

CONTROLO DA ESTABILIDADE E DO COMPORTAMENTO DE QUEBRA-MARES ATRAVÉS DE ACELERÓMETROS E GNSS – PORTO DO FUNCHAL

Mário Pedro PEREIRA¹, Ana Cláudia TEODORO¹, Fernando VELOSO-GOMES², Maria João HENRIQUES³, José Nuno LIMA³ e Sérgio OLIVEIRA³

¹Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais e DGAOT, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

²Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

³Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Resumo: Em Fevereiro de 2012 foi realizada uma campanha com a finalidade de estudar o comportamento do quebra-mar do Porto do Funchal no momento da atracação e desatracação de navios de cruzeiro utilizando observações GNSS e acelerómetros. Nesta comunicação indicam-se as principais motivações para a realização do estudo, bem como a descrição da campanha e principais resultados e algumas conclusões preliminares.

Palavras-chave: GNSS / Acelerómetro / Quebra-mar / Monitorização / Atracação / Desatracação.

1. INTRODUÇÃO

Os quebra-mares são infraestruturas portuárias destinadas à proteção de portos, concebidas e projetadas de modo a resistirem às mais adversas e extremas condições atmosféricas e ambientais. A agitação marítima, as marés, os ventos, as dinâmicas subaquáticas dos sedimentos, as atividades portuárias, são alguns dos fatores que individualmente ou em conjunto provocam ao longo do tempo uma fragilização natural dos quebra-mares, impossibilitando garantir a sua preservação ao longo da sua vida útil. Torna-se assim indispensável que este tipo de infraestruturas tenha um acompanhamento temporal rigoroso, recorrendo a ferramentas e procedimentos próprios, minimizando e antecipando, dentro do possível, os riscos inerentes a uma decadência acentuada da infraestrutura, programando intervenções eficazes proporcionando uma gestão e manutenção mais eficientes.

O quebra-mar do Porto do Funchal é um bom exemplo pois tem evidenciado, ao longo dos últimos anos, algumas fragilidades (Figura 1), principalmente na sua parte mais extrema (cabeça), decorrentes das condições adversas a que se encontra exposto, resultantes dos efeitos da exposição a condições atlânticas típicas e da atracação e desatracação de navios de cruzeiro, cuja tonelagem e dimensão são cada vez maiores.

De modo a identificar as ações responsáveis e a quantificar o grau de evolução dessas fragilidades ao longo do tempo, foi planeado um trabalho de monitorização que permitisse identificar e quantificar as prováveis causas. Foi assim realizada uma campanha no quebra-mar do Porto do Funchal, acompanhando os períodos de atracação e de desatracação de um navio de cruzeiro, onde foram utilizados os sistemas globais de observação por satélite-GNSS e acelerómetros, estes de forma complementar. O presente trabalho descreve a metodologia utilizada e os primeiros resultados obtidos durante a atracação.



Figura 1– Fendas Identificadas na superestrutura.

2. PORTO DO FUNCHAL

O Porto do Funchal é um porto de mar dedicado hoje em dia, exclusivamente, à atividade turística através da receção de navios de cruzeiro. Situa-se na parte sudoeste da ilha da Madeira numa pequena baía formada pela encosta natural da ilha entre a Ponta da Cruz e a Barreirinha, tratando-se de uma localização privilegiada pela proteção que daí advém. O Porto do Funchal foi construído de modo faseado. Primeiro a ligação de terra ao ilhéu de São José, posterior ligação ao ilhéu da Pontinha e seu prolongamento, a melhorias contínuas que se iniciaram em 1762 e finalizaram com a construção da Gare Marítima do Funchal em 2010, mantendo-se com as suas dimensões e condições até aos dias de hoje (Sousa, 2004).

O quebra-mar do Porto do Funchal é um quebramar de estrutura mista que se caracteriza por uma superestrutura com cortina defletora e manto exposto protegido com tetrápodes com cerca de 1100 m de comprimento. Os fundos vão até aos -30 m, enquanto a crista da superestrutura se situa a cerca de 11 m de altura, ambos referidos ao Zero Hidrográfico (ZH).

3. METODOLOGIA

Os processos de atracação e desatracação de navios de cruzeiro num Porto de mar como o Porto do Funchal, estão condicionados às várias limitações impostas pelo meio envolvente, tornando cada processo de desatracação e principalmente cada processo de atracação, processos próprios e distintos entre embarcações, devido às diferenças de tonelagem, comprimento, altura e largura dos navios, bem como a simples variação das condições atmosféricas, torna as atracações para o mesmo navio de cruzeiro também distintas.

Procurando compreender e quantificar o impacto que os navios de cruzeiro têm sobre o quebra-mar do Porto do Funchal no momento da sua atracação e desatracação, foi planeado um estudo que se traduziu numa campanha onde fosse possível obter essa informação recorrendo aos GNSS e aos sistemas inerciais (acelerómetros). A utilização destes dois tipos de equipamentos distintos, visava a complementaridade de ambos os sistemas procurando, pelas diferentes técnicas e seus resultados, garantir a consistência dos mesmos, levando a uma otimização do seu uso futuro neste tipo de controlo.

Pela simples observação a “olho nu” e resultados já obtidos em campanhas anteriores (Pereira et al., 2011), verificou-se previamente que em alguns casos, dependendo do navio de cruzeiro, das condições meteorológicas, do estado do mar e do nível de maré, existiam algumas vibrações da estrutura, tanto no processo de atracação como no processo de desatracação.

A monitorização do processo de atracação foi iniciada 15 minutos antes das manobras de aproximação e atracação do navio de cruzeiro, finalizando cerca de 15 minutos após a estabilização do navio ao quebra-mar. O estudo do processo de desatracação, em analogia ao processo de atracação, iniciou-se igualmente cerca de 15 minutos antes das manobras de desatracação se iniciarem, até aproximadamente 15 minutos após a saída por completo do navio. Na presente comunicação serão apresentados os resultados obtidos durante a atracação.

3.1. Sistemas de Monitorização

O sistema foi composto por cinco pontos - quatro objeto e uma referência – onde ficaram instalados antenas GNSS. Os pontos objeto situaram-se todos na crista do quebra-mar: três são pontos já utilizados na monitorização geodésica do quebra-mar e de alguns tetrápodes (Pereira et. al, 2011), e estão materializados por peças metálicas com parafuso, chumbada no quebra-mar; o ponto situado mais a poente (ponto 1 da Figura 2) estava materializado por um pilar. O ponto de referência situava-se no centro da cidade do Funchal (a cerca de 750m dos restantes pontos). Este último ponto é a estação permanente FUNC pertencente à rede Nacional de Estações Permanentes do IGP (RENEP) e à EUREF Permanent Network.

A seleção dos três pontos objeto primeiramente referidos foi ditada pela posição que o navio iria ocupar quando estivesse atracado (posição esta conhecida a priori) de modo que estes cobrissem, aproximadamente, o início, o meio e a parte final do navio de cruzeiro AIDAbella (pontos 2, 3 e 4 na Figura 2) de forma que se fizesse um melhor acompanhamento dos possíveis efeitos do impacto do navio na superestrutura. O quarto ponto ficou colocado fora da zona de impacto do navio, enquanto a referência, a estação FUNC, se encontrava independente de qualquer interferência de navios.

Os acelerómetros foram colocados junto do ponto 3. Os dois sistemas foram iniciados em simultâneo, procurando sincronizar ambos os tipos de observação de modo a confrontar e a complementar resultados.

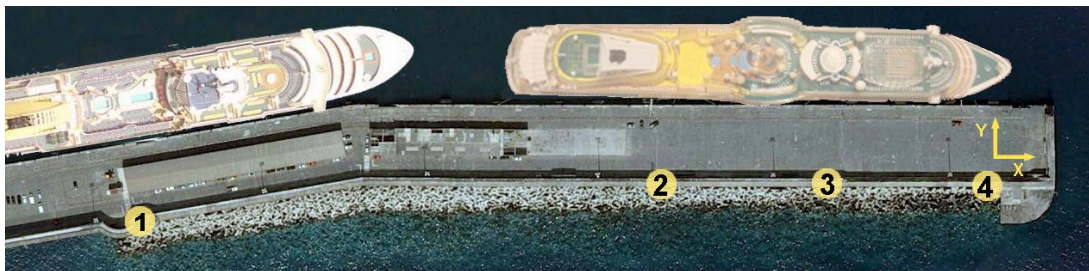


Figura 2 – Planta com localização dos recetores GNSS e acelerómetros sobre a superestrutura com indicação, aproximada, da posição de dois navios de cruzeiro (Oceana e AIDAbella) e indicação das direções X,Y do referencial local adotado.

3.2. Equipamentos e Processamento de Dados

3.2.1. GNSS

Os equipamentos GNSS utilizados para a realização da campanha foram os indicados na Tabela 1. Os equipamentos GNSS foram todos configurados com os mesmos parâmetros de frequência de amostragem e elevação de satélites, 20Hz e 10°, respetivamente.

Quadro 1 – Equipamentos GNSS.

Ponto	Antena GNSS	Recetor GNSS
1, 3	Topcon TPSCR3_GGD	Topcon TPS GB1000
2	Leica AX1203+GNSS	Leica GX1230+GNSS
4	Leica AX1202GG	Leica GX1230GG
FUNC	Leica AT504GG	Leica GRX1200GGPRO

Os dados GNSS foram convertidos para o formato RINEX (Receiver INdependent Exchange Format), de modo a não limitar a sua utilização aos softwares de processamento dos equipamentos que obtiveram os dados, e seguidamente processados, utilizando os softwares de processamento de dados GNSS Leica Geo Office e o software científico GAMIT-TRACK, através do método de posicionamento diferencial tradicional.

Foram efetuados dois tipos de processamento com os dois softwares, sendo que em ambos se considerou que a estação permanente FUNC era a estação base: i) os restantes pontos foram todos considerados pontos móvel; ii) a estação do ponto 1, o ponto mais afastado do navio, foi também considerada como referência (segunda estação base). Os resultados obtidos para os pontos 2, 3 e 4, utilizando as duas estações de referência, foram semelhantes aos obtidos quando se utilizou unicamente a estação permanente do Funchal.

Após o processamento de dados GNSS, aplicou-se aos resultados uma rotina MatLab, desenvolvida especificamente para o efeito, que dividiu os resultados nas componentes X, Y e Z (ortogonal aos eixos XY e sentido de modo a tornar o sistema positivo) do referencial local e permitiu a representação gráfica dos deslocamentos obtidos para estas três componentes (ver Figura 5).

3.2.2. Acelerómetros

Para medir as acelerações, os elementos principais do equipamento utilizado foram: i) três acelerómetros Episensor ES-U2 (uniaxial) da Kinematics (gama de amplitudes ± 10 volts: $\pm 0,25$ g), configurados para uma frequência de amostragem de 250Hz; ii) digitalizadores: A1 da Gantner Instruments; iii) concentrador de dados: Epac de 19 bits da Gantner Instruments,. Os digitalizadores o concentrador de dados e outros componentes estavam reunidos num sistema portátil para medição de vibrações ambiente – Vibambi – desenvolvido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC. Utilizou-se ainda um computador portátil para a configuração e controlo do sistema e registo dos dados.

Este equipamento estava instalado próximo do ponto 3. Na Figura 3 pode-se ver a antena GNSS da Topcon no ponto 3 e os três acelerómetros: A1 – vertical, do lado do mar ; A2 – vertical, do lado do porto; A3 – horizontal. É também indicada a posição do ponto 1 (GNSS) e apresentado o sistema Vibambi com maior pormenor.

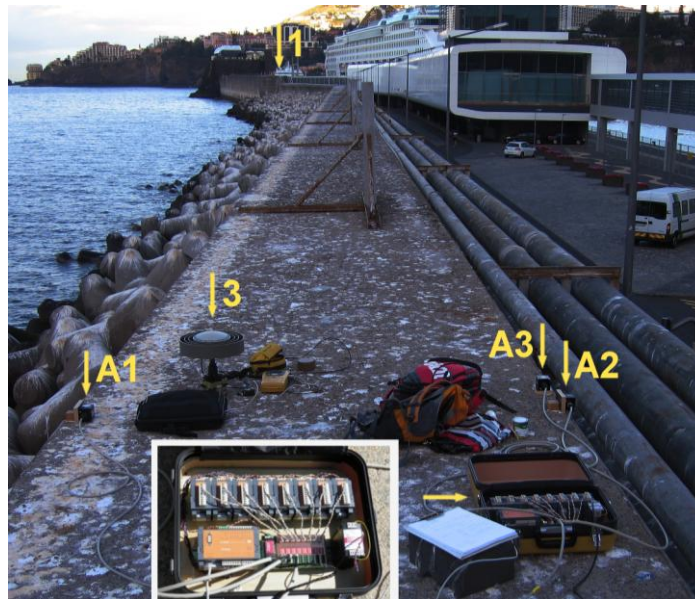


Figura 3 – Localização dos acelerómetros (A1, A2 e A3), da antena GNSS nos pontos 1 e 3 e pormenor do sistema Vibambi.

A instalação de dois acelerómetros a medir na direção vertical destinou-se a tentar detetar a rotação do quebra-mar em torno do eixo longitudinal. Se esta ocorrer, e se tiver magnitude suficiente para ser medida pelos acelerómetros, um dos dois acelerómetros apresentará acelerações positivas enquanto o outro apresentará acelerações de sinal contrário. Os dados obtidos com os acelerómetros apresentam-se na Figura 5. Nos registos de acelerações obteve-se uma deriva significativa, mais acentuada no caso do acelerómetro A2 (eventualmente devida a efeitos térmicos sobre o próprio sensor), o que obrigou a aplicar um filtro de médias móveis antes de efetuar a análise espectral das acelerações.

4. RESULTADOS

4.1. GNSS

Os dados obtidos na campanha GNSS utilizando o primeiro método de processamento evidenciou, no processo de atracação, um ligeiro aumento da amplitude do sinal nas suas diferentes componentes X, Y e Z (Figura 4). A componente Z é a que sofre maior variação da amplitude, como seria de esperar numa campanha GNSS (Shuanggen, 2005).

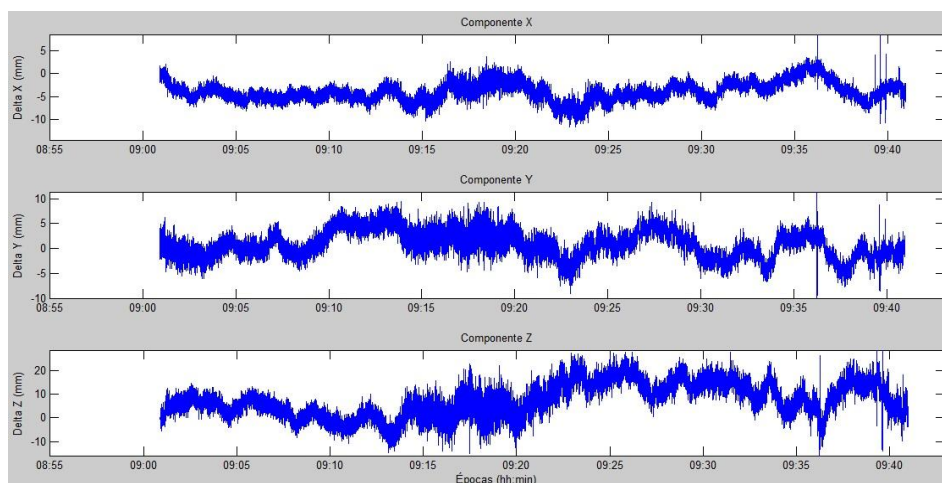


Figura 4 – Atracção. Variação das componentes X, Y e Z.

4.2. Acelerómetros

Os resultados obtidos com os acelerómetros foram analisados igualmente através de uma rotina em MatLab criada especificamente, a qual permite a visualização dos resultados (Figura 5). Analisando com mais pormenor o sinal do acelerómetro que mediu as acelerações na componente horizontal (Figura 6) podemos verificar um padrão regular (com uma periodicidade aproximada de 7 s), resultado do impacto das ondas sobre o quebra-mar.

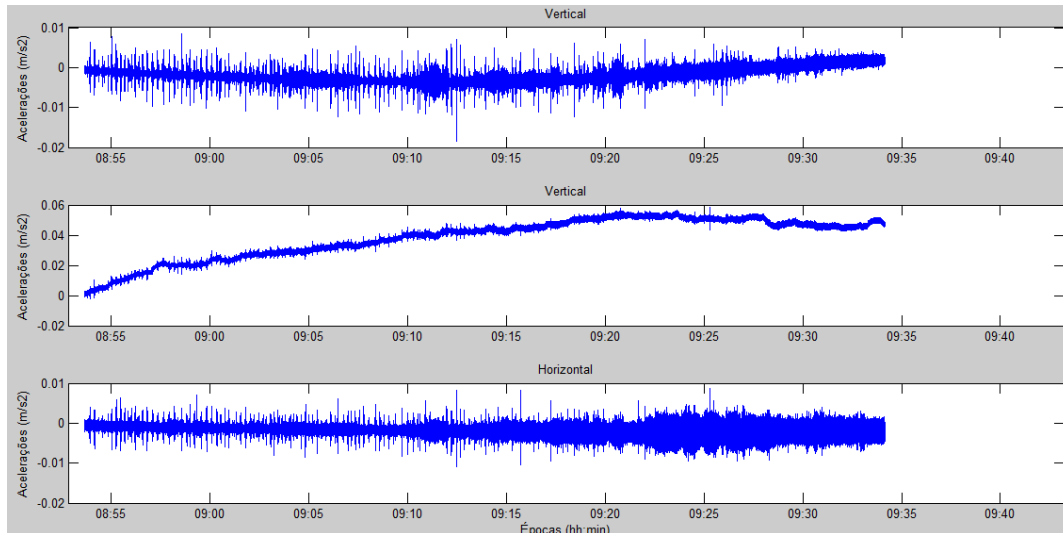


Figura 5 – Atracação. Acelerogramas.

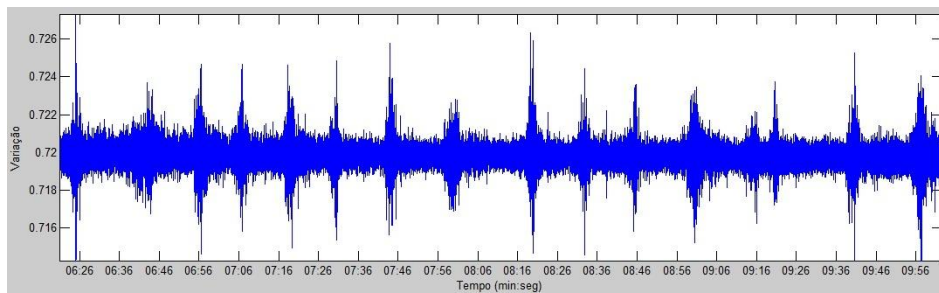


Figura 6 – Registo do acelerómetro da componente horizontal.

De forma a analisar o sinal registado que se pode observar na Figura 6 procurou-se, através de uma análise de Fourier, decompor o sinal nas correspondentes ondas. Assim, para analisar o efeito dos processos de atracação e desatracação na frequência de vibração natural do quebra-mar, cada período de registo (2400 s que corresponde a 40 minutos de duração da campanha de medição com acelerómetros), foi dividido em seis intervalos. A finalidade dessa divisão era procurar ter intervalos de análise mais curtos de modo a possibilitar uma análise mais fracionada dos resultados para tentar perceber o comportamento da infraestrutura com e sem navio de cruzeiro atracado.

Usou-se a função FFT (Fast Fourier Transform) do MatLab para decompor o acelerograma medido em ondas e para calcular o espectro de amplitudes o que poderá permitir a identificação das frequências de vibração naturais da estrutura. Na Figura 7 apresentam-se os espectros obtidos para o primeiro e último intervalo utilizados: o primeiro gráfico corresponde a uma fase em que o navio se encontrava muito longe do quebra-mar, o segundo gráfico corresponde ao período em que o navio já tinha terminado as manobras de atracação. Nos gráficos são visíveis alguns picos que podem corresponder a algumas das frequências de vibração naturais da estrutura. A análise do primeiro espectro mostra que, de entre as várias ondas em que se decompõe o acelerograma medido, destaca-se claramente, pela sua maior amplitude, a onda correspondente à frequência natural de 8.69 Hz. Na análise do segundo espectro verificamos não só que a amplitude aumenta consideravelmente, mas também que se destacam várias ondas: 4.34 Hz, dos 7.92 Hz, dos 8.69 Hz, dos 13.06 Hz e dos 17.38 Hz.

Se o quebra-mar sofrer uma deterioração significativa, a frequência destes picos pode-se alterar, nomeadamente pode decrescer com o aumento da deformabilidade da estrutura. Esta alteração pode acontecer de forma brusca, na sequência de uma tempestade, mas pode também ser um processo lento, resultante de alterações ao nível da fundação (por exemplo infraescavações).

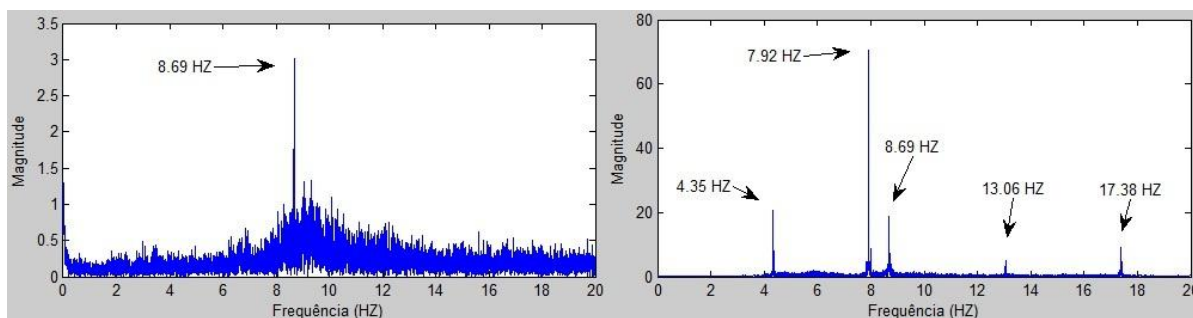


Figura 7 – Transformadas de Fourier para o processo de atracção.

5. CONCLUSÕES

Através das transformadas de Fourier, verificou-se que os picos espectrais (que, eventualmente podem corresponder à frequências naturais de vibração do quebra-mar) destacam-se de forma mais notória quando o navio de cruzeiro está atracado (com os motores em funcionamento).

A variação na amplitude dos sinais GNSS no momento da atracção, apesar de corresponder ao período das manobras de atracção, não permite concluir que se deve à influência do navio de cruzeiro sobre a estrutura, sendo necessário, a realização de outras campanhas para despistar o efeito, uma vez que este poderá ser devido ao multicaminho ou a um outro fator desconhecido.

Futuramente será desenvolvido um modelo numérico de elementos finitos com o objetivo de estimar quais as principais frequências naturais e modos de vibração do quebra-mar. Serão ainda realizadas novas campanhas utilizando os dois sistemas (GNSS e acelerómetros), de modo a que se possa confirmar experimentalmente quais dos picos espectrais identificados correspondem a modos de vibração da estrutura. Com este tipo de sistemas é possível identificar o efeito das tempestades sobre a estrutura. Poderão ocorrer deslocamentos irreversíveis de valor significativo, identificáveis com o GNSS, e poderão ocorrer danos estruturais que induzam alterações ao nível das frequências naturais de vibração, o que será detetado através da análise espectral das acelerações medidas (alteração das frequências dos principais picos espectrais).

Agradecimentos

Os autores agradecem aos Portos da Madeira pelo apoio logístico e financeiro facultado até à data nas pessoas da Dra. Alexandra Mendonça e do Engº Pedro Camacho. Os autores agradecem igualmente ao Instituto Geográfico Português pela cedência de dados da estação permanente do Funchal ao abrigo do Programa FIGIEE, à Secretaria Regional do Ambiente da Região Autónoma da Madeira pela colaboração e cedência dos equipamentos.

Referências

- Sousa, J.F. (2004). O Porto do Funchal no Contexto do Sistema Portuário Insular Regional: As Infraestruturas, os Tráfegos e as Funções Portuárias. Lisboa: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas.
- Pereira, M., Teodoro, A. C., Veloso-Gomes, F. (2011). Avaliação de Deslocamentos e Alterações Morfológicas em Infraestruturas Portuárias – Porto do Funchal. Atas da VII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia, Porto, 5 – 6 Maio, 2011.
- Shuanggen, J., Wang, j., Park, P. (2005). An Improvement of GPS height estimations: stochastic modeling. Earth Planets Space, vol. 57, pag 253-259.

Contactos

Mário Pedro PEREIRA
 mariopedro19@gmail.com
 Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais e DGAOT
 Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
 www.fc.up.pt
 Portugal