

ENSAIOS EXPERIMENTAIS DE ONDAS IRREGULARES COM REBENTAÇÃO

José M. P. Conde^{1,2}, Conceição J. E. M. Fortes², Rute Lemos², Rui Reis²

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT - UNL)
Unidade de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Mecânica e Industrial (UNIDEMI)
Campus de Caparica, 2829-516 Monte de Caparica, Portugal

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA)
Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal
E-mails: jpc@fct.unl.pt, {jfortes, rlemos, rreis}@lnec.pt

RESUMO

O conhecimento das características de propagação, transformação e rebentação das ondas próximo da costa é fundamental para estudos de hidrodinâmica e dinâmica sedimentar e, em particular, para o projeto de estruturas costeiras e portuárias.

Neste artigo é descrito o vasto conjunto de ensaios realizados em canal de ondas no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, cujo objetivo foi a análise da hidrodinâmica da propagação e rebentação das ondas sobre um fundo de batimetria variável, para várias condições de agitação incidente. Neste artigo são estudadas, em particular, ondas irregulares (espectro JONSWAP): com $T_p=1,5$ s e quatro diferentes alturas de onda ($H_s=0,12$ m; $0,14$ m, $0,16$ m e $0,18$ m); $T_p=2,0$ s e $H_s=0,14$ m; e $T_p=2,5$ s e $H_s=0,14$ m.

Apresentam-se as seguintes análises dos dados experimentais: análise temporal e espectral (espectro de amplitude e *wavelets*) dos valores de elevação da superfície livre ao longo do canal; análise temporal da velocidade das partículas ao longo do canal, no centro da coluna de água; e análise temporal dos perfis de velocidade das partículas, em posições selecionadas ao longo do canal.

PALAVRAS-CHAVE: Modelação física, Canal de ondas, Ondas Irregulares, Propagação de onda, Rebentação, Análise espectral, Análise temporal.

1. INTRODUÇÃO

A modelação física da propagação de ondas em fundos complexos e de profundidade variável é fundamental para um melhor conhecimento e caracterização da forma como a onda se propaga e de como se processa a sua rebentação. É com este objetivo que tem sido realizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um extenso conjunto de ensaios em canal de ondas, para a análise da transformação e rebentação de ondas sobre fundos de batimetria complexa, em várias condições de agitação incidente. As análises temporais, espectrais e estatísticas realizadas contribuem para um melhor conhecimento da hidrodinâmica da propagação e rebentação das ondas e fornecem resultados importantes para a validação de modelos numéricos.

Neste âmbito, Okamoto *et al.* [1], Endres *et al.* [2], Neves *et al.* [3, 4] e Conde *et al.* [5] efetuaram ensaios em canal para condições de agitação regular incidente que originam ondas com e sem rebentação, para diferentes batimetrias de fundo. Na sequência destes trabalhos Conde *et al.* [6, 7] testaram condições de agitação incidente bicromáticas que conduzem a situações com e sem rebentação para a mesma batimetria de fundo.

O presente trabalho é uma continuação dos trabalhos anteriores, considerando agora condições de agitação incidente irregulares (espectro JONSWAP) com rebentação. A metodologia seguida é semelhante à dos trabalhos anteriores [2-7]. Assim, para cada condição de agitação incidente foram recolhidos, ao longo do canal, valores de elevação da superfície livre e da velocidade das partículas em suspensão no centro da coluna de água. Foram também medidos valores de velocidade, em diferentes profundidades, para posições selecionadas ao longo do canal.

Nas secções seguintes, descrevem-se detalhadamente: as condições experimentais; as características das ondas testadas em canal; e os métodos e procedimentos utilizados no tratamento dos dados. Mais concretamente, são apresentados: dados relativos à elevação da superfície livre ao longo do canal; resultados das respetivas análises temporais e espectrais; dados referentes à velocidade das partículas; e resultados correspondentes à análise temporal efetuada às componentes da velocidade ao longo do eixo central da coluna de água, bem como em profundidade, para posições específicas ao longo do canal. No final, são retiradas conclusões sobre os resultados obtidos nos testes experimentais e metodologias de análise.

2. ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

2.1. Condições experimentais

Os testes experimentais foram realizados num canal, com 32,57 m de comprimento útil (Figuras 1 e 2). Este canal, construído nos anos 50 do século XX, foi projetado com uma redução da área da secção transversal de modo a melhorar o seu comportamento hidráulico, minimizando o aparecimento de ondas transversais indesejadas. Adicionalmente, esta redução de secção permite obter ondas com maior altura (devido ao seu empolamento na rampa com inclinação 1:11) do que as originadas pelas capacidades limitadas do gerador de ondas regulares original. Atualmente o canal está equipado com um gerador de ondas regulares/irregulares do tipo pistão controlado por uma placa de conversão A/D ligada a um computador pessoal.

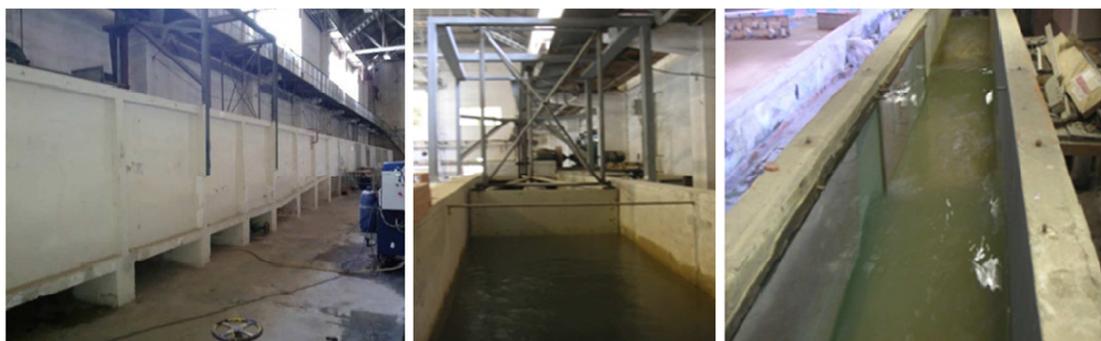


Figura 1. Vista lateral do canal (esquerda), gerador de ondas (centro) e vista de cima do canal (direita).

Após a rampa de declive 1:11 foi construída uma rampa em cimento impermeável com 10 m de extensão e declive 1:22, seguida de uma zona horizontal com 10 m de extensão e outra rampa de declive 1:20 e, por fim, uma zona de enrocamento com declive 1:2. Foram colocados tapetes porosos no declive 1:20 para reduzir a energia das ondas refletidas. O canal em planta tem uma zona inicial com largura constante de 1 m, seguida de um troço convergente, e finalmente uma zona também com largura constante de 0,6 m (Figura 2).

2.2. Condições de agitação incidente e testes experimentais

Os ensaios experimentais foram realizados em três fases principais, correspondendo a diferentes condições de agitação incidente:

- Ondas regulares, resultantes da combinação de quatro períodos de onda ($T=1,1$ s; $1,5$ s; $2,0$ s; e $2,5$ s) e seis alturas de onda ($H=0,08$ m; $0,10$ m; $0,12$ m; $0,14$ m; $0,16$ m e $0,18$ m) [1-5];
- Ondas bicromáticas resultantes da combinação de dois dos períodos das ondas regulares anteriores considerando uma determinada altura de onda, i.e., $T=1,1$ s e $1,5$ s e $H=0,05$ m ou $0,08$ m [6, 7];
- Ondas irregulares (espectro JONSWAP) com: $T_p=1,5$ s e quatro diferentes alturas de onda ($H_s=0,12$ m; $0,14$ m; $0,16$ m e $0,18$ m); $T_p=2,0$ s e $H_s=0,14$ m; e $T_p=2,5$ s e $H_s=0,14$ m.

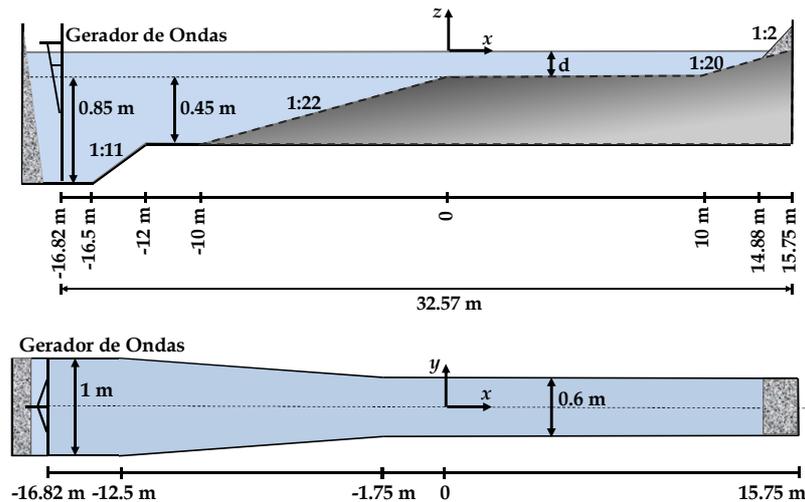


Figura 2. Canal de ondas: perfil longitudinal (cima) e planta (baixo).

Nos trabalhos anteriores [1-7] foram considerados dois níveis de água a sotamar da rampa de declive 1:22 (na origem do referencial Oxyz, Figura 2), $d=0,1$ m e $0,3$ m, de modo a obter condições com e sem rebentação, respetivamente. No presente trabalho, para ondas incidentes irregulares com rebentação ao longo do canal, apenas se considerou o nível $d=0,1$ m.

Cada ensaio experimental (onda gerada) teve a duração de 290 s. No entanto, dado que o processo de geração inicia-se com o movimento do batedor a velocidade constante durante 20 s e termina com o mesmo tipo de movimento durante 30 s, o intervalo útil de geração é de apenas 240 s. Na Figura 3 apresenta-se o sinal utilizado na geração da onda irregular com $T_p=1,5$ s e $H_s=0,14$ m.

O gerador de ondas do tipo pistão é acionado por um motor elétrico de passo e tem um curso máximo de $0,4$ m. A posição do gerador é dada em função da voltagem por uma função linear cujo declive é de $-0,0162$ m/V, este valor foi obtido por calibração aplicando incrementos de 1 V e registando a sua posição. O gerador dispõe de um sistema de absorção dinâmica de ondas refletidas [8], no entanto, nos ensaios realizados no âmbito deste artigo, este sistema não foi ativado, podendo-se deste modo garantir que, em todos os ensaios, as ondas são sempre geradas do mesmo modo, evitando as correções do movimento do gerador de ondas que poderiam diferir de ensaio para ensaio.

A geração das ondas realizou-se com recurso ao programa SAM (Simulação de Agitação Marítima) [9], no qual os parâmetros utilizados na geração do ficheiro de voltagem de controlo do gerador de ondas são [10]: a duração do ensaio e das rampas inicial e final; o período de pico, T_p ; a altura significativa, H_s ; a profundidade da água junto ao gerador, $0,95$ m; e o parâmetro da distribuição espectral JONSWAP, $\gamma=3,3$. Após o procedimento de geração das ondas no canal, estas foram avaliadas no que diz aos parâmetros T_p e H_s , tendo-se constatado

que os valores de T_p estão de acordo com os impostos. No entanto, os valores de H_s diferem por vezes dos pretendidos, pelo que se optou por gerar as ondas para um dado T_p , e aplicar um fator de amplificação à voltagem para obter o H_s pretendido. Constatou-se que existe uma relação linear entre esse fator de amplificação e o H_s obtido.

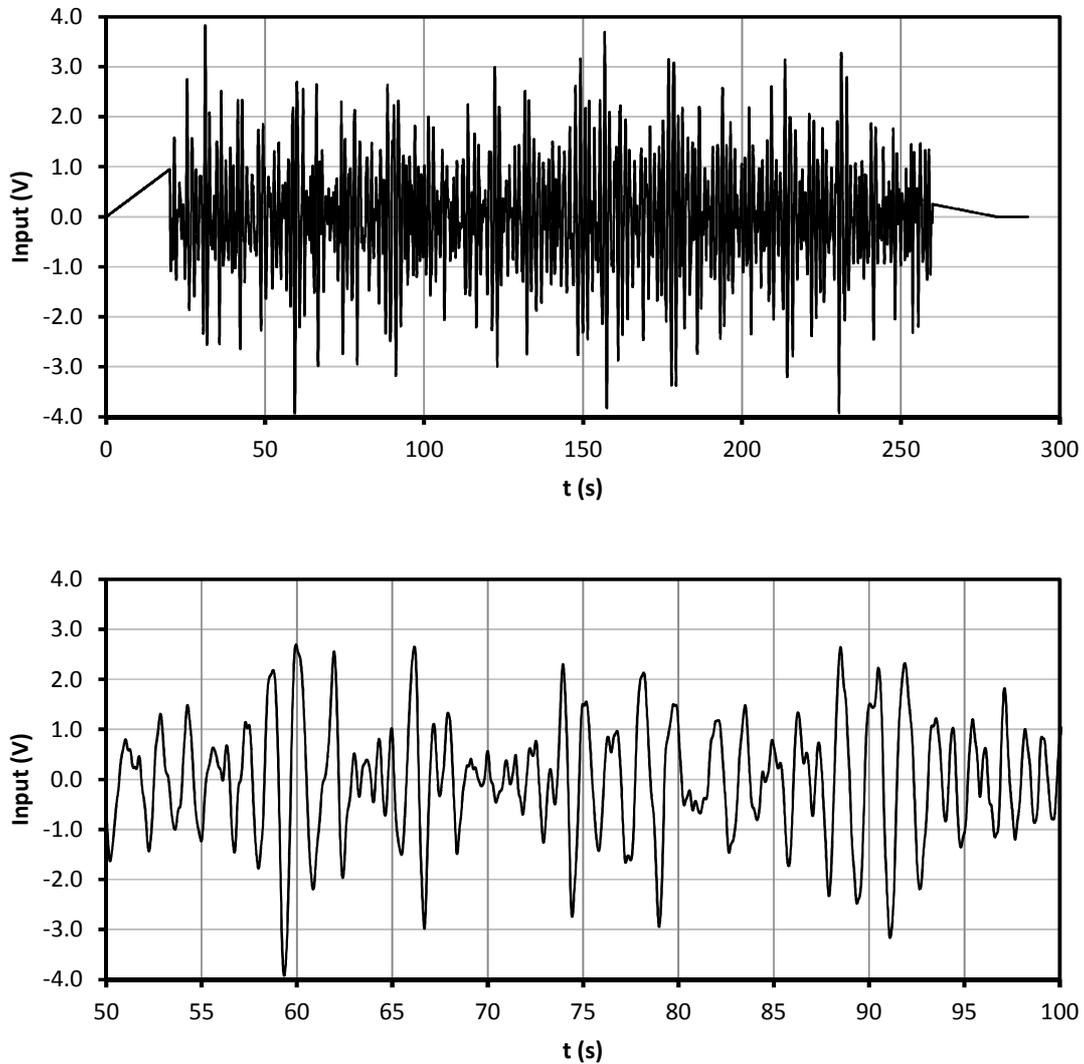


Figura 3. Sinal de geração da onda irregular com $T_s=1,5$ s e $H_s=0,14$ m: Sinal completo (cima); e parte do sinal (baixo).

Realizaram-se, para cada condição de agitação incidente, ensaios experimentais divididos em três fases:

- Fase I - Medição da elevação da superfície livre ao longo do canal;
- Fase II - Medição das componentes da velocidade das partículas no centro da coluna de água;
- Fase III - Medição de perfis verticais das componentes de velocidade das partículas em posições selecionadas ao longo do canal.

2.3. Equipamentos e técnicas de medição

Na Fase I, os valores de elevação da superfície livre ao longo da direção longitudinal do canal, eixo dos xx , foram medidos com o recurso a oito sondas resistivas alinhadas e espaçadas de 20 cm entre si e solidarizadas a uma estrutura móvel (Figura 4 - esquerda). Esta estrutura foi colocada em diferentes localizações ao longo do canal de forma a obter medições entre as posições $x=-10$ m e $x=10$ m com um espaçamento de 0,2 m. Para todos os ensaios experimentais foi colocada uma sonda de nível a 6 m do batedor, após a rampa de declive 1:11, na posição $x=-10,8$ m (Figura 4 - centro). Esta sonda foi mantida nesta posição para controlar a geração de ondas.

Nas Fases II e III, as medições da velocidade foram efetuadas usando um velocímetro acústico Doppler (ADV - *Acoustic Doppler Velocimeter*), o qual fornece as três componentes ortogonais da velocidade instantânea das partículas em suspensão na coluna de água, numa posição de análise (volume de medição). Junto ao ADV foi colocada uma sonda resistiva (Figura 4 - direita), para que, conjuntamente com a velocidade das partículas, seja também medida a elevação da superfície livre, na mesma secção transversal do canal.

Na Fase II, a velocidade, ao longo do canal, foi medida com o ADV posicionado no centro da coluna de água, entre as posições $x=-10$ m e $x=7$ m, com um espaçamento de 1 m.

Na Fase III, os perfis de velocidade foram medidos maioritariamente com intervalos de 5 cm na direção do eixo vertical, z , nas secções seleccionadas $x=-10$ e -5 m.

A frequência de aquisição para todas as medições, sondas de nível e ADV, foi de 25 Hz.



Figura 4. Conjunto de 8 sondas de nível (esquerda), sonda de nível junto ao batedor (centro) e sondas ADV e de nível (direita).

3. RESULTADOS

O tratamento dos dados obtidos, em cada uma das fases, para a condição de onda incidente foi:

- Análise temporal e espectral dos valores de elevação da superfície livre ao longo do canal;
- Análise temporal da velocidade das partículas ao longo do canal, no centro da coluna de água;
- Análise temporal dos perfis de velocidade das partículas, nas posições seleccionadas ao longo do canal.

3.1. Elevação da superfície livre

A partir das séries temporais da elevação da superfície livre ao longo do canal, obtidas para cada condição de agitação, efetuaram-se dois tipos de análise:

- a) Análise temporal dos registos, com cálculo dos valores: da altura de onda máxima, da altura de onda significativa, da altura de onda média, do período de onda significativo e do período de onda médio ao longo do canal;
- b) Análise espectral do sinal, para a onda incidente de $T_p=1,5$ s, $H_s=0,14$ m, com obtenção dos espectros de amplitude para as diferentes posições ao longo do canal e dos espectros de energia ao longo do tempo, recorrendo à técnica de *wavelets*.

3.1.1. Análise temporal

As Figuras 5 e 6 mostram, a altura de onda significativa, o período médio e significativo ao longo do canal, para as seis ondas incidentes testadas.

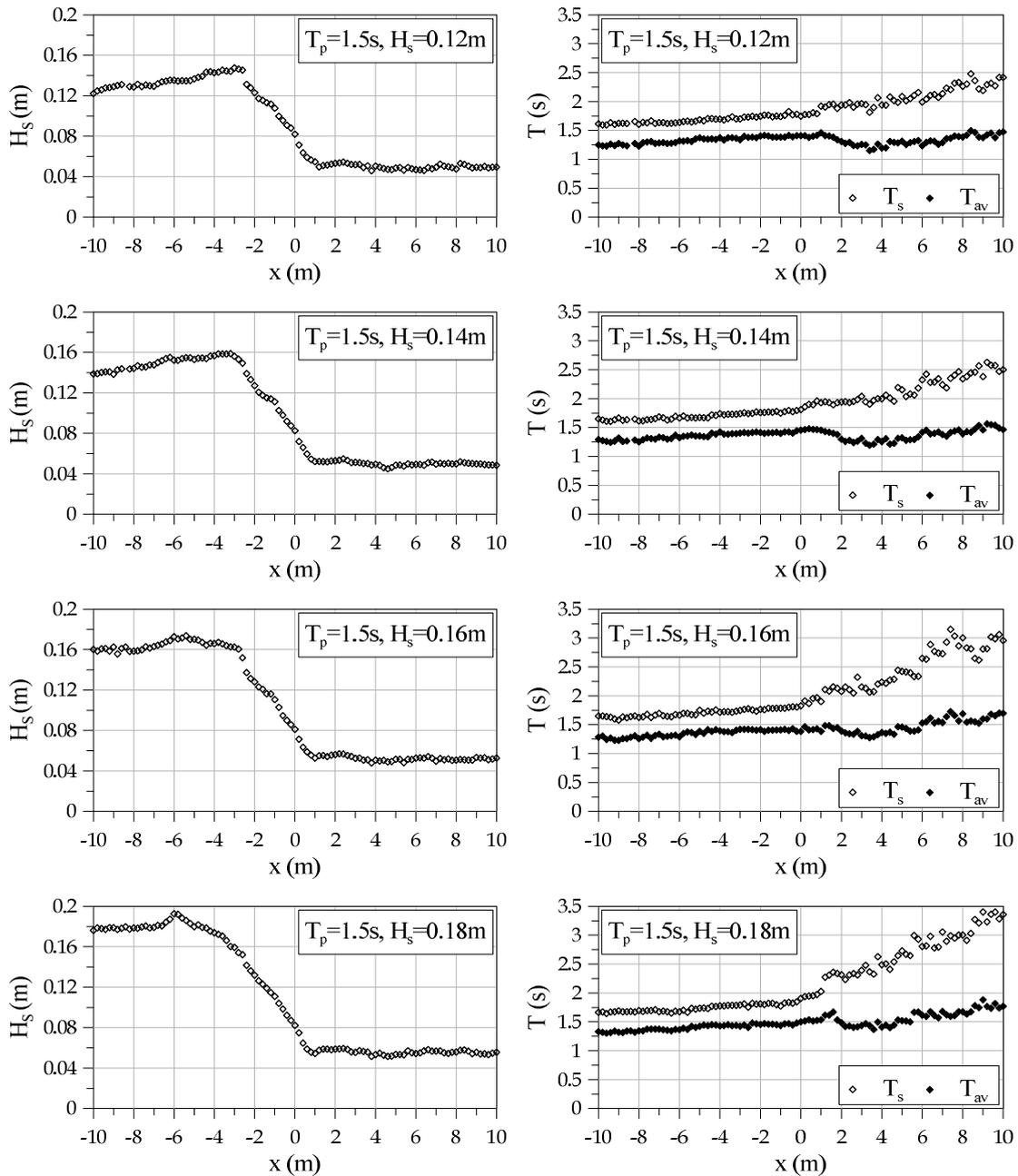


Figura 5. Altura significativa (esquerda) e período médio e significativo (direita), ao longo do canal.

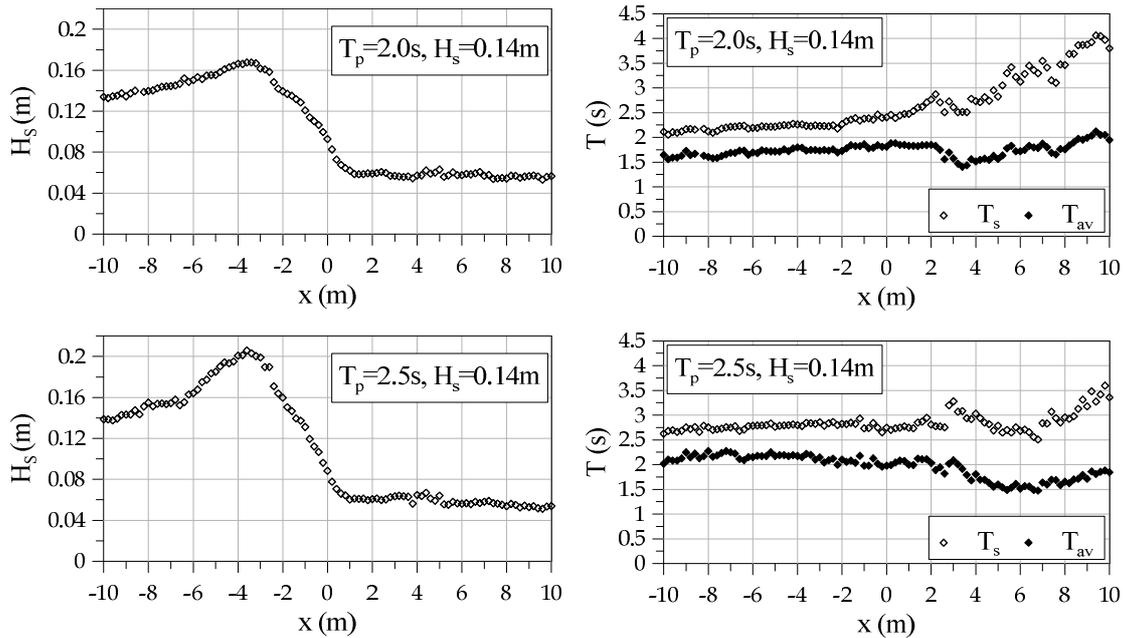


Figura 6. Altura significativa (esquerda) e período médio e significativo (direita), ao longo do canal (Cont.).

A análise das figuras anteriores permite verificar um aumento da altura de onda significativa (H_s) devido ao efeito de empolamento, até ao início da zona de rebentação, a partir da qual se verifica um decréscimo significativo de H_s , sendo a variação com x aproximadamente linear. A partir do fim da zona de rebentação, localizada aproximadamente em $x=1$ m, os valores da altura mantêm-se praticamente constantes. Tal como seria de esperar, o início da rebentação, para o mesmo período de pico, acontece tanto mais cedo, quanto maior for a altura significativa da onda incidente. Em contrapartida, para ondas incidentes com diferentes períodos de pico, associados à mesma altura de onda significativa, o início da rebentação verifica-se sempre entre $x=-3$ m e $x=-4$ m.

Quanto ao fim da rebentação, verifica-se que as características da onda incidente não influenciam nem a posição do fim da rebentação ($x=1$ m) nem os valores de altura de onda significativa que aí ocorrem e que se mantêm praticamente constantes até ao fim do canal.

Quanto aos períodos, para as ondas incidentes com $T_p=1,5$ s o comportamento é muito semelhante, sendo o período médio (T_{av}) ligeiramente inferior ao período de pico da onda incidente (T_p), enquanto que o período significativo (T_s) é superior a esse valor. Ambos os valores aumentam ligeiramente ao longo do canal até ao fim da rebentação, $x=1$ m. Após $x=1$ m, T_{av} diminui ligeiramente até aproximadamente $x=3$ m, aumentando a partir desta posição com um maior declive. T_s não apresenta este comportamento aumentando sempre ao longo do canal, apresentando também um maior declive após o fim da rebentação. Ambos os valores apresentam maior variabilidade ao longo do canal após o fim da rebentação onde a onda tem características mais irregulares.

Para a onda incidente com $T_p=2,0$ s, o comportamento é semelhante ao dos casos anteriores, no entanto, o mínimo ocorre mais a sotamar. Para $T_p=2,5$ s, para além do mínimo de T_{av} se situar ainda mais a sotamar, esta grandeza não apresenta o crescimento constante ao longo do canal como no caso das outras ondas, aumentando inicialmente e diminuindo ligeiramente de seguida até $x=3$ m.

Justifica-se o valor de T_s superior ao valor de T_{av} com a existência de ondas que não cruzam o zero e que, desse modo, são identificadas como ondas de maior período. Este comportamento foi também verificado em ensaios realizados com ondas bicromáticas [7].

3.1.1. Análise espectral

A Figura 7 apresenta os espectros de amplitude, calculados recorrendo a uma rotina *Discrete-Time Fourier Transform* (DFT), e espectros de energia ao longo do tempo, recorrendo à técnica de *wavelets* para a onda incidente de $T_p=1,5$ s, $H_s=0,14$ m, para $x=-10$ m (a), -5 m (b); -2 m (c); 0 (d) e 2 m (e).

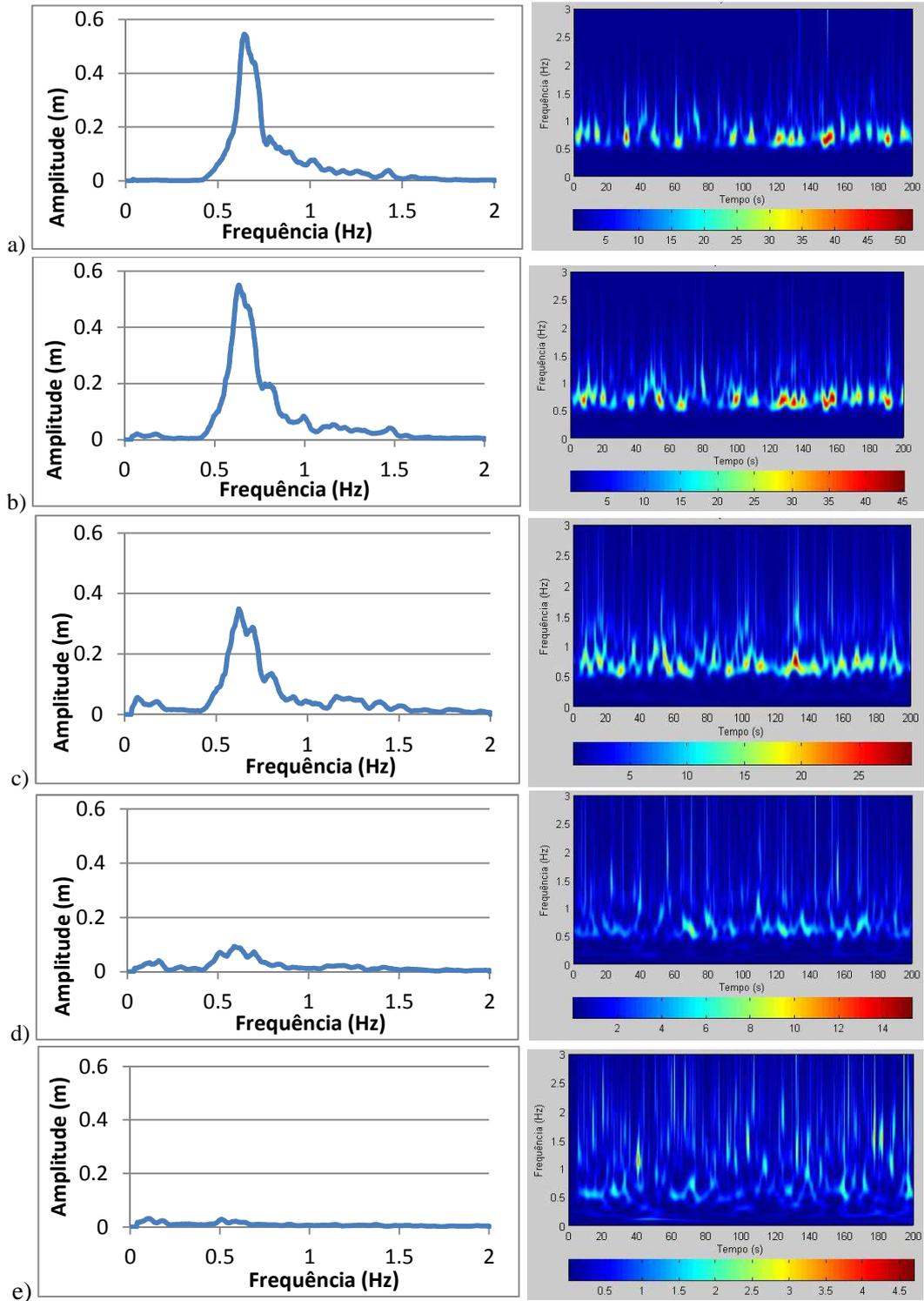


Figura 7. Espectro de amplitude e *wavelets* nas posições $x=-10$ m (a), -5 m (b); -2 m (c); 0 (d) e 2 m (e), para a onda incidente de $T_p=1,5$ s, $H_s=0,14$ m.

A análise espectral (quer pela análise Fourier quer pela técnica wavelet) mostra o aparecimento de um número crescente de harmônicas à medida que a onda se propaga no canal, devido ao aumento das características não lineares da onda. Há uma transferência clara de energia da frequência principal em $x=-10$ m para outras frequências maiores e menores, à medida que a onda se propaga no canal. Verifica-se o início da dissipação da energia a partir da posição $x=-2$ m, que corresponde ao início da rebentação que se torna claríssimo nas posições $x=0$ e $x=2$ m. Com a técnica *wavelet*, é possível ainda verificar a distribuição ao longo do tempo da energia associada a cada frequência do espectro. Note-se que a energia associada a cada frequência não é constante ao longo do tempo, mesmo a associada à frequência principal e à posição $x=-10$ m.

3.2. Velocidade

A partir dos dados de velocidade das partículas medidos para cada condição de agitação, obtiveram-se:

- As séries temporais da componente longitudinal de velocidade, V_x , ao longo do canal a meio da coluna de água;
- Os valores mínimos, V_{\min} , médios, V_{av} , e máximos, V_{\max} , da componente longitudinal da velocidade, V_x , ao longo do canal a meio da coluna de água. O valor V_{av} corresponde à média de todos os valores de V_x de cada registo temporal útil e os valores V_{\min} e V_{\max} correspondem, respetivamente, às médias dos valores mínimos e máximos de V_x . Estes valores foram calculados através da identificação de cada onda, utilizando o método do zero-descendente com quatro pontos;
- Os perfis verticais dos valores mínimo, médio e máximo da componente longitudinal da velocidade, para posições selecionadas ao longo do canal.

3.2.1. Séries e análise temporal da velocidade

A Figura 8 apresenta, a título de exemplo, as séries temporais de valores obtidos das componentes V_x , V_y e V_z , na posição $x=-10$ m, $y=0$ e $z=-0,2$ m, durante o intervalo de tempo com 50 s, para a onda incidente irregular com $T_p=1,5$ s, $H_s=0,14$ m. Nesta figura a componente V_y , embora não seja nula, apresenta valores com uma ordem de grandeza inferior às outras componentes.

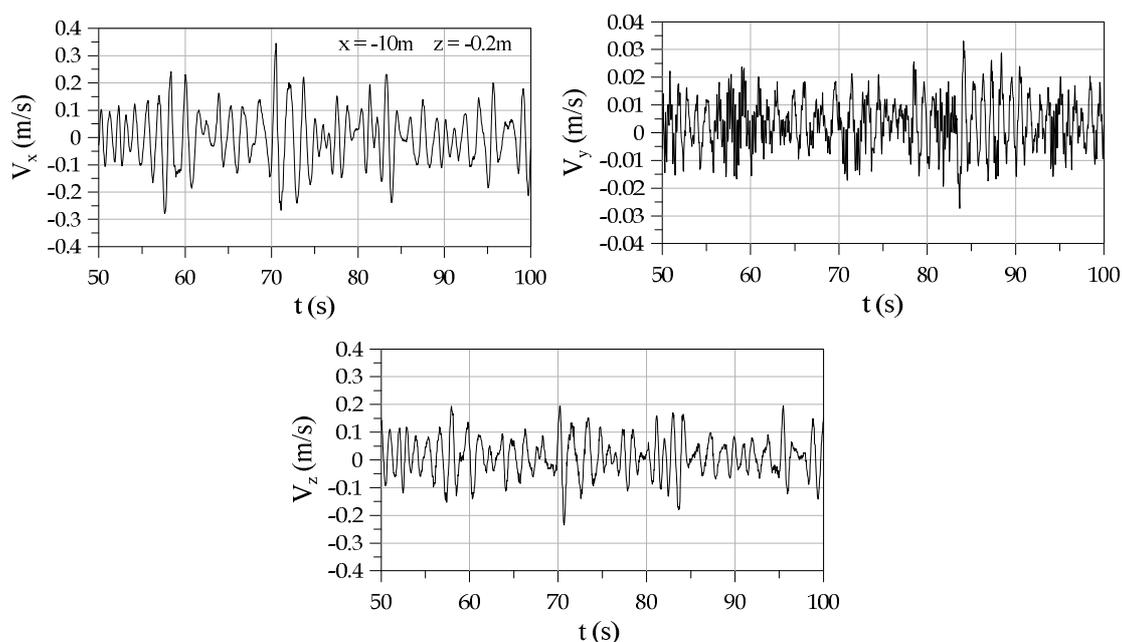


Figura 8. Componentes V_x , V_y e V_z , na posição $x=-10$ m, $y=0$ e $z=-0,2$ m, durante o intervalo de tempo com 50 s, para a onda incidente irregular com $T_p=1,5$ s, $H_s=0,14$ m.

Na Figura 9 apresentam-se os valores mínimo (V_{\min}), médio (V_{av}) e máximo (V_{\max}) da componente da velocidade V_x , ao longo do canal a meio da coluna de água, para as ondas incidentes irregulares. Em todos os gráficos verifica-se um ligeiro aumento dos valores de V_{\max} e V_{\min} devido à variação do fundo até $x=0$. A partir desta posição ocorre a diminuição desses valores até $x=3$ m, mantendo-se os valores praticamente constantes a partir desta posição. Com efeito a partir desta seção, as características dos valores da componente da velocidade, permanecem inalteradas qualquer que seja a condição incidente. É de notar que a simetria entre valores máximos e mínimos não é mantida ao longo do canal (propagação de ondas com características não-lineares) verificando-se valores mais elevados da velocidade máxima do que da mínima. Observa-se também que a velocidade média tem um valor quase nulo em todos os casos.

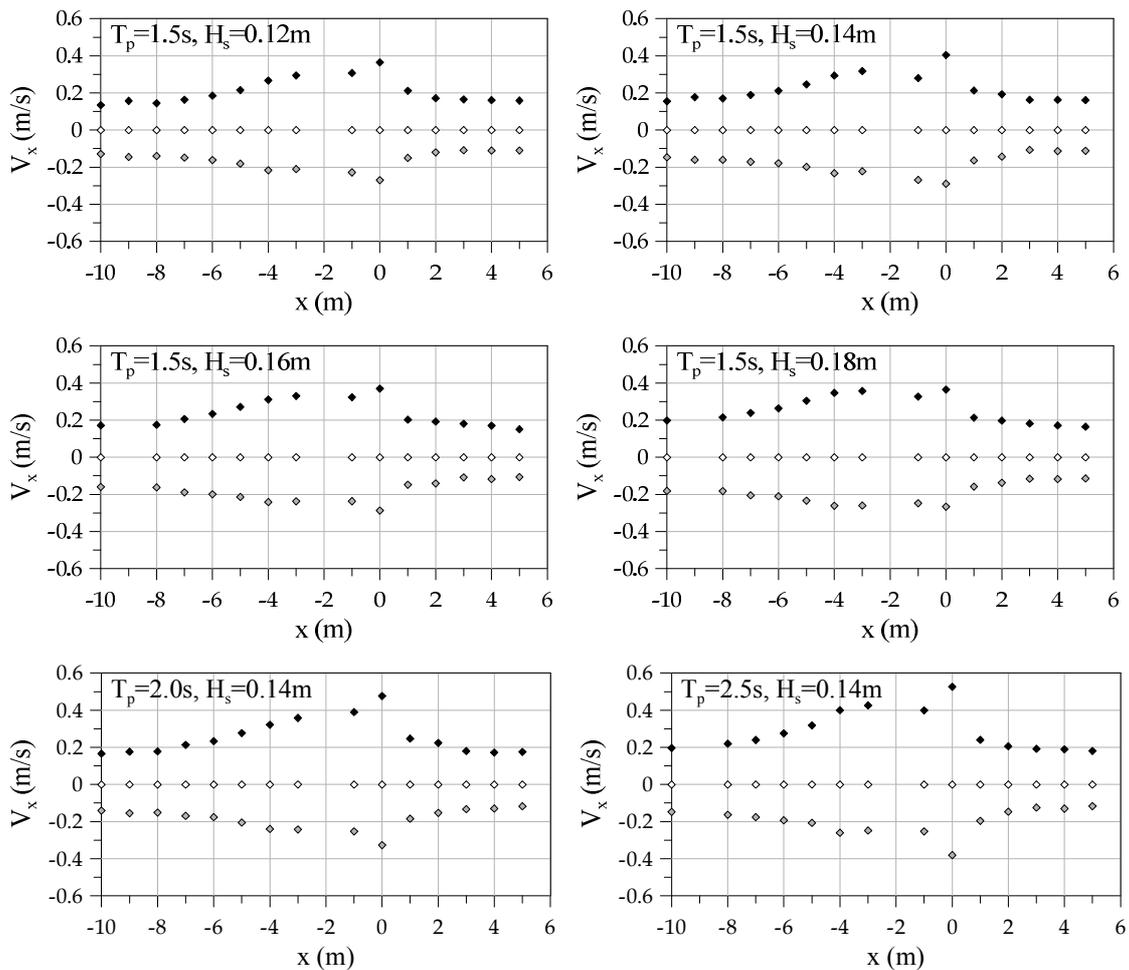


Figura 9. Valores mínimo (V_{\min}), médio (V_{av}) e máximo (V_{\max}) da componente longitudinal da velocidade, V_x , ao longo do canal a meio da coluna de água.

3.2.2. Análise temporal dos perfis verticais da velocidade

As Figuras 10 e 11 mostram os perfis verticais dos valores mínimo (V_{\min}), médio (V_{med}) e máximo (V_{\max}) da componente longitudinal da velocidade V_x , nas secções $x=-5$ m e $x=-1$ m, para as onda incidentes irregulares testadas. Note-se que o número de pontos de medição foram muito poucos, apenas 2 ou no máximo 3 pontos, pelo que a análise efetuada tem algumas limitações. Esta limitação deve-se a pequena profundidade da água nessas secções.

Como se pode observar, em $x=-5$ m (Figura 10) há uma variação da ordem dos 10-20 cm/s nos valores entre as zonas mais superficiais e as zonas mais profundas podendo-se observar uma

tendência para a simetria entre os valores máximos e mínimos. Verifica-se que à medida que se progride ao longo do canal essa tendência é cada vez mais tênue, mantendo-se o valor médio próximo de zero. Esta característica é uma consequência do empolamento da onda, embora ligeiro.

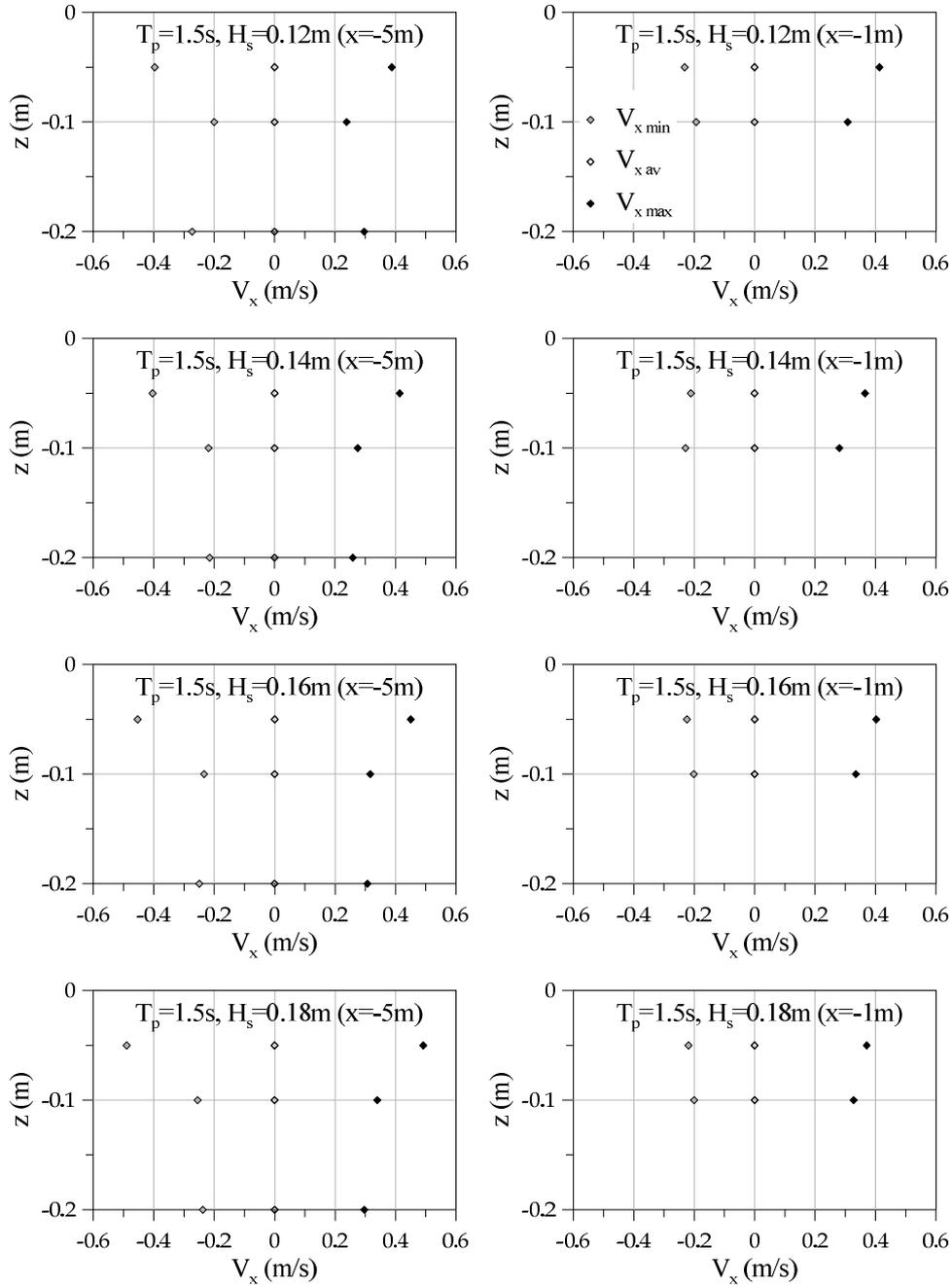


Figura 10. Perfis verticais dos valores mínimo (V_{min}), médio (V_{av}) e máximo (V_{max}) da componente longitudinal da velocidade, V_x , em $x=-5$ m e $x=-1$ m.

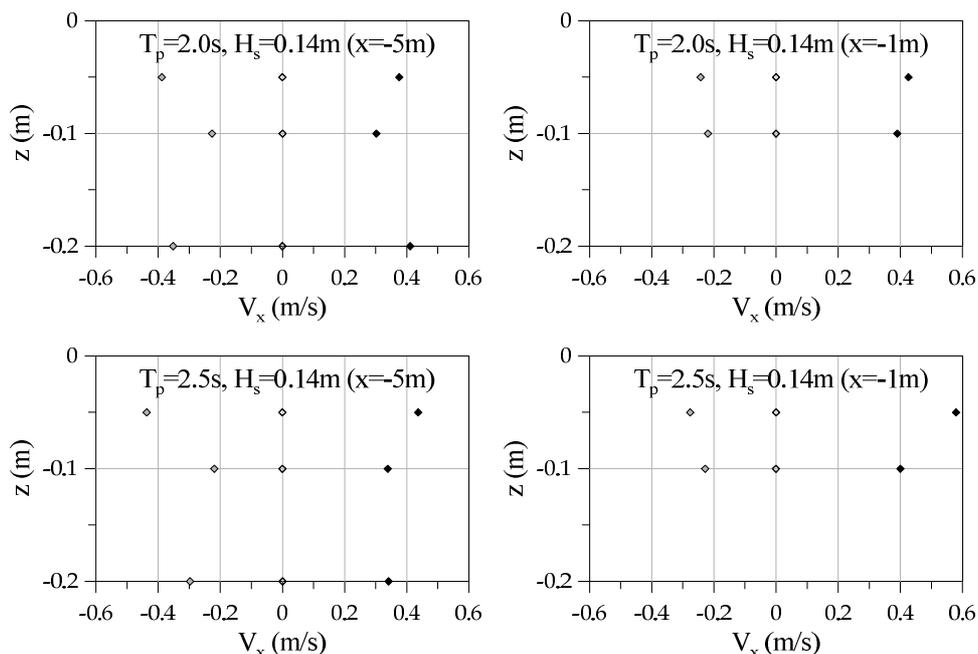


Figura 11. Perfis verticais dos valores mínimo (V_{\min}), médio (V_{av}) e máximo (V_{\max}) da componente longitudinal da velocidade, V_x , em $x=-5$ m e $x=-1$ m (Cont.).

4. CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentaram-se os recentes testes realizados em modelo físico num canal de ondas do LNEC, para o estudo da hidrodinâmica da propagação de ondas em zonas de praia de declive variável. O principal objetivo foi o de estudar com mais detalhe todo o processo relativo à propagação da onda em fundos de batimetria complexa.

O estudo em modelo físico foi realizado num canal de ondas cuja batimetria era constituída por uma série de rampas de diferente inclinação. Foram consideradas várias ondas incidentes irregulares. Através das medições efetuadas com as sondas resistivas (elevação da superfície livre) e com a sonda ADV (velocidade das partículas) foi efetuada uma análise temporal e espectral (espectro de amplitude e *wavelets*). Mediram-se ainda perfis verticais das velocidades das partículas em locais selecionados do canal.

Em termos de altura de onda significativa, verificou-se um aumento devido ao efeito de empolamento da onda até ao início da rebentação, a partir do qual se verifica a um decréscimo significativo, sendo a variação com x aproximadamente linear. Após o fim da rebentação, os valores mantêm-se praticamente constantes. Tal como seria de esperar, o início da rebentação acontece tanto mais cedo quanto maior for a altura significativa da onda incidente com o mesmo período de pico. Em contrapartida, para ondas com diferentes períodos de pico incidente e a mesma altura de onda significativa, o início da rebentação verifica-se sempre no mesmo local. Quanto ao fim da rebentação, verifica-se que as características da onda incidente não influenciam nem a posição do fim da rebentação ($x=1$ m) nem os valores de altura de onda significativa que aí acontecem e que se mantêm praticamente constantes até ao fim do canal.

Quanto aos períodos médios, de pico e significativo, o comportamento é muito semelhante, sendo o período médio ligeiramente inferior ao período de pico da onda incidente, enquanto que o período significativo é superior a esse valor. Ambos os valores aumentam ligeiramente ao longo do canal, até o fim da rebentação. Ambos os valores apresentam maior variabilidade ao longo do canal após o fim da rebentação. O valor de T_s é superior ao valor de T_{av} porque existem ondas que não cruzam o zero, e desse modo são identificadas como ondas de maior período. Este comportamento foi também verificado para ondas bicromáticas [7].

A análise espectral (análise Fourier e técnica *wavelet*) mostra o aparecimento de um número crescente de harmónicas à medida que a onda se propaga no canal e a transferência clara de energia da frequência principal em $x=-10\text{m}$ para outras frequências. Verifica-se também uma dissipação de energia devido à rebentação entre $x=0$ e $x=2\text{m}$. A técnica *wavelet* permite ainda ilustrar, em cada posição no canal, a distribuição ao longo do tempo da energia associada a cada frequência do espetro, a qual não é constante, mesmo a associada à frequência principal e à posição $x=-10\text{m}$.

Relativamente às velocidades, em todos os gráficos verifica-se um ligeiro aumento dos valores de V_{\max} e V_{\min} devido à variação do fundo até $x=0$, ocorrendo depois a diminuição desses valores até ao fim efetivo da rebentação, mantendo-se os valores praticamente constantes a partir desta posição. Após o fim da rebentação as características dos valores da componente da velocidade permanecem inalteradas qualquer que seja a condição incidente. É de notar que a simetria entre valores máximos e mínimos não é mantida ao longo do canal (propagação de ondas com características não-lineares) verificando-se valores mais elevados da velocidade máxima do que da mínima. Observa-se também que a velocidade média tem um valor quase nulo em todos os casos.

Em relação aos perfis, ocorre uma variação da ordem dos 10-20 cm/s nos valores entre as zonas mais superficiais e as zonas mais profundas. Há uma tendência para a simetria entre valores máximos e mínimos nas posições mais a montante do canal. Essa tendência é perdida à medida que se progride ao longo do canal, mantendo-se o valor médio próximo de zero.

Uma análise mais aprofundada dos valores da velocidade, nomeadamente a sua relação com as órbitas das partículas em suspensão e a posição da superfície livre, bem como a análise espectral dos registos de velocidade para diferentes posições x e z , serão apresentadas em futuras publicações.

AGRADECIMENTOS

O trabalho desenvolvido foi efetuado no âmbito da licença sabática de José M. P. Conde no LNEC. Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido através dos projetos HIDRALERTA – PTDC/AAC-AMB /120702/2010, EROS – PTDC/CTE-GIX/111230/2009 e DITOWEC - PTDC/ECM-HID/1719/2012. Agradecem também aos técnicos Ana Passarinho, Joana Simão e Odair Maurício a ajuda na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- [1] T. Okamoto, C.J.E.M. Fortes e D.R. Basco (2010). *Bore Propagation Speed at the Termination of Wave Breaking*. In Proc. 32nd International Conference on Coastal Engineering, Shanghai, China.
- [2] L. Endres, D.R.C.B. Neves, E. Didier, C.J.E.M. Fortes e T. Okamoto (2011). *Avaliação do desempenho de modelos numéricos na simulação de ondas ao longo de um canal de ondas*. In Proc. Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia CMNE2011, Coimbra, Portugal.
- [3] D.R.C.B. Neves, L. Endres, C.J.E.M. Fortes e T. Okamoto (2011). *Physical modelling of wave propagation and wave breaking in a wave channel*. In Proc. 5th SCACR International Short Conference on Applied Coastal Research, Aachen, Germany.
- [4] D.R.C.B. Neves, L. Endres, C.J.E.M. Fortes e T. Okamoto (2012). *Directional spreading model in a wave channel: Wave propagation and wave breaking*. *Ocean Engineering*, Vol. 55, pp. 148-160.
- [5] J.M.P. Conde, R. Reis, C.J.E.M. Fortes e D.R.C.B. Neves (2012). *Wave propagation on a flume: Physical modeling*. *Engenharia Térmica (Thermal Engineering)*, Vol. 11, pp. 22-29.

- [6] J.M.P. Conde, C.J.E.M. Fortes, E. Didier, R. Lemos e R. Reis (2013). *Physical modelling of bichromatic wave propagation and wave breaking in a wave flume*. In Proc. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research, Lisbon, Portugal.
- [7] J.M.P. Conde, C.J.E.M. Fortes, E. Didier, R. Lemos e R. Reis (2013). *Ensaios experimentais de ondas bicromáticas com e sem rebentação*. In Proc. Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería, Bilbao, España.
- [8] R. Capitão e J.M.P. Conde (2012). *Implementing the awasys wave absorption system in a peculiar wave flume*. Proc 4th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection – Coastlab12, Ghent, Belgium.
- [9] R. Capitão (2002). *Modelação estocástica numérica e física da agitação marítima*. Tese de doutoramento, Instituto Superior Técnico, Lisboa. 434 pp.
- [10] R. Lemos, D.R.C.B. Neves, L. Endres, C.J.E.M. Fortes, R. Capitão e T. Okamoto (2001). *Geração de agitação irregular no canal COI3*. Relatório BRISA 01/2001, LNEC.