

# INFRAESTRUTURAS CRÍTICAS: PROPOSTAS PARA A REDUÇÃO DO RISCO SÍSMICO

## 1. Introdução

A relevância premente do tema abordado no presente artigo há muito identificada pela comunidade técnica e científica (Lopes, 2002) e recentemente reconhecida institucionalmente pela publicação de dois documentos: a Resolução da Assembleia da República nº 102/2010 de 11 de Agosto (adopção de medidas para a redução dos riscos sísmicos), (AR, 2010); e um Relatório, (Sá, 2011), proveniente de um trabalho promovido pelo CNPCE abordando, de forma aprofundada e sustentada, orientações para uma estratégia de redução do risco sísmico, neste caso aplicado especificamente às Infraestruturas Críticas (ICs).

A Resolução da AR, aprovada por unanimidade, organiza, adapta e recomenda ao Governo um vasto conjunto de acções de redução do risco sísmico e programas para a sua mitigação em diferentes áreas, entre outras, o parque edificado, a reabilitação urbana, o controle da construção e as Infraestruturas Críticas, as quais se encontram contempladas nos seus pontos 3 e 4<sup>1</sup>.

Ambos os instrumentos referidos vêm reforçar a importância e pertinência do desenvolvimento do Pro-



**1 – Isabel Pais**

Assessora do Vice-Presidente do CNPCE  
Coordenadora do Programa Nacional de Protecção de Infraestruturas Críticas (PNPIC)

**2 – Francisco Mota de Sá**

Doutorando do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georecursos, Instituto Superior Técnico

**3 – Mário Lopes**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georecursos, Instituto Superior Técnico

**4 – Carlos Sousa Oliveira**

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georecursos, Instituto Superior Técnico

grama Nacional de Protecção de Infraestruturas Críticas (PNPIC), da responsabilidade do CNPCE, com o objectivo de “contribuir para elevar a níveis desejáveis, mas economicamente sustentáveis, a resiliência das ICs, definindo prioridades para a redução das suas vulnerabilidades”. Após a classificação e a identificação das ICs Nacionais (1ª fase do PNPIC), (Pais et al., 2009), encontra-se em curso a 2ª fase, a qual consiste, em termos gerais, “no estudo do risco associado à disfunção das ICs e na produção e divulgação de medidas eficientes e boas práticas para o aumento da sua resiliência e redução do risco a que as mesmas possam estar expostas.”

Vários tipos de ameaças impendem sobre as ICs, de natureza intencional ou não-intencional. Neste artigo, é abordada a ameaça por certo com maior potencial para provocar grave perturbação, danos e disfunções

1 Ponto 3 (extracto) - Elaborar um plano nacional de redução da vulnerabilidade sísmica das redes de infraestruturas industriais, hospitalares, escolares, governamentais, de transportes, energia, telecomunicações, gás, água e saneamento e de outros pontos críticos (...);

Ponto 4 – Para as infra-estruturas tuteladas pelo Estado como para o património histórico-cultural, sejam realizados programas específicos de intervenção para a redução da vulnerabilidade sísmica, sempre que se justifique, a promover pelos ministérios com as respectivas tutelas e de acordo com o plano de avaliação e hierarquização das prioridades.

de forma transversal aos sectores, o sismo, e da sua acção sobre as ICs. Apresenta e sugere um conjunto de medidas dirigidas ao Estado e também ao Sector Privado susceptíveis de integrar uma estratégia de redução do risco sísmico em Infraestruturas com funções vitais para o funcionamento dos sectores estratégicos nacionais.

**2. O Fenómeno Sísmico**

O território de Portugal Continental situa-se na proximidade das falhas que separam duas das principais placas que constituem a crosta terrestre, a placa africana e a placa europeia. Foi nesta zona que se localizou o epicentro do sismo de 1755. Também já ocorreram outros sismos com epicentro no território continental, também com forte potencial destrutivo. As placas movem-se entre si concentrando as deformações e a grande quantidade de energia que lhes está associada na vizinhança das falhas que as separam. O mesmo acontece na vizinhança das falhas no interior das placas. Quando o material que constitui a crosta atinge os seus limites de resistência, dá-se a rotura na falha, os seus bordos deslizam entre si e a energia anteriormente acumulada liberta-se e propaga-se na crosta terrestre, originando um sismo. Posteriormente as deformações continuam o processo de acumulação de energia, até que um dia se libertam novamente originando outro sismo. Por esta uma das principais características do fenómeno sísmico

é a recorrência, isto é, zonas onde já ocorreram fortes sismos no passado voltarão certamente a ser atingidas no futuro.

Como o fenómeno sísmico não é apenas uma curiosidade histórica mas uma parte do nosso futuro, o que mais interessa às populações e às autoridades são as potenciais consequências de sismos futuros e saber se há forma de as evitar e como.

**3. Potenciais Consequências de Sismos Futuros**

As consequências humanas e materiais dos sismos podem considerar-se o produto de 3 factores: perigosidade, exposição e vulnerabilidade. O primeiro tem a ver com o fenómeno em si, ou seja, a probabilidade de no futuro ocorrerem em cada local sismos de determinadas características. O segundo factor, a exposição refere-se às pessoas e bens expostos ao sismo. O terceiro factor, a vulnerabilidade, refere-se à falta de resistência sísmica dos edifícios e infraestruturas.

As principais metodologias para estimar as consequências de futuros sismos são a comparação com situações semelhantes e a simulação, que consiste na modelação matemática do fenómeno e suas consequências, incluindo a libertação de energia na fonte, a propagação das ondas sísmicas, e os danos materiais e humanos.

Veja-se o caso de uma possível repetição do sismo de 1755 nos dias de hoje. Como o número de pessoas a viver na Área Metropolitana de Lisboa se

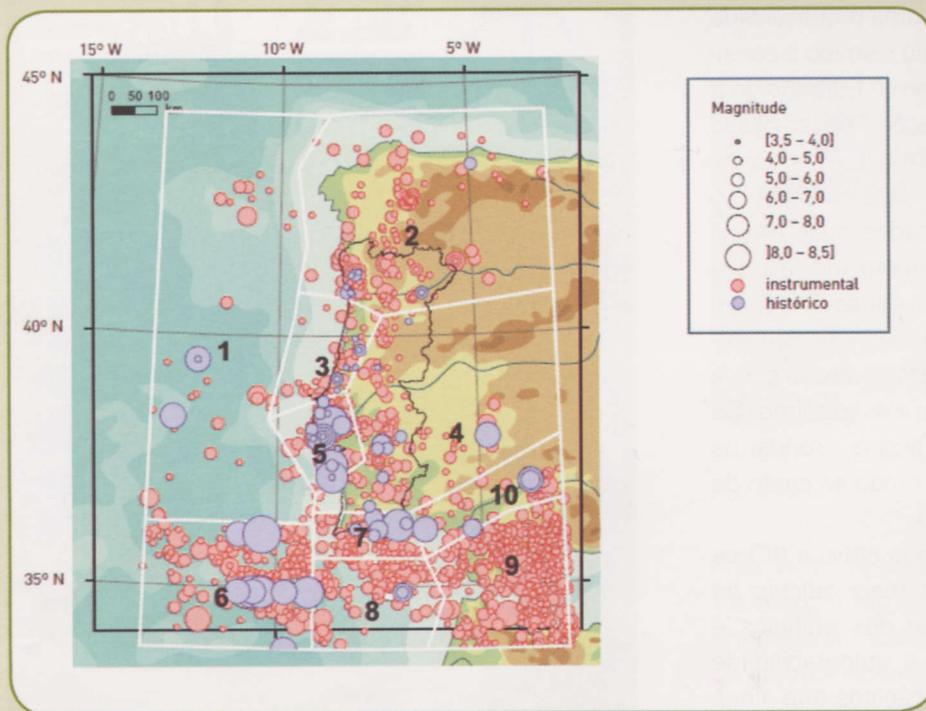


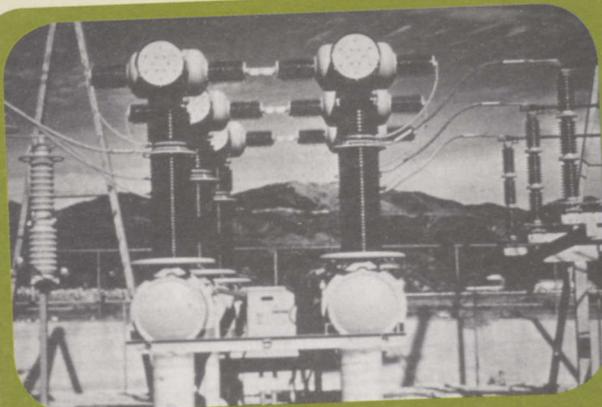
Figura 1 – Zonas Sismogénicas da zona envolvente do território continental de Portugal e epicentros dos principais sismos instrumentais e históricos (Lopes, 2008).

multiplicou mais de 10 vezes e muitas destas se encontram em construções sem cálculo sísmico explícito (anteriores à 1ª regulamentação anti-sísmica moderna, que data de 1958), um sismo semelhante poderia causar maior número de vítimas. Um estudo recente realizado no LNEC (*Sousa, 2006*) prevê para um cenário destes, cerca de 17 000 a 27 000 mortos e prejuízos directos no parque habitacional de cerca de 20% do PIB. No entanto este número não considera a falta de qualidade que pode advir da falta de fiscalização nas construções recentes, nem os danos no parque de edifícios de escritórios, na indústria, nas redes de infraestruturas nem os danos indirectos devido à paralisação de actividades económicas, falências de empresas, aumento de encargos com políticas sociais, etc. Uma estimativa grosseira, por comparação com efeitos de outros sismos, apontaria para custos totais 3 vezes superiores aos referidos ou mais, ou seja, valores superiores a 60% do PIB. Outros autores que estudaram este cenário foram conduzidos a estimativas ainda mais elevadas, da ordem de 100% do PIB (*Muir-Wood, 2005 e Pelaez et al., 2005*). Assim as perdas possíveis podem chegar a 160 MM Euros, o que se assemelha a 1 PIB, aproximadamente 2 x o montante do empréstimo recentemente concedido pela Troika (*Sá, 2011*). O cenário de repetição de um sismo como o de 1755 tem uma probabilidade de ocorrência nos próximos 50 anos de cerca de 5% ou menos, ou seja, é baixa mas não desprezável.

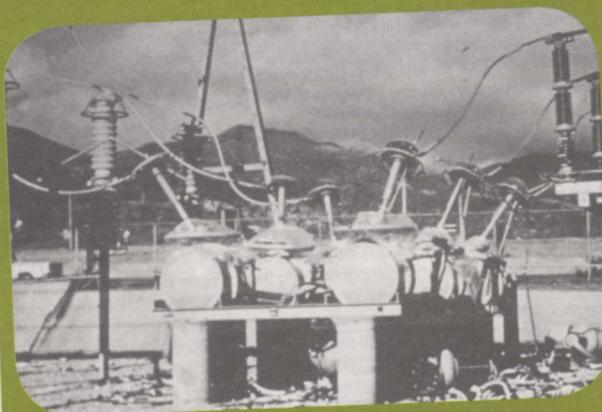
Se no entanto considerarmos outro tipo de cenário, por exemplo com uma probabilidade de ocorrência de cerca de 50% em 50 anos, ou seja, uma probabilidade de ocorrência elevadíssima, o cenário sísmico a considerar é menos grave e de acordo com o Eurocódigo 8 (2004) as correspondentes acelerações do solo são cerca de metade das do cenário de 1755. Mesmo assim são significativas e afectarão muitos edifícios. Só na cidade de Lisboa estão identificados mais de mil edifícios em risco de colapso eminente (de vez em quando alguns caem por si sós, sem causa aparente), o que significa que a sua resistência sísmica é baixíssima. Só nestes, fora o resto, existe um potencial para a ocorrência de um número de mortos elevadíssimo. Os prejuízos também seriam significativos e rondar os dez MM Euros, comparável grosso modo ao custo de 10 Pontes Vasco da Gama (*Sá, 2011*).

No que diz respeito às infraestruturas críticas (IC) os potenciais cenários de danos são mais difíceis de avaliar. Nestas infraestruturas além dos edifícios é importante considerar na análise a vulnerabilidade dos equipamentos eléctricos e mecânicos que alber-

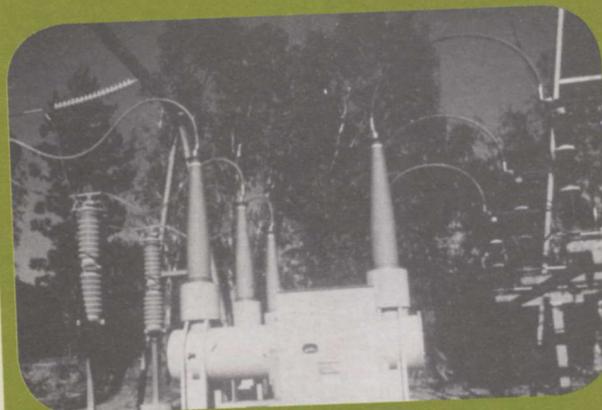
gam, e que em geral desempenham funções vitais ao funcionamento dessas infraestruturas. Ora, ao contrário dos edifícios, que são projectados por engenheiros civis com formação em engenharia sísmica e segundo regulamentos que prevêem o dimensionamento sísmico, os equipamentos eléctricos e mecânicos são projectados por engenheiros electrotécnicos e mecânicos sem formação específica em sísmica e risco sísmico e com base em regula-



Antes do sismo de S. Fernando em 1971



Depois do sismo de S. Fernando em 1971



Antes e depois do sismo de Northridge em 1994

Figura 2 – Subestação eléctrica de Sylmar

mentos que não prevêem a obrigatoriedade de dotar esses equipamentos de resistência sísmica. Isto só por si não implica que esses equipamentos sejam muito vulneráveis, pois podem estar dotados de resistência sísmica devido a outros factores, como por exemplo (i) o dimensionamento para outras acções, como o vento, choques, etc. ou (ii) porque são fabricados por empresas que exportam equipamentos para países com exigências de resistência sísmica e uniformizaram o fabrico. Por isso e sem estudos concretos não é possível ter uma avaliação fiável do nível de risco destes equipamentos. No entanto, em numerosas inspecções a equipamentos detectaram-se situações de grande vulnerabilidade mas que poderiam ser significativamente atenuadas com custos bastante baixos através de intervenções cirúrgicas em pontos fracos previamente identificados. A figura 2 mostra a subestação de Sylmar, na Califórnia, em 3 situações: antes e depois do sismo de S Fernando (1971), e depois do sismo de Northridge (1994). Depois do sismo de S. Fernando foram colocados novos dispositivos dimensionados para resistirem a sismos, que posteriormente sobreviveram sem danos ao sismo de Northridge, o qual produziu maiores acelerações no mesmo local.

#### 4. Previsão

A previsão da ocorrência de fenómenos sísmicos com utilidade para a Protecção Civil, isto é, relativamente a janelas temporais de poucos dias, é extremamente difícil. Em toda a história da humanidade só houve um caso de previsão de ocorrência de um sismo violento que levou à evacuação das cidades e evitou a morte de centenas de milhar de pessoas, e ocorreu na China, em Haicheng em Fevereiro de 1975. O problema é que a crosta terrestre é essencialmente frágil, o que significa que a rotura é súbita e não é precedida de sintomas que sirvam de aviso. Isto significa que não podemos confiar nesta ferramenta para proteger as populações por via da evacuação das cidades antes dos sismos. Além disso a previsão poderia dessa forma salvar a vida das pessoas mas não impediria a destruição dos edifícios e das infraestruturas, isto é, os danos económicos, que nas sociedades desenvolvidas são considerados cada vez menos toleráveis pela opinião pública.

Muito recentemente tornou-se possível antecipar a chegada precoce (Early Warning), que podem permitir acções automáticas de redução do risco em infraestruturas e equipamentos.

#### 5. Prevenção

Face às insuficiências da previsão, a única ferramenta que resta para reduzir os efeitos dos sismos é a prevenção, isto é, estarmos preparados para a ocorrência de sismos em qualquer altura. Os sismos só por si quase não causam prejuízos ou vítimas, pois estes são causados pelos danos e colapsos das construções e equipamentos. Dos 3 factores de que depende o risco sísmico o Homem não consegue agir sobre a perigosidade, pois esta depende da geologia. Relativamente à exposição, embora em teoria possa ser alterada pelo Homem, na prática essa capacidade é extremamente limitada. Não é possível mover populações inteiras de zonas prósperas para outras apenas para reduzir o risco sísmico. Assim, e não obstante a acção da protecção civil na gestão da emergência, é actuando sobre a vulnerabilidade o Homem pode reduzir muito fortemente o risco sísmico.

Basta perceber que se as construções e equipamentos da indústria e redes de infraestruturas estiverem preparados para resistir a sismos fortes, o risco será muito baixo. De facto a ocorrência de sismos recentes demonstra isto mesmo. Por exemplo em 2003 o Japão e a Argélia foram atingidos por sismos de características semelhantes e na Argélia morreram mais de 2 000 pessoas e no Japão apenas uma (atropelada quando apanhava vidros numa estrada!). A causa está na diferente resistência sísmica das construções dos 2 países. A figura 4, ilustra esta diferença pelo estado de 2 casas próximas na ilha do Faial após o sismo de 1998.



Figura 3 - Diferença de resistência sísmica entre construções (Lopes, 2008)

A capacidade para construir estruturas e equipamentos resistentes aos sismos é-nos hoje oferecida pela engenharia moderna. O conhecimento e a capacidade técnica existem, podem ser melhorados e desenvolvidos, mas acima de tudo temos é de os aplicar

melhor. E a capacidade técnica de Portugal neste domínio está estabelecida e é reconhecida internacionalmente, não só (i) pelas contribuições portuguesas para revistas e conferências internacionais da especialidade como (ii) pela atribuição a Portugal da organização em 2012 em Lisboa da 15ª Conferência Mundial de Engenharia Sísmica, que não teria sido possível sem a credibilidade internacional da comunidade científica portuguesa desta área.

## 6. Infraestruturas críticas

As infraestruturas críticas desempenham funções importantíssimas para a economia e segurança dos países, em particular dos mais desenvolvidos. A sua inoperacionalidade prolongada causaria prejuízos tremendos à economia devido à paralisação das actividades económicas e também reduziria a capacidade de resposta do Estado a qualquer tipo de ameaça. Basta pensarmos nas consequências da paralisação das redes de energia e telecomunicações, sabendo que sem elas quase nada funcionará. A título de exemplo, o Estado Português tem procedimentos para fazer face a situações de escassez de energia (Resolução nº 38/11 do Conselho de Ministros de 26 de Fevereiro de 1981) mas aplicáveis a situações de seca e falta de água nas barragens, que podem ser antecipadas e permitem que o planeamento seja feito com meses de antecedência, estabelecendo prioridades no abastecimento e outros procedimentos. Não estão previstos mecanismos de actuação para situações como as que podem ser causadas por um sismo violento. Mas muito mais importante do que estabelecer os procedimentos para actuar após uma catástrofe de grandes dimensões é evitar essa mesma catástrofe, reduzindo os danos potenciais **pela via da prevenção, antes da ocorrência dos sismos**. Este aspecto torna-se de especial relevância quando se trata de infraestruturas críticas. Nestes sistemas, para além da tradicional preocupação com a salvaguarda da vida humana, importa também salvaguardar a sua capacidade para permanecer em funcionamento, durante e após a ocorrência do sismo. Isto, não apenas para garantir a disponibilidade de bens e serviços críticos mas também porque a resiliência destas funções é fortemente condicionada por uma resiliência global, isto é, estas infraestruturas operando num ambiente de grande interdependência, levam a que disfunções localizadas tendam a exponenciar as suas consequências por via da propagação de efeitos em sistemas fortemente conexos e, por isso, interdependentes.

Este requisito é, contudo, uma preocupação recente, consequência das características das sociedades modernas, nas quais a interdependência e a fiabilidade, embora interagindo em sentidos opostos, assumem uma importância que no passado não tinham. Por este motivo, apenas as estruturas modernas, e ainda assim nem todas, são projectadas de forma a salvaguardar, para além da capacidade de não-coloapso, a capacidade para não sofrerem deformações excessivas, responsáveis pela deterioração de equipamentos e conteúdos fundamentais ao desempenho funcional. Assim, a maioria das infraestruturas críticas poderá não estar eventualmente preparada para responder satisfatoriamente em caso de ocorrência de sismos violentos.

Portanto, a identificação e implementação de medidas preventivas surge aqui ainda mais reforçada, sob pena de que, às perdas humanas e estruturais, se juntem as económicas, propagando-se assim, muito para além dos limites das zonas directamente afectadas, o número e a dimensão dos alvos potenciais, levando a que um episódio com impactos físicos limitados no espaço, conduzam a impactos económicos e funcionais regionais, nacionais ou mesmo internacionais.

A necessidade de melhor conhecer as consequências de um sismo nas infraestruturas e serviços críticos nacionais, quer na sua componente estrutural, quer dos elementos fundamentais que as compõem e garantem a sua operacionalidade, este último aspecto muito mais difícil de avaliar, tem vindo a suscitar interesse crescente junto da comunidade científica e técnica ligada à matéria. Exemplo disso é o Projecto REAKT, "*Strategies and Tools for Real-Time Earthquake Risk Reduction*", candidatado por um grande consórcio internacional a financiamento europeu (FP 7, Área "*Environment*", já aprovado e em desenvolvimento).

Os objectivos do REAKT consistem na construção de metodologias e instrumentos de mitigação do risco sísmico, baseados nas capacidades de alerta precoce, como já referido, que permitam, num curto espaço de tempo (segundos), desencadear mecanismos de redução do risco, muito focados nas ICs e suas componentes fundamentais, que assim poderão ver a sua resiliência aumentada.

Portugal integra o consórcio, com os parceiros IST (coordenador), CNPCE, GALPENERGIA, REN e EDP PRODUÇÃO. O Projecto tem um *Work Package* onde serão desenvolvidas aplicações práticas a áreas ou ICs específicas. Portugal propôs e foi aceite, que se estudasse o Complexo Industrial de Sines, por nele

se concentrarem cerca de 10% das Infraestruturas Nacionais classificadas como críticas na 1ª fase do PNPIC. A importância económica e estratégica do Porto de Sines presente e projectada para o futuro, contribuiu também para a escolha da área. Constitui uma excelente oportunidade para dar um impulso decisivo no desenvolvimento da 2ª fase do mesmo PNPIC, juntando a *expertise* científica com os conhecimentos dos técnicos das empresas, participantes nas equipas de trabalho.

Serão analisadas as principais infraestruturas industriais do Complexo, atribuindo uma resistência sísmica aos elementos que as compõem, para os quais serão desenvolvidas funções de vulnerabilidade para as principais tipologias. Depois será feita uma análise mais detalhada das infraestruturas que mostrarem ter maior vulnerabilidade sísmica potencial, bem como maior importância em função das consequências que a sua interrupção pode desencadear.

A possibilidade de ser conseguida uma redução do risco através da utilização de sistemas de *Early Warning*, gerando mecanismos de detecção e processamento rápido capazes de desencadear automaticamente acções de protecção dos elementos mais críticos, em caso de sismo, será alvo de um estudo de viabilidade em conjunto com os principais *stakeholders*.

### 7. Proposta de Medidas

O contexto atrás exposto e a débil situação social e económica com que o País se vê actualmente confrontado, sugere um conjunto de medidas, assentes em critérios de maximização da sua eficácia, ou seja, de maximização de resultados concretos no mais curto espaço de tempo possível e minimização dos esforços e recursos necessários à sua implementação, isto é, máxima eficiência, das quais se destacam, por ordem, não da sua importância mas da sua prioridade, as que seguida e sumariamente se indicam (Sá, 2011):

1. Divulgação obrigatória, em todas as Infraestruturas e Serviços Críticos Nacionais, públicos e privados, das medidas de prevenção contra o Risco Sísmico sugeridas pela Autoridade Nacional de Protecção Civil ou pelo Instituto de Meteorologia;
2. Obrigatoriedade, ao abrigo do Decreto Lei 99/2003, Artº 125 (Código do Trabalho / Formação Contínua) de acções anuais de formação dos funcionários das mesmas IC's nas mesmas matérias: Prevenção do Risco Sísmico;
3. Exploração de fontes de financiamento Europeu existentes, passíveis de serem mobilizadas para este desígnio, nomeadamente o uso do FEDER para financiar obras de reforço sísmico de infraestruturas;
4. Proceder, recorrendo à colaboração da Comunidade Científica em unidades de investigação Públicas com competência nestas matérias, a uma avaliação do Risco Sísmico nas mesmas IC's, com comunicação do Risco encontrado, das conclusões obtidas e sugestão de medidas aos donos/operadores dessas IC's;
5. Dar seguimento à recomendação nº 7 da Resolução da Assembleia da República nº 102/2010 de 11 de Agosto, no sentido de envolvimento da comunidade científica na identificação de medidas para a redução do risco sísmico;
6. Fomentar a introdução de resistência sísmica em obras de reabilitação de edifícios em que se exerçam funções Críticas Nacionais;
7. Rever e adequar as recomendações e as práticas correntes na elaboração de Cartas de Risco Sísmico a integrar em Planos de Ordenamento do Território (recomendação nº 1 da Resolução);
8. Proceder de igual modo ao preconizado em 4) e 5) para as Infraestruturas Críticas Industriais;
9. Proceder a uma revisão e melhoria profunda da capacidade do Estado para cumprir e fazer cumprir a regulamentação que ele próprio criou;
10. Proceder a uma revisão dos currícula das Licenciaturas em Arquitectura e Engenharia, com especial relevância nos de Engenharia Mecânica e Electrotécnica, introduzindo a obrigatoriedade de incluir formação nas matérias relacionadas com "Perigosidade e Risco Sísmico".

### Bibliografia:

AR, Assembleia da República (2010). *Resolução da Assembleia da República nº 102/2010 de 11 de Agosto (adopção de medidas para a redução dos riscos sísmicos)*.

Earthquake Spectra (1995). *Northridge Reconnaissance Report*. Vol. I, Supplement C to Vol. II.

Lopes, Mário e C. Sousa Oliveira (2002). *O Risco Sísmico e o Parque Industrial*. Revista da AIP nº 5/6, Maio-Junho 2002, pp.34-38.

Lopes, Mário – coord. (2008). *Sismos e Edifícios*. Edições Orion, 760 págs.

Muir-Wood, R. (2005). *Earthquake Interdependence and Insurance Loss Modelling*. American Geophysical Union, Fall Meeting, USA.

País, Isabel e F. Mota de Sá (2009). *Paradigmas da Protecção de Infraestruturas Críticas e o estrado da Arte em Portugal*. Revista do Planeamento Civil de Emergência nº 21, CNPCE, pp.36-43.

Pelaez, Delgado Garcia; Anton e Lopez Casado (2005). *Economic Losses for a Current 1755 Seismic Scenario*. International Conference on the 250<sup>th</sup> Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, Lisboa.

Sá, Francisco Mota (2011). *Programa Nacional para a Redução do Risco Sísmico em Infraestruturas Críticas*. Relatório elaborado para o CNPCE no âmbito do Programa Nacional de Protecção de Infraestruturas Críticas. Fuzzy, Engenharia de Sistemas e Decisão, Lda.

Sousa, Maria Luísa (2006). *Risco Sísmico em Portugal Continental*. Tese de Doutoramento. Instituto Superior Técnico, 338 págs.