



## EXPANSÃO DO TCN DO PORTO DE LEIXÕES: ANÁLISE COMPARATIVA DE SOLUÇÕES COM RECURSO A MODELAÇÃO MATEMÁTICA DA AGITAÇÃO

Lucília Luís<sup>1</sup>; Sofia Costa-Freire<sup>1</sup>; João Oliveira<sup>1</sup>; João Barros<sup>1</sup>; Joel Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CONSULMAR – Projectistas e Consultores, Lda.; <sup>2</sup>APDL - Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo, S.A.

[lucilia.luis@consulmar.pt](mailto:lucilia.luis@consulmar.pt); [sofia.freire@consulmar.pt](mailto:sofia.freire@consulmar.pt); [joao.oliveira@consulmar.pt](mailto:joao.oliveira@consulmar.pt);

[joao.barros@consulmar.pt](mailto:joao.barros@consulmar.pt); [joel.silva@apdl.pt](mailto:joel.silva@apdl.pt).

### Resumo

O estudo realizado baseou-se na utilização do modelo matemático de escala local MIKE21 BW (DHI) para comparar soluções de projeto ao nível quer da geometria de implantação como do tipo de estrutura de cais, a fim de selecionar a melhor solução para a ampliação e reorganização do Terminal de Contentores Norte (TCN) do Porto de Leixões, com foco na avaliação das alterações na tranquilidade da baía devido a esta.

Com base nos valores estimados para os índices de agitação junto às estruturas, estima-se que a ampliação do TCN não agravará significativamente as condições de operacionalidade no próprio cais, nem nas estruturas adjacentes - o Terminal Multiusos (sobretudo na sua configuração futura após reformulação), Terminal de Cruzeiros e o Porto de Pesca de Matosinhos.

Concluiu-se que a solução de projeto mais eficaz para minimizar a perturbação das condições de agitação no anteporto combina a construção de um cais em tabuleiro sobre estacas com retenção marginal em enrocamentos sobre este (Solução Estrutural 2) com a implantação deste novo cais num alinhamento rodado 14° para Sul relativamente a um eixo paralelo ao Molhe Norte nesta extensão (Alternativa B).

### 1. Introdução e Âmbito

O porto de Leixões encontra-se presentemente num processo de transformação marcado pela redução da relevância do terminal petrolífero (TPL) e incremento da importância da atividade de carga contentorizada. Este processo encontra-se em curso no momento presente, com a empreitada em execução do prolongamento do quebra-mar exterior em 300 metros e a melhorias das acessibilidades marítimas (incluindo aprofundamento dos fundos e alargamento do canal já realizados).

Esta comunicação apresenta o estudo de modelação matemática da agitação marítima aplicada ao Porto de Leixões, o qual foi realizado em 2023 pela Consulmar para a Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL) dentro do âmbito da realização do Estudo Prévio da Ampliação e Reorganização do Terminal de Contentores Norte (TCN) do porto de Leixões, realizado com o intuito de criar condições para incrementar a realização desta atividade na parte norte do anteporto.

A análise utiliza o modelo matemático MIKE21 BW, que simula a propagação da agitação marítima incluindo empolamento, refração, difração, reflexão parcial e transmissão. O modelo permite especificar condições de fronteira oceânica com ondas regulares ou irregulares e condições de reflexão parcial nas estruturas.

### 2. Configurações Ensaadas

#### 2.1 Situação Atual e de Referência

A Situação de Referência estipulada pela APDL, além de já ter em conta a Situação Atual – assumindo as obras em execução do prolongamento do quebra-mar e melhorias das acessibilidades na sua configuração após conclusão – integra já a geometria da reformulação do Terminal Multiusos junto ao molhe Sul (14,2 ha) e uma nova zona de apoio à pesca.

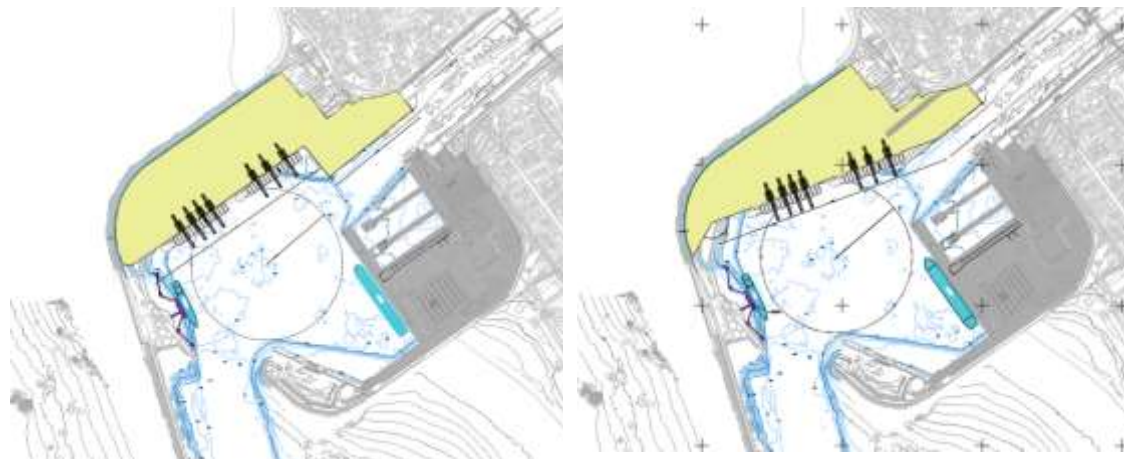


Figura 1. Situação de Referência no anteporto, com o novo TCS e novo porto de pesca

## 2.2 Soluções Propostas

Foram avaliadas duas alternativas ao nível do futuro layout do TCN:

- Alternativa A: Área de aterramento de 27,0 ha com cais de 710 m a -15,50 m (ZHL) e 380 m a -10,00 m (ZHL), com alinhamento paralelo ao Molhe Norte;
- Alternativa B: Área de aterramento de 25,5 ha com cais de 860 m a -15,50 m (ZHL) e 200 m a -10,00 m (ZHL), com rotação de 14° para Sul relativamente à Alternativa A.



Alternativa A

Alternativa B

Figura 2. Alternativas de implantação para o cais de expansão do TCN

Para cada alternativa foram consideradas duas soluções estruturais:

- Solução 1: Cais em caixotões (32,20 m x 14,70 m);
- Solução 2: Cais em tabuleiro sobre estacas com aterramento contido por talude de enrocamento

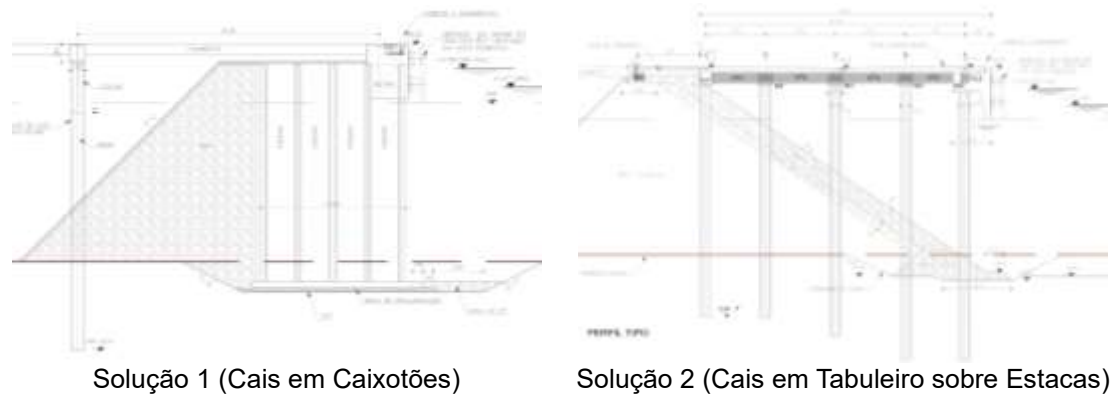


Figura 3. Alternativas a estrutura do cais de expansão do TCN

### 3. Condições de Agitação e Implementação do Modelo

#### 3.1 Caracterização da Agitação

A agitação na fronteira do modelo foi caracterizada com base em duas fontes:

- Fonte A: Registos da boia ondógrafo de Leixões (11 anos de dados, 2004-2015);
- Fonte B: Modelo de hindcast ERA-Interim (38 anos de dados, 1979-2016).

A agitação tem direção predominante de ONO (59% Fonte A, 55% Fonte B), seguida de NO (25% e 21%) e O (12% e 19%). As alturas mais frequentes situam-se entre 1-2 m (50% Fonte A, 42% Fonte B).

#### 3.2 Condições de Simulação

Foram definidas duas condições principais:

- Condição 1: Rumo O,  $T_p=14s$ ,  $H_{m0}=1,0$  m (ocorrência 89,9%) - condição mais frequente;
- Condição 2: Rumo S5°O,  $T_p=10s$ ,  $H_{m0}=1,0$  m (ocorrência <1%) - condição menos frequente, mas com maior penetração.

#### 3.3 Domínio de Cálculo

O modelo utiliza uma malha regular de 1000 x 1000 células (3 x 3 m cada), estendendo-se até profundidades de -25 m (ZH). Os coeficientes de reflexão foram estimados com base na bibliografia especializada e tomando em consideração diversos estudos realizados para este porto pelo LNEC, variando entre 0,10 (praias) e 0,90 (estruturas verticais).

### 4. Análise de Resultados

#### 4.1 Análise Global

Os resultados mostram que existe maior penetração de energia quando a agitação provém de Sul, observando-se índices mais elevados em toda a bacia.

- Condição 1 (Rumo O): No canal de entrada, os índices situam-se entre 0,05-0,10 para todas as configurações, exceto na situação original (0,10-0,15). No anteporto, os índices são inferiores a 0,05 na zona central, mantendo-se entre 0,05-0,10 no contorno;
- Condição 2 (Rumo S5°O): No canal de entrada registam-se valores entre 0,20-0,50, chegando a 0,75 na situação original. O prolongamento do quebra-mar proporciona abrigo visível, especialmente na zona de recreio e pesca.

#### 4.2 Análise Quantitativa



A análise quantitativa foi realizada em áreas específicas, extraindo valores médios dos índices de agitação. Para a Condição 1, a Situação de Projeto B2 apresentou os melhores resultados com índices médios de 0,043 (Área 1) e 0,060 (Área 2).

Com base nos resultados da Situação B2 e admitindo altura significativa máxima de 0,5 m nos cais, apenas ondas superiores a 11 m na fronteira do modelo (Área 1) ou 8 m (Área 2) poderiam condicionar a operacionalidade. Para o rumo O e  $T_p=14s$ , não há registos de alturas superiores a 7,5 m.

#### 4.3 Impacto no Porto de Pesca

A análise específica do porto de pesca mostra que para a Condição 1, os índices situam-se sempre abaixo de 0,10, sendo inferiores aos da Condição 2 (máximo 0,25).

Admitindo altura significativa máxima de 0,3 m na bacia da pesca, apenas ondas superiores a 5 m na fronteira poderiam condicionar a operacionalidade. Para o rumo O e  $T_p=14s$ , apenas 1% dos registos superam 5 m.

### 5. Conclusões e Recomendações

#### 5.1 Impacto Geral

A ampliação do Terminal de Contentores Norte não terá impacto significativo nas condições de operacionalidade, tanto no próprio cais como nas estruturas adjacentes (Terminal Multiusos reformulado e Terminal de Cruzeiros). O porto mantém-se bem abrigado, confirmando-se a mesma situação para o porto de pesca.

#### 5.2 Melhor Solução

Com base na avaliação comparativa, conclui-se que:

- Ao nível da geometria, a Alternativa B (alinhamento 14° Sul) aparenta ter um melhor comportamento hidráulico, dado que este alinhamento permite o encontro suave com cais existente;
- A Solução Estrutural 2 (Cais em Tabuleiro com Estacas) introduz menores perturbações em função de ser uma estrutura menos refletora.

Assim, o estudo recomenda que seja seguida a Situação de Projeto B2, considerada a mais adequada para a ampliação e reorganização do Terminal de Contentores Norte.

#### 5.3 Limitações do Estudo

As conclusões baseiam-se num estudo comparativo entre soluções com foco nos índices de agitação para ondas curtas e irregulares. Embora não se considerem os efeitos dos galgamentos das estruturas de proteção, fenómenos de ressonância e ação do vento local, considera-se que a intensidade destes sobre o plano de água tenderá a repercutir-se de forma similar em qualquer destes casos, pelo que o método é válido para o propósito deste estudo.

O estudo confirma que a configuração do Porto de Leixões é adequada ao abrigo necessário, com as maiores tempestades provenientes do setor O-NO sendo eficazmente atenuadas pelas estruturas de proteção existentes e propostas.

### Referências Bibliográficas

- Consulmar, Projectistas e Consultores, Lda. (2023). "Estudo Prévio para a Ampliação e Reorganização do Terminal de Contentores Norte (TCN) do porto de Leixões e respetivo Estudo de Impacte Ambiental". Anexo IV - Análise Comparativa de Soluções com recurso a Modelação Matemática.
- DHI (2009). MIKE 21: "Waves – Boussinesq Wave (BW) Model. Scientific Documentation". Danish Hydraulic Institute.