

60 anos de actividade do Departamento de Estruturas do LNEC

60 years of LNEC Structures Department activity

João Almeida Fernandes

Resumo

O Centro de Estudos de Engenharia Civil (1941-46) funcionou nas instalações do IST. Este Centro, conjuntamente com o Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais (1898-46), constituiu o embrião do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). O LNEC foi inicialmente organizado em três Serviços, um dos quais, o 2º Serviço, se denominava Serviço de Estudo de Estruturas.

Em 1961, o 2º Serviço é substituído por, entre outros, o novo Serviço de Edifícios e Pontes (SEP). Em 1971, a designação do Serviço de Edifícios e Pontes foi alterada para Serviço de Estruturas (SE). A designação actual, de Departamento de Estruturas (DE), só veio a ser adoptada em 1979.

Neste artigo, passam-se em revista as principais actividades desenvolvidas pelo Departamento de Estruturas do LNEC, nos últimos 60 anos.

Abstract

The Centro de Estudos de Engenharia Civil (1941-46) developed its activities in the IST Campus. This Center, jointly with the Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais (1898-46), formed the embryo of the National Laboratory for the Civil Engineering (LNEC). LNEC was first organized in three Services, one of which, the 2nd Service, was called Serviço de Estudo de Estruturas.

In 1961, the 2nd Service was replaced by, among others, the new Serviço de Edifícios e Pontes (SEP). In 1971, this name was modified to Serviço de Estruturas (SE). The actual designation of Departamento de Estruturas (DE) was adopted in 1979.

In this article, the main activities developed by the Departamento de Estruturas of LNEC, in the last 60 years, are described.

João Almeida Fernandes

Investigador-Coordenador
LNEC

Antecedentes e designação actual

O Centro de Estudos de Engenharia Civil (1941-46), criado pelo Eng. Manuel Rocha e financiado pelo Instituto de Alta Cultura (IAC), funcionou nas instalações do IST, e nelas desenvolveu uma importante série de estudos e ensaios na área da Engenharia de Estruturas. Este Centro, conjuntamente com o Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais (1898-46), constituiu o embrião do Laboratório de Engenharia Civil (LEC), criado pelo Decreto-Lei n.º 35 957, de 19 de Novembro de 1946. O LEC foi inicialmente organizado em três Serviços, um dos quais, o II Serviço, também dirigido por Manuel Rocha, se denominava Serviço de Estudo de Estruturas. Nele se incluíam diversas Secções, constituindo as Secções de Estruturas, de Madeiras, de Materiais e de Barragens o grupo designado por Resistência das Construções.



Manuel Rocha e Júlio Ferry Borges com uma delegação do Governo Alemão, 19 de Julho de 1967

Embora o LEC tenha passado a denominar-se LNEC ainda em 1952, ano da inauguração do edifício principal, sito no actual campus da Avenida do Brasil, em Lisboa, a sua orgânica manteve-se inalterada até 1961. Nesse ano, o II Serviço é então substituído por, entre outros, o novo Serviço de Edifícios e Pontes (SEP), chefiado pelo Eng. Júlio Ferry Borges. A lei orgânica de 1971 alterou a designação do Serviço de Edifícios e Pontes para Serviço de Estruturas (SE), criando em simultâneo o Serviço de Edifícios. O Serviço de Estruturas continuou porém a ser chefiado por Ferry Borges até 1973. A designação actual, de Departamento de Estruturas (DE), só veio a ser adoptada pela lei orgânica de 1979.

As principais actividades de investigação iniciadas na Secção de Estruturas, e prosseguidas pelos serviços que sucessivamente se lhe sucederam (SEP, SE e DE),

O Centro de Estudos de Engenharia Civil (1941-46), criado pelo Eng. Manuel Rocha e financiado pelo Instituto de Alta Cultura (IAC), funcionou nas instalações do IST, e nelas desenvolveu uma importante série de estudos e ensaios na área da Engenharia de Estruturas. Este Centro, conjuntamente com o Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais (1898-46), constituiu o embrião do Laboratório de Engenharia Civil (LEC), criado pelo Decreto-Lei n.º 35 957, de 19 de Novembro de 1946. O LEC foi inicialmente organizado em três Serviços, um dos quais, o II Serviço, também dirigido por Manuel Rocha, se denominava Serviço de Estudo de Estruturas. Nele se incluíam diversas Secções, constituindo as Secções de Estruturas, de Madeiras, de Materiais e de Barragens o grupo designado por Resistência das Construções.

foram desde cedo bem delineadas. Com efeito, a tese sobre “O Dimensionamento de Estruturas”, submetida por Ferry Borges em 1954, para obtenção do grau de Investigador do LNEC, que se ocupa nomeadamente da teoria estatística de estruturas e do tratamento da aleatoriedade das acções e do comportamento estrutural, não só foi um trabalho pioneiro a nível mundial, como veio a constituir um quadro de referência fundamental, onde se podem inserir as principais linhas de actividade científica e técnica desenvolvidas nas décadas subsequentes. De entre estas linhas, destacam-se em particular as relativas ao betão armado e pré-esforçado, à engenharia sísmica e à segurança estrutural. Recorde-se que os desenvolvimentos obtidos nestes domínios da engenharia de estruturas permitiram a renovação de toda a regulamentação técnica nacional de estruturas e influenciaram, em grande medida, a reformulação da correspondente regulamentação europeia, ainda em curso, tarefas em que o Departamento de Estruturas continua fortemente empenhado.

O Departamento de Estruturas do LNEC

O Departamento de Estruturas do LNEC era constituído, em 1979, por cinco Núcleos, os quais se designavam por:

- Núcleo de Comportamento de Estruturas, NCE
- Núcleo de Madeiras, NM
- Núcleo de Análise Estrutural, NAE
- Núcleo de Observação de Estruturas, NOE
- Núcleo de Dinâmica Aplicada, NDA

As actividades desenvolvidas por estes cinco Núcleos, designados por Secções ou por Divisões em leis orgânicas anteriores, traduzem,

em linhas gerais, as principais actividades desenvolvidas pelo LNEC na área da Engenharia de Estruturas, muitas delas já iniciadas pelo pioneiro Centro de Estudos de Engenharia Civil (1941-46), que funcionava no IST.

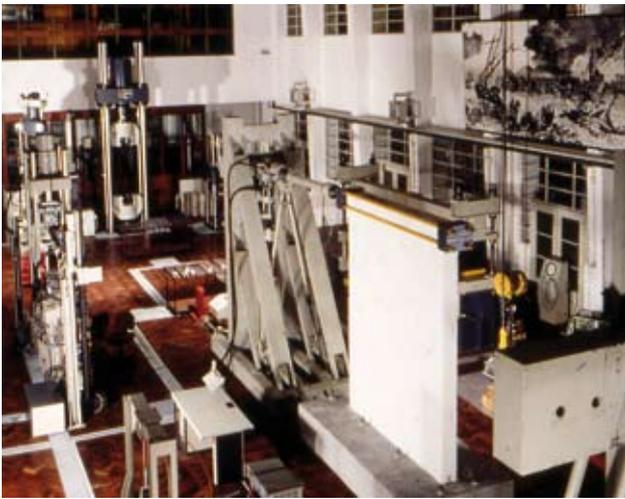
Passam-se seguidamente em revista as principais actividades de cada um desses Núcleos. Note-se que, com a actual lei orgânica de 1999, foi extinto o Núcleo de Análise Estrutural, tendo as suas actividades sido redistribuídas pelos outros Núcleos do DE, alguns dos quais sofreram ligeiras alterações na sua denominação.

Actividades do Núcleo de Comportamento de Estruturas – NCE

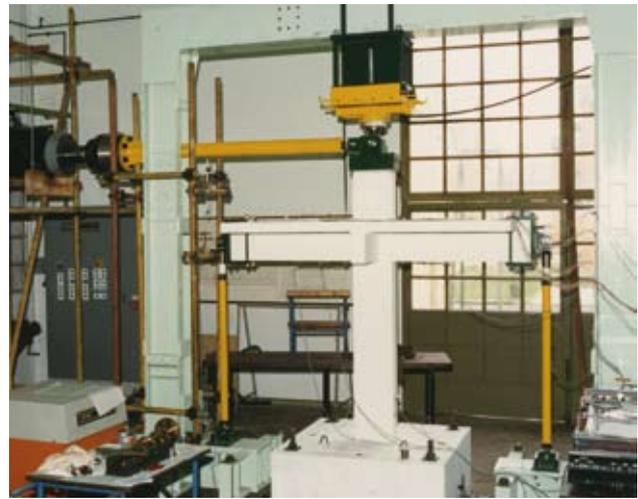
A actividade do NCE é indissociável da Sala de Ensaio de Estruturas. É nesta sala, cuja laje de ensaios era então considerada a melhor da Europa, que, ainda na década de 50, são efectuados importantes estudos no domínio das estruturas de betão armado, em resultado do aparecimento no mercado de armaduras especiais. Estes estudos, para o emprego destas novas armaduras, mais resistentes que as até então correntemente utilizadas, desencadearam uma verdadeira revolução no domínio do projecto de estruturas de betão armado, que implicou a publicação, por proposta do LNEC, de uma nova regulamentação nacional, designadamente o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP) de 1961 e o Regulamento de Estruturas de Betão Armado (REBA) de 1967. Deve referir-se que esta actividade foi desenvolvida em estreita ligação com os organismos internacionais afins, em particular com o recém-criado Comité Euro-International du Béton (CEB), onde o LNEC apresentava e discutia os progressos registados nos trabalhos de investigação por si desenvolvidos. Destaca-se, em particular, por se tratar de um corte com o passado, a introdução do designado cálculo à rotura, por oposição ao tradicional cálculo por tensões de segurança. O REBA introduz estes novos conceitos, tendo o DE promovido uma série de Cursos de Betão Armado dirigidos ao meio técnico nacional, na sequência dos quais foi publicado, em 1969, um texto de referência que mereceu uma extraordinária divulgação, o *Manual de Betão Armado*, da autoria dos investigadores J. d’Arga e Lima, A. Teixeira Coelho e Victor Monteiro.



Mário Castanheta, Victor Monteiro, J. d’Arga e Lima e A. Teixeira Coelho



1



2



3



4

Na década de 70, sempre em estreita colaboração internacional, nomeadamente com o CEB, cuja presidência foi aliás assumida no final da década por Ferry Borges, predominaram novas preocupações no campo das estruturas de betão armado, em particular o seu comportamento sísmico. Tal se traduziu pelo desenvolvimento no NCE de diversos estudos experimentais, designadamente o ensaio de ligações viga-pilar sob acção de cargas repetidas e alternadas com vista à análise do seu comportamento histerético. Esta actividade de investigação conduziu à realização de diversas Teses para obtenção dos graus de Especialista e de Investigador do LNEC, algumas das quais apresentadas por candidatos estrangeiros. Refira-se ainda que a primeira reunião internacional neste domínio foi organizada pelo LNEC, em colaboração com a IABSE, em 1973¹.

Outra preocupação traduziu-se na consideração do pré-esforço de uma forma integrada nas estruturas de betão armado, o que motivou a realização, também em 1973 e no LNEC, de um curso internacional do CEB sobre o Betão Estrutural^{2 e 3}. Posteriormente este novo conceito

veio a ser consagrado internacionalmente, designadamente através do Model Code do CEB-FIP de 1978, desenvolvido já em colaboração com a Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP). Este Código Modelo, publicado sob a presidência de Ferry Borges, esteve na base, em Portugal, do Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP) de 1983, que introduz também novos conceitos de dimensionamento sísmico de estruturas de betão armado, designadamente o das estruturas de ductilidade melhorada. Ainda em 1983 foi publicado o Regulamento de Segurança e Acções (RSA) que, associado ao REBAP, constituiu um conjunto pioneiro a nível internacional no âmbito da verificação da segurança das estruturas. Esta regulamentação conduziu à realização de uma nova série de cursos e à elaboração de novos Manuais de Dimensionamento.

A partir da década de 80, inicia-se a participação em projectos de investigação europeus, devendo destacar-se os estudos pré-normativos para os Eurocódigos, o que veio a resultar em contribuições significativas, quer para o desenvolvimento da Norma Europeia de aços para armaduras, quer para o Eurocódigo

1 IABSE, Symposium Resistance and ultimate deformability of structures acted on by well defined repeated loads. LNEC, Lisbon, 1973.
 2 CEB, International Course on Structural Concrete (31 vols). LNEC, Lisbon, 1973.
 3 CEB, International Course on Advanced Studies on Structural Concrete. Contributions to the 1993 Lisbon workshop in tribute to Dr. Júlio Ferry-Borges and in commemoration of the 20th anniversary of the 1973 CEB International Course on Structural Concrete, LNEC, Lisbon, 1994.

1 Sala de Ensaios de Estruturas
 2 Ensaios de ligação viga-pilar
 3 Ensaio de tracção de um varão de aço para betão armado
 4 Calibração do sistema de medição da força de uma máquina de ensaios de compressão

8, relativo ao projecto sísmico de estruturas. O DE teve uma participação internacional activa na génese e preparação dos Eurocódigos desde o seu início. A nível nacional foi o motor principal da sua implementação e, quando da passagem dos Eurocódigos para a égide do Comité Europeu de Normalização (CEN), foi-lhe naturalmente atribuída a responsabilidade de dirigir a Comissão Técnica do IPQ, CT 115 – Eurocódigos Estruturais, sediada no LNEC, enquanto Organismo de Normalização Sectorial (ONS). A actividade ligada aos Eurocódigos teve uma primeira fase que culminou com a publicação em português de um conjunto consistente de Normas (nas suas versões provisórias ENV), com os respectivos Documentos Nacionais de Aplicação (DNA), com vista ao projecto de estruturas de betão, de aço, mistas aço-betão, de madeira e de alvenaria.

Na década de 90, através de financiamento do PEDIP, a Sala de Ensaios de Estruturas sofre uma profunda reestruturação, traduzida pela modernização geral de todos os equipamentos e pela sua organização em três unidades laboratoriais dispendo de um sistema de gestão da qualidade devidamente acreditado. Esta profunda alteração permitiu o desenvolvimento de processos de certificação da qualidade de armaduras para estruturas de betão armado e pré-esforçado e a sua introdução nas fábricas portuguesas deste tipo de material. Além disso, em face da abertura do mercado nacional à importação de armaduras de proveniência estrangeira, estes processos de garantia da qualidade permitiram que estas armaduras fossem devidamente controladas, assegurando a manutenção de um nível adequado da segurança das estruturas.

As actividades do NCE têm no novo século prosseguido a linha anterior. Tem sido mantida a participação em projectos de investigação europeus, nomeadamente no âmbito das armaduras para betão armado. No âmbito do projecto PRIME procedeu-se recentemente a uma nova modernização dos equipamentos dos Laboratórios de Ensaios de Estruturas. No campo dos Eurocódigos, tem-se participado na fase de implementação dos mesmos como normas definitivas, abrangendo um conjunto de 58 documentos, estando em curso, no âmbito da CT 115, a sua publicação em língua portuguesa com os respectivos Anexos Nacionais (NA), necessários à aplicação em Portugal.

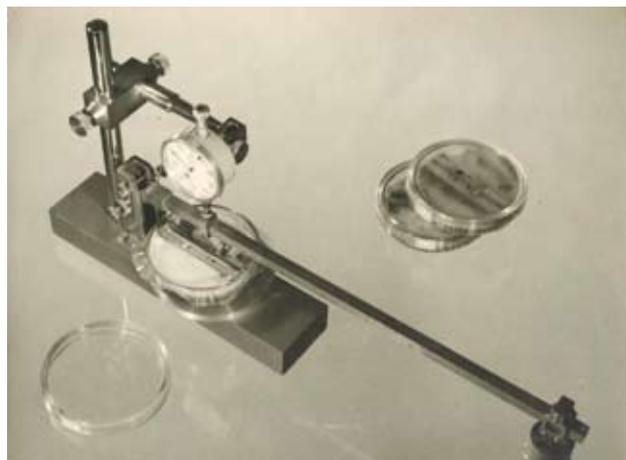
Refira-se ainda que, desde a década de 80, tem sido sucessivamente incrementada no NCE uma actividade de consultoria técnica especializada sobre questões de segurança estrutural. Esta actividade decorre de solicitações relacionadas com problemas de patologia, reabilitação e reforço de estruturas e também com projecto, construção e manutenção no domínio das grandes obras de engenharia civil.

Actividades do Núcleo de Madeiras – NM

Quando, em 1946, o Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais foi incorporado no que viria a ser o LEC e posteriormente o LNEC, trouxe consigo a tradição do trabalho laboratorial, com ensaios metódicos de materiais de construção. O seu Laboratório de Ensaios Mecânicos (Metais e Madeiras) pode assim ser considerado o embrião da actividade que viria a ser desenvolvida pela Secção de Madeiras, posteriormente denominada por Divisão de Madeiras, Núcleo de Madeiras e, actualmente, Núcleo de Estruturas de Madeira, do DE.



1



2

Uma lista dos ensaios realizados ainda pelo Laboratório de Ensaio e Estudo de Materiais, publicada no seu Boletim, em 1945, incluía já 21 tipos de ensaios sobre madeira (físicos, mecânicos e de recepção), a maioria dos quais segundo especificações próprias, porventura inspiradas em normas internacionais, já que o acervo normativo nacional era incipiente.

- 1 Saraiva e Sousa, Tomás de Mateus, e Arantes e Oliveira
- 2 Método das Flechas, de Tomás de Mateus



Pavilhão Multiusos (Expo 98)

Entre 1946 e 1952 o LEC debateu-se com as dificuldades decorrentes da dispersão de serviços por instalações pouco vocacionadas para o tipo de actividade desenvolvida. A Secção de Madeiras, coordenada pelo Eng. Tomás de Mateus, funcionava então no IST. Só em 1952, com a construção do novo edifício na Avenida do Brasil, esta Secção passou a dispor de instalações próprias, adequadas a Ensaios e Conservação de Madeiras. A área de intervenção da Secção de Madeiras abrangia então o estudo sistemático das características físicas, mecânicas e tecnológicas das diferentes espécies de madeiras utilizadas na construção civil, bem como o estudo dos seus agentes de degradação. Abrangia ainda os ensaios de caracterização dos vários produtos preservadores existentes no mercado, tendo em vista a valorização das madeiras nacionais.

Importantes estudos foram realizados pelo LNEC nos anos 50 e 60, uma época em que se assistiu à criação e desenvolvimento de vários grupos nacionais e internacionais dedicados ao estudo da madeira. Destacam-se os estudos conduzidos por Tomás de Mateus sobre a caracterização, a classificação e a utilização estrutural do pinho bravo nacional, ainda hoje uma inegável referência nesta matéria. Os estudos estenderam-se a outras espécies metropolitanas e, sobretudo, à caracterização das espécies florestais ultramarinas, o que foi iniciado em 1952 com o estudo da tola, a pedido da emergente indústria de contraplacados. Foram desenvolvidos estudos sobre xilófagos marinhos, sobre a acção de térmitas e sobre a impregnabilidade e a preservação de madeiras. Desenvolveram-se métodos de ensaio inovadores sobre a acção de fungos de podridão (por exemplo o Método das Flechas, ciclicamente reinventado pela comunidade internacional). Fazia-se ainda o ensaio de elementos de construção, o estudo e ensaio de ligações de madeira para estruturas e a caracterização de placas de derivados de madeira.

Desde 1963 funcionou, anexa à Secção de Madeiras do LNEC, a Secção de Anatomia do Laboratório de Histologia e Tecnologia de Madeiras (LHTM), que funcionara desde 1950 num edifício situado no Jardim do Ultramar. O LHTM assumia-se como organismo coordenador e elemento de ligação entre o Ultramar e as entidades metropolitanas. Esta vizinhança durou até à década de 80, tendo o património do LHTM sido então incorporado no Instituto de Investigação Científica e Tropical. Em 1971 funcionava também, em instalações cedidas pelo LNEC e em articulação com a sua Divisão de Madeiras, o Núcleo Externo da Madeira do Instituto Nacional de Investigação Industrial (INII), que fora criado em 1960 com o objectivo de estimular a aproximação entre os vários laboratórios existentes e o sector industrial da madeira, para a resolução dos seus problemas técnicos. Esta parceria durou até à criação do LNETI, que o incorporou.

Ainda no início dos anos 70, a Divisão de Madeiras mudou-se definitivamente para o Pavilhão de Estudo de Madeiras. Refira-se que o mobiliário de sucupira dos gabinetes e das salas de ensaio foi projectado por Tomás de Mateus, conhecedor da madeira, das necessidades laboratoriais e artista plástico. A Divisão de Madeiras estabeleceu desde cedo uma rede de colaborações, a nível nacional e internacional. Colaborou com o Grupo de Conservação de Pedras em Edifícios de Interesse Histórico ou Artístico (anos 70), com o Programme de l'OCDE sur la Préservation du Bois em Milieu Marin (1967-1972) e com a Direcção-Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais sobre a Conservação de Obras de Arte de Madeira. Iniciou uma colaboração activa com o CEN/TC38 (Durability of wood and wood based products), nos anos 60, e com o IPQ/CT14 (Madeiras), desde os seus primórdios, actividades mantidas até hoje.



1



2



3

Os anos 80 assistiram a uma renovação do Núcleo de Madeiras, reflectindo a mudança do contexto nacional e internacional, relacionada com o acesso aos programas-quadros comunitários de apoio à investigação e com o intenso esforço realizado na produção de normas europeias, nomeadamente de apoio ao Eurocódigo 5 e à Directiva dos Produtos da Construção. O surgimento de novos materiais, colas, ligações e sistemas construtivos, a evolução no que respeita à filosofia de caracterização e dimensionamento estrutural e uma nova abordagem de tratamento e protecção da madeira, menos agressiva para o ambiente e menos tóxica para o homem, motivaram o investimento em novas áreas, mantendo-se no essencial todas as vertentes tradicionais.

Nos últimos vinte anos, o Núcleo de Estruturas de Madeira, para além da actividade de apoio às indústrias de madeira e derivados e de preservação de madeiras, e da actividade de apoio à concepção, construção, acompanhamento ou reabilitação de estruturas de madeira, tem vindo a desenvolver uma intensa actividade de investigação aplicada relacionada com a classificação e a caracterização de madeiras e derivados (nomeadamente por recurso a técnicas não destrutivas), com o comportamento de ligações estruturais, com métodos alternativos de protecção da madeira contra fungos e térmitas, com a avaliação e o reforço de estruturas e com a durabilidade das estruturas e das intervenções. Estas actividades contribuem e resultam da intensificação da cooperação internacional, particularmente por via da colaboração em numerosos projectos europeus, da participação nas comissões de normalização do CEN (TC38 – Durabilidade; TC112 – Placas de derivados de madeira; TC124 – Estruturas de madeira; e TC175 – Madeira não estrutural) e em redes de cooperação COST (508, E10, E13, E18, E22, E24, E34, E49), entre outras. Estas actividades têm igualmente suportado a realização de diversas acções de ensino e divulgação, de iniciativa própria ou em colaboração com outros laboratórios e centros universitários, relacionadas com a especificação e a qualificação de madeira e derivados para a construção. O Núcleo de Madeiras tem vindo nos últimos anos a estabelecer parcerias com centros universitários, muitos deles emergentes na área da madeira em virtude da publicação do Eurocódigo 5, permitindo intensificar a actividade de investigação e resultando na orientação e na co-orientação de teses de mestrado e doutoramento, contribuindo para uma maior divulgação da madeira como material estrutural.

Actividades do Núcleo de Análise Estrutural – NAE

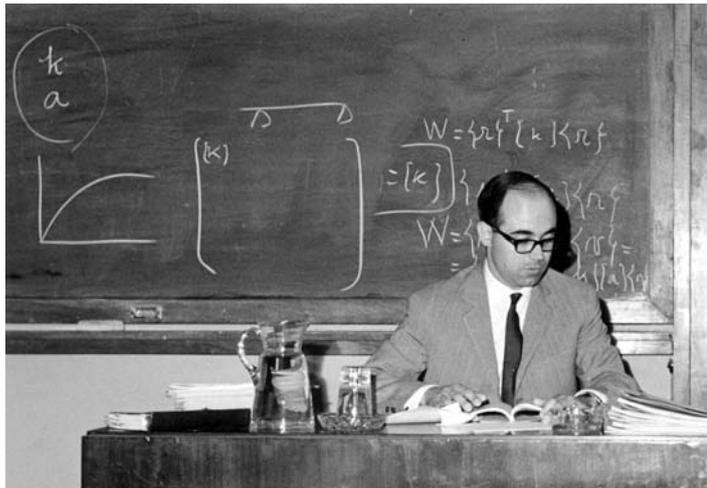
A actividade desenvolvida no Departamento de Estruturas, no âmbito do Núcleo de Análise Estrutural, está intimamente ligada à informatização do próprio LNEC, que se iniciou, justamente, devido às necessidades da automatização do cálculo científico, sentidas na Secção de Estruturas. Neste contexto, entre 1957 e 1974, couberam a esta Secção (e mais tarde, sucessivamente, ao Serviço de Edifícios

- 1 Computador electromecânico IBM 602 A (1957)
- 2 Computador National Elliot 803-B e sala anexa para leitura e perfuração de fitas (1963)
- 3 Leitor e perfurador de fitas

e Pontes, e ao Serviço de Estruturas) as funções de exploração do computador central e de desenvolvimento de software⁴.

Em 1957 e 1958 foram instalados computadores, dos primeiros em Portugal, ainda de programação externa. Era então apenas possível a resolução de sistemas de equações de dimensão muito reduzida (7 equações a 7 incógnitas). Em 1959 foi instalado um computador STANTEC ZEBRA, da 1ª geração, no qual já se executavam programas para cálculos relativamente importantes, entre os quais se referem os realizados para a construção da ponte suspensa sobre o Tejo. Com este equipamento podiam resolver-se sistemas de equações de dimensão superior (40 equações a 40 incógnitas).

Esta pioneira acção, da introdução do cálculo automático em Portugal, deve-se ao então Chefe da Secção de Estruturas do LNEC, Ferry Borges. E foi precisamente com base nesta nova capacidade analítica que Ferry Borges, com a colaboração activa do Eng. Eduardo Romano Arantes e Oliveira, pôde conceber a solução estrutural que viria a ser adoptada pelos projectistas americanos, na análise estrutural da ponte suspensa sobre o Tejo, em Lisboa. Consegiu-se, assim, dispor de uma solução estrutural inovadora de viga de rigidez contínua, que é ainda hoje recorde mundial para a circulação rodo-ferroviária (recorda-se que na nova ponte suspensa de Hong Kong, que tem um maior vão, o tráfego ferroviário é apenas de passageiros). Com esta solução estrutural minimizaram-se designadamente os problemas criados pelas elevadas deformações induzidas no tabuleiro pelas sobrecargas aplicadas pelos comboios, que desde 1999 circulam na Ponte 25 de Abril.



Eduardo R. Arantes e Oliveira (prestação de provas para Especialista, 1965)

Ainda na década de 60 assistiu-se a uma evolução muito significativa do cálculo automático de estruturas, acompanhada da automatização dos métodos matriciais e do desenvolvimento do método dos elementos finitos. Em 1962, foi organizada pelo LNEC uma importante reunião de carácter internacional, o Simpósio sobre Utilização de Computadores em Engenharia Civil. Este simpósio

realizou-se nas instalações do LNEC e incluiu uma participação significativa dos seus quadros. Nesse mesmo ano foi criado o Centro de Cálculo Automático do LNEC, na Divisão de Matemática Aplicada (DMA), chefiada por E. R. Arantes e Oliveira. A DMA era uma das divisões do Serviço de Edifícios e Pontes, o qual centralizava no LNEC a exploração do computador.

Em 1963, foi instalado no Centro de Cálculo Automático do LNEC um computador NATIONAL ELLIOTT da 2ª geração e, em 1968, um computador ELLIOTT 4100 com 24K de memória, da 3ª geração. Data de 1965 a publicação dos primeiros PCA (Programa de Cálculo Automático) para cálculos de estruturas. Os programas respectivos foram desenvolvidos na DMA e eram utilizados quer pelos outros serviços do LNEC, quer por técnicos do exterior, mediante o preenchimento e entrega de folhas de dados, cujos resultados eram posteriormente fornecidos. Em 1966, foi organizada pelo LNEC uma importante reunião, também de carácter internacional, o Simpósio Internacional sobre Pontes Suspensas. Este simpósio realizou-se nas instalações do LNEC e incluiu uma participação significativa dos seus investigadores, designadamente na apresentação das actividades de investigação realizadas no âmbito da modelação e observação estrutural da ponte suspensa sobre o Tejo, então recentemente inaugurada.

Na década de 70 procedeu-se à actualização e desenvolvimento de novos PCA nas Divisões de Matemática Aplicada e Dinâmica Aplicada do Serviço de Estruturas, que se ocupavam da sua exploração. Nesta década, assistiu-se a um desenvolvimento importante da análise matricial de estruturas e dos métodos de resolução de grandes sistemas de equações, o que começou a possibilitar o cálculo em computador de estruturas de maior complexidade. Assinala-se igualmente uma importante actividade de formação nestes domínios, dirigida ao meio técnico nacional nas décadas de 60 e 70, de que se destaca o Curso 129 – Análise Matricial de Estruturas, por António Segadães Tavares (LNEC, 1973). Em 1974 é extinta a DMA e são criadas, em sua substituição, a Divisão de Análise Estrutural e a Divisão de Informática. Na mesma data o Centro de Cálculo Automático do LNEC passou para a Divisão de Informática, a qual se autonomizou do Serviço de Estruturas em Outubro de 1974.

Na década de 80 desenvolvem-se ainda de forma significativa os métodos de resolução de grandes sistemas de equações e as técnicas de programação em análise estrutural, permitindo a execução de programas cada vez mais sofisticados. Inicia-se a utilização do computador para controlo de ensaios, aquisição de dados e seu processamento. Mantém-se a actividade de exploração corrente dos PCA pela Divisão de Análise Estrutural, que passara entretanto a designar-se Núcleo de Análise Estrutural (NAE). São desenvolvidos novos programas de estruturas e actualizados os existentes.

O aparecimento e crescente divulgação dos computadores pessoais tornaram premente a disponibilidade de programas de cálculo automático de estruturas para esses computadores. Nesse contexto, o NAE adaptou de forma progressiva os seus programas, de modo a torná-los acessíveis ao meio técnico exterior, através da comercialização de software de estruturas para microcomputadores e computadores de médio porte. O recurso ao computador central para a análise de estruturas, bem como a comercialização de software, foram actividades que se

4 40 anos de computação científica e técnica no LNEC. Carlos Campos Morais. LNEC, Lisboa, 1987.

desenvolveram com grande intensidade até ao princípio dos anos 90, atingindo plenamente os seus objectivos de apoio ao meio técnico nacional e de divulgação do cálculo automático no nosso país. O posterior surgimento no mercado de diversos programas de cálculo automático de estruturas tornou a manutenção desta actividade no âmbito do NAE desnecessária, pelo que foi encerrada. Como já se referiu, o NAE foi extinto em 1999, tendo as suas actividades sido redistribuídas pelos outros Núcleos do DE.

Actividades do Núcleo de Observação de Estruturas – NOE

Observação de estruturas

A observação e caracterização do comportamento de estruturas foi uma actividade iniciada por Manuel Rocha ainda no âmbito do Centro de Estudos de Engenharia Civil (1941-46), e o seu sucesso inicial é em grande parte fruto dos conhecimentos por ele adquiridos nos estágios realizados em centros de investigação estrangeiros, designadamente como bolseiro do IAC na Escola Politécnica Federal de Zurique (1944-45). A atenção dedicada por Manuel Rocha ao desenvolvimento inicial desta actividade é aliás bem comprovada pelo seu empenho na preparação e realização de um importante Simpósio Internacional da RILEM efectuado no LNEC em 1955, o qual foi exclusivamente dedicado à observação de estruturas⁵.

No DE, esta actividade foi principalmente desenvolvida no Núcleo de Observação de Estruturas (NOE), chefiado pelo Eng. José Marecos entre 1961 e 1989⁶. Este Núcleo tem mantido uma importante intervenção em diversas obras, na sua maioria pontes, dada a maior relevância que estas normalmente assumem. O NOE tem também sido, no entanto, chamado a intervir na observação de outros tipos de estruturas, nomeadamente de edifícios, de reservatórios, de silos ou de docas de construção ou reparação naval. A especificidade inerente à realização de trabalhos experimentais efectuados *in situ*, ou seja, em condições de trabalho particularmente difíceis, características designadamente de um estaleiro de construção civil, implicou a necessidade de desenvolver equipamentos, técnicas e metodologias adequadas à correcta observação e modelação estrutural.



1

Esta actividade do NOE tem sido exercida com o importante apoio de outros sectores do LNEC, nomeadamente o actualmente designado Centro de Instrumentação Científica (CIC). De entre a mais importante aparelhagem desenvolvida no LNEC, podem referir-se os extensómetros acústicos, os alongâmetros, os clinómetros, os medidores de juntas,

5 RILEM, Symposium on the observation of structures. LNEC, Lisbon, 1955.

6 *The 40 years of LNEC experience on observation and testing of bridges and special structures.* José Marecos. LNEC, Lisbon, 1986.



2



3

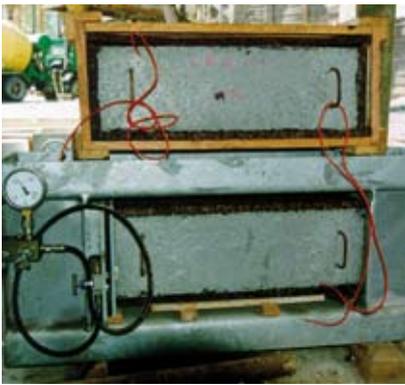
os coordenómetros, os sistemas de nivelamento hidrostático, ou os sistemas de retracção e fluência. Um bom exemplo do carácter pioneiro e inovador desta actividade foi o sistema automático utilizado, com grande sucesso, na medição dos deslocamentos verticais e horizontais do tabuleiro da ponte suspensa sobre o Tejo, constituído por óculos automáticos, servocontrolados por focos de luz. Este sistema foi idealizado, projectado, executado e instalado pelo LNEC ainda nos anos 60. Muitos dos outros equipamentos utilizados pelo NOE, embora não totalmente desenvolvidos pelo LNEC, exigem igualmente uma complexa e especializada actividade de aferição e de adaptação aos fins em vista, realizada normalmente com o apoio do CIC.

O primeiro grande trabalho de observação de pontes em que o LNEC teve intervenção iniciou-se ainda em 1948, e tratou-se da monitorização estrutural e ensaio de carga da ponte sobre o rio Sousa, cuja estrutura se baseia num arco de betão com 115 m de vão. A seguir a esta estrutura várias dezenas de obras foram instrumentadas pelo LNEC durante a sua construção, com a

1 José Marecos

2 Ensaio de carga da ponte sobre o rio Sousa, efectuado em 1948

3 Ensaio de carga da ponte sobre o rio Corgo, na A24, efectuado em 2004



1



2



3

finalidade de serem observadas ao longo do tempo, destacando-se algumas delas pela sua maior relevância, nomeadamente, a ponte da Arrábida (1961-63), a ponte 25 de Abril (1963-66), a ponte Rio-Niterói no Brasil (1971-73), as docas da Setenave (1974-79), a ponte Internacional do Guadiana (1986-91), a ponte do Arade (1988-91), a ponte São João (1986-91), a ponte da Régua (1996-98), a ponte Salgueiro Maia (1998-2000), ou a ampliação da pista do Aeroporto Internacional da Madeira (1997-2000). Refira-se também a notável coordenação pelo DE da complexa assessoria técnica do LNEC à construção da ponte Vasco da Gama (1995-98), iniciada ainda na fase de concepção e mantida após a sua entrada em serviço. O NOE participou igualmente no ensaio de carga de várias centenas de estruturas, na sua esmagadora maioria pontes e viadutos, embora tenha tido também intervenção na instrumentação e observação de edifícios emblemáticos, como por exemplo o Palácio de Cristal, no Porto, o edifício do Parque Central de Caracas, na Venezuela, o Hotel Ritz, em Lisboa, ou o Oceanário, também nesta cidade.

O grande número de obras que têm vindo a ser observadas pelo NOE, nos últimos sessenta anos, tem permitido reunir uma importante base de dados experimentais, praticamente única a nível mundial. Estes dados, grande parte dos quais directamente recolhidos *in situ*, têm não só assegurado o controlo e a verificação da segurança estrutural dessas obras, como também contribuem, através da sua adequada exploração e análise, para a realização no LNEC de importantes actividades de investigação. Estas actividades têm ao longo dos anos conduzido à elaboração de teses para obtenção dos graus de Especialista do LNEC ou de Doutor, em domínios como a caracterização de acções em estruturas, a optimização estrutural, ou o comportamento ao longo do tempo de estruturas. A grande actividade e experiência deste Núcleo, na observação de estruturas, deu origem à sua participação nos comités técnicos da RILEM, TBS-20 – Testing Building Structures in Situ e LTO 45 – Long Term Observation of Structures.

Para além desta actividade, o NOE esteve sempre ligado ao desenvolvimento da regulamentação nacional de estruturas, tendo participado em diversos cursos de especialização em segurança estrutural, dos quais se destaca, pela sua importância a nível internacional, o Course 101 – Structural Safety, by J. Ferry Borges and M. Castanheta (LNEC, 1st ed. 1968, 2nd ed. 1971).

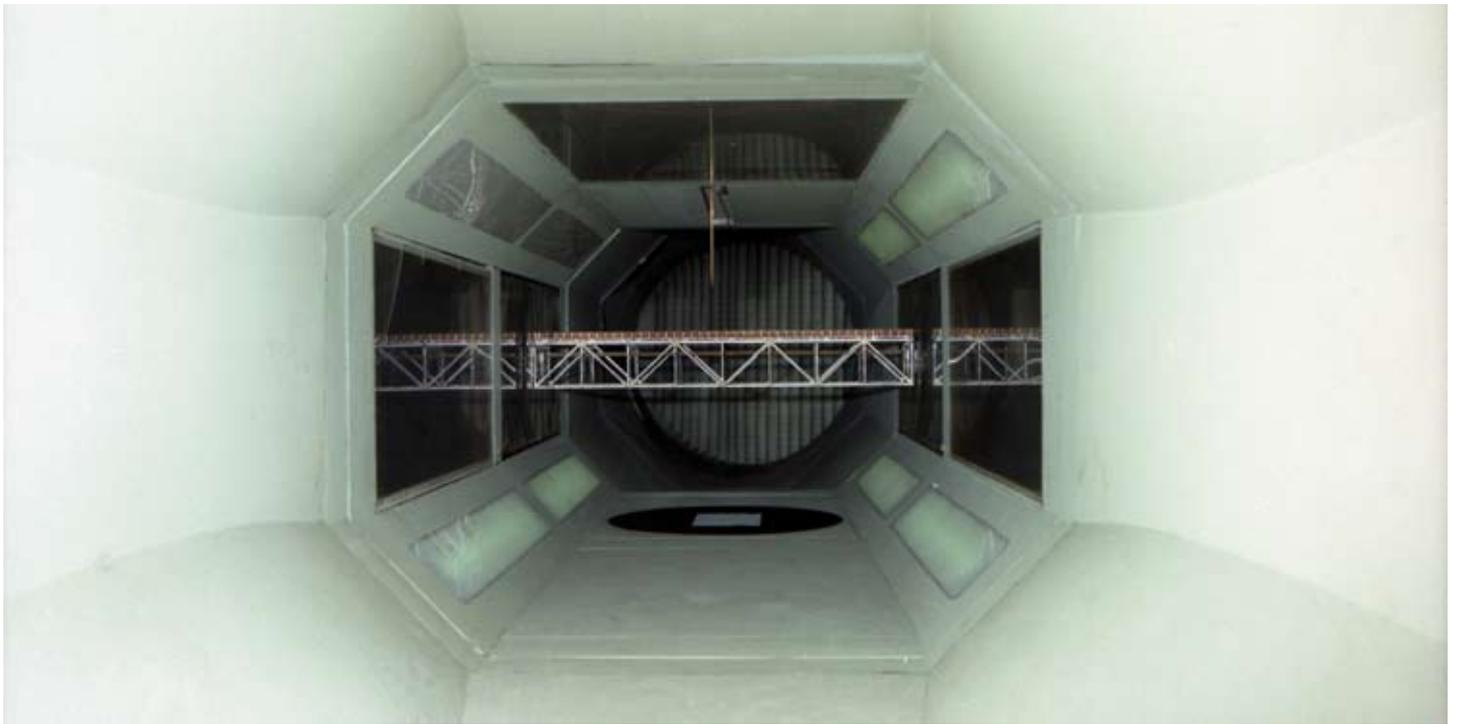
Aerodinâmica aplicada

O aumento da construção em altura, por um lado, e a utilização de materiais que conduzem a estruturas cada vez mais leves, por outro, são factores que acentuam a importância da acção do vento no dimensionamento estrutural. A conseqüente tomada de consciência da importância da aerodinâmica das construções leva a que, em projecto, se procure assegurar quer a segurança estrutural, quer o conforto dos utentes. A procura de soluções passa frequentemente pelo recurso a ensaios sobre modelos reduzidos, o que levou o LNEC a projectar e a construir o seu primeiro túnel de vento em 1969. Trata-se de um túnel “aeronáutico” de circuito fechado, com uma câmara de ensaios de $1,2 \times 1,0 \times 3,0 \text{ m}^3$ e velocidade variável de 0 a 50 m/s, e que é ainda hoje uma peça fundamental no sector.

Por este túnel de vento passaram ensaios relevantes como a torre da antena da RTP em Monsanto; o grande pórtico da Lisnave; a ponte suspensa sobre o Tejo na versão inicial e nas versões com o tabuleiro rodoviário alargado e com a via-férrea; o grande hangar 6 da TAP; as torres de Caracas; o parque de carvão de uma central térmica; as torres de arrefecimento da central do Pego; as pontes do Arade e Vasco da Gama; o Pavilhão Atlântico; a nova FIL; as duas torres de Monsanto; ou o modelo parcial do actual aeroporto da Madeira.

Os ensaios no âmbito dos estudos prévios da estrutura de ampliação da pista do Aeroporto da Madeira criaram a necessidade de ensaiar modelos de maior dimensão, pelo que o LNEC construiu um segundo túnel de vento, em 1993. Trata-se de um túnel de secção aberta, com uma câmara de ensaios de $3,0 \times 2,0 \times 9,0 \text{ m}^3$ e velocidade variável de 0 a 18 m/s. Foram aqui também ensaiados modelos do MARL, do edifício Vodafone, de três Estádios do Euro 2004 e de edifícios com fachadas de dupla pele. Para além dos exemplos referidos, o sector tem-se ocupado também dos problemas associados à ventilação de edifícios (Siderurgia Nacional, CIMPOR, edifícios de habitação em Matosinhos e Gondomar) e dos relativos ao conforto e segurança pedonais, à avaliação de potencial eólico e à consultoria na definição de implantação de parques eólicos. A colaboração com outras instituições de investigação tem sido frequente, fruto

- 1 Caracterização *in situ* da retracção e da fluência do betão
- 2 Medição de rotações através de clinómetros eléctricos
- 3 Automatização das medições através de *dataloggers*



1



2

de uma cada vez maior interdisciplinaridade das solicitações postas ao DE, e do crescente apoio a trabalhos de tese de Mestrado e de Doutoramento.

Actividades do Núcleo de Dinâmica Aplicada – NDA

O Departamento de Estruturas do LNEC tem, como já se referiu, uma longa experiência nos domínios da engenharia sísmica e dinâmica de estruturas, sendo uma das instituições de referência a nível europeu nestes domínios. A investigação europeia em engenharia sísmica teve início no final da década de 50, tendo sido o LNEC, na pessoa do Eng. Júlio Ferry Borges, o seu principal impulsionador, nas vertentes experimental e teórica.

No LNEC, a experimentação em engenharia sísmica e dinâmica de estruturas teve início, de forma continuada, na década de 60, no âmbito da actividade da então Divisão de Dinâmica Aplicada (DDA), precursora do actual NESDE (Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas). Essa actividade ganhou maior dimensão e importância na década de 70, altura em que o LNEC concebeu

e desenvolveu uma nova plataforma sísmica uniaxial. Foi com esta plataforma uniaxial que o LNEC realizou, nessa década, ensaios sísmicos a protótipos de painéis de comando dos reactores que iriam operar em centrais nucleares espanholas, e que testou equipamentos electrónicos de grande sensibilidade sujeitos à acção de vibrações intensas, nomeadamente de grandes baterias de submarinos e de postos de transformação de subestações de alta potência.

A capacidade do LNEC nesta importante área foi reforçada com a nova plataforma sísmica com três graus de liberdade, com construção iniciada em 1992, que obteve o financiamento da União Europeia, e cuja concepção e projecto originais foram integralmente levados a cabo no LNEC. Assim, em 1996 foi inaugurada uma moderna nave de ensaios, pensada, construída e equipada para realizar ensaios sísmicos de estruturas de grande porte, vindo a ser a única unidade laboratorial portuguesa integrada no conjunto das Grandes Instalações de Investigação Científica da União Europeia. Completados cerca de dez anos desde a sua entrada em operação, foi já realizado um número significativo de ensaios de grande envergadura, por vezes com a colaboração de investigadores provenientes de diversas instituições europeias.

Simultaneamente com a actividade experimental, surgiu desde cedo, no LNEC, a primeira geração de investigadores dedicada ao estudo do fenómeno sísmico, com particular ênfase na análise do comportamento sísmico de estruturas de edifícios e pontes, tema aliás já enquadrado pela tese submetida por Ferry Borges em 1954. Este investigador, que foi o principal dinamizador e responsável pela elaboração da regulamentação nacional de estruturas, foi também o principal promotor do primeiro Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos (1958), elaborado na sequência do

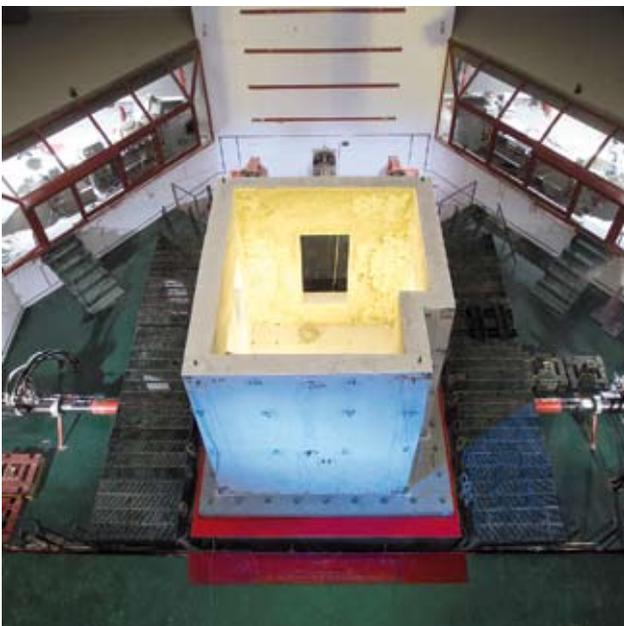
- 1 Ensaio em túnel aerodinâmico do tabuleiro da Ponte 25 de Abril (versão inicial)
- 2 Modelo do Estádio Alvalade XXI para ensaio em túnel aerodinâmico



1



2



3

Simpósio sobre “A acção dos sismos e a sua consideração no cálculo das construções”, que fora organizado, com a sua activa participação, em 1955, na Ordem dos Engenheiros, para assinalar o bicentenário do sismo de 1755.

Nas décadas de 60 e 70, a modelação estocástica das acções sísmicas e da resposta das estruturas a essas acções foi matéria de destaque nacional e internacional, com contributos notáveis dos primeiros colaboradores desta área: os Engenheiros Jervis Pereira, Artur Ravara e Teixeira Duarte. O LNEC tem também assumido a liderança a nível nacional da investigação nas matérias relacionadas com a perigosidade sísmica, a caracterização da acção sísmica, a avaliação do risco, e o desenvolvimento de estratégias e técnicas com vista à redução da vulnerabilidade sísmica. Foi na DDA que, na década de 70, se realizaram os primeiros estudos probabilísticos de perigosidade sísmica em Portugal, com o contributo do Eng. Carlos Sousa Oliveira, que permitiram um melhor estabelecimento das acções sísmicas para efeitos regulamentares no nosso país.

Em 1986, foi organizada pelo LNEC uma importante reunião de carácter internacional, a European Conference on Earthquake Engineering. Esta Conferência Europeia realizou-se nas instalações do LNEC e incluiu uma forte participação dos seus investigadores. Assinala-se igualmente uma importante actividade de formação nestes domínios, desenvolvida pelo DE nas décadas de 60 e 70 e dirigida ao meio técnico nacional, de que se destacam os Course 113 – Earthquake engineering, Seismic design of reinforced concrete buildings, by J. Ferry Borges and A. Ravara (LNEC, 1969) e o Curso 111 – Dinâmica de Estruturas, por Artur Ravara (LNEC, 1969).

A partir dos finais da década de 80, o LNEC acompanhou, como já se referiu, a implementação em Portugal dos Eurocódigos Estruturais, nomeadamente através da sua participação na Comissão Técnica de Normalização CT 115, inicialmente presidida por Ferry Borges. Neste campo, tem sido assegurado pelo NESDE o Secretariado

- 1 Júri de provas para Especialista, 1983: Francisco Carvalhal, R. Teixeira Duarte, Janeiro Borges, J. Ferry Borges, Artur Ravara, Mário Castanheta e Jervis Pereira
- 2 Ensaio de equipamentos eléctricos de alta tensão na plataforma uniaxial
- 3 Nave de Ensaio com plataforma sísmica com três graus de liberdade



da Subcomissão do Comité Europeu de Normalisation (CEN), responsável, a nível europeu, pela preparação do Eurocódigo 8 (norma europeia para dimensionamento sísmico de estruturas). São desenvolvidos estudos no âmbito: i) da aplicação do Eurocódigo 8 em Portugal; ii) da revisão da actual regulamentação nacional para dimensionamento sísmico de estruturas; iii) da elaboração de recomendações específicas para o projecto de estruturas especiais e de estruturas não abrangidas (ou pouco cobertas) pela actual regulamentação nacional ou pelo Eurocódigo 8 (lajes fungiformes, estruturas pré-fabricadas, etc.); iv) e da preparação de recomendações específicas para reabilitação e reforço sísmico de estruturas.

Nos dias de hoje, o NESDE prossegue o desenvolvimento da actividade de investigação científica e de desenvolvimento tecnológico nos diversos domínios da Engenharia Sísmica e na manutenção e exploração das duas plataformas sísmicas (triaxial e uniaxial), em colaboração com outras instituições europeias de investigação, no âmbito de projectos financiados pela União Europeia (figura 3 da pág. anterior). O objectivo principal da actividade actualmente em curso consiste em prosseguir na obtenção de um melhor conhecimento de toda a fenomenologia ligada à acção dos sismos sobre as construções, tendo em vista o desenvolvimento de estratégias de mitigação do risco sísmico em Portugal e na Europa, através, nomeadamente, da definição de novas normas e disposições regulamentares de apoio ao dimensionamento sísmico das estruturas (projecto de construções novas e reforço das existentes).

Refira-se ainda que, em 2005, foi organizada pelo DE, em colaboração com as maiores instituições científicas nacionais, uma importante reunião de carácter internacional, a International Conference on the 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, com a activa participação dos investigadores do LNEC.

Acções de divulgação na área da Engenharia de Estruturas

Como nota final, assinala-se ainda uma importante actividade de realização no LNEC de grandes Simpósios ou Congressos, exercida pelo DE, normalmente em cooperação com as principais associações científicas e técnicas, nacionais ou internacionais, da área da Engenharia de Estruturas.

Esta actividade foi desenvolvida de forma mais continuada a partir de 1982, com a realização, por iniciativa do DE, das Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, as quais vieram a ter novas edições, também no LNEC, em 1990, em 1998 e em 2006, ou seja, com uma periodicidade de oito anos. Realizaram-se também no LNEC, com a participação activa do DE, entre outros, os encontros nacionais promovidos pelo GPPE/GPBE em 1986, 1990, 1992, 1996, 1998, 2002 e 2006 e os eventos promovidos pelo GPPE/APEE, designadamente o encontro nacional REPAR2000 e o Congresso ESTRUTURAS2002. A nível internacional, recorda-se o grande sucesso obtido pela realização da Conferência Europeia de Engenharia Sísmica, em 1986, pelo Simpósio da IABSE Durability of Structures, em 1989, pela Conferência Internacional New

Colapso de um edifício em alvenaria não reforçado
(Projecto ECOLEADER LIS)

Technologies in Structural Engineering, em 1997, e pelo Simpósio da IABSE Structures and Extreme Events, em 2005. Todas estas grandes reuniões foram realizadas no LNEC e lideradas por investigadores do DE.

Refira-se, finalmente, que desde 1978 é publicada a Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, impressa no LNEC e editada pelo Departamento de Estruturas.