

24_31

OBRAS COSTEIRAS ESTUDOS EM MODELO REDUZIDO DE OBRAS MARÍTIMAS DA REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES

Atendendo ao seu carácter histórico, o presente artigo insere-se num conjunto de ações do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), no âmbito das comemorações dos 70 anos da sua existência, efeméride que se celebra no presente ano de 2018. Assim, este documento apresenta uma resenha da atividade desenvolvida no âmbito dos estudos em modelos físicos de obras marítimas, pelo DHA desde a sua fundação, em 1948, e para a Região Autónoma dos Açores (RAA).

Pela sua insularidade, as populações da RAA estão naturalmente ligadas ao mar, nas suas mais diversas vertentes, muito dependendo a sua qualidade de vida das infraestruturas portuárias existentes em cada ilha, que permitem os indispensáveis movimentos de pessoas e de mercadorias e que muito contribuem para a coesão social e económica do arquipélago. Em virtude do papel decisivo assumido pelos portos na RAA, foi ao longo dos anos dada especial atenção à conceção destes equipamentos infraestruturais, tendo o LNEC desempenhado um papel relevante no capítulo reservado à verificação de projetos de obras marítimas de proteção portuária, especialmente através da realização de estudos em modelo físico reduzido, enquanto ferramenta mais válida para a concretização daquele objetivo, quer no passado, quer também no presente.

Desde a fundação do Serviço de Hidráulica do LNEC, em 1948, foram inúmeros os estudos em modelo físico reduzido realizados para obras marítimas da RAA. O primeiro estudo em modelo reduzido de que há registo foi iniciado na segunda metade da década de 50, tendo o respetivo relatório sido publicado em março de 1958. Tratou-se de um estudo em modelo reduzido tridimensional com vista à definição do lay-out das obras marítimas de proteção do porto de Vila do Porto (Ilha de Santa Maria), em estrito cumprimento de requisitos que haviam sido estabelecidos, do ponto de vista da agitação marítima no interior da bacia portuária. Ao longo dos 70 anos de vida do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) foram então efetuados, no LNEC e sob a orientação dos seus técnicos, 51 estudos em modelo físico reduzido de obras projetadas para a RAA, para todas as ilhas do arquipélago, com exceção da Ilha do Corvo.

Luís Gabriel Silva
Engenheiro Civil – Técnico Superior do LNEC

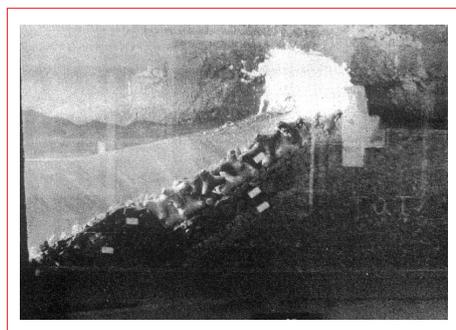
A maior parte dos estudos realizados teve por objetivo a verificação das condições de estabilidade e de galgamentos das soluções projetadas, embora se tivessem igualmente realizado, em menor número, ensaios de agitação que tiveram como objetivo caracterizar

a agitação marítima em bacias portuárias ou em faixas específicas da orla costeira e ainda ensaios de avaliação de pressões induzidas pela agitação marítima em alguns elementos específicos das estruturas.

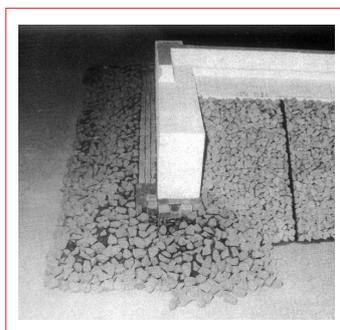
Nos quadros seguintes procede-se à apre-

sentação, por ordem cronológica, de todos os estudos em modelo físico reduzido (modelos tridimensionais – 3D; e modelos bidimensionais – 2D) realizados para a RAA desde a fundação do DHA, fazendo-se um breve resumo dos objetivos associados a cada um deles.

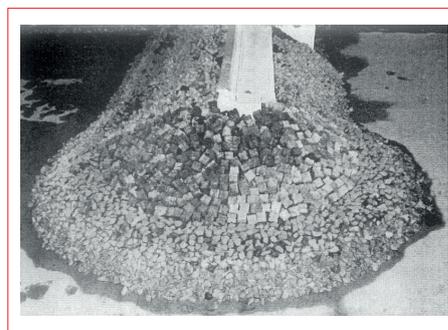
Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Obras portuárias de Vila do Porto (modelo 3D)	Santa Maria	1956-1960	Verificação das condições de agitação marítima no interior da bacia portuária.
Ensaio em modelo reduzido do porto de Angra do Heroísmo (modelo 2D e modelo 3D)	Terceira	1958-1969	Entre outros objetivos, os estudos realizados neste período centraram-se no estabelecimento de uma obra absorvente ao longo da Avenida Marginal e na própria extensão do porto de Pipas.
Estudo sobre o prolongamento do molhe de Ponta Delgada (modelo 3D)	S. Miguel	1961-1967	Verificação das condições de agitação marítima no interior da bacia portuária.
Ensaio em modelo reduzido do cais do porto de Pipas (modelo 2D e modelo 3D)	Terceira	1965	Determinação das causas de avarias ocorridas durante o temporal de 9 a 13 de fevereiro de 1965 e apresentação das medidas corretivas tecnicamente mais válidas.
Ensaio de estabilidade da cabeça do molhe-cais do porto da Praia (modelo 3D)	Graciosa	1982-1984	Ensaio de estabilidade e galgamentos destinados a selecionar qual a configuração mais apropriada para a cabeça da estrutura.
Ensaio de estabilidade e galgamentos das obras do porto da Praia da Vitória (modelo 2D e modelo 3D)	Terceira	1982-1984	Verificação da estabilidade e dos galgamentos do perfil-tipo do troço final do quebra-mar e verificação da estabilidade do perfil de rotação da cabeça e troço adjacente.
Estudo em modelo reduzido do molhe-cais de Vila do Porto (modelo 2D – Fig. 1 e modelo 3D – Figs. 2 e 3)	Santa Maria	1984-1985	Verificação das condições de estabilidade do perfil-corrente da estrutura e avaliação dos galgamentos admitidos. Seleção da solução mais adequada para a cabeça e verificação da sua estabilidade



> 1



> 2



> 3

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Reformulação do quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória (modelo 2D – Fig. 4)	Terceira	1987-1988	Verificação das condições de galgamento de alternativas ao perfil de projeto
Estudos em modelo reduzido do molhe-cais de Vila do Porto. (modelo 2D e modelo 3D)	Santa Maria	1987-1988	Reprodução do acidente de fevereiro de 1987 para determinação das causas que lhe poderiam ter estado associadas e avaliação das condições de segurança da solução de reconstrução. Tendo o acidente ocorrido durante a fase de construção da estrutura, os ensaios demonstraram que os galgamentos estiveram na base do derrube do muro-cortina, por escavação do material situado no tardo (Fig. 5).
Ensaio em modelo reduzido do porto de S. Roque. (modelo 3D – Fig. 6)	Pico	1987-1989	Verificação das condições de galgamento do molhe-cais e estudo de soluções que reduzissem esse efeito.
Estudo de obras marítimas do porto das Lajes. (modelo 2D e modelo 3D)	Flores	1987-1990	Ensaio de estabilidade e galgamentos do perfil-corrente e da cabeça do quebra-mar.
Proteção da Avenida Marginal de Ponta Delgada e do porto de recreio. (modelo 2D e modelo 3D)	S. Miguel	1988-1991	Ensaio de estabilidade e galgamentos da proteção da marginal e do quebra-mar de proteção da marina Pêro de Teive. Em relação à proteção da Avenida Marginal, um dos requisitos impostos pela então Secretaria Regional do Equipamento Social dos Açores era a necessidade de galgamento "zero", aspeto que obrigou à realização de um vasto conjunto de ensaios e experiência de alternativas para a concretização desse objetivo.
Ensaio da central de energia das ondas do Porto Cachorro. (modelo 3D)	Pico	1988-1992	Ensaio da responsabilidade do IST. O LNEC cedeu instalações e procedeu à construção do modelo.



> 4



> 5



> 6

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Ensaio em modelo reduzido do molhe oeste do porto da Madalena. (modelo 3D)	Pico	1989-1990	Ensaio de estabilidade e galgamentos de uma estrutura que na altura não chegou a ser construída, embora a sua implementação fosse conveniente, como se comprovou cerca de 20 anos mais tarde.
Estudo em modelo reduzido do troço NATO do molhe do porto de Ponta Delgada (modelo 2D e modelo 3D – Fig. 7)	S. Miguel	1989-1990	Ensaio de estabilidade e galgamentos do perfil adjacente à cabeça da estrutura e do perfil de rotação da própria cabeça.
Reforço do molhe de proteção do porto da Horta. (modelo 2D e modelo 3D – Fig. 8)	Faial	1989-1991	Ensaio de estabilidade e galgamentos dos perfis propostos para o reforço do molhe e do perfil de rotação da cabeça. Comparação dos galgamentos admitidos pela solução de reforço com os admitidos pela situação atual.
Reforço do molhe-cais de Vila do Porto. (modelo 2D e modelo 3D – Fig. 9)	Santa Maria	1990-1992	Ensaio de estabilidade e galgamentos do perfil-corrente e da cabeça do molhe-cais e avaliação dos benefícios associados à construção do reforço.
Estudo em modelo reduzido do molhe do porto de pesca de S. Miguel. (modelo 2D e modelo 3D)	S. Miguel	1991-1993	Ensaio de estabilidade e galgamentos de 3 perfis do corpo e do perfil de rotação da cabeça do quebra-mar de proteção do porto, que nunca veio a ser construído.
Estudo da proteção da orla costeira da Vila das Lajes do Pico. (modelo 3D – Fig. 10)	Pico	1994-1996	Ensaio de agitação com o objetivo de caracterizar a forma como se processava a inundação da zona baixa da vila e identificar os aspetos mais relevantes que estavam na base desse acontecimento. Avaliação da eficácia de obras marítimas para combater o problema.
			Tratou-se de um modelo de grandes dimensões, no qual se reproduziu uma frente de ondas irregulares com 18 m. A primeira fase do estudo consistiu na reprodução das condições de inundação da zona baixa da vila, aspeto obrigatório para a continuidade do estudo. A situação só foi conseguida após inúmeras experiências.



> 7



> 8



> 9



> 10

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Estudos em modelo reduzido do porto de recreio de Angra do Heroísmo. (modelo 2D e modelo 3D)	Terceira	1996-1999	Ensaio de estabilidade e galgamentos do perfil-corrente do quebra-mar (em modelo 2D) e do cômputo geral da obra (em modelo 3D). Estudo de alternativas para o enraizamento do quebra-mar e para melhoria das condições de agitação no interior da bacia portuária, tendo-se mesmo avaliado o benefício associado à construção de uma estrutura adicional com enraizamento na extremidade sul do molhe-cais do porto de Pipas (Fig. 11).
Estudo em modelo reduzido do porto de pesca da Ribeira Quente. (modelo 3D)	S. Miguel	1997-1998	Ensaio de estabilidade e galgamentos do quebra-mar de proteção da bacia portuária.
	Do cômputo geral dos ensaios realizados para obras da RAA, os realizados no âmbito deste estudo foram talvez aqueles que envolveram mais soluções alternativas e em que se tornou mais difícil a obtenção de uma solução que pudesse ser considerada aceitável. Esta solução só viria a ser conseguida com recurso à alteração do lay-out do troço final do quebra-mar, afastando a cabeça da obra de uma zona onde ocorria forte rebentação mergulhante sobre os blocos do setor exterior do perfil de rotação da cabeça – Fig. 12.		
Estudo em modelo reduzido do porto de pesca de Rabo de Peixe. (modelo 3D)	S. Miguel	1997-1998	Ensaio de estabilidade e galgamentos do quebra-mar de proteção da bacia portuária, tendo-se mesmo estudado uma localização alternativa para a cabeça do quebra-mar.



> 11



> 12

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Estudo em modelo reduzido da reabilitação do molhe-cais do porto da Praia. (modelo 2D e modelo 3D – Fig.13)	Graciosa	1997-1998	Ensaio de estabilidade e galgamentos de 3 soluções alternativas para o perfil-corrente do quebra-mar, em modelo 2D. Validação, em modelo 3D, da solução selecionada e verificação do comportamento da cabeça da obra, bem como de uma zona singular junto ao enraizamento.
Estudo em modelo reduzido da proteção da marginal da Povoação. (modelo 3D)	S. Miguel	1998-1999	Ensaio de estabilidade e galgamentos do quebra-mar de proteção da marginal e verificação da sobrelevação da água do mar e das características da agitação marítima junto à costa e no interior da pequena bacia que se pretendia construir.
Construção do porto da Calheta. (modelo 3D)	S. Jorge	1999-2000	Ensaio de estabilidade e galgamentos do quebra-mar de proteção do porto e averiguação dos benefícios associados à implantação da obra, em termos da agitação marítima no interior da baía da Calheta.
Alternativa para o reforço do troço final do quebra-mar de proteção do porto da Horta. (modelo 3D)	Faial	1999-2000	Ensaio de estabilidade e galgamentos da solução alternativa apresentada pelo projetista para o reforço do troço final do molhe, substituindo, assim, a solução que havia sido ensaiada no LNEC entre 1989 e 1991.
Estudo da cabeça do molhe-cais do porto de S. Roque. (modelo 3D)	Pico	2000-2001	Ensaio de estabilidade e galgamentos de duas soluções para a cabeça do molhe-cais e de algumas intervenções preconizadas para o perfil-corrente da obra (Fig. 14 – cabeça semi-vertical).
Quebra-mar oeste do porto de S. Roque. (modelo 3D – Fig. 15)	Pico	2000-2001	Avaliação dos benefícios associados à construção do quebra-mar, do ponto de vista dos galgamentos da proteção do terraplino portuário e verificação das condições de estabilidade e galgamento da obra.



> 13



> 14



> 15

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Construção do porto de recreio de Vila Franca do Campo. (modelo 3D – Fig. 16)	S. Miguel	2001-2002	Ensaio de estabilidade e galgamentos das obras de proteção portuária, avaliação das condições de abrigo por elas proporcionadas e registo de sobrelevações no interior do porto.
Proteção da orla costeira adjacente à piscina das Poças, na Ribeira Grande. (modelo 3D – Fig. 17)	S. Miguel	2001-2002	Ensaio de estabilidade e galgamentos do conjunto de obras projetado e também de algumas variantes.
Melhoria das condições de abrigo do portinho de S. Pedro (Lagoa). (modelo 3D – Fig. 18)	S. Miguel	2002-2003	Ensaio de estabilidade e galgamentos do conjunto de obras projetado e avaliação das condições de agitação marítima no interior do porto.
Estudo do Terminal de Passageiros do porto de Ponta Delgada. (modelo 3D – Figs. 19 e 20)	S. Miguel	2003-2004	Verificação das consequências, em termos da agitação marítima na bacia portuária, da construção do Terminal de Passageiros. Confirmação das condições de agitação junto ao novo terminal. Contribuição para uma melhor compreensão dos fenómenos hidrodinâmicos resultantes da interação das ondas com a estrutura do novo terminal. Avaliação do galgamento do terminal.
Proteção da orla costeira da Vila das Lajes do Pico. (modelo 3D)	Pico	2003-2004	Avaliação do benefício associado à construção de um quebra-mar destacado em frente da zona baixa da vila, relativamente ao risco de inundação por galgamento, e estudo da estabilidade da estrutura e dos galgamentos por ela admitidos.



> 16



> 17



> 18

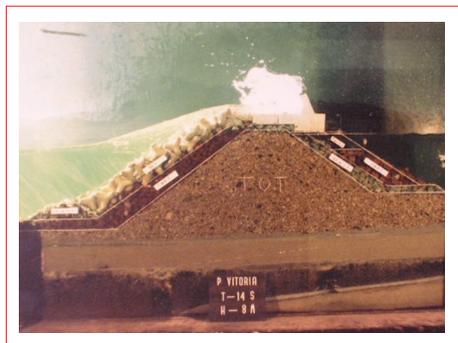


> 19



> 20

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Reconstrução do quebra-mar sul do porto da Praia da Vitória. (modelo 2D – Fig. 21)	Terceira	2004	Ensaio de estabilidade e galgamentos do perfil proposto para a reconstrução do quebra-mar, após a destruição ocorrida em dezembro de 2001.
Núcleo de recreio do porto de Vila do Porto. (modelo 3D – Fig. 22)	Santa Maria	2004-2005	Verificação das implicações da construção do núcleo de recreio na agitação marítima no interior do porto; verificação das condições de abrigo no porto de recreio; e ensaios de estabilidade e galgamentos do quebra-mar de proteção do núcleo de recreio.
Reparação do quebra-mar de proteção do porto das Lajes. (modelo 2D)	Flores	2004-2005	Ensaio de estabilidade e galgamentos do perfil-corrente da reparação necessária na sequência do temporal de março de 2002.
Estudo em modelo reduzido do porto de pesca de Vila Franca do Campo. (modelo 3D)	S. Miguel	2006-2007	Ensaio de estabilidade e galgamentos do quebra-mar a construir e caracterização da agitação marítima no interior do porto.
Ensaio em modelo reduzido do porto de pesca de S. Mateus. (modelo 3D)	Terceira	2007	Ensaio de estabilidade e galgamentos das estruturas de abrigo e caracterização da agitação marítima no interior do porto.
Ensaio em modelo reduzido do porto da Horta. (modelo 3D - Fig. 23)	Faial	2007-2008	Avaliação das condições de agitação marítima na entrada e no interior da bacia portuária.
Correção do cais para ferries do porto de Vila do Porto. (modelo 3D - Fig. 24)	Santa Maria	2007-2008	Ensaio de estabilidade, galgamentos, agitação e ainda de avaliação das pressões induzidas pelas ondas sob a nova laje prevista para o terminal.



> 21



> 22



> 23



> 24

OBRAS COSTEIRAS

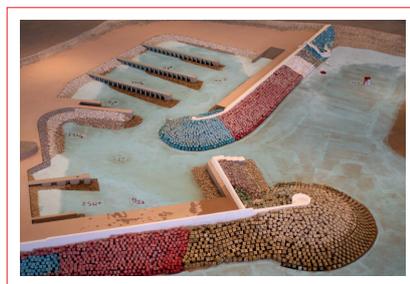
Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Ensaio em modelo reduzido do porto da Madalena. (modelo 3D - Fig. 25)	Pico	2008-2009	Avaliação das características da agitação marítima no exterior e no interior do porto e avaliação de sobrelevações do nível da água. Verificação da estabilidade e dos galgamentos das obras projetadas.
Estudo de troços singulares do quebra-mar norte do porto da Horta. (modelo 3D)	Faial	2008-2009	Ensaio de estabilidade e galgamentos da cabeça do quebra-mar e do troço com desenvolvimento curvo do seu corpo.
Porto da Horta. Ensaio de uma estrutura para fechamento do fundo do saco do porto (modelo 3D)	Faial	2008-2009	Avaliação das condições de reflexão e de transmissão de uma estrutura transparente constituída por laje assente sobre caixotões.
Ensaio em modelo reduzido da marina Pêro de Teive. (modelo 3D - Fig. 26)	S. Miguel	2009-2010	Estudo de agitação do conjunto marina/terminal de cruzeiros e avaliação de pressões na face inferior da laje daquele terminal.
Estudo de um perfil alternativo para o quebra-mar norte do porto da Horta. (modelo 2D)	Faial	2009-2010	Ensaio de estabilidade e galgamentos de comparação do comportamento de dois perfis.
Obras de expansão do porto de pesca de Rabo de Peixe. (modelo 3D - Fig. 27)	S. Miguel	2010-2011	Verificação da tranquilidade portuária e avaliação de sobrelevações no interior da bacia portuária. Verificação da estabilidade e avaliação dos galgamentos das novas obras marítimas e da reparação proposta para o quebra-mar antigo.
Estudo em modelo reduzido do porto da Madalena. (modelo 3D)	Pico	2010-2011	Ensaio de estabilidade e galgamentos dos quebra-mares de proteção do núcleo de recreio e dos troços situados nas imediações do terminal de passageiros previsto. Avaliação das condições de galgamento do terminal de passageiros e das rampas ro-ro, bem como da tranquilidade da bacia portuária.



> 25



> 26

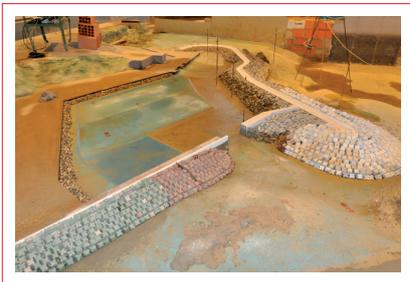


> 27

Estudo	Ilha	Ano	Objetivos
Estudo em modelo reduzido do porto das Velas. (modelo 3D - Fig. 28)	S. Jorge	2011	Avaliação das características da agitação marítima no interior da bacia portuária, com medição de sobrelevações. Ensaio de estabilidade e galgamentos do prolongamento do molhe-cais.
Estudo em modelo reduzido do núcleo de pesca do porto da Madalena. (modelo 3D)	Pico	2011-2012	Ensaio de agitação de uma pequena bacia portuária e ensaio de estabilidade e galgamentos da sua estrutura de proteção.
Ensaio em modelo reduzido do porto das Poças. (modelo 3D - Fig. 29)	Flores	2011-2012	Verificação da tranquilidade portuária e das condições de estabilidade e de galgamentos para duas soluções.
Ensaio em modelo reduzido da expansão do porto de S. Roque. (modelo 3D - Fig. 30)	Pico	2012	Determinação das características da agitação marítima na zona de aproximação ao porto. Caracterização da tranquilidade portuária para a solução projetada e sua comparação com a situação atual. Avaliação de sobrelevações no interior da bacia portuária e estudo da estabilidade e dos galgamentos das novas estruturas de acostagem e de abrigo, exteriores e interiores



> 28



> 29



> 30

Esta detalhada apresentação ilustra os contributos efetivos do Departamento de Hidráulica e Ambiente do LNEC na construção de infraestruturas portuárias na RAA, com relevância para o período posterior a meados da década de 80 do séc. XX, altura em que o processo de expansão portuária começou a ser mais intenso. O recurso a ensaios em modelo físico reduzido enquanto ferramenta de eleição, bem como a elevada experiência da equipa do DHA foi e continua a ser fundamental para a resolução eficaz de muitos dos problemas de Engenharia Costeira e Portuária com que as infraestruturas portuárias da RAA se têm deparado.

O volume de trabalho efetuado para a RAA foi de tal forma importante para o LNEC, que

esteve na base da orientação de algumas das suas estratégias, justificando, por exemplo, a aquisição de equipamento com determinadas características, sem o qual o estudo de obras marítimas para a RAA se tornaria bastante limitado.

Embora algumas das obras marítimas ensaiadas nunca tenham passado da fase de projeto, em praticamente todas as que foram construídas os estudos efetuados no DHA recomendaram alterações aos projetos iniciais, que em muito contribuíram para a segurança global das estruturas.

Ir ao encontro dos objetivos das entidades responsáveis da RAA e dos projetistas e a contínua evolução foram dois aspetos que sempre estiveram na primeira linha das prio-

riedades do DHA. A cooperação ao longo dos 70 anos de existência do DHA foi, como se pode concluir, extremamente profícua do ponto de vista técnico e de otimização de recursos, resultando ainda no estreitamento de laços profissionais e humanos gratificantes entre os diferentes intervenientes nos diversos estudos (representantes de Donos de Obra, Projetistas, Empreiteiros, Pescadores) e os técnicos do LNEC. ■

REFERÊNCIAS

- SILVA, L. G. – “20 anos de ensaios em modelo reduzido para obras marítimas da Região Autónoma dos Açores”. Comunicação apresentada às 4as JPECP, realizadas em Angra do Heroísmo, em outubro de 2005



The Ground is our Challenge



ÁREAS DE ATIVIDADE

Projeto | Fiscalização
Formação

 Escavações e Contenções Periféricas	 Contenção de Fachadas
 Fundações Especiais	 Túneis e Obras Subterrâneas
 Estabilidade de Taludes	 Estabilidade de Taludes
 Tratamento de Terrenos	 Estudos Geológicos e Geotécnicos
 Reforço e Recalçamento de Fundações	 Demolições

CONTACTOS

Rua Comandante Cousteau, 20D
Parque das Nações
1990-067 Lisboa - Portugal
Tel: [+351] 210 505 150 / 51
Fax: [+351] 218 962 091
Email: info@jetsj.com

 www.jetsj.com