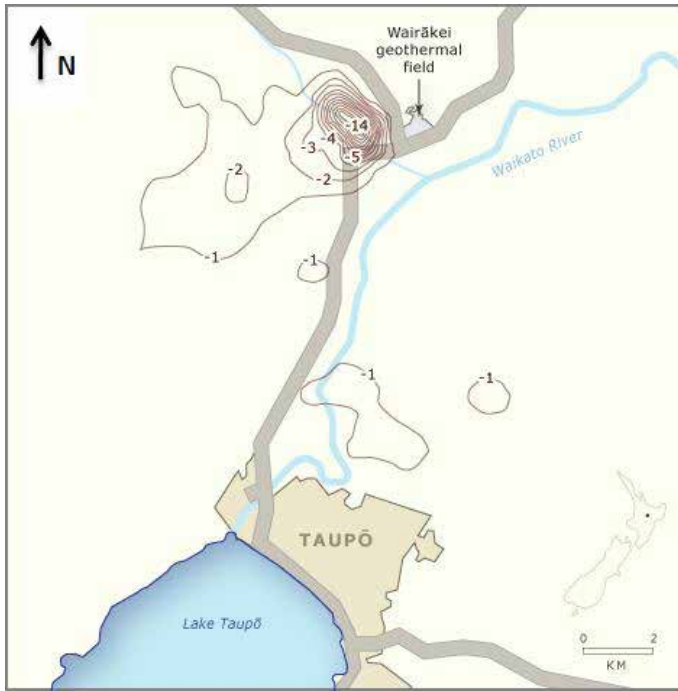


Figure 6 – Wairakei-Tauhara geothermal field. Total subsidence (m) measured in the period from 1953 to 2001. Adapted from <http://www.teara.govt.nz/en/geothermal-energy/5/3>.

The impact of the development of a geothermal project on land use is generally higher in the site preparation, execution of geothermal boreholes and construction of the geothermal power plant stages, declining in the operation phase, because the land occupied by the boreholes and pipelines that carry the geothermal fluid to the geothermal power plant, may sometimes continue to be used for other purposes [5].

Several geothermal systems are found in sacred places for indigenous peoples living there. Generally, the development of geothermal projects in these areas, bring out conflicts with the habits of indigenous peoples, who see their cultural heritage in risk. The dialogue with the local populations through public hearings and consideration of people’s concerns, are essential steps in developing a geothermal project, which can avoid conflicts [5].

4. Case study of Portuguese mainland (low enthalpy): the Caldas do Moledo geothermal system

The Caldas de Moledo thermal waters ($T \approx 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) represent an important natural resource, which like other thermal events located within the country, can make a significant contribution to reducing regional disparities [20]. Note that, for certain low-enthalpy geothermal uses (e.g. balneotherapy, district heating, greenhouse heating, fish farming, etc.) is essential to maintain the temperature and/or the chemical composition of thermal water [21]. However, the region under study is part of the “Douro Region”. Along the slopes of the Douro River one can observe many vineyards to produce the well-known Port Wine (Fig. 7). In order to improve the production of the vineyard, pest control fertilizers and fungicides are frequently used.

Weijden et al. (1983) in [21] reported that the main fertilizer used in vineyards in the north of the Country is the Ampor 7-14-14 Special, whose chemical composition is given in Table 2. To control pests is use the common “Caldá Bordalesa”, i.e., from the French, Bordeaux mixture (prepared using differing proportions of copper sulphate and calcium oxide, which are dissolved separately in water and then mixed).

Table 1 - Percentage (by weight) of the most common fertilizer used in the area. Adapted from Weijden et al. (1983) in [21].

Component	Ampor 7-14-14 Special
Na	0.55
K	13.80
Mg	0.20
Ca	22.60
Cl	11.70
SO ₄	28.50
NO ₃	7.02
PO ₄	14.70
Sr	0.75



Figure 7 - View of the left bank of the Douro River (picture acquired next to the borehole AC1). Photo by J.M. Marques (2011).

The hypothesis of possible contamination of the hydrothermal aquifer, by mixing with cold shallow groundwaters circulation (more vulnerable to contamination) is not unreliable. For this purpose a set of water samples from thermal boreholes, thermal springs, cold springs and the Douro River have been studied, through conventional and isotope geochemistry (e.g. $\delta^{18}\text{O}$, ^2H and ^3H values). The physico-chemical and isotopic composition of these waters were analyzed in monitoring campaigns that took place between April 1990 and April 1999 [21].

The Caldas de Moledo Spas are located on the right bank of the Douro River, at an altitude of 53 m a.s.l.. They cover the counties of Mesão Frio and Peso da Régua, belonging to the district of Vila Real. The Caldas de Moledo hydrothermal system is located in the Central Iberian Zone [22]. The main tectonic structures present are

the Régua-Verin megalineament oriented NNE-SSW and the Vigo-Régua shear zone oriented WNW-ESE to NW-SE [23, 24, 21].

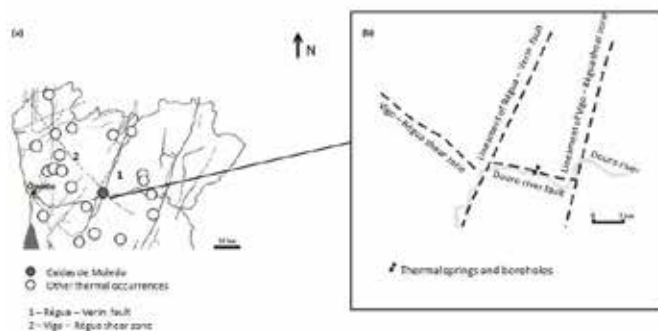


Figure 8 - Geotectonic framework of the study area: (a) - Adapted from IGM (1999) in: [24]; (b) - Adapted from [24].

At local scale we should also refer the presence of a tectonic structure, with an average orientation E-W [25] that [24] mentioned as the “Douro river fault”. The Caldas de Moledo thermal waters, as well as other thermal waters in the region (Fig. 8) are controlled by the above mentioned tectonic structures, which allow the meteoric waters to infiltrate and circulate in depth.

At Caldas de Moledo area the geology is dominated by metasedimentary rocks belonging to the Schist-Greywacke Complex Ante-Ordovician (Douro Group) and aplite and aplite-pegmatite veins [26]. A few kilometres from Caldas de Moledo, near Cidadelhe, a granite outcrop of appreciable size was identified [24]. The region under investigation is characterized by the predominance of steep slopes and very narrow valleys. The Douro River Valley is bordered on the north by Marão Mountain (the highest peak, coincident with the Marão geodesic vertex: 1415 m a.s.l.) and to the south by the Meada Mountain. According to [26], the Douro River valley and the valleys of its tributaries are very deep and tight, with V-type morphology (except in Peso da Régua area, where the valley is more “open”).

The environmental impact on the Caldas de Moledo thermal waters, resulting from the mixture with contaminated shallow cold groundwaters, will be enhanced using two tracers of mixing processes: i) isotopic composition through the $\delta^{18}\text{O}$ values and ii) the geochemical signatures of the waters from the study area. The sulphate ion is a major constituent of the Ampor 7-14-14 Special and “Calda Bordalesa”. The systematic application of these pesticides in the vineyards by the farmers in the region, leads to widespread contamination of the local shallow cold groundwaters. Analyzing the diagram SO_4^{2-} vs. $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 9) allows to cluster the different water samples into four groups: i) the group of shallow cold groundwaters ii) the group of shallow cold groundwaters with evidences of contamination, iii) the group of thermal waters and iv) the group thermal waters with evidences of contamination.

Water samples from Donsumil, Águas Mortas e Gavião, belonging to the first group of waters, present very low SO_4^{2-} values (between 0.6 and 1.8 mg/L). These water sampling sites are located in areas of low vineyards growing activities. Water samples from Valcovo, Bica do Parque and Outeiro are representative of the second water

group and exhibit higher SO_4^{2-} values (between 20.6 and 63.9 mg/L); these samples have been collected in areas of high vineyards growing activities. However, none of these samples exceeds the maximum admitted value for human consumption of 250 mg/L for sulphate ion.

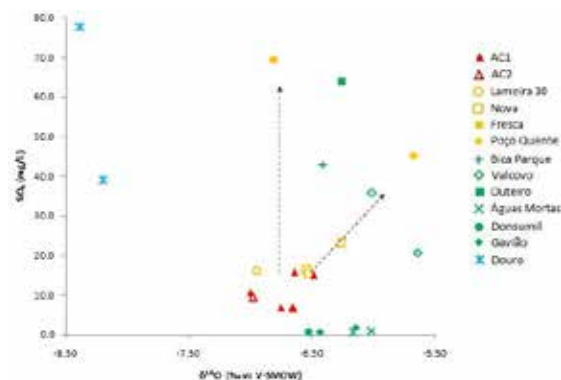


Figure 9 - Diagram SO_4 vs. $\delta^{18}\text{O}$ for the thermal and cold groundwaters from Caldas de Moledo area.

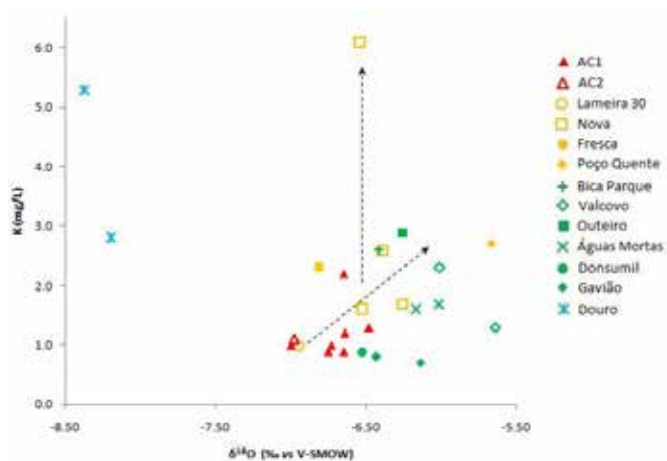


Figure 10 - Diagram K vs. $\delta^{18}\text{O}$ for the thermal and cold groundwaters from Caldas de Moledo area.

By the observation of the diagram of Figure 10, it is possible to verify the existence of a group of shallow cold groundwaters, with low K^+ values (e.g. Gavião and Donsumil) as they were sampled in areas of low vineyard activity and, the existence of another group of shallow cold groundwater (e.g. Outeiro, Bica do Parque and Valcovo) with higher K^+ values, associated with anthropogenic pollution resulting from the vineyards fertilization. The low K^+ content in the Caldas de Moledo thermal waters (boreholes AC1 and AC2 and Lameira 30 spring), is most probably due to the water-granitic rocks (dominated by Na-plagioclase) interaction at depth. The existence of mixing trends (dashed arrows) between thermal waters (e.g. Nova, Fresca and Poço Quente springs) with shallow cold groundwaters, with evidences of contamination, is enhanced by the potassium content enrichment in the thermal waters, as a result of mixing with shallow groundwaters recharged at diverse altitude sites (dispersion in the $\delta^{18}\text{O}$ values of the mixed waters as result of the isotopic fractionation of the water vapour associated to the different condensation altitudes).

By observing the above presented diagrams, one can see that the waters from Douro River, when compared with the other waters of the region, present higher K^+ and SO_4^{2-} concentrations. This is not surprising, since both banks of the Douro River are "covered" by large estates devoted exclusively to agriculture, in this case, the production of Port wine. Regarding the isotopic signatures ($\delta^{18}O$ values), the River Douro waters are depleted. The Douro River has its source (spring) in the Urbi3n Mountains (Spain), at about 1700 m a.s.l. [21]. It should also be noted that the most mineralized water sample from the Douro River, is the one that is more depleted in heavy isotopes, due to the fact that this sample was collected in April 1999. Thus, this water sample from the Douro River presents signatures, whether from the contribution of melting water (depleted $\delta^{18}O$ values) or from strong leaching of products of agricultural contamination of the soil (higher SO_4^{2-} and K^+ values) as a result of higher rainfall.

5. Concluding remarks

The characterization of the environmental impacts of geothermal energy utilization allows not only the mitigation of its negative aspects, but also to maximize its positive aspects. Thus, it is an indispensable mean to implement strategies aimed at increasing the sustainability of the exploitation of this type of Georesources. Concerning the presented case study, associated to the Caldas de Moledo low-enthalpy geothermal system, the combination of geochemical and isotopic signatures showed trends of mixing between thermal waters and shallow cold groundwaters which recharge occurred at different altitude sites. The Caldas de Moledo hydrothermal aquifer system is confined and apparently protected from anthropogenic contamination, as evidenced by the low concentration of K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} and NO_3^- in the boreholes AC1 and AC2 and Lameira 30 spring. However, the Fresca, Nova and Po3o Quente springs present strong evidences that anthropogenic contamination must be controlled. Viticulture, the main focus of regional development in the study area, compromises the quality of water resources due to the systematic use of agrochemicals. The overuse of pesticides and fertilizers is associated with ignorance of its harmful effects to soil, water resources and the environment in general. To reverse the trend of increased consumption of agrochemicals, it is necessary to raise awareness among growers for the practice of organic farming, or in the inability of agriculture with integrated protection against pests.

Acknowledgements: This study was developed at the Centro de Petrologia e Geoqu3mica of Instituto Superior T3cnico (Portugal) and at the Instituto Tecnol3gico e Nuclear (Portugal). The authors would also like to thank Centro de Geologia da Universidade do Porto and Junta de Turismo das Caldas de Moledo for their support.

References

[1] Hubbert, M. (1956). *Nuclear energy and fossil fuels*. Shell Development Company Publication, 95. Houston, Texas, 40 pp.
 [2] Almeida, P., Silva, P. (2009). The peak of oil production - timings and market recognition. *Energy Policy*, 37, 1267-1276.

[3] Verbruggen, A., Marchohi, M. (2010). Views on peak oil and its relation to climate change policy. *Energy Policy*, 38, 5572-5581.
 [4] IEA [International Energy Agency] (2010). *Technology Roadmap - Geothermal Heat and Power*. IEA, Paris, France, 45 pp.
 [5] Dickson, M., Fanelli, M. (2003). *Geothermal Energy - Utilization and Technology*. UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), Earthscan, London, 205 pp.
 [6] Gupta, H., Roy, S. (2007). *Geothermal energy: an alternative resource for the 21st century*. Elsevier, 1st edition, Amsterdam, The Netherlands, 292 pp.
 [7] Albu, M., Banks, D., Nash, H. (1997). *Mineral and Thermal Groundwater Resources*. Chapman & Hall, London, UK, 464 pp.
 [8] Steingisser, A. (2006). *Losing steam: A multi-scale historic analysis of human impacts on geyser basins*. Master Thesis, Graduate School of the University of Oregon, Department of Geography, 96 pp.
 [9] Silva, C. (2008). *Temas de Paleontologia - Geodiversidade*. Accessed on 24 de Mar3o 2011. Available at <http://webpages.fc.ul.pt/~cmsilva/Paleotemas/Geodiversidade/Geodiver.htm>.
 [10] Barrik, K. (2007). *Geyser Decline and Extinction in New Zealand-Energy Development Impacts and Implications for Environmental Management*. *Environmental Management*, 39, 783-805.
 [11] Bryan, T. (1995). *The geysers of Yellowstone*. University Press, Colorado, EUA, 463 pp.
 [12] Steingisser, A., Marcus, W. (2009). Human Impacts on Geyser Basins. *Yellowstone Science*, 17, 7-18.
 [13] Charlier, D., Droogmans, L. (2005). *Microbial life at high temperature, the challenges, the strategies*. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 62, 2974-2984.
 [14] Yellowstone National Park (2010). *Yellowstone Resources & Issues 2010*. Division of Interpretation, Mammoth Hot springs, EUA, 193 pp.
 [15] Grant, T. (2005). California geothermal law and its impacts on thermophile biodiversity. *Engage*, 6(2), 52-57.
 [16] Chan, A., Blumstein, D. (2011). Attention, noise, and implications for wildlife conservation and management. *Applied Animal Behaviour Science*, 131, 1-7.
 [17] Handal, S., Barrios, L. (2004). *Hydrothermal eruptions in El Salvador: A review*. In: *Natural hazards in El Salvador*, Geological Society of America, pp. 245-255.
 [18] Boomer, J., Oates, S., Cepeda, J., Lindholm, C., Bird, J., Torres, R., Marroqu3n, G., Rivas, J. (2006). Control of hazard due to seismicity induced by a hot fractured rock geothermal project. *Engineering Geology*, 83, 287-306.
 [19] Allis, R., Bromley, C., Currie, S. (2009). Update on subsidence at the Wairakei-Tauhara geothermal system, New Zealand. *Geothermics*, 38, 169-180.
 [20] Louren3o, C., Cruz, J. (1998). *Recursos Geot3rmicos em Portugal Continental-baixa entalpia*. Instituto Geol3gico e Mineiro, Lisbon, 23 pp.
 [21] Marques, J., Espinha Marques, J., Carreira, P., Gra3a, R. (2003). Geothermal fluids circulation at Caldas do Moledo area, Northern Portugal: geochemical and isotopic signatures. *Geofluids*, 3, 1-13.
 [22] Ribeiro, A., Quesada, C., Dallmeyer, R. (1990). *Geodynamic evolution of the Iberian Massif*. In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Dallmeyer,

- er, R.D., Martínez-García, E. (Eds), Springer-Verlag, Berlin, pp. 397-410.
- [23] Carvalho, J. (1996). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. *Environmental Geology*, 27, 252-258.
- [24] Espinha Marques, J., Chaminé, H., Carvalho, J., Borges, F. (2001) Tectónica regional do sector Caldas de Moledo–Granjão–Cidadelhe (Falha de Penacova–Régua–Verin, N de Portugal): implicações no controlo das emergências hidrominerais. *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, Lisboa, 8, 203-212.
- [25] Seifert, H. (1969). Caldas de Moledo. *Boletim de Minas*, Lisboa, 6(1), 66-68.
- [26] Teixeira, C., Fernandes, A., Peres, A. (1967). *Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Folha 10-C (Peso da Régua)*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 60 pp.

O seu Banco num smartphone.



Com as 5 aplicações BPI para smartphones ou tablets pode aceder ao Banco e realizar um conjunto de operações bancárias de forma simples, rápida e segura. Faça o download da BPI App, a aplicação que reúne todas as funcionalidades e que lhe permite fazer consultas de saldos e movimentos de conta e de cartões de crédito, pagamentos, transferências e localização de serviços. Se preferir, faça também o download individual de cada uma das aplicações.



**Use o QR Code*
ou vá a bancobpi.pt**

*Código de Resposta Rápida

A Apple não participa nem patrocina esta promoção. O iPhone é uma marca registada da Apple Inc., registada nos E.U.A. e outros países. A App Store é uma marca de serviço da Apple. O Google Play é uma marca registada da Google Inc.





Av. Rovisco Pais
Instituto Superior Técnico
Pavilhão da Associação dos Estudantes
1049-001 Lisboa
Tel (+351) 21 841 72 48 Fax (+351) 21 841 72 50
aeist@ae.ist.utl.pt www.aeist.pt

