



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

**CONFIDENCIAL**

# **ESTUDOS EM MODELO FÍSICO E NUMÉRICO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR E DAS ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES**

**Estudo III – Avaliação dos impactes na dinâmica sedimentar**

**Relatório complementar**





LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

**CONFIDENCIAL**

# **ESTUDOS EM MODELO FÍSICO E NUMÉRICO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR E DAS ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES**

## **Estudo III – Avaliação dos impactes na dinâmica sedimentar**

### **Relatório complementar**

APDL – Administração dos Portos do Douro, Leixões  
e Viana do Castelo

Lisboa • abril de 2017

**I&D** HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 418/2017 – **DHA/NEC**

A presente publicação é da exclusiva responsabilidade do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. A União Europeia não se responsabiliza pela eventual utilização das informações nela contidas



**Co-financiado pela União Europeia**

O Mecanismo Interligar a Europa

## **Título**

### **ESTUDOS EM MODELO FÍSICO E NUMÉRICO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR E DAS ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES**

Estudo III – Avaliação dos impactes na dinâmica sedimentar  
Relatório complementar

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

**André B. Fortunato**

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 418/2017

Proc. 0604/121/ 2069201

## ESTUDOS EM MODELO FÍSICO E NUMÉRICO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR E DAS ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES

Estudo III – Avaliação dos Impactes na Dinâmica Sedimentar. Relatório complementar

### Resumo

---

Um relatório anterior analisou o efeito combinado do prolongamento do quebra-mar exterior e da dragagem da bacia de rotação na dinâmica sedimentar no Porto de Leixões e na sua envolvente. O presente relatório visa distinguir os efeitos das duas intervenções referidas. Mostra-se que o contributo das dragagens para a deposição de sedimentos finos provenientes do rio Leça é inferior ao do prolongamento do quebra-mar. Mostra-se também que o efeito das dragagens na sedimentação de areias vindas da costa é desprezável.

Palavras-chave: Porto de Leixões / Dinâmica sedimentar

## PHYSICAL AND NUMERICAL MODEL STUDIES OF THE LENGTHENING OF THE OUTER BREAKWATER AND OF THE MARITIME ACCESSIBILITIES OF THE LEIXÕES HARBOR

Study III – Evaluation of the Impacts on the Sediment Dynamics. Additional report

### Abstract

---

A previous report analyzed the combined effect of the lengthening of the outer breakwater and the dredging of the rotation basin on the sediment dynamics in the Leixões harbor and its vicinity. The present report aims at distinguishing the impacts of the two interventions. It is shown that the contribution of the dredging on the deposition of fine sediments coming from the Leça River is smaller than the effect of the lengthening of the breakwater. Also, the impact of the dredging on the deposition of sands coming from the coast is negligible.

Keywords: Port of Leixões / Sediment dynamics



## Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Âmbito e objetivos.....	1
1.2	Configurações analisadas.....	2
1.3	Organização do relatório.....	3
2	Análise comparativa da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões .....	5
2.1	Hidrodinâmica .....	5
2.2	Sedimentos provenientes do rio Leça .....	9
2.3	Trânsito sedimentar e assoreamento .....	11
3	Conclusões.....	16
	Referência bibliográfica .....	18

## Índice de figuras

Figura 1.1 – Configurações analisadas: a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2.....	2
Figura 1.2 – Diferença entre as batimetrias da Solução 1 e da Solução 2.....	3
Figura 2.1 – Níveis máximos atingidos durante a simulação (Janeiro de 1991): a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2.....	5
Figura 2.2 – Correntes residuais durante a simulação (janeiro de 1991): a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza .....	6
Figura 2.3 – Exemplo de condições hidrodinâmicas na situação atual: a) níveis; b) alturas de onda significativa; c) correntes. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza.....	7
Figura 2.4 – Exemplo de condições hidrodinâmicas para a Solução 1: a) níveis; b) alturas de onda significativa; c) correntes. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza.....	8
Figura 2.5 – Exemplo de condições hidrodinâmicas para a Solução 2: a) níveis; b) alturas de onda significativa; c) correntes. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza.....	9
Figura 2.6 – Densidade de partículas depositadas: a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2 .....	11
Figura 2.7 – Simulação da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões para a situação atual: a) evolução morfológica; b) caudais sólidos residuais .....	13
Figura 2.8 – Simulação da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões para a Solução 1: a) evolução morfológica; b) caudais sólidos residuais.....	14
Figura 2.9 – Simulação da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões para a Solução 2: a) evolução morfológica; b) caudais sólidos residuais.....	15

## Índice de quadros

Quadro 2.1 – Percentagem de partículas retidas no porto para diferentes velocidades de queda ( $W_s$ ).....	10
Quadro 2.2 – Aumento percentual da retenção de sedimentos no porto face à situação atual .....	10



# 1 | Introdução

## 1.1 Âmbito e objetivos

Em 19 de setembro de 2016, a Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL) solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) uma proposta de estudos em modelo físico e numérico do prolongamento do quebra-mar exterior do Porto de Leixões.

Este pedido de proposta surgiu na sequência da necessidade sentida pela APDL de prolongar o quebra-mar exterior do Porto de Leixões, de modo a aumentar as condições de abrigo que permitam a entrada de navios porta-contentores. Além disso, é também pretensão da APDL a construção de um novo terminal no quebra-mar sul, com profundidades de 14.8 m (ZHL<sup>1</sup>).

A proposta do LNEC, *Estudos em Modelo Físico e Numérico do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e do Novo Terminal de Contentores do Porto de Leixões*, foi apresentada em 3 de outubro de 2016 e adjudicada em 24 de outubro de 2016.

Os presentes estudos do LNEC têm como objetivo servir de base ao desenvolvimento do Projeto de Execução do prolongamento do quebra-mar exterior do Porto de Leixões. Nesse sentido, a proposta contempla os seguintes estudos em modelo físico e modelo numérico:

- Estudo I – Otimização da geometria do novo troço do quebra-mar exterior do Porto de Leixões;
- Estudo II – Avaliação dos impactes do prolongamento do quebra-mar exterior do Porto de Leixões nas condições de agitação da praia de Matosinhos;
- Estudo III – Avaliação dos impactes do prolongamento do quebra-mar exterior do Porto de Leixões na dinâmica sedimentar na vizinhança do porto.

Recentemente foi publicado, após aprovação da APDL, o relatório descrevendo o trabalho realizado no âmbito do terceiro destes estudos (Fortunato et al., 2017):

FORTUNATO, A.B.; FREIRE, P.; OLIVEIRA, F.S.B.F.; AZEVEDO, A., 2017 – **Estudos em Modelo Físico e Numérico do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e das acessibilidades marítimas do Porto de Leixões. Estudo III – Avaliação dos impactes na dinâmica sedimentar.** Relatório 225/2017 – NEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Neste relatório comparava-se a configuração atual do Porto de Leixões com uma das soluções em análise. Essa solução (Solução 1) incluía várias alterações em planta, das quais se destaca o prolongamento do quebra-mar norte, e a dragagem da bacia de rotação e da sua ligação ao canal de acesso. Posteriormente, foi considerado necessário pela APDL distinguir os efeitos induzidos pelas alterações da configuração do porto daqueles causados pelas dragagens. Nesse contexto, foi

---

<sup>1</sup> ZHL – Zero Hidrográfico de Leixões.

solicitado pela APDL um conjunto de novas simulações que permitissem distinguir estes efeitos. O presente relatório dá cumprimento a esta solicitação.

## 1.2 Configurações analisadas

As configurações analisadas estão representadas na Figura 1.1.

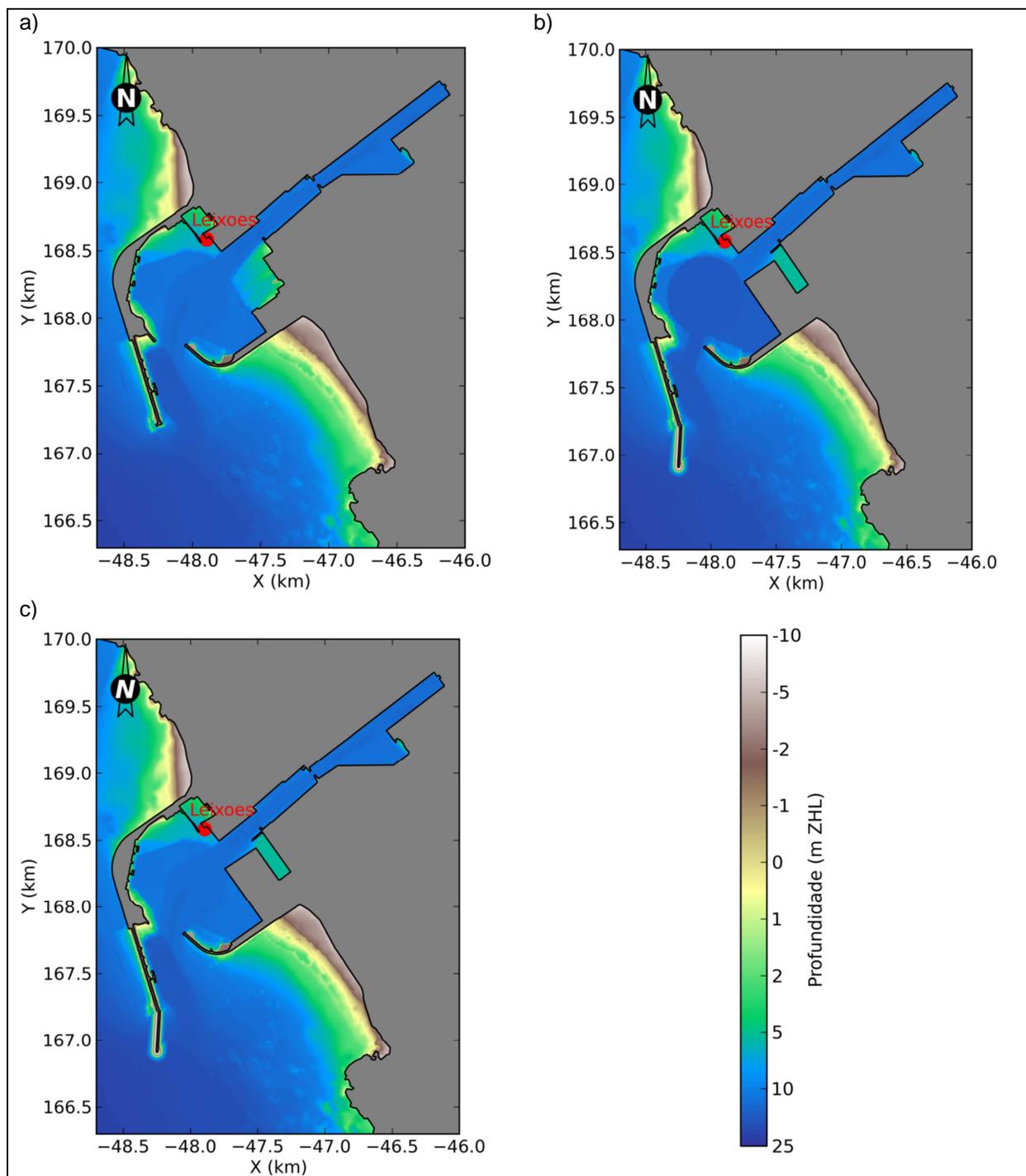


Figura 1.1 – Configurações analisadas: a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2

A Solução 1 (Figura 1.1b) corresponde ao prolongamento do quebra-mar norte em cerca de 300 m. Para além disso, na Solução 1 foi retirada a extremidade do molhe norte antigo (cerca de 50 m) e considerou-se um novo terrapleno e um novo porto de pesca com uma profundidade de 3.5 m (ZHL). Considerou-se ainda uma nova bacia de rotação, com fundos a 15.5 m (ZHL), e um novo cais, com uma profundidade de 14.8 m (ZHL). Trata-se da solução analisada em Fortunato et al. (2017). A Solução 2 (Figura 1.1c) é semelhante à Solução 1, exceto no que respeita à batimetria. Neste caso, não se considera a dragagem da bacia de rotação e da sua ligação ao canal de acesso. As diferenças entre as batimetrias da Solução 1 e da Solução 2 estão representadas na Figura 1.2.

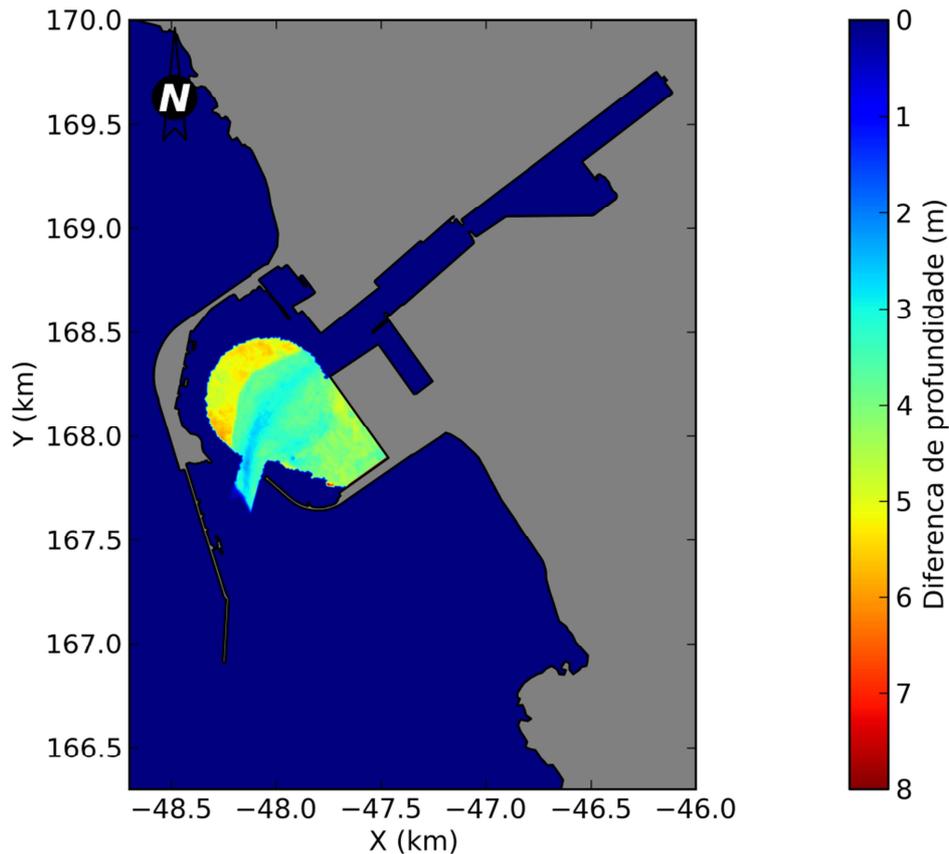


Figura 1.2 – Diferença entre as batimetrias da Solução 1 e da Solução 2

### 1.3 Organização do relatório

Dado que o presente relatório constitui uma adenda ao relatório anterior, omite-se a descrição detalhada das metodologias seguidas, da análise dos dados e da implementação e validação dos modelos, que poderá ser consultada em Fortunato et al. (2017). No entanto, para maior facilidade de leitura, repetem-se algumas figuras relativas a resultados de modelos já apresentadas no relatório anterior.

O relatório está organizado em dois capítulos para além desta introdução. Os resultados do modelo são apresentados e discutidos no Capítulo 2 |. As principais conclusões são apresentadas no Capítulo 3 |.

# ESTUDOS EM MODELO FÍSICO E NUMÉRICO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR E DAS ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES

Estudo III – Avaliação dos Impactes na Dinâmica Sedimentar. Relatório complementar

Ao longo do relatório consideram-se as seguintes convenções e referenciais:

- todos os níveis são referidos ao Zero Hidrográfico de Leixões (ZHL, 1.674 m abaixo do Nivelamento Geral do País), e consideram-se positivos para cima;
- todas as profundidades são também referidas ao ZHL e consideram-se positivas para baixo;
- todas as coordenadas horizontais estão no sistema Hayford Gauss, Datum 73.

## 2 | Análise comparativa da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões

### 2.1 Hidrodinâmica

A hidrodinâmica foi analisada com base nas simulações do modelo SCHISM-WWM, efetuadas para janeiro de 1991.

Tal como foi mostrado no relatório anterior, os níveis extremos são muito semelhantes para a configuração atual e para a Solução 1. Da mesma forma, não se observam diferenças entre as duas soluções (Figura 2.1).

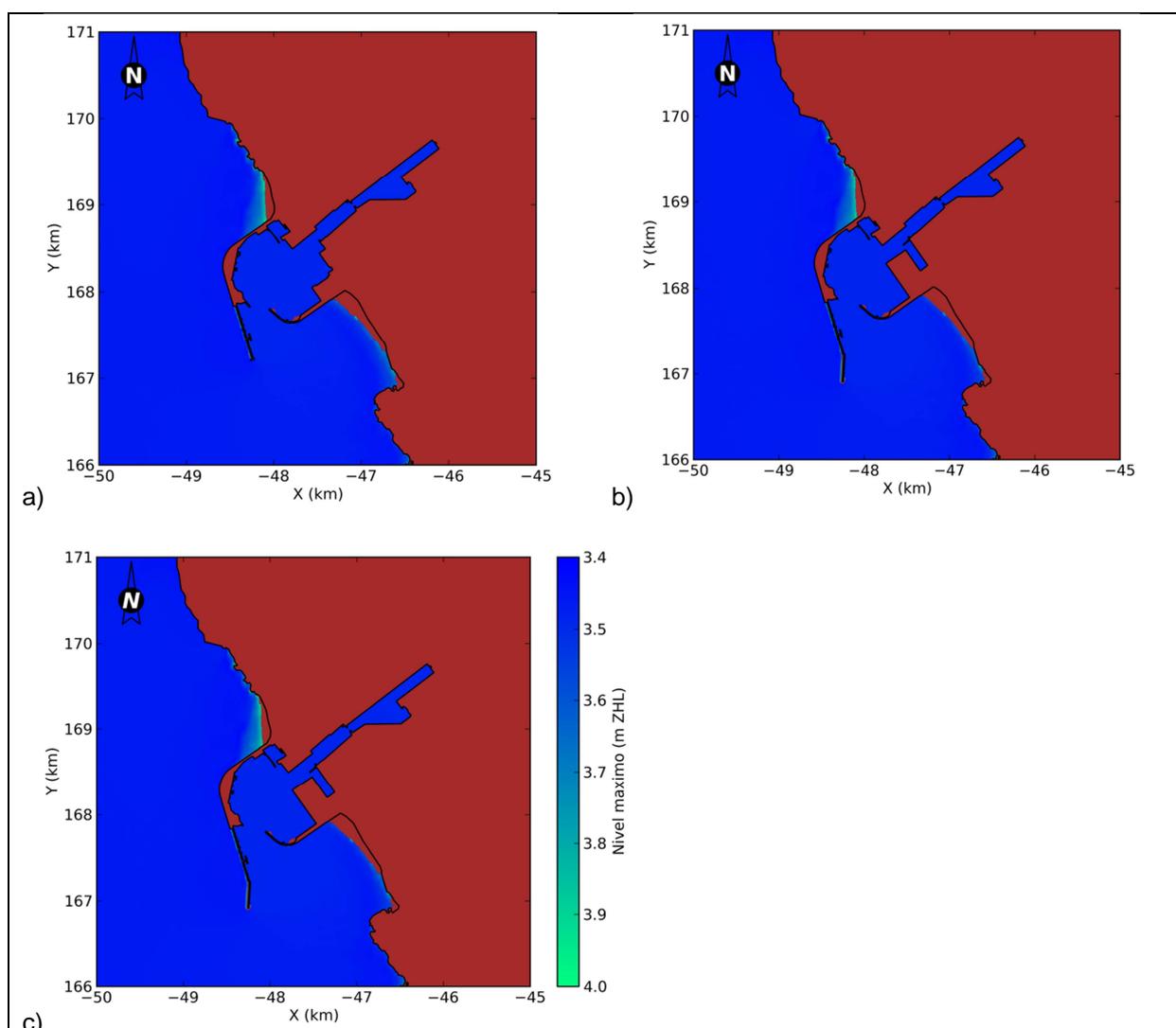


Figura 2.1 – Níveis máximos atingidos durante a simulação (Janeiro de 1991): a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2

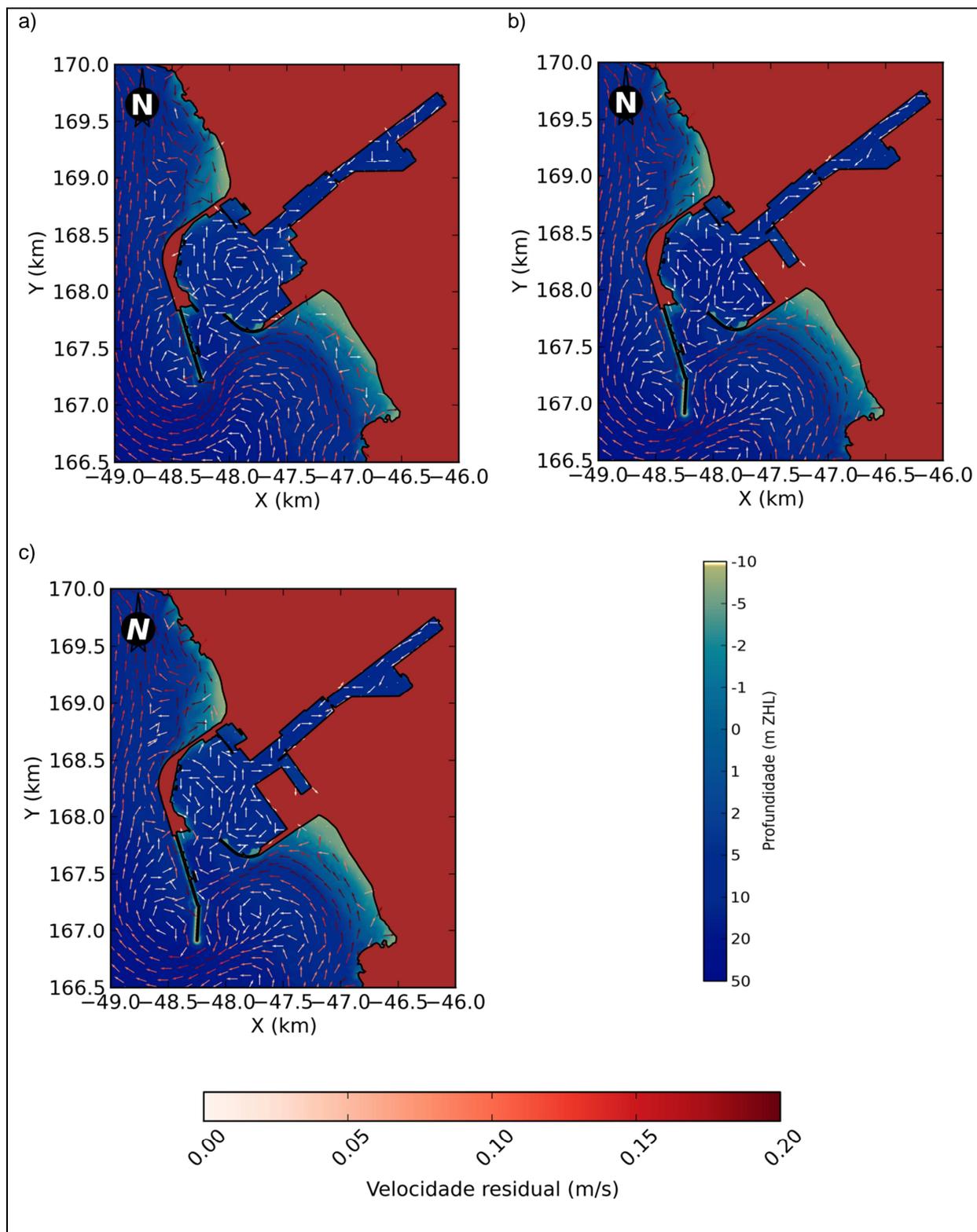


Figura 2.2 – Correntes residuais durante a simulação (janeiro de 1991): a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza

As velocidades residuais durante o período em análise são globalmente de sul para norte (Figura 2.2). As linhas de corrente são fortemente influenciadas pela presença dos quebra-mares de Leixões, que as obrigam a desviar para sudoeste antes de prosseguirem para norte. Com o prolongamento do

quebra-mar norte, este desvio aumenta e a intensidade das correntes residuais diminui. No interior do porto, as velocidades são mais pequenas no caso da Solução 1 do que na configuração atual e na Solução 2. Esta diferença explica-se pelas maiores profundidades da Solução 1.

Da Figura 2.3 à Figura 2.5 ilustram-se as condições hidrodinâmicas para a configuração atual, para a Solução 1 e para a Solução 2, no instante em que as condições de agitação ao largo são mais severas. A altura de onda significativa ao largo é de cerca de 7 m. A melhoria das condições de abrigo no porto e na praia de Matosinhos conseguida pelo prolongamento do quebra-mar norte é significativa (cf. Figura 2.3b e Figura 2.4b / Figura 2.5b). Pelo contrário, a dragagem adicional da Solução 1 não tem efeitos visíveis nas condições de agitação (Figura 2.4b e Figura 2.5b).

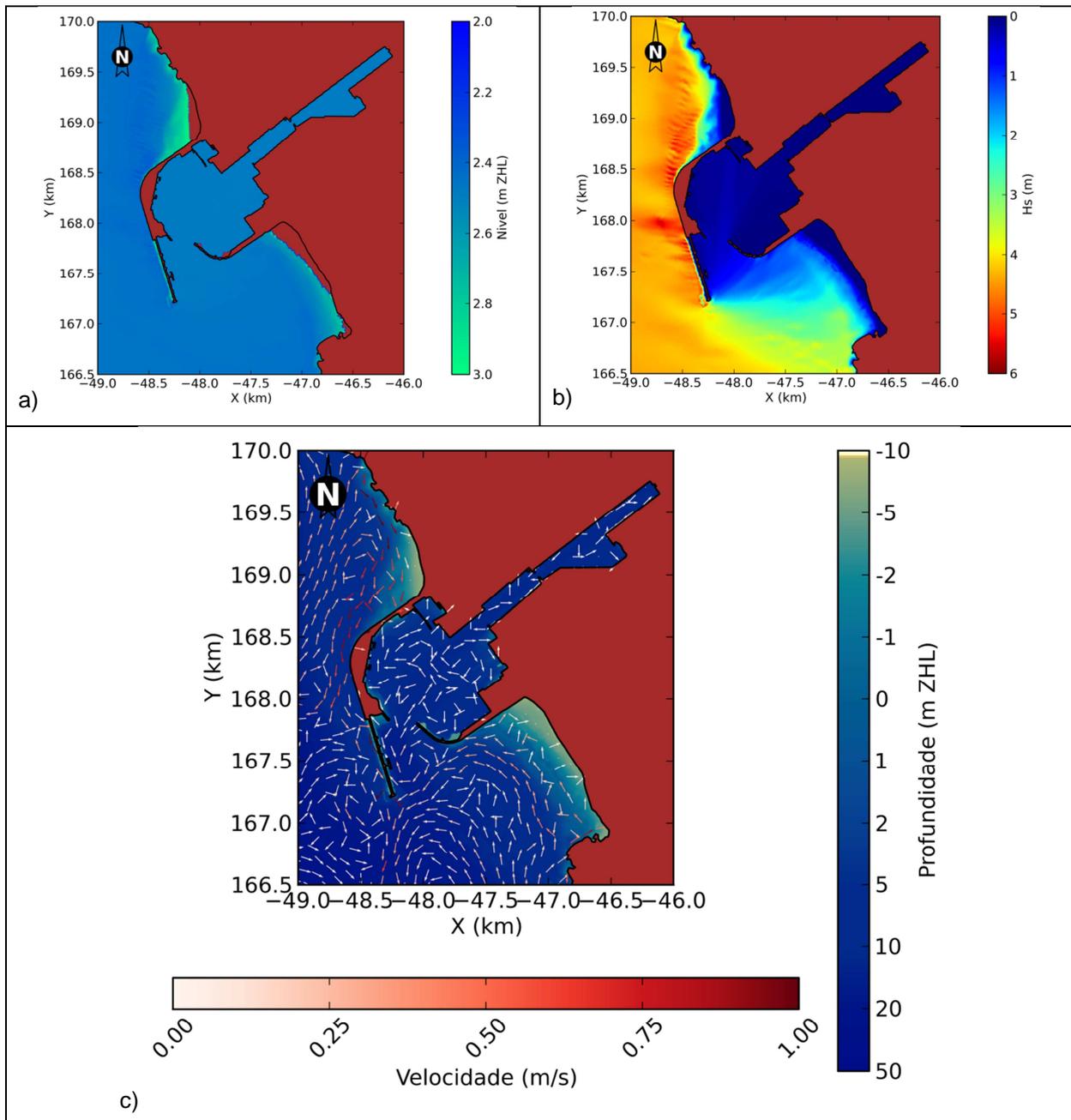


Figura 2.3 – Exemplo de condições hidrodinâmicas na situação atual: a) níveis; b) alturas de onda significativa; c) correntes. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza

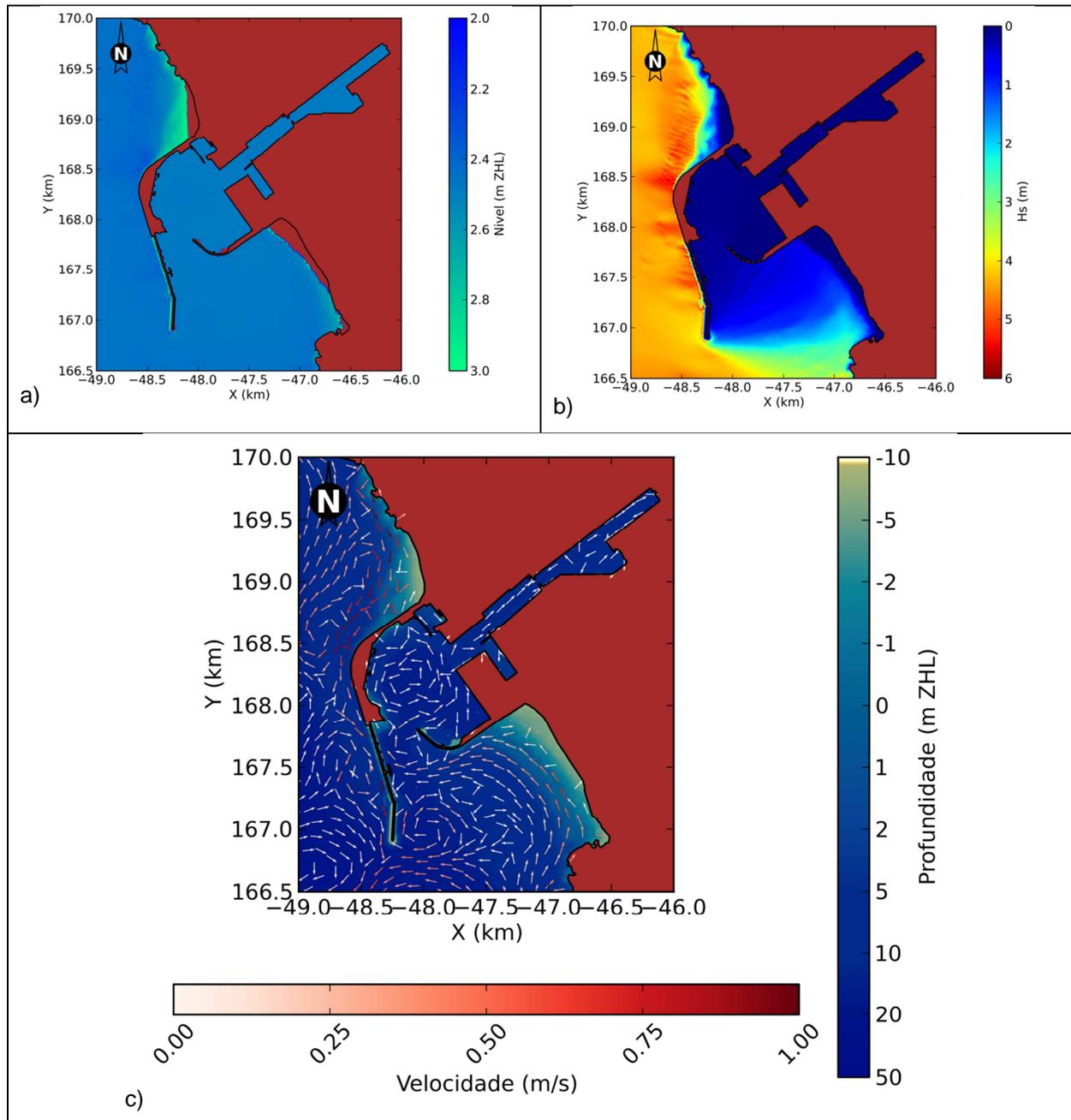


Figura 2.4 – Exemplo de condições hidrodinâmicas para a Solução 1: a) níveis; b) alturas de onda significativa; c) correntes. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza

Ao longo da simulação forma-se frequentemente uma corrente de deriva litoral de sul para norte ao longo da praia de Matosinhos, com velocidades da ordem de 20-30 cm/s. Durante a enchente, essa corrente é capturada pelo porto, podendo por isso potencialmente transportar sedimentos para o interior do porto. Esta situação está ilustrada na Figura 2.3c, na Figura 2.4c e na Figura 2.5c. Esta captura é superior para a Solução 1 e para a Solução 2 do que para a situação atual, uma vez que a extensão adicional do quebra-mar dificulta a deflexão da corrente em direção ao oceano. No entanto, não se pode inferir que haverá uma maior penetração de sedimentos no porto para as soluções 1 e 2. Com efeito, apesar de a corrente litoral ser mais defletida para o interior do porto para as novas configurações, as melhores condições de abrigo também tenderão a reduzir a concentração de

sedimentos em suspensão. Durante a vazante, e para todas as configurações, a corrente é defletida pelo jato de vazante proveniente do porto. No interior do porto, as correntes são muito pequenas em todas as configurações.

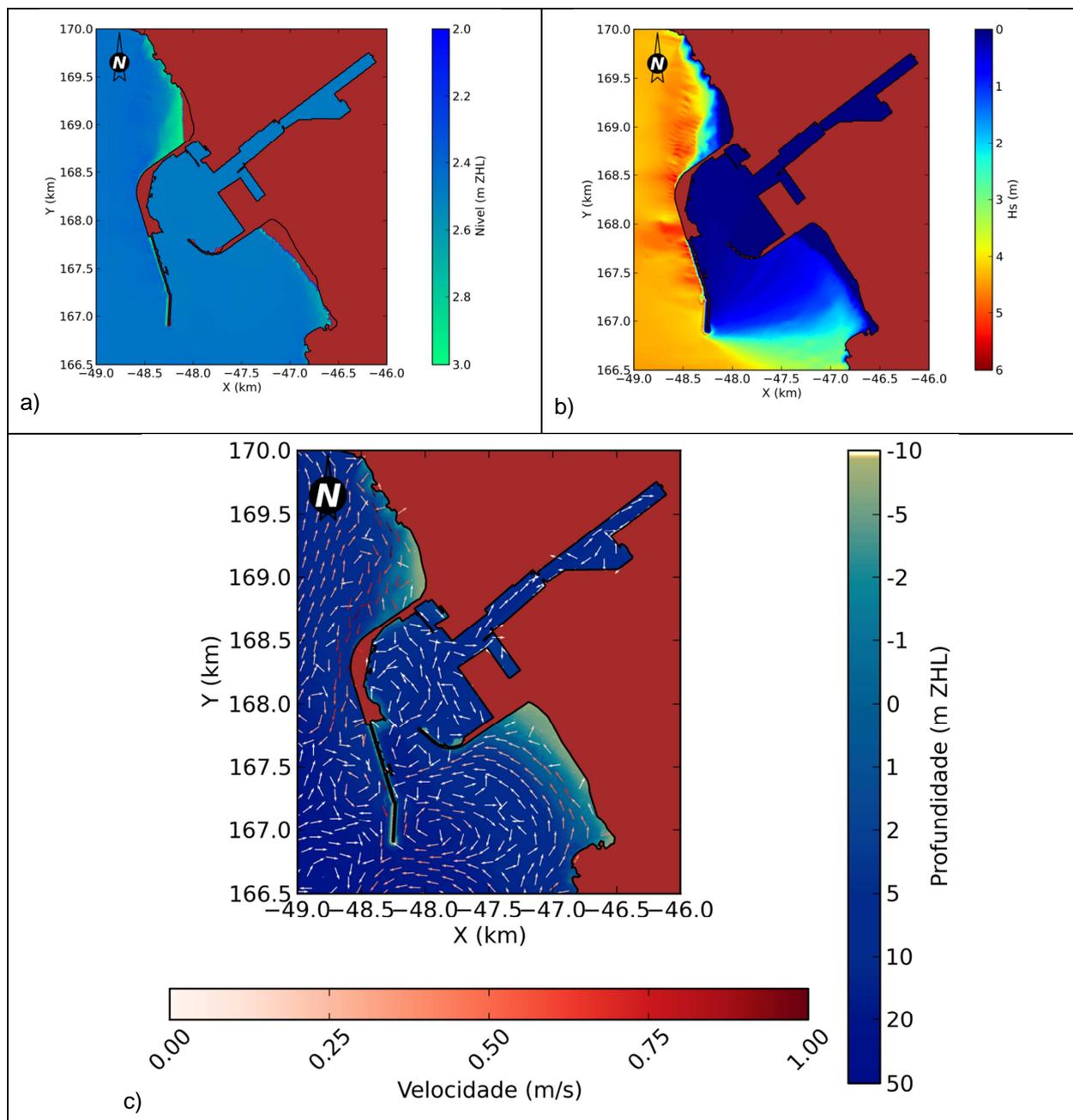


Figura 2.5 – Exemplo de condições hidrodinâmicas para a Solução 2: a) níveis; b) alturas de onda significativa; c) correntes. As velocidades estão interpoladas numa malha com uma resolução de 100 m para maior clareza

## 2.2 Sedimentos provenientes do rio Leça

A dinâmica dos sedimentos provenientes do rio Leça foi analisada com base nos resultados do modelo VELApart. Conforme descrito em Fortunato et al. (2017), foram simuladas as trajetórias de cerca de 150 mil partículas de sedimento desde o limite de montante do modelo, onde desagua o rio

Leça, até à sua deposição no fundo ou até saírem do porto. Assim, uma parte destas partículas deposita-se no fundo, e outra parte sai da bacia portuária e é arrastada para o largo pelas correntes.

Os resultados (Quadro 2.1) indicam que atualmente uma fração significativa dos sedimentos provenientes do rio Leça se deposita no interior do porto. Esta deposição, que aumenta com a velocidade de queda das partículas sedimentares, ocorre sobretudo na zona de montante do porto e junto às margens (Figura 2.6). Com o prolongamento do quebra-mar norte (Solução 2), tenderá a haver um aumento da percentagem de sedimentos depositados, em particular no que se refere aos sedimentos mais finos (i.e., com menor velocidade de queda). Note-se que os sedimentos mais grosseiros já atualmente se depositam no interior da bacia portuária na sua totalidade ou quase. A dragagem da bacia de rotação (Solução 1) contribuirá ainda mais para o aumento da sedimentação, devido à redução das velocidades. Em qualquer dos casos, os resultados sugerem ainda que as taxas de sedimentação poderão baixar na zona da bacia de rotação. A interpretação para este comportamento é que o aumento da deposição a montante deixará uma menor percentagem de sedimentos disponíveis para sedimentar na bacia de rotação. Os resultados sugerem ainda que o prolongamento do quebra-mar norte tem um impacto mais importante do que a dragagem no aumento da taxa de sedimentação (Quadro 2.2).

Note-se que os valores apresentados para a Solução 1 no Quadro 2.1 diferem ligeiramente dos valores apresentados no Quadro 4.1 de Fortunato et al. (2017). Estas diferenças decorrem de uma pequena correção introduzida durante a elaboração do presente relatório.

**Quadro 2.1 – Percentagem de partículas retidas no porto para diferentes velocidades de queda ( $W_s$ )**

	$W_s = 0.05$ mm/s	$W_s = 0.1$ mm/s	Total
Situação atual	43	66	55
Solução 1	89	93	91
Solução 2	78	89	83

**Quadro 2.2 – Aumento percentual da retenção de sedimentos no porto face à situação atual**

	$W_s = 0.05$ mm/s	$W_s = 0.1$ mm/s	Total
Solução 1	107	41	65
Solução 2	81	35	51

Salienta-se que esta análise é em larga medida qualitativa, uma vez que os processos de transporte estão reproduzidos de forma simplificada. Por exemplo, espera-se que a capacidade de exportação dos sedimentos para o exterior do porto aumente significativamente com o caudal fluvial, que aqui foi mantido constante. Com efeito, a maiores caudais fluviais corresponderão velocidades mais elevadas na zona montante do porto, e logo um maior transporte para a zona costeira. No entanto, o

assoreamento não será necessariamente menor para maiores caudais fluviais, dado que as afluições de sedimentos ao porto tenderão também a ser superiores para maiores caudais. Assim, uma análise quantitativa do assoreamento do Porto de Leixões por sedimentos de origem fluvial exigirá dados detalhados sobre as afluições líquidas e sólidas ao porto através da rede hidrográfica.

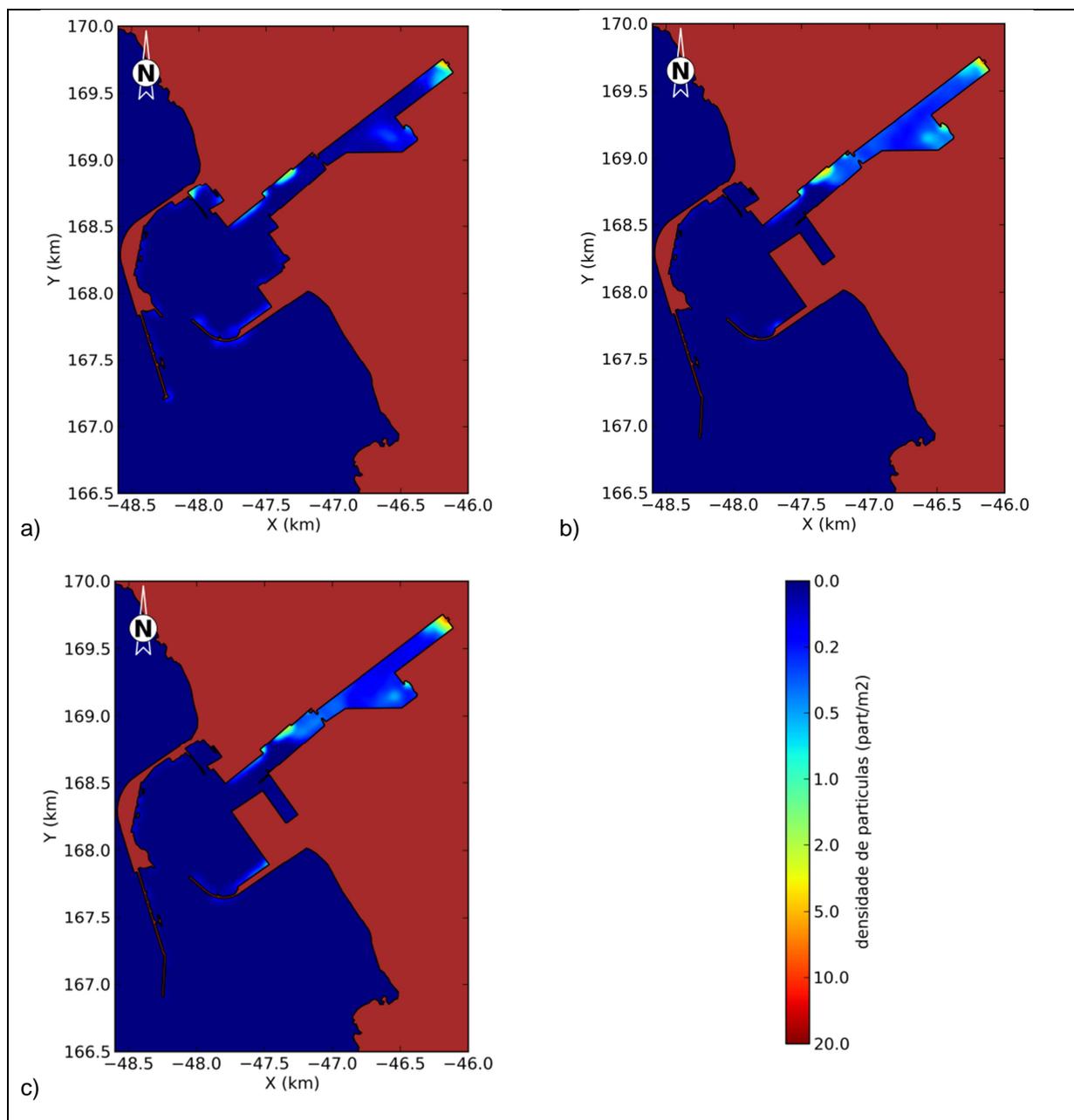


Figura 2.6 – Densidade de partículas depositadas: a) situação atual; b) Solução 1; c) Solução 2

### 2.3 Trânsito sedimentar e assoreamento

A dinâmica dos sedimentos não coesivos no Porto de Leixões e na sua envolvente durante o mês de janeiro de 1991 foi simulada para a configuração atual e para as soluções 1 e 2. Os resultados são analisados em termos da acreção e da erosão no final das simulações, e dos caudais sólidos residuais (Figura 2.7, Figura 2.8 e Figura 2.9). Como descrito em Fortunato et al. (2017), considerou-

se uma distribuição espacialmente uniforme de sedimentos no início da simulação. Isto significa que o modelo tende a sobrestimar o transporte sedimentar em zonas em que os sedimentos são mais grosseiros (Praia de Leça), e a subestimar esse transporte nas zonas em que os sedimentos são mais finos (praia de Matosinhos e Porto de Leixões).

A análise geral da dinâmica sedimentar é descrita em Fortunato et al. (2017), pelo que não será aqui repetida. O enfoque é aqui nas diferenças entre as soluções 1 e 2.

A comparação entre os resultados obtidos para as duas soluções (Figura 2.8 e Figura 2.9) revela diferenças de sedimentação no interior do porto muito reduzidas. Estas diferenças são inferiores à precisão do modelo pelo que não devem ser valorizadas. Na prática, em qualquer dos casos o modelo indica que penetra muito pouca areia no interior do porto vinda da zona costeira. Nestas condições, as pequenas movimentações que se observam decorrem de redistribuições de sedimentos no porto, sobretudo relacionadas com a utilização de filtros numéricos no modelo.

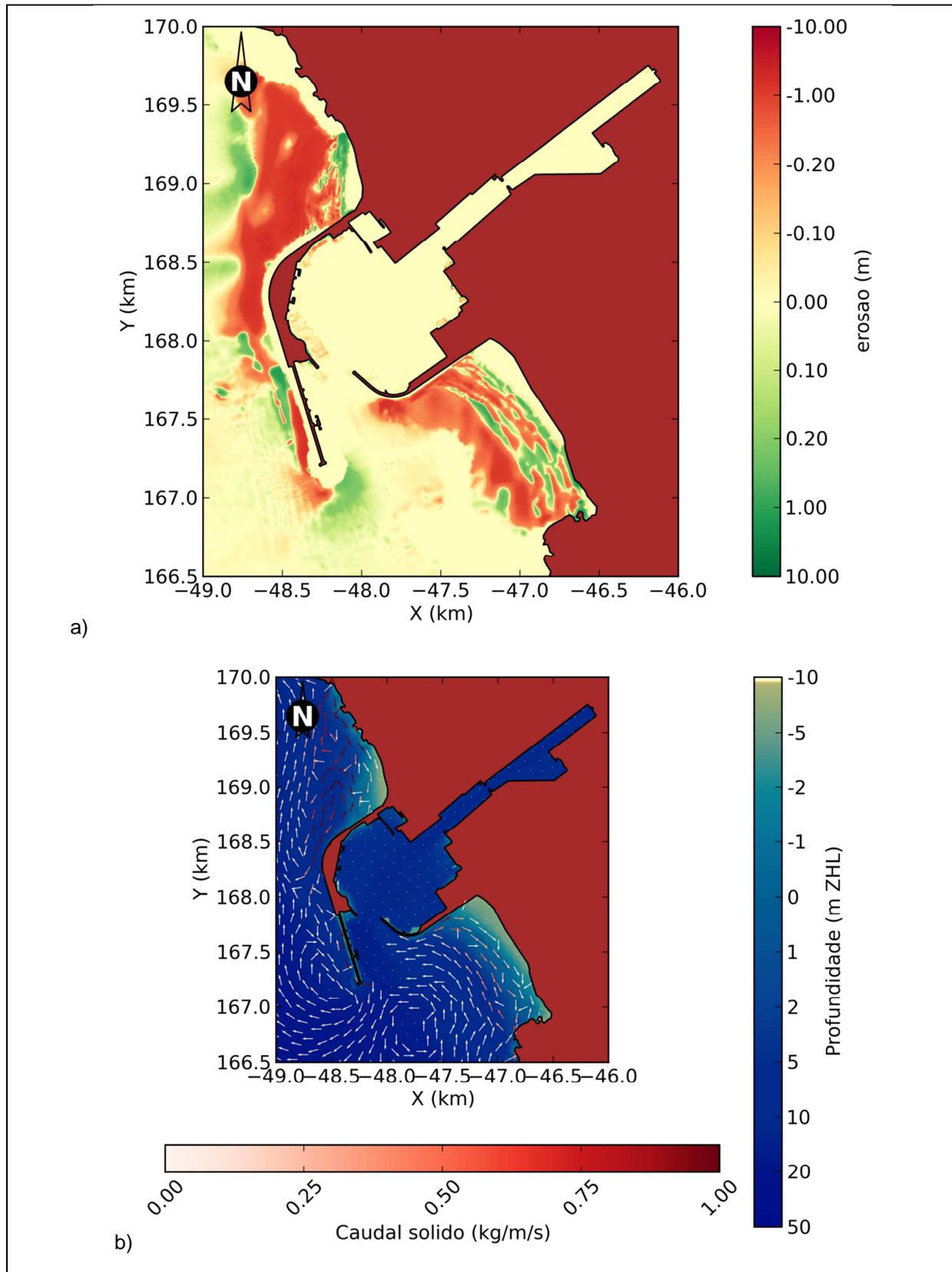


Figura 2.7 – Simulação da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões para a situação atual: a) evolução morfológica; b) caudais sólidos residuais

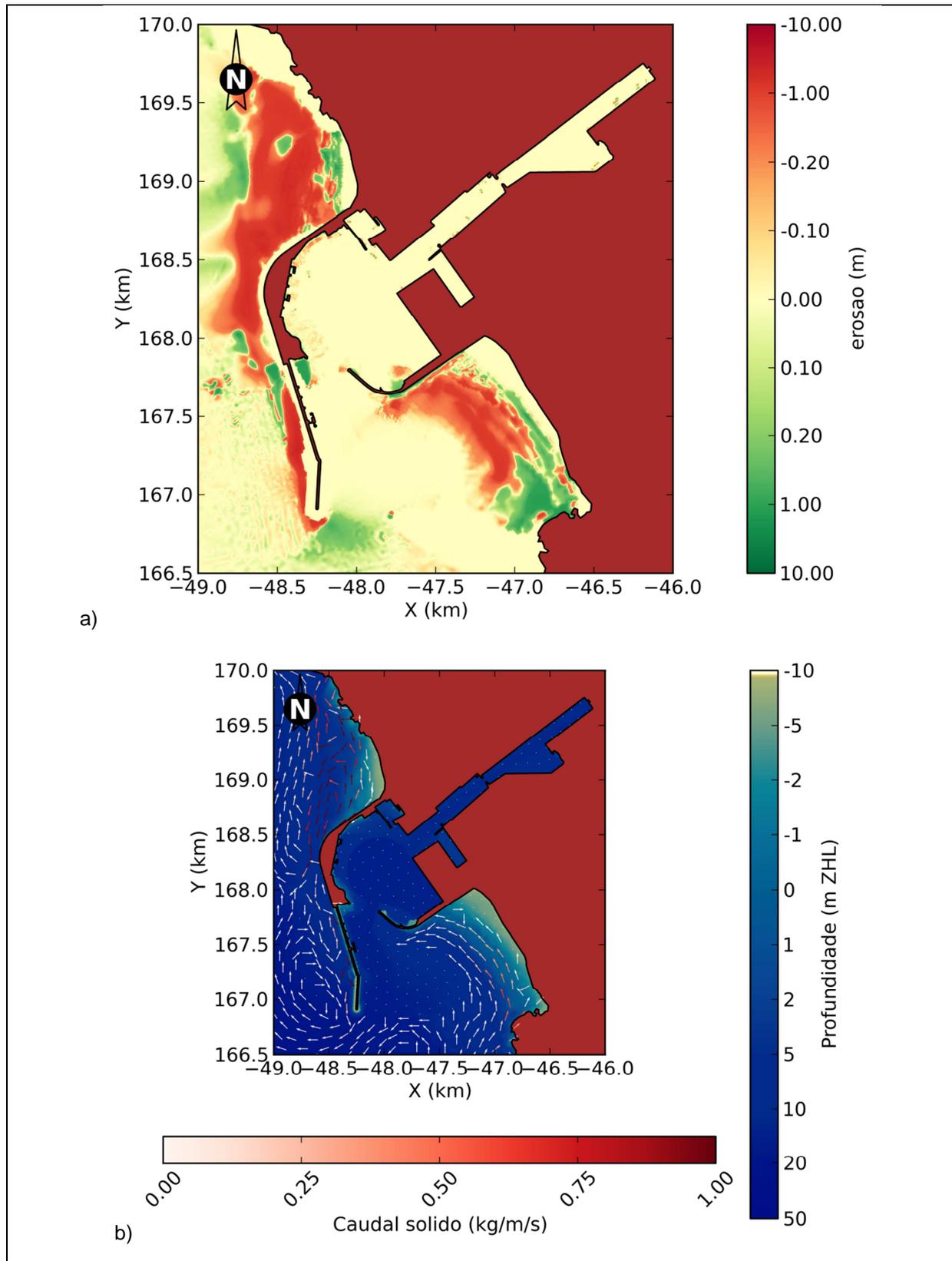


Figura 2.8 – Simulação da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões para a Solução 1: a) evolução morfológica; b) caudais sólidos residuais

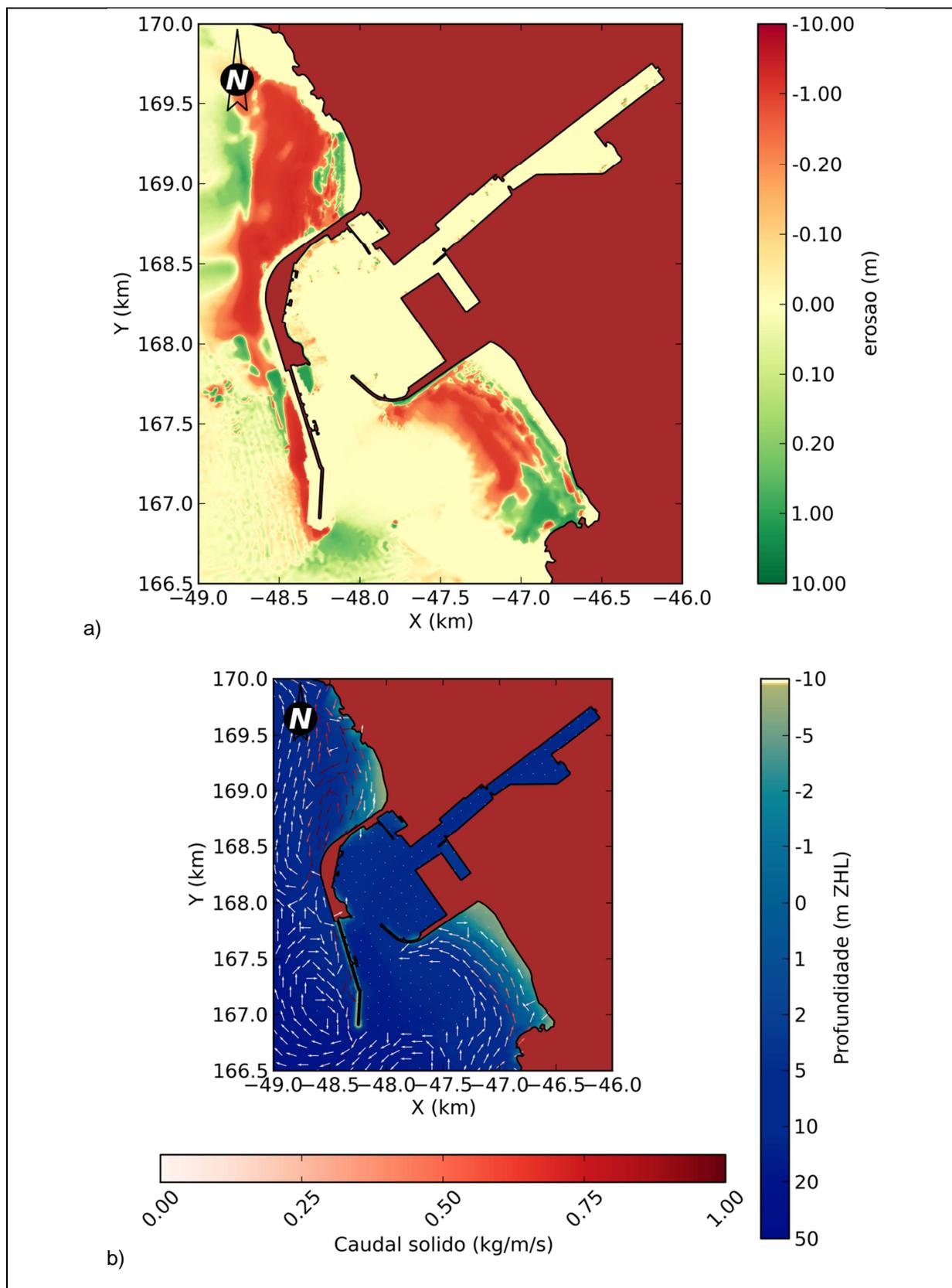


Figura 2.9 – Simulação da dinâmica sedimentar no Porto de Leixões para a Solução 2: a) evolução morfológica; b) caudais sólidos residuais

### 3 | Conclusões

O presente relatório complementa o relatório anterior (Fortunato et al., 2017), descrevendo e analisando resultados para uma solução adicional (Solução 2). Esta solução coincide em planta com a Solução 1, mas não considera a dragagem da bacia de rotação e da sua ligação ao canal de acesso. Esta análise visa distinguir os efeitos na dinâmica sedimentar do Porto de Leixões da dragagem da bacia de rotação (e do canal associado) dos efeitos das alterações em planta (em particular o prolongamento do quebra-mar norte).

As principais conclusões da análise efetuada são as seguintes:

1. Os efeitos das dragagens na hidrodinâmica são modestos e muito locais. Resumem-se fundamentalmente a uma pequena diminuição das velocidades nas zonas dragadas.
2. As dragagens aumentam a deposição dos sedimentos finos provenientes do rio Leça. Com efeito, a combinação das alterações em planta e das dragagens (Solução 1) aumenta esta deposição em cerca de 40 a 110%, enquanto as alterações em planta sozinhas (Solução 2) a aumentam em 30 a 90%. Deduz-se assim que o efeito das dragagens sobre a sedimentação de sedimentos finos provenientes do rio Leça é menor do que o efeito do prolongamento do quebra-mar norte.
3. Como se viu no relatório anterior, a penetração de areias da zona costeira para o interior do Porto de Leixões é muito limitada e tenderá a diminuir ainda mais com o prolongamento do quebra-mar norte. Nestas condições, o contributo das dragagens analisadas para a sedimentação de areias vindas da zona costeira é pouco relevante.

ESTUDOS EM MODELO FÍSICO E NUMÉRICO DO PROLONGAMENTO DO QUEBRA-MAR EXTERIOR E  
DAS ACESSIBILIDADES MARÍTIMAS DO PORTO DE LEIXÕES

Estudo III – Avaliação dos Impactes na Dinâmica Sedimentar. Relatório complementar

Lisboa, LNEC, abril de 2017

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas  
Costeiras



Luís Portela

A Diretora do Departamento de Hidráulica e  
Ambiente



Helena Alegre

AUTORIA



André B. Fortunato

Investigador Principal com Habilitação

## Referência bibliográfica

FORTUNATO, A.B.; FREIRE, P.; OLIVEIRA, F.S.B.F.; AZEVEDO, A., 2017 – **Estudos em Modelo Físico e Numérico do Prolongamento do Quebra-mar Exterior e das acessibilidades marítimas do Porto de Leixões. Estudo III – Avaliação dos impactes na dinâmica sedimentar.** LNEC - Proc. 0604/121/2069201. Relatório 225/2017 – DHA/NEC.



