

Sobre a ocorrência de um *tsunami meteorológico* na Ilha de Santa Catarina

Eloi Melo F^{o1};; Ulisses R. Oliveira², Marco A.R. Romeu¹,
Andreoara D. Schmidt³ & Natalia Pereira⁴

¹Laboratorio de Engenharia Costeira, Escola de Engenharia, FURG, Rio Grande, RS –
melo.eloi@gmail.com & mar7surf@hotmail.com

²ICHI, FURG, Rio Grande, RS – ulisseslicke@yahoo.com.br

³Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC, Florianópolis, SC

⁴Laboratório de Crustráceos Decápodes, FURG, Rio Grande, RS - nataliapereira@furg.br

RESUMO

O presente artigo apresenta argumentos para explicar a “misteriosa” onda ocorrida no dia 19/Nov/2009 nas praias do Pântano do Sul e Armação, na Ilha de Santa Catarina, SC, como um *Tsunami Meteorológico*, similar ao ocorrido na praia do Cassino, RS em 1977 [2]. Aponta-se também similaridades entre o evento de SC e um outro ocorrido na praia de Daytona na Florida, EUA in 1992 [3]. Vídeos feitos durante e após o evento juntamente com observações de campo realizadas no local, indicam que a altura da onda pode ter atingido 3m na Praia do Pântano do Sul. Dados meteorológicos preliminares suportam a hipótese de que a onda tenha sido gerada por uma linha de instabilidade atmosférica que deslocou-se sobre a plataforma continental em condições de ressonância com uma onda longa ao longo da isóbata de 23 m. São discutidos alguns mecanismos que, em tese, poderiam explicar a amplificação da onda nas praias acima mencionadas.

PALAVRAS CHAVE: Tsunami Meteorológico, praia do Pântano do Sul, Linha de Instabilidade

ABSTRACT

This paper presents arguments to explain the mysterious wave that occurred at Pântano do Sul and Armação beaches, Santa Catarina Island, SC, on 19/Nov/2009 as a *Meteorological Tsunami* similar to the one occurred at Cassino Beach, RS, in 1977 [2]. We point out also the similarities between the SC event and another one that occurred at Daytona Beach, Florida, USA in 1992 [3]. Videos performed during and after the event along with field observations made in loco, indicate that the wave height may have reached 3 m at Pântano do Sul beach. Preliminary meteorological data support the hypothesis that the wave may have been generated by a squall line that moved over the continental shelf in resonant conditions with a long wave along the 23 m isobaths. Some further mechanisms that, in thesis, may explain the wave amplification at the above beaches are also discussed.

KEY WORDS: Meteorological Tsunami, Pântano do Sul beach, Squall Line

1. INTRODUÇÃO

As praias do Pântano do Sul e Armação, no sul da ilha de Santa Catarina em Florianópolis, foram palco de um inusitado evento no dia 19 de Novembro de 2009.(ver figura 1 para localização das praias). Segundo relatos de testemunhas, ao longo do dia o mar encontrava-se

tranquilo e as condições meteorológicas estáveis. Entretanto, no final da tarde, houve uma mudança brusca no tempo com a chegada repentina de nuvens pesadas acompanhadas de forte vendaval. Moradores e banhistas que se encontravam na praia do Pântano do Sul (figura 2) relatam que durante a passagem desse sistema meteorológico, surgiu um grande “vagalhão” que invadiu a praia, arrastando barcos de pesca que se encontravam ancorados próximos a costa, arrastando carros estacionados na praia e inundando restaurantes próximos ao mar .

O mesmo comportamento foi observado também na vizinha praia da Armação (figura 3). Segundo relatos, a onda veio de sul e atingiu o flanco sul da praia, vinda da praia do Matadeiro. A onda passou por cima do pequeno molhe e da passarela que liga a praia a Ponta das Campanhas seguindo em direção à costa. O efeito de inundação nessa praia foi menos danoso que no Pântano do Sul em vista da existência de um muro de proteção que lá existe porém deixou moradores e banhistas bastante assustados.



Figura 1 – Localização das praias do trecho sul da ilha de Santa Catarina: estrela = praia do Pântano do Sul, losango = praia da Armação

O fenômeno descrito acima assemelha-se muito ao misterioso “vagalhão” ocorrido na praia do Cassino no RS analisado por Melo et al [2] na primeira edição do SEMENGO. De fato, a praia do Cassino foi palco de uma onda com características similares no ano de 1977, igualmente acompanhada pela passagem de uma linha de instabilidade atmosférica e que foi explicado por esses autores como sendo um *Tsunami Meteorológico*: uma onda com características similares às

de um tsunami “tradicional” (i.e. de origem sísmica), porém causada por fortes meteorológicas. Conforme discutido no presente artigo, as evidências indicam que o fenômeno em Santa Catarina também tenha sido um *Tsunami Meteorológico*.

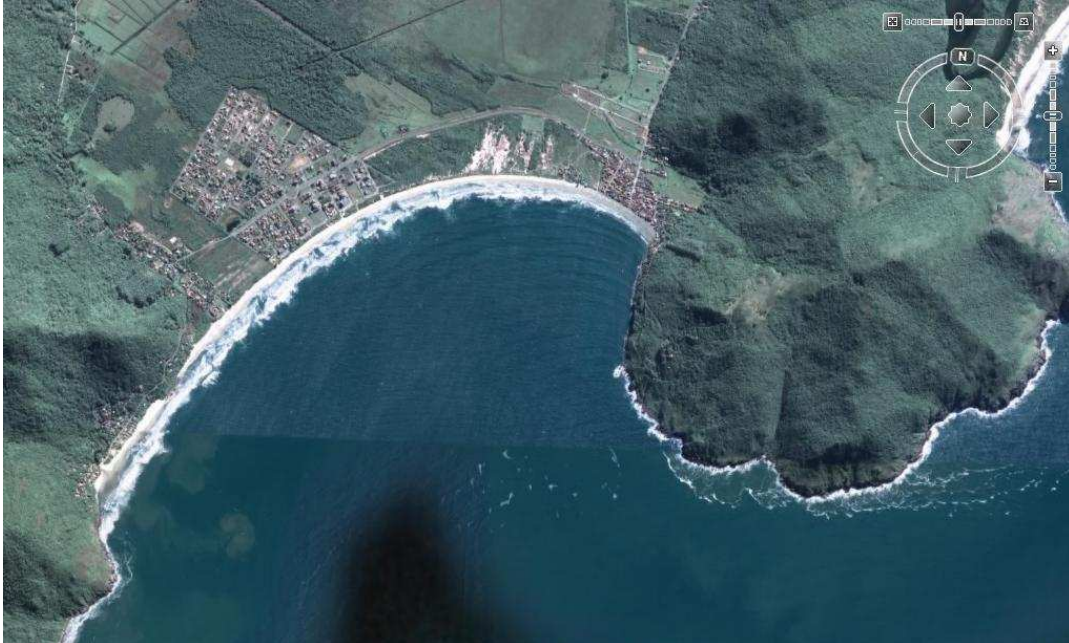


Figura 2 – Detalhe da Praia de Pântano do Sul

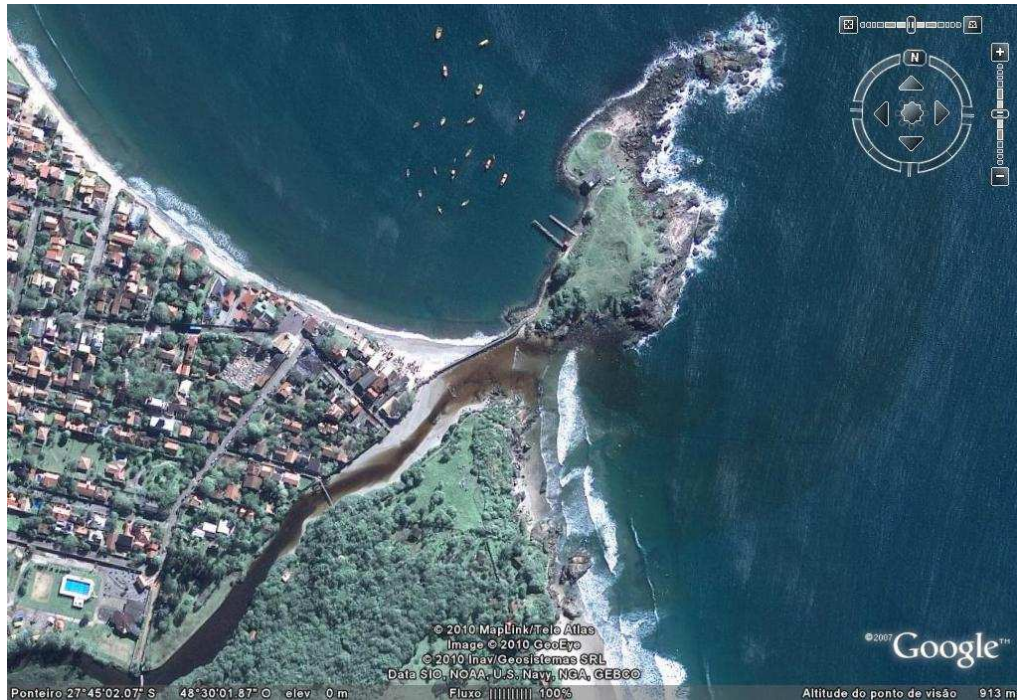


Figura 3 – Detalhe da Praia de Armação

Diferentemente do evento da praia gaúcha que não teve qualquer documentação, o “vagalhão” de Santa Catarina foi filmado por um turista tendo sido o vídeo publicado na internet e obtido destaque no noticiário nacional da TV

(<http://www.youtube.com/watch?v=7Mr7Iw3rYbs&feature=related>). Apesar de ser um vídeo amador, as imagens capturadas foram úteis para visualizar algumas características do fenômeno que no caso do episódio da praia do Cassino foram apenas conjecturadas.

Ressalta-se também que o primeiro autor tomou conhecimento recentemente de um artigo [3] sobre um evento similar ocorrido nos EUA em 1992 o qual apresenta uma explicação alternativa para o mecanismo de geração da onda mais simples do que aquele proposto na ref [2] para a praia do Cassino e que parece mais adequado para o caso de Santa Catarina.

O presente artigo, portanto, dá prosseguimento ao trabalho apresentado no SEMENGO de 2004 [2] sobre o mesmo tema, descrevendo o evento catarinense, apontando as similaridades com o caso ocorrido nos EUA e apresentando um mecanismo de resposta das águas costeiras à forçante atmosférica diferente daquele proposto anteriormente.

2. DESCRIÇÃO DO FENÔMENO

O vídeo que documentou o evento no Pântano do Sul foi feito de um ponto elevado, no costão que flanqueia a praia (<http://www.youtube.com/watch?v=I4XmcMVUBYE>) e, portanto, mostra a cena de um bom ângulo de visada. Observa-se que esse canto da praia do Pântano do Sul é bem abrigado das ondas graças à proteção natural que o grande maciço rochoso ali existente promove. O vídeo tem uma duração de cerca de 2 minutos. As imagens mostram uma onda de período longo atingindo a costa, entrando terra adentro e causando uma pequena inundação. Barcos de pesca que estavam ancorados próximos à praia e automóveis que encontravam-se estacionados na areia são arrastados pela onda e dois restaurantes construídos bem ao final da faixa de areia se vêem rapidamente circundados pela água. Guardadas as devidas proporções, as imagens lembram nitidamente cenas do famoso tsunami de Sumatra, confirmando que o fenômeno em questão teve características de um (pequeno) tsunami.

Lamentavelmente, não existiam (nem existem) estações maregráficas instaladas na área, portanto, do ponto de vista oceanográfico, o tsunami não foi capturado por nenhum instrumento. Em vista disso, os autores tiveram de recorrer a formas alternativas para avaliar a altura que a onda atingiu ao chegar a praia. Uma estimativa direta baseada no vídeo do momento do evento se mostrou imprecisa pela qualidade (precária) das imagens. Porém, entrevistas posteriores feitas por um dos autores (A.D.S.) com moradores locais, juntamente com uma inspeção visual de sinais e marcas (nas paredes dos restaurantes, por exemplo) que possibilitassem inferir o nível máximo das águas e, ainda, a análise de cenas de um vídeo feito logo após o evento [<http://www.youtube.com/watch?v=Zz00i41nryI&feature=related>] permitiram *estimar* com razoável precisão a altura da onda quando esta atingiu a praia do Pântano do Sul.

A figura 4 ilustra o resultado dessa estimativa. A figura contém um perfil médio da Praia do Pântano do Sul obtido de uma série de levantamentos topográficos realizados por um dos autores (U.R.O.). O estabelecimento do nível do mar na figura foi feito adicionando o nível da maré (astronômica) previsto para o porto de Florianópolis para a tarde do dia 19 / Nov (no valor de 1.0 m – ref.: tábua de maré da DHN) ao nível ao qual os perfis foram referenciados. A seguir, o nível assinalado nas paredes dos restaurantes na praia foi identificado no perfil (linha pontilhada vertical), juntamente com a posição na rua de acesso a praia onde um dos barcos de pesca ficou encalhado após ser arrastado pelo tsunami (linha pontilhada inclinada na figura 4), de acordo com imagens do vídeo supra-citado. Assim, levando em consideração o espriamento (“run-up”) da

onda na rampa da rua e possíveis imprecisões nas observações, pode-se inferir que a altura da onda na chegada à praia aproximou-se dos 3 metros em relação ao nível do mar (ver figura 4).

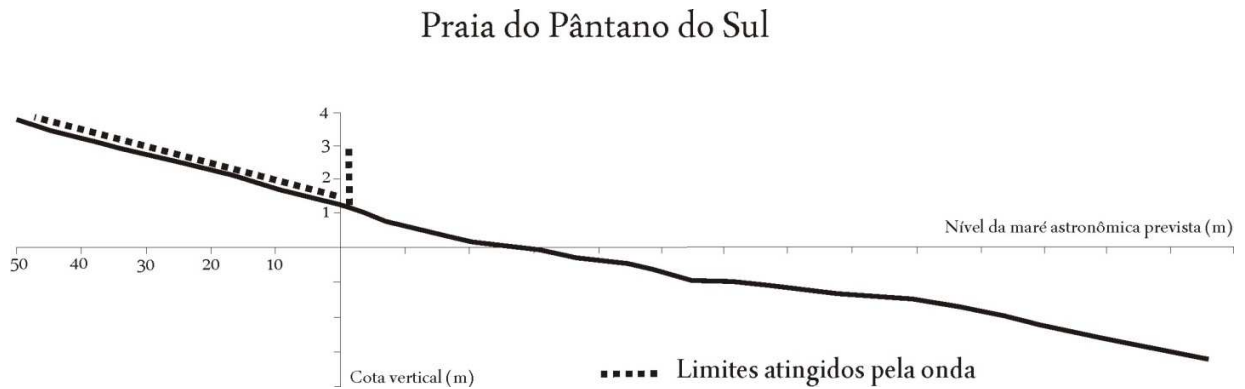


Figura 4 – Perfil da Praia do Pântano do Sul referido ao nível (maré astronômica) previsto para o Porto de Florianópolis para a tarde do dia 19/11/2009. Linha pontilhada indica o nível atingido pela água. [observar que o gráfico tem exagero vertical para melhor visualização].

Do ponto de vista meteorológico, a “viração” (ventos fortes e com rajadas acompanhados de nuvens pesadas que surgem rapidamente) mencionada por testemunhas, foi monitorada pela estação meteorológica do aeroporto de Florianópolis localizado no sul da ilha de SC a cerca de 15 km da Praia do Pântano do Sul conforme mostra a figura 5.

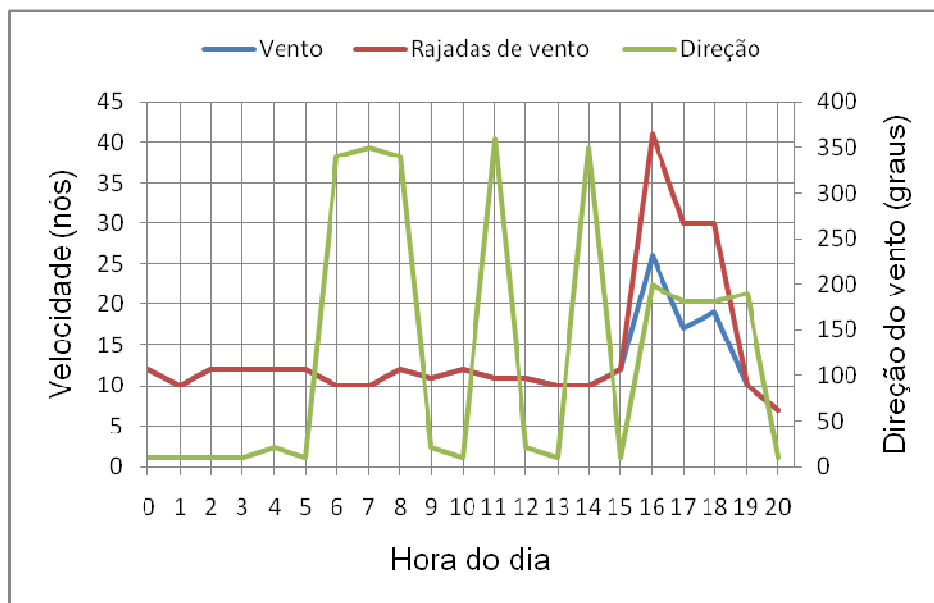


Figura 5 – Dados (horários) de vento medidos no aeroporto de Florianópolis no dia 19/11/2009

Mesmo tratando-se de dados horários, as medições do aeroporto mostram claramente a passagem de uma perturbação atmosférica a partir das 15 h da tarde do dia 19/11/2009. Na medição das 16 h, o vento médio atingiu valores de cerca de 50 km/h (linha azul) com rajadas na

casa dos 80 km/h (linha **magenta**) e direção Sul (linha **verde**). O evento surgiu repentinamente e teve curta duração pois na medição das 17 h o vento já havia abrandado novamente.

Lamentavelmente, até o momento os autores ainda não conseguiram medições meteorológicas contínuas e que incluam o parâmetro *pressão atmosférica* o qual, conforme apontado na próxima seção, é de importância *chave* para o presente problema. Entretanto, é de se supor, pelo comportamento observado no vento, que a pressão atmosférica também tenha apresentado variações igualmente rápidas como ocorre usualmente durante a passagem desse tipo de sistema.

Imagens de satélite obtidas do banco de dados do CPTEC/INPE, confirmam a passagem de uma linha de instabilidade pela costa de Santa Catarina na tarde do dia 19/11/2009. A figura 6 ilustra uma dessas imagens

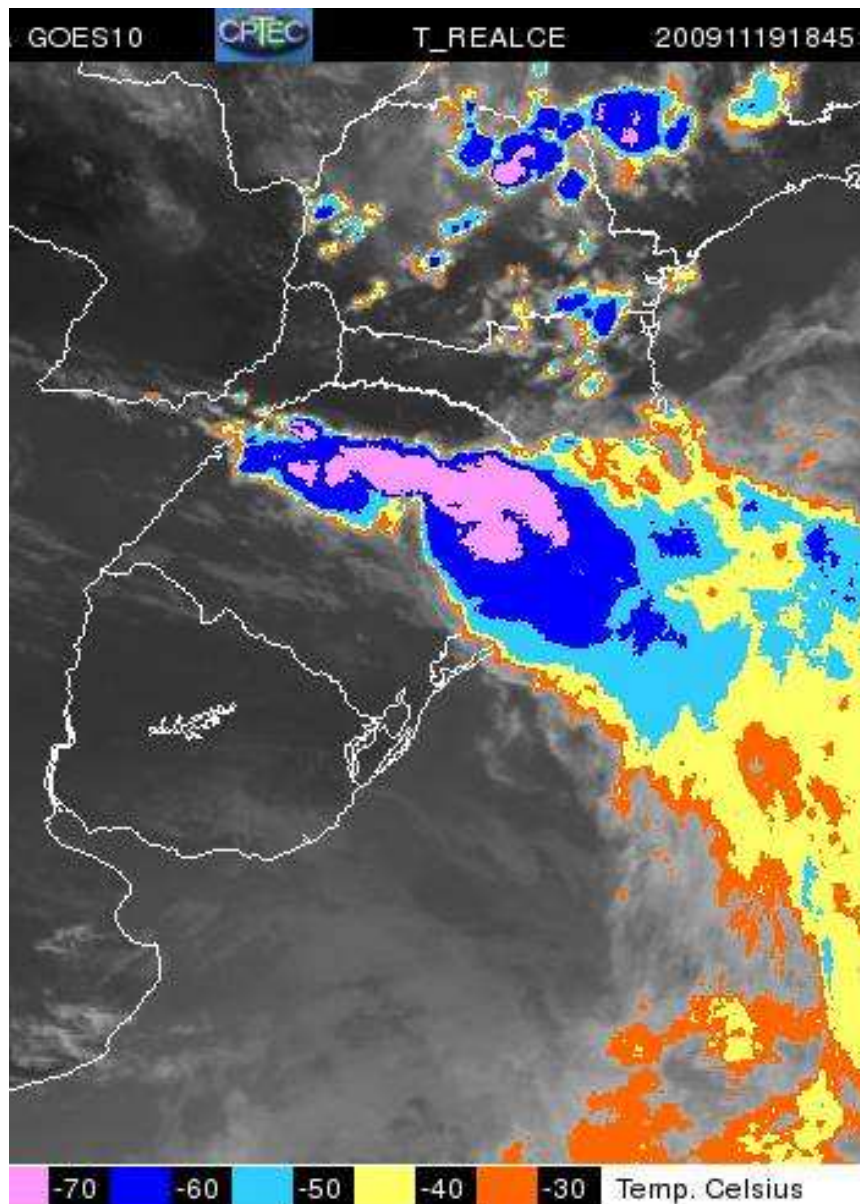


Figura 6 – Imagem de satélite para a tarde do dia 19/11/2009. Fonte: CPTEC/INPE

Em resumo, as informações meteorológicas obtidas no aeroporto e no CPTEC mostram claramente que na tarde do dia 19/11/2009, a costa de SC foi palco da passagem de um peculiar sistema atmosférico sustentando, pelo menos do ponto de vista atmosférico, a hipótese do *tsunami meteorológico*.

A questão que se coloca nesse ponto é: *podia esse sistema atmosférico ter gerado uma onda no oceano com a magnitude da onda observada na costa de SC ?* A resposta a essa questão é abordada a seguir pela apresentação de fenômeno similar ocorrido na praia de Daytona na Florida, EUA.

3 – O CASO DA PRAIA DE DAYTONA, FLORIDA, EUA

O vídeo, os relatos de testemunhas e os aspectos meteorológicos reportados acima mostram que o fenômeno de SC teve grande similaridade com uma onda que atacou a praia de Daytona na Florida, EUA, no dia 3 / Julho / 1992, descrita por Sallenger et al [3]. Segundo reportado em [3], a onda aproximou-se da praia como uma parede de água “branca”, produzindo um ruído típico de zona de arrebentação e arrastando cerca de 20 veículos que estavam estacionados na praia resultando em múltiplas colisões. Apenas 20 pessoas sofreram ferimentos leves uma vez que a praia estava pouco movimentada. Os autores chamam a atenção que se o evento tivesse ocorrido 1 dia depois (4 de julho - feriado nacional nos EUA) milhares de banhistas teriam corrido risco.

Curiosamente, ao contrário dos eventos de SC e do RS, as condições de tempo no local mantiveram-se calmas. Entretanto, um estudo das condições atmosféricas que antecederam o evento em Daytona mostrou que uma linha de instabilidade deslocou-se ao longo de 80 km de costa dissipando-se cerca de 10 km antes da praia de Daytona. A velocidade de deslocamento da tempestade, citada em [3], foi de 14 m/s, com ventos de 12 m/s e um pulso de pressão atmosférica de 2 mb. O evento em Daytona, portanto, resultou da onda que se formou mais a norte e se propagou até o local em questão.

Medições de anomalias do nível do mar obtidas por [3] num píer na praia de St. Augustine (a norte de Daytona) mostraram que a passagem do pulso de pressão foi acompanhada quase que simultaneamente por uma sobre-elevação de nível de 25 a 35 cm. Levantamentos indiretos feitos posteriormente indicaram que a água do mar na praia de Daytona chegou a atingir níveis até 2.5 m acima do nível do mar. Sallenger et al [3] chamam a atenção para a necessidade de se considerar o espraiamento da onda (“run-up”), antes de se inferir a altura da onda nesse tipo de observação. De qualquer forma, parece claro que a onda em Daytona foi maior do que os 25 a 35 cm medidos mais a norte. A amplificação de altura observada nessa praia é atribuída por [3] a efeitos de refração da onda ao longo da sua propagação. A refração, calculada em [3] por meio de modelo numérico indicou que a onda em Daytona atingiria uma altura máxima de cerca de 1 m.

4. O TSUNAMI METEOROLÓGICO DE SC EXPLICADO COMO UMA ONDA DE ÁGUAS RASAS GERADA POR UMA LINHA DE INSTABILIDADE (“SQUALL-LINE SURGE”)

As medições da velocidade de deslocamento da linha de estabilidade feitas na Florida (14 m/s) sugerem que Melo et al [2] podem ter estimado razoavelmente bem a *ordem de grandeza* da velocidade de avanço desse fenômeno no evento da praia do Cassino (10 m/s). No caso do Cassino, entretanto, Melo e colaboradores [2], admitindo uma declividade uniforme da plataforma interna, consideraram a hipótese da onda excitada no mar ter assumido a forma de

uma onda de borda (“edge wave”) em lugar de uma simples onda longa como fizeram Sallenger et al [3]. Essa hipótese talvez seja razoável para a praia gaúcha que se prolonga para S sem qualquer obstáculo. Contudo no caso de Santa Catarina, as praias afetadas, além de situarem-se numa ilha, são praias de enseadas e, portanto, confinadas entre costões rochosos. Assim, no caso catarinense, faz-se necessário analisar um outro mecanismo conforme discutido nessa seção.

Inspirados pelo exemplo da praia de Daytona, vamos admitir que a linha de instabilidade tenha se deslocado sobre o mar ao longo de uma faixa de profundidade aproximadamente constante. A teoria de ondas longas forçadas por um pulso móvel de pressão que se desloca com velocidade U está apresentada no livro de Dean & Dalrymple [1] (seção 5.10) e pode ser sintetizada pela expressão:

$$\frac{\eta}{h} = \frac{p_o/\rho}{U^2 - gh} \quad (1)$$

Onde, η = altura da onda, h = profundidade, p_o = pressão (correspondente ao pulso móvel de pressão), ρ = densidade da água e g = gravidade

Para um caso estático ($U = 0$), a expressão simplifica-se para:

$$\eta_{statico} = -\frac{p_o}{\rho g} \quad (2)$$

que é a conhecida pressão hidrostática.

Entretanto, para casos em que a velocidade de deslocamento do pulso se aproxima da velocidade de propagação de uma onda longa livre, isto é,

$$U \rightarrow c = \sqrt{gh} \quad (3)$$

há uma *amplificação* da resposta [eq.(1)] a qual, nessa solução simplificada, torna-se *infinita* pela ausência de dissipação. Esse, na verdade, é um exemplo claro do mecanismo de *ressonância* mencionado em [3] e que seria responsável pela *amplificação* da onda .

Voltando a atenção novamente ao fenômeno de SC, fica claro que o ingrediente fundamental da *ressonância* entre a forçante atmosférica e a resposta do oceano requer que a linha de instabilidade em SC tenha se deslocado sobre o mar numa direção aproximadamente paralela a costa (dir. Sul) e que tenha atuado por um período de tempo suficientemente longo para que uma quantidade de energia “razoável” pudesse ser transferida para a onda.

No intuito de elucidar essa questão, uma sequência de imagens de satélite similares a da figura 5 foi cuidadosamente analisada de modo a avaliar a direção e a velocidade de deslocamento da linha de instabilidade. O resultado dessa análise está mostrado na figura 7.

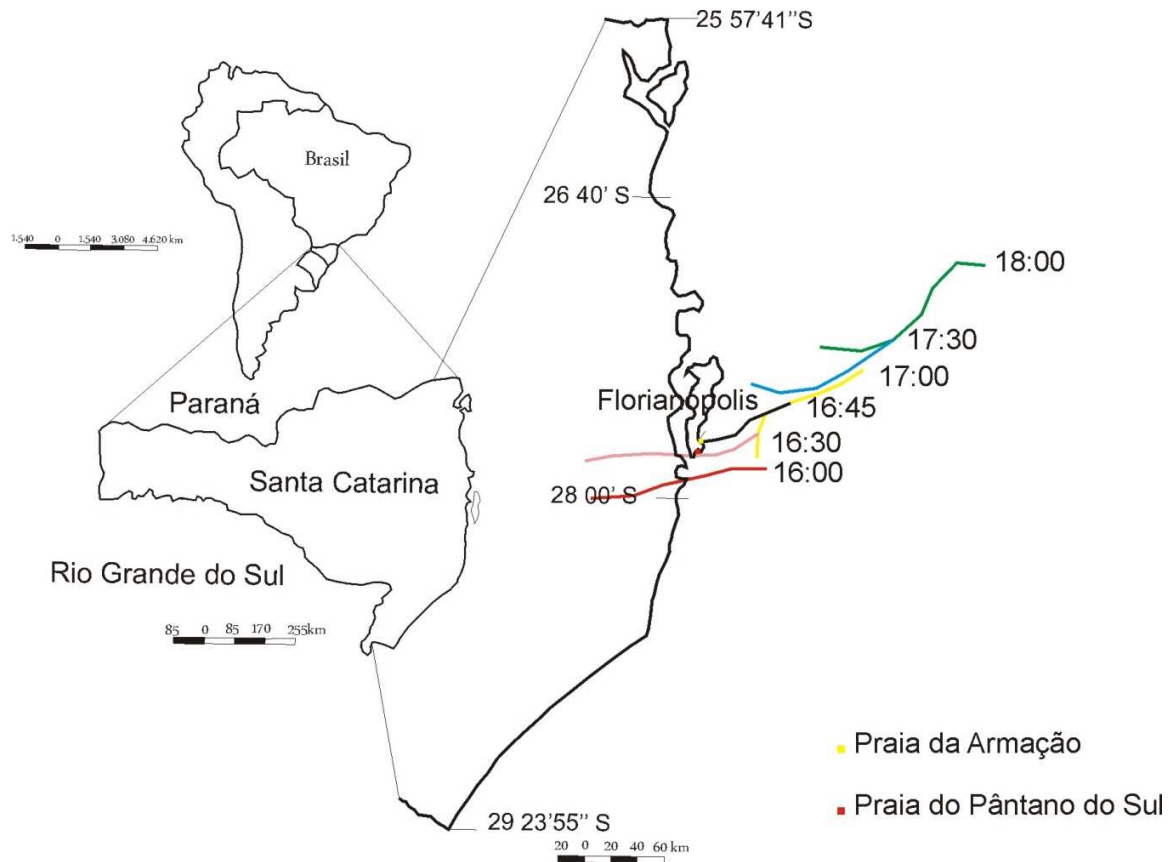


Figura 7 – Posições sucessivas da linha de instabilidade do dia 19/11/2009 inferidas de imagens de satélite.

Analisando a figura, observa-se que a direção de deslocamento da linha de instabilidade é bem aproximadamente paralela à costa como esperado (vinda de S). A distância total percorrida pela linha de instabilidade sobre o mar não pode ser deduzida da figura pois não há informação anterior às 16:00 h. Porém, admitindo que, antes das 16:00 h, ela já vinha avançando de modo similar ao que ocorreu depois, pode-se estimar que a distância percorrida sobre mar deve ter sido da mesma ordem de grandeza (i.e. muitas dezenas de km) daquela observada em Daytona (que foi de 80 km).

Finalmente, uma análise das posições sucessivas da linha de instabilidade permitiu estimar sua velocidade de avanço. De fato, medindo-se a distância entre a posição às 16:00 h (linha **magenta**) e a posição às 16:45 h (linha **preta**) chega-se a um valor de cerca de 40 km. A estimativa da velocidade de avanço, portanto, seria:

$$U = \frac{40\text{km}}{45\text{min}} = 14,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4)$$

Uma velocidade bem similar àquela encontrada na Florida.

Considerando a velocidade de 15 m/s como sendo a velocidade (C) que a onda no mar teria de ter para entrar em ressonância com a linha de instabilidade, pode-se, através da equação (3), obter-se a faixa de profundidade na qual a onda teria sido gerada:

$$h = \frac{C^2}{g} = \frac{15^2}{9.81} = 23 \text{ m} \quad (5)$$

Com isso, todos os ingredientes necessários para a geração da onda por ressonância parecem ter sido atendidos nesse caso: a linha de instabilidade deslocou-se sobre o mar com velocidade de 15 m/s numa direção aproximadamente paralela à costa (vinda de Sul) atuando sobre a batimétrica de 23 m por um período de tempo suficientemente longo para que uma quantidade de energia “razoável” fosse transferida para a onda.

Para avançar na construção da hipótese, vamos admitir que, ao se aproximar da parte Sul da ilha de SC, a linha de instabilidade tenha diminuído de intensidade, se desviado, ou mesmo estacionado, “libertando” a onda de forma que esta pudesse propagar-se como uma onda livre. Uma observação minuciosa da figura 7, na verdade, sustenta essa hipótese pois a partir de $16:45 \text{ h}$ a linha de instabilidade parece ter estacionado (ver linha **amarela**) e, a seguir, mudado de rumo em direção ao mar.

A onda agora estando “livre” para propagar-se, teria sua direção guiada pela batimetria local pelo efeito da refração. Finalmente, se admitirmos que esse processo de refração dirigisse a energia da onda para a região das praias do Pântano do Sul e da Armação estaria aí montado o cenário que explicaria o evento observado. (A refração dessa onda será alvo de futura investigação).

No caso da praia do Pântano do Sul, é possível que o maciço rochoso tenha ainda contribuído para amplificar mais a onda refletindo-a parcialmente e servindo de “guia” para a mesma. Essa hipótese explicaria, talvez, porque a onda nessa praia foi maior do que na vizinha Armação (cujo costão está do lado oposto).

5. CONCLUSÃO

A “misteriosa” onda ocorrida nas praias do sul da Ilha de Santa Catarina no dia $19/11/2009$ foi estudada no presente artigo. Vídeos e observações feitas no local após a passagem da onda permitiram estimar a altura da mesma na praia do Pântano do Sul em cerca de 3 metros . Fazendo uso de medições no aeroporto de Florianópolis e de imagens de satélite, os autores conseguiram documentar de forma simples a passagem de uma linha de instabilidade pela costa de SC e a partir daí montar um cenário que explica o fenômeno como um tsunami meteorológico gerado por uma interação ressonante entre o pulso móvel de pressão associado à linha de instabilidade e uma onda longa na plataforma continental.

O presente trabalho representa um passo adiante no entendimento desse tipo raro de fenômeno que anteriormente só havia sido reportado no Brasil na praia do Cassino, RS [2]

6. REFERÊNCIAS

1. DEAN, R.G & DALRYMPLE, R.A. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists . World Scientific, 356 pp, 1984.

2. MELO F^o, E, CALLIARI, L.J.; FRANCO, D. & STRAUCH, J.C.S. *Indícios da Ocorrência de um Tsunami Meteorológico na Praia do Cassino, RS. 1º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande, pp-11 (publicado em CD)*
3. SALLENGER, A.H.; JEFFREY H.L; GELFENBAUM, G ; STUMPF, R.P. & HANSEN, M. *Large Wave at Daytona Beach, Florida, Explained as a Squall-Line Surge. Journal of Coastal Research (Technical Communication) Vol.11, no.4, 1995*