

Indícios da ocorrência de um *tsunami meteorológico* na Praia do Cassino, RS

Eloi Melo F^{o1}, Lauro J. Calliari²; Davide Franco¹ & João C. S. Strauch²

¹Lab.de Hidráulica Marítima, UFSC, Fpolis, SC - emf@ens.ufsc.br & franco@ens.ufsc.br

²FURG, Rio Grande,RS – lcalliari@geo1.log.furg.br & dfsjc@super.furg.br

RESUMO

O relato de um misterioso “vagalhão” ocorrido na praia do Cassino permitiu conjecturar que o fenômeno ocorrido possa ter sido um *tsunami meteorológico* – ondas com características similares a de tsunamis comuns (i.e. induzidos por atividade sísmica no oceano), mas que tem origem em efeitos meteorológicos. Mesmo sem dados medidos, foi possível especular que a onda possa ter sido originada por variações de pressão atmosférica associadas à passagem de uma linha de instabilidade sobre a costa. O mecanismo de ressonância necessário para amplificar a onda formada no mar em resposta a essa forçante é atribuído ao fato da praia do Cassino ter “modos de vibração” de suas águas na forma de ondas de borda (“edge waves”) com características (período e velocidade) similares às da forçante atmosférica. São sugeridos estudos complementares para testar e aperfeiçoar as hipóteses apresentadas.

1. INTRODUÇÃO

O parágrafo abaixo é uma transcrição do relato do Sr. Leonel Souza, morador de Rio Grande, sobre o evento por ele presenciado na praia do Cassino próximo aos molhes da barra em Março de 1977: (fonte: Jornal Rio Grande, Ano 2, quarta-feira, 9 de Março de 1977 – nº. 439).

“O tempo ficou escuro e o vento mudava em todas as direções a todo momento. Vi que a água estava subindo rapidamente. De repente surgiu a primeira onda, depois veio uma segunda e mais tarde uma terceira que cobriu toda a praia. Houve muita gritaria e tudo não demorou mais do que 10 minutos. A água se espalhou pela praia depois retornou para o mar, a areia ficou molhada e o mar voltou ao normal”.

A reportagem também descreve o seguinte: *“... a água do mar se elevou a grande altura e a onda veio correndo do oceano para a terra. Passou por cima de aproximadamente quatorze automóveis que estavam na praia. Jogou um deles contra um trailer de cachorro-quente, este apoiado sobre algumas pedras, que logo perdeu o equilíbrio e virou na praia. Alguns objetos que estavam no trailer, como garrafas, foram carregados pelas águas até os cômodos de areia que ficam a uns duzentos metros de distância em relação à linha da maré...”.*

Lamentavelmente, a reportagem também dá conta que esse mesmo evento causou a morte duma senhora que se encontrava nos molhes e que perdeu o equilíbrio após ser atingida pela misteriosa onda batendo com a cabeça nas pedras.

Na verdade, de acordo com moradores (com. pess.), episódios semelhantes já ocorreram em outras oportunidades no mesmo local, indicando ser este um fenômeno raro, porém recorrente na praia do Cassino. Tendo em vista a grande peculiaridade e o potencial de perigo do fenômeno, apresentam-se nesse artigo algumas idéias no sentido de elucidar a origem e o motivo da existência desse misterioso “vagalhão”.

2. INDÍCIOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO FENÔMENO

Apesar dos esforços dos autores, não foi possível encontrar nenhum tipo de dado que permitisse substanciar adequadamente o evento. Porém, os relatos acima trazem duas informações importantes acerca do fenômeno, uma sobre a ordem de grandeza da sua duração – cerca de *10 min* - e outra com respeito às condições meteorológicas existentes no momento em que tudo aconteceu.

Movimentos do mar com períodos na faixa de minutos não são muito comuns pela inexistência de mecanismos que consigam transferir energia para o oceano de forma eficiente nessa escala de períodos. Ondas (livres) com períodos de *10 min* no oceano profundo (prof. $\approx 4000\text{ m}$), por exemplo, propagar-se-iam a uma velocidade da ordem de *700 km/h*, portanto muito acima da velocidade dos ventos existentes o que dificulta sua geração de forma *direta* mesmo durante uma tempestade. Entretanto, efeitos não-lineares entre as componentes do espectro de ondas geradas pelo vento (que tem períodos da ordem de segundos) são capazes de transferir *indiretamente* energia para componentes com períodos da ordem do intervalo de tempo entre grupos de ondas, ou seja, alguns minutos. No oceano profundo essas ondas viajam “presas” (“bound waves”) aos grupos de onda e, portanto, não são ondas livres. Porém, ao atingirem a zona de arrebentação numa praia, as ondas curtas arrebentam e se dissipam liberando a energia aprisionada pelas ondas longas que pode ou ser refletida de volta para o oceano (na forma de ondas livres) ou ser transferida para outros modos de onda possíveis de existir num corpo d’água em forma de cunha – as conhecidas *ondas de borda* (“edge waves”). Oltman-Shay & Guza [10], entre outros autores, demonstraram que os movimentos do mar na zona de arrebentação numa praia contem uma quantidade significativa de energia na forma de ondas de borda com períodos na faixa de minutos.

Poderia então o misterioso “vagalhão” ter sido uma onda deste tipo ? A resposta é *não*. Para que o vagalhão fosse uma onda como a descrita acima, seria necessário que as condições de agitação do mar estivessem intensas, em outras palavras, o mar deveria estar de “ressaca”. Não foi esse o caso, pois não há relato de agitação anormal na ocasião. A testemunha, inclusive, menciona que o mar “voltou ao normal” logo após o “vagalhão” indicando claramente que a misteriosa onda foi um episódio isolado.

Outra possibilidade é que o “vagalhão” tenha sido um *tsunami*. Tsunamis ou “maremotos” são ondas que surgem em resposta a movimentos do fundo oceânico ocasionados por atividade sísmica e que têm períodos compreendidos entre alguns minutos a poucas horas. Porém, essa possibilidade também não se apresenta como uma candidata plausível para explicar o “vagalhão” do Cassino. De fato, pela sua localização central na placa tectônica que suporta a América do Sul

a costa do Rio Grande do Sul (e o restante do Brasil...) não está sujeita a terremotos. Mesmo assim, existe a possibilidade de que o “vagalhão” tivesse sido um tsunami gerado *remotamente* em algum local longínquo do oceano e que se propagou até a praia do Cassino (como foi o caso do famoso tsunami de 27 de Março de 1964 que ocorreu ao largo do Alasca e se propagou por todo o oceano Pacífico atingindo desde a Califórnia até o Chile). Porém, se tivesse sido esse o caso acontecido em Março de 1977, teria havido notícia de ocorrência de tsunamis em outros locais da costa, não apenas brasileira, mas de outros países também. Como atividades sísmicas e tsunamis são monitorados rotineiramente em vários países seria possível, a princípio, investigar se houve registro de algum evento no período em questão, mas os autores não consideraram que valesse a pena o esforço em vista da alternativa discutida a seguir.

3. TSUNAMIS METEOROLÓGICOS E SEICHES

A alternativa que parece mais provável para explicar a ocorrência do “vagalhão” do Cassino é que este tenha sido a manifestação dum *tsunami meteorológico*.

Tsunamis meteorológicos são ondas com períodos similares aos dos tsunamis comuns (i.e. de origem sísmica), mas que devem sua existência a um peculiar mecanismo de resposta do oceano a ação da atmosfera. A idéia básica é que variações de pressão associada a ondas atmosféricas atuam como forçante para ondas de similar período no mar. Como as variações de pressão associadas a essas ondas atmosféricas são usualmente pequenas - da ordem de alguns milibares em condições extremas (pressão de 1 mbar corresponde a pressão de 1 cm de água) ver, por ex, Gedzelman & Rilling [3] – para que a onda gerada no mar atinja altura perceptível é necessário que haja algum mecanismo de amplificação ou *ressonância* na resposta do mar a essa forçante. (Um sistema físico entra em “ressonância” quando é forçado a oscilar com uma frequência que corresponde à sua frequência própria de vibração). Um comportamento análogo a esse ocorre em algumas baías, enseadas e portos onde oscilações de nível d’água induzidas por efeitos meteorológicos ou provenientes do oceano profundo são amplificadas por efeito de ressonância e recebem o nome de “seiche”.

Existem vários locais ao longo da vastíssima zona costeira que margeia os oceanos, mares e grandes lagos da Terra que apresentam recorrentemente (mas não corriqueiramente) oscilações de nível associadas a fenômenos atmosféricos. A título de ilustração, apresenta-se abaixo uma compilação de informações sobre alguns sítios onde tsunamis meteorológicos foram reportados. A compilação é baseada no trabalho de Rabinovich & Monserrat [11] onde maiores detalhes, incluindo referências, podem ser obtidos.

- Baía de Nagasaki – Japão. 18 eventos de ondas com alturas de 1 m ocorreram entre 1961 e 1979. O maior de todos ocorreu em 31 de Março de 1979 quando um marégrafo localizado na região central da baía mediu oscilações com períodos de 35 min e altura de 2.8 m atingindo 4.8 m na extremidade norte. O fenômeno é conhecido localmente como “*abiki*”.
- Enseada de Longkou – China. Foram reportados 13 eventos de oscilações com altura de pelo menos 1 m ocorreram entre 1957 e 1980. Evento mais intenso atingiu altura de 2.9 m .

- Ilhas Kuril do Sul – Rússia. Região apresenta, com frequência, oscilações com altura de dezenas de centímetros geradas por forçantes meteorológicas.
- Costa Oeste da Sicília – Itália. Fenômeno conhecido como “*Marrobio*” (corruptela de “*mare rabbioso*” ou mar raivoso) que foi estudado em detalhe por Candella et al [1]. Oscilações do nível do mar com períodos variando de alguns minutos a 1 h que acontecem com frequência nas costas da Sicília e da Ilha de Malta. Em particular, no porto de Mazara del Vallo na Sicília, construído dentro de um antigo estuário e que abriga uma das frotas pesqueiras mais importantes do Mediterrâneo, a onda assume a forma dum ressalto hidráulico progressivo (similar a uma pororoca) que se propaga estuário acima causando destruição.
- Porto da Ciutadella, Ilhas Baleares – Espanha. Talvez o exemplo mais ilustrativo e mais bem documentado dum tsunami meteorológico. O fenômeno, conhecido localmente como “*rissaga*” (palavra do dialeto Catalão equivalente a palavra espanhola “*ressaca*”), ocorre principalmente no Verão com alturas da ordem de 1 a 2 m e períodos da ordem de 10 min. Os maiores eventos registrados ocorreram em 1981, 1984 e 1989 quando as oscilações atingiram alturas de cerca de 3 m. Estudos realizados por vários autores (Tintoré, Gomis, Alonso & Wang [12]; Monserrat, Ibbetson & Thorpe [8]; Monserrat & Thorpe [9]; Gomis, Monserrat & Tintoré [5]); inclusive com medições oceanográficas e meteorológicas simultâneas, confirmam a relação entre ondas atmosféricas e a “*rissaga*” e demonstram também a existência de ressonância no canal onde está localizado o porto.

[Nota: Apesar da semelhança da palavra “*rissaga*” com a palavra portuguesa *ressaca*, os autores *não* recomendam o uso desta para identificar o fenômeno em questão. O termo *ressaca* deve ser reservado para descrever situações de mar agitado com ondas grandes na costa. O termo “tsunami meteorológico”, apesar de longo, parece mais adequado.]

4. ONDAS GRAVITACIONAIS NA ATMOSFERA

A existência de ondas gravitacionais (i.e. que tem como força restauradora a gravidade) na atmosfera é um fato bem estudado e documentado. Talvez as ondas gravitacionais atmosféricas mais conhecidas sejam aquelas que ocorrem a sotavento de cadeias de montanhas em condições de estratificação acentuada (ver, por ex., Gill [4]). Simplificadamente, quando o ar é forçado a subir para ultrapassar as montanhas, o escoamento estratificado é perturbado desenvolvendo oscilações na interface de separação entre camadas de diferentes densidades que dão origem às ondas de montanha. Esse tipo de onda atmosférica não tem, certamente, relação com o evento em questão pela inexistência de montanhas na região de Rio Grande.

Entretanto, ondas gravitacionais podem ser geradas na atmosfera (mesmo na ausência de montanhas) por mecanismos de instabilidade hidrodinâmica (num fluido estratificado). Os períodos destas ondas variam de minutos a horas. No caso específico de ondas de período “curto” (i.e. minutos), Gedzelman & Rilling [3], realizaram um estudo sobre a dinâmica e as condições sinóticas associadas a este tipo de onda mostrando, entre outras coisas, que as mesmas

podem estar associadas a centros de baixa pressão. As ondas estudadas por esses autores têm períodos entre 5 a 20 min e comprimentos compreendidos entre 10 e 40 km.

5. UMA POSSÍVEL EXPLICAÇÃO PARA O “VAGALHÃO” DO CASSINO

O relato mencionado acima sugere a passagem de uma linha de instabilidade (“*squall line*”) bastante intensa durante a ocorrência do “vagalhão”. A primeira vista, dois mecanismos podem ter agido como forçante meteorológico:

- (i) ondas atmosféricas com períodos curtos oriundas dessa linha de instabilidade.
- (ii) uma queda de pressão móvel e abrupta que acompanhou o avanço da linha de instabilidade sem a existência de ondas.

Em qualquer dos casos é necessário que a forçante tenha escala de tempo compatível com o período da onda observado: cerca de 10 min. Além disso, tanto na hipótese (i) quanto na (ii) é importante avaliar a velocidade de avanço da forçante. Baseado nas medições reportadas por Gedzelman & Rilling [3] e por Candella et al [1], a ordem de grandeza dessa velocidade é estimada em 10 m/s. No caso da forçante em forma de onda (i), é necessário estimar também a ordem de grandeza do comprimento da onda. Novamente, baseando-se nos trabalhos citados, esse valor é estimado em 10 km.

Uma última questão importante diz respeito à *direção* segundo a qual essa linha de instabilidade avançou sobre a praia do Cassino. Como essa informação não consta do relato, os autores vão admitir, por hipótese, que a linha deslocou-se numa direção aproximadamente paralela ao alinhamento da costa nesse trecho (WSW, ver Fig. 1). Dessa forma, a variação de pressão proveniente da linha de instabilidade, ou na forma de ondas ou na forma de uma descontinuidade móvel, teria condição de atuar diretamente sobre as águas da plataforma interna adjacente por uma distancia suficientemente grande de modo a permitir a transferência de energia da atmosfera para o mar na vizinhança da costa.

Para que a hipótese do tsunami meteorológico se justifique é ainda necessário mostrar que a praia do Cassino possui um (ou mais) “modo de vibração” com características da mesma ordem de grandeza das estimadas acima para a forçante atmosférica ($T \approx 10 \text{ min}$, $\lambda \approx 10 \text{ km}$ e $C \approx 10 \text{ m/s}$). Pela geometria do problema e pela hipótese aventada acima (de que a linha de instabilidade moveu-se paralelamente à costa), as candidatas naturais para representar os modos de vibração das águas próximas à praia são ondas de borda.

A possibilidade de associar a existência de seiches costeiros a ondas de borda na costa leste da América do Sul já foi considerada por Inman, Munk & Balay [6] para explicar oscilações de nível reportadas na plataforma continental Argentina na região entre Mar Del Plata e Quequen (curiosamente, não muito longe de Rio Grande...). A conclusão desses autores para o caso estudado foi de que as ondas de borda eram excessivamente lentas para viajar entre as duas localidades no tempo sugerido pelas medições e que, portanto, as oscilações poderiam estar relacionadas a ondas provenientes do oceano profundo além da plataforma continental. É interessante ressaltar, no entanto, que Inman, Munk & Balay [6] consideraram apenas ondas de

borda de modo zero. A teoria de ondas de borda mostra que modos mais altos propagam-se a velocidades maiores (para um mesmo declive de fundo) conforme revisto na seção seguinte.

6. ONDAS DE BORDA

Ondas de borda são formas de onda que existem apenas sobre corpos d'água na forma de cunha, como no declive próximo a uma praia. Esse tipo de onda propaga-se ao longo da praia (*dir-y*) onde apresenta sua maior altura. Na direção normal à costa (*dir-x*), a onda de borda tem um decaimento exponencial que pode se dar monotonicamente ou acompanhado de oscilações. Para o caso duma praia plana com fundo inclinado de β em relação a horizontal, a posição da superfície (η) é dada por (ver, por ex, Dean & Dalrymple [2], pg 108):

$$\eta(x, y, t) = Ae^{-kx} L_n(2kx) \cos(ky - \sigma t) \quad (1)$$

onde A é a amplitude da onda (metade da altura), $k = 2\pi/\lambda$ é o número de onda e λ o seu comprimento ao longo da praia; $\sigma = 2\pi/T$ é a frequência e L_n são os Polinômios de Laguerre. O índice n identifica o *modo* da onda o qual corresponde ao número de vezes que a superfície livre corta o nível de repouso da água na direção normal à praia num instante de tempo qualquer. Para o *modo 0* ($n=0$), por exemplo, $L_0=1$ e o decaimento da onda se dá monotonicamente na *dir-x*, enquanto que no *modo 1* ($n=1$), $L_1 = 1 - 2kx$ de modo que a uma crista de onda na praia corresponderá um cavado mais ao largo (ver Fig. 2).

A relação de dispersão das ondas de borda nesse mesmo caso é dada por,

$$C_n = \frac{gT}{2\pi} \sin[(2n + 1)\beta] \quad (2)$$

a qual permite determinar a velocidade de propagação (C_n) dos diferentes modos de ondas de borda.

O problema que se coloca então é averiguar se, no caso da praia do Cassino, esse tipo de onda teria características compatíveis com aquelas estimadas para a forçante atmosférica. Como o período da resposta tem que ser o mesmo da forçante ($T \approx 10 \text{ min}$), a equação (2) foi usada para determinar as declividades β_r que possibilitariam a existência de ondas com velocidade de propagação de 10 m/s . A tabela abaixo apresenta esse resultado para os 2 primeiros modos de ondas de borda.

Modo da Onda de Borda (n)	T [min]	C [m/s]	λ [km]	β_r [m/m]
0	10	10	6	0.01
1	10	10	6	0.0036

Seriam alguns desses declives representativos para a praia do Cassino ? A Fig 1, extraída da Carta Náutica DHN 2110, mostra a batimetria da região até os molhes da barra. Analisando a localização da batimétrica de 5 m na figura observa-se que, no trecho mais a sul, esta está a uma distância de cerca de 500 m da praia o que dá uma declividade $\beta \approx 0.01 \text{ m/m}$, exatamente a necessária para “hospedar” o modo 0 ressonante ! A carta também mostra que a batimétrica de 5 m guarda uma posição aproximadamente paralela a praia por uma distância de pelo menos 15 km a sul do molhe indicando que a declividade *inicial* do fundo é mais ou menos constante em todo esse trecho o que favoreceria o desenvolvimento da onda de modo 0. A medida que os molhes se aproximam a batimétrica de 5 m começa a se afastar da praia indicando a existência de uma região de assoreamento devido a presença das estruturas. A batimétrica encontra-se com o molhe oeste a uma distância de cerca de 1500 m da praia o que dá uma declividade $\beta = 0.0033 \text{ m/m}$ nesse trecho final, muito próxima da necessária para o modo 1 ressonante !

A Fig. 2 mostra a posição instantânea da superfície da água na direção normal a praia dada pela eq. (1) para os dois modos mencionados acima (modo 0 para fundo com $\beta = 0.01 \text{ m/m}$ e modo 1 para $\beta = 0.0033 \text{ m/m}$). Observando-se a figura verifica-se que o modo 0 necessitaria de um declive constante de cerca de 3 km para se “encaixar” adequadamente à praia. O modo 1, por sua vez, atenua-se significativamente só a partir de cerca de 6 km da costa. (Notar que como as declividades nos dois casos são diferentes, os modos mostrados *não* podem ocorrer simultaneamente.). A praia do Cassino possui declives largos o suficiente para tanto ?

Para investigar essa questão, vamos analisar a estrutura da batimetria entre as isóbatas de 5 e 10 m . A Fig. 1 mostra que o relevo nessa faixa é irregular, com batimétricas que não guardam uma distância uniforme em relação à linha de costa ficando, portanto, difícil inferir uma declividade média representativa a partir dos 5 m. Esse fato torna uma resposta objetiva à questão levantada acima um pouco difícil. O comportamento de ondas de borda numa situação batimétrica complexa teria de ser investigado através da modelação numérica do problema.

Todavia, apesar de todas as simplificações implícitas na presente análise, os resultados preliminares aqui apresentados sugerem que a batimetria do fundo em frente à praia do Cassino possui características compatíveis com as requeridas para manter ondas de borda *ressonantes* com a forçante atmosférica considerada.

7. REFLEXÃO NO MOLHE OESTE

Um último aspecto do fenômeno ainda pode ser considerado para reforçar a presente argumentação: trata-se da possibilidade de reflexão dessa onda no molhe oeste.

A capacidade de reflexão numa estrutura de enrocamento está relacionada, dentre outros fatores, à geometria da seção e a “porosidade” do material, (o período da onda também é um fator importante, ver, por ex. Madsen [7]). Em estruturas de enrocamento modernas, além das pedras de maior dimensão que constituem a armadura externa, costuma-se construir um núcleo interno de pedras menores que terminam por diminuir a permeabilidade da estrutura para ondas mais longas. Na falta de informações detalhadas sobre as características da seção do molhe oeste,

admitir-se-á, em vista da idade da obra, que a estrutura teve seu interior “selado” por sedimentos e detritos e que, portanto, seria capaz de refletir a maior parte da energia das ondas em questão.

Sob essa hipótese, o molhe oeste atuaria como uma parede refletora para as ondas de borda mencionadas acima. No caso improvável de reflexão *total* a altura da onda incidente seria *duplicada* por efeito da reflexão. Mesmo no caso (mais provável) duma reflexão apenas parcial, a onda refletida, ao se somar a incidente, ocasionaria a formação duma onda de borda *estacionária* (ou semi-estacionária) na praia (“standing edge wave”) de altura *maior* que a original. A presença do molhe, portanto, pode ter propiciado uma amplificação *extra* da onda na região mais próxima ao molhe onde os incidentes relatados na reportagem aconteceram.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente artigo apresenta argumentos que sugerem que o “vagalhão” com período de *10 min* acontecido na praia do Cassino em 1977 tenha sido uma manifestação dum fenômeno raro porém comprovadamente existente em outras partes do mundo: um *tsunami meteorológico*. O fenômeno teria tido como forçante a passagem sobre a praia de uma linha de instabilidade atmosférica com características peculiares. Primeiramente a linha de instabilidade teria de ser acompanhada de uma brusca diferença de pressão ou de ondas de pressão associadas. Além disso, a linha de instabilidade teria como direção de deslocamento uma direção paralela à linha de costa, indo no sentido dos molhes com uma velocidade de propagação da ordem de *10 m/s*. O mecanismo de ressonância necessário para amplificar a resposta do mar a essa forçante atmosférica foi creditado à possibilidade de existência, na praia do Cassino, de ondas de borda com período, comprimento e velocidade de propagação compatíveis com aqueles estimados para a forçante.

Pela total inexistência de dados, as idéias aqui apresentadas devem ser consideradas apenas como uma *especulação fundamentada* (“educated guess”) que necessita ser confirmada (ou não...) por estudos mais detalhados. Assim, na conclusão deste artigo são apresentadas algumas sugestões no sentido de dar continuidade ao presente trabalho.

Em primeiro lugar, seria interessante fazer um levantamento das condições atmosféricas existentes em outros episódios semelhantes que porventura tenham sido documentados no sentido de identificar similaridades com o episódio aqui descrito. Como ocorre em outros locais onde tsunamis meteorológicos acontecem, o fenômeno, apesar de bastante raro, é *recorrente*, portanto é certo que tenha havido outros episódios semelhantes na praia do Cassino.

Seria também interessante realizar uma campanha de monitoramento no local a fim de registrar o fenômeno com instrumentos. Medições de pressão atmosférica seriam obviamente necessárias, tomando-se o cuidado de usar um aparelho sensível a variações em escala de minutos (medições horárias de pressão seriam inúteis para o presente propósito). Da mesma forma, na parte oceanográfica, seria necessário fazer medições de nível do mar com resolução temporal na escala de minutos. O local de instalação do marégrafo teria de ser adequado para os propósitos desse estudo. Provavelmente o mais indicado seria instalar um marégrafo de pressão nas vizinhanças do molhe oeste (medições feitas no porto seriam de utilidade duvidosa uma vez que não se sabe se a oscilação em questão é capaz de adentrar o canal da barra).

Finalmente, estudos teóricos aprofundados serão necessários para corroborar (ou não) as hipóteses científicas aqui apresentadas. O alvo principal dessa investigação deve ser uma determinação precisa dos “modos de vibração” da praia do Cassino através de modelos hidrodinâmicos numéricos com batimetria real. A realização desses estudos e levantamentos fornecerá subsídios para o aperfeiçoamento das idéias aqui apresentadas.

9. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor deseja agradecer o suporte proporcionado pelo CNPq na forma de bolsa de produtividade em pesquisa durante o período em que esse trabalho foi realizado.

10. REFERÊNCIAS

1. CANDELA, J.; SALVATORE, M.; CHERIF, S.; LIMEBURNER, R.; LOZANO, C.J.; PATTI, B. & BONNANO A. The “Mad Sea” Phenomenon in the Strait of Sicily. *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 29, 2210–2231, 1999.
2. DEAN R.G. & DALRYMPLE R.A. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press, 475 pp, 2002.
3. GEDZELMAN, S.D. & RILLING, R.A. Short-Period Atmospheric Gravity Waves: a Study of Their Dynamic and Synoptic Features, *Monthly Weather Review*, 106, 196–210, 1978.
4. GILL A.E. *Atmosphere–Ocean Dynamics* Academic Press, 662 pp, 1982.
5. GOMIS D.; MONSERRAT, S. & TINTORÉ J. Pressure-Forced Seiches of Large Amplitude in Inlets of the Balearic Islands, *Journal of Geophysical Research*, 98, 14,437–14,445, 1993.
6. INMAN, D.; MUNK W. & BALAY, M.. Spectra of low frequency ocean waves along Argentine shelf, *Deep-Sea Research*, Vol 8, 155–164, 1962.
7. MADSEN, P A. Wave reflection from a permeable wave absorber, *Coastal Engineering.*, 7, 381–396, 1983.
8. MONSERRAT, S.; IBBETSON A. & THORPE, A. Atmospheric Gravity Waves and the “Rissaga” Phenomenon, *Q.J.R. Meteorological Society*, 117, 553–570, 1991.
9. MONSERRAT, S. & THORPE, A. Gravity-wave Observations using an Array of Microbarographs in the Balearic Islands, *Q.J.R. Meteorological Society*, 118, 259–282, 1992.

10. OLTMAN-SHAY, J. & GUZA, R.T. Infragravity Edge Wave Observations in Two California Beaches, *Journal of Physical Oceanography* 17, 644–663, 1987.
11. RABINOVICH, A.B. & MONSERRAT, S. Meteorological Tsunamis near the Balearic and Kuril Islands: Descriptive and Statistical Analysis, *Natural Hazards*, 13, 55–90, 1996.
12. TINTORÉ, J.; GOMIS, D., ALONSO, S. & WANG, D.P. A Theoretical Study of Large Sea Level Oscillations in the Western Mediterranean, *Journal of Geophysical Research*, 93, C9, 10,797–10,803, 1988.

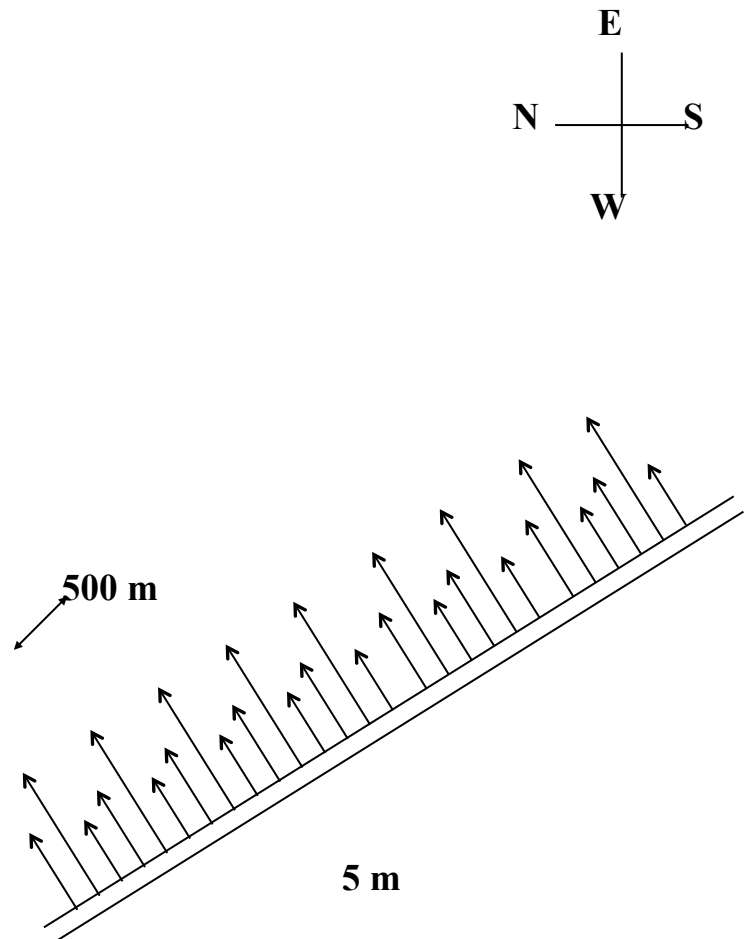


Figura 1 – Batimetria da região da Praia do Cassino extraída da carta náutica DHN 2110. Conjunto de setas representa esquematicamente a linha de instabilidade. Região mais escura próximo a praia indica a posição da batimétrica de 5 *m*.

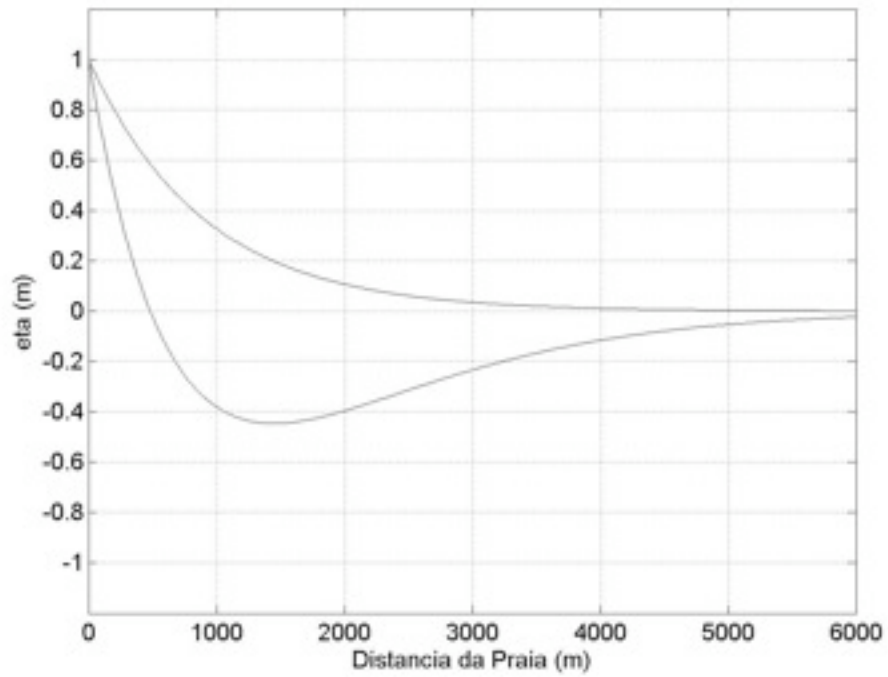


Figura 2 – Posição da superfície (η) na direção normal a praia (x) para o *modo 0* com fundo de declividade $\beta = 0.01$ m/m (linha superior) e para o *modo 1* com $\beta = 0.0033$ m/m (linha inferior). Para facilitar a interpretação, a amplitude das ondas na praia foi fixada em 1 m.