



NÍVEL MÉDIO, MARÉ E ANÁLISE HARMÓNICA

Leonor Martins¹, Joana Reis²

Instituto Hidrográfico, Rua das Trinas 49, 1249-093 Lisboa, Portugal

¹leonor.martins@hidrografico.pt; ²joana.reis@hidrografico.pt

Resumo

A maré, como fenómeno quase periódico, pode ser representada como um somatório de sinusóides, directamente relacionadas com as forças astronómicas que estão na sua origem e cujos períodos são bem conhecidos. A amplitude e a fase de cada onda são características de cada porto e, não sendo dedutíveis teoricamente, podem ser determinadas a partir de uma série temporal de observações.

A análise harmónica tem como finalidade determinar a amplitude e a fase de cada constituinte da maré. Apesar de ser o método por excelência do estudo das componentes da maré, a análise de Fourier, nomeadamente a aplicação de FFT (*Fast Fourier Transform*), continua a ser utilizada como ferramenta na análise/testes de dados de maré.

Neste trabalho serão apresentados vários exemplos de análises de dados de maré com e sem recurso a FFT, entre os quais se abordarão os seguintes aspectos: (1) a influência dos aspectos meteorológicos, em particular a influência da pressão atmosférica sobre o nível do mar, (2) aspectos relacionados com a maré em rias e estuários e (3) um olhar sobre o nível médio do mar e níveis de referência.

1. Generalidades sobre a maré

Como é do conhecimento geral, as variações da altura de maré podem ser representadas pela soma de um número finito de termos harmónicos aos quais se chamam constituintes harmónicas da maré. Cada constituinte representa um determinado movimento astronómico relacionado com o movimento da Terra, Lua e/ou Sol e que pode ter desde uma periodicidade diária até, por exemplo, um período de 18,6 anos correspondente à regressão dos nodos lunares (pontos onde a Lua cruza o plano da eclíptica).

A maré registada num determinado local tem energia em várias bandas de frequência. A Figura 1 apresenta o espectro de frequência da maré de Vila Franca de Xira, onde se pode distinguir claramente as sete espécies de ondas constituintes da maré: longo período, diurna, semi-diurna, terço-diurna, quarto-diurna, sexto-diurna e oitavo-diurna. Trata-se de um local com bastante energia nas altas-frequências e situa-se na zona de montante do estuário do rio Tejo.

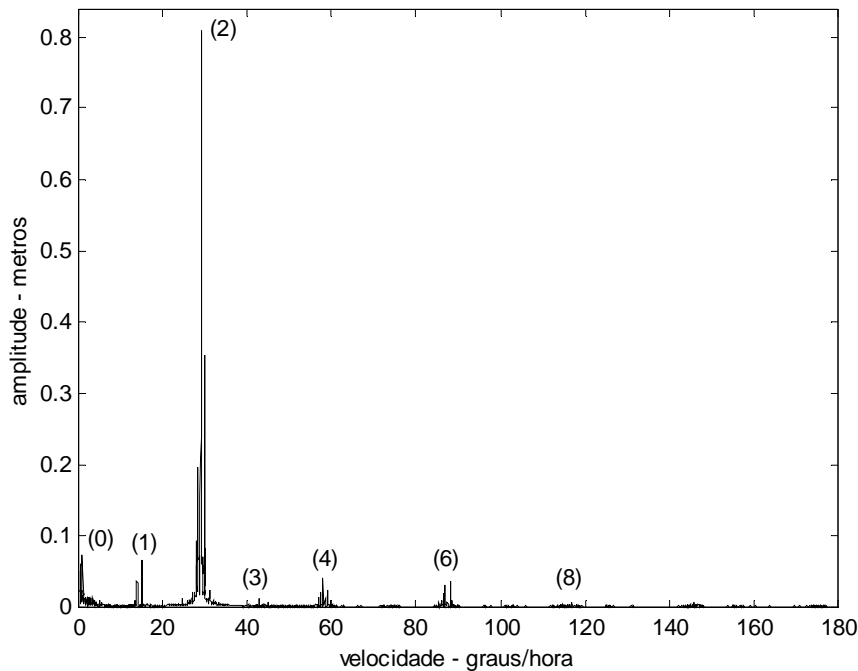


Figura 1 – Análise em frequência dos dados de maré de Vila Franca de Xira. As sete bandas de frequência consideradas na maré estão numeradas: (0) longo período, (1) diurnas, (2) semi-diurnas, (3) terço-diurnas, (4) quarto-diurnas, (6) sexto-diurnas e (8) oitavo-diurnas. Verifica-se que a maior parte da energia está concentrada na banda de frequências das ondas semi-diurnas.

As constituintes harmónicas são caracterizadas pelo seu período, fase e amplitude. Aos pares de valores, amplitude e fase, de cada constituinte dá-se o nome de constantes harmónicas (CH). As CH são características de cada porto, portanto variam de local para local. Por outro lado, o período de cada constituinte é uma constante astronómica devidamente conhecida e tabelada em livros da especialidade.

A Figura 2 apresenta as 6 constituintes da maré, de maior amplitude em portos de maré semi-diurna regular e que correspondem a cerca de 80% do total das constituintes. A amplitude é representada pelo comprimento do vector e a fase pelo ângulo que este faz com o eixo das abcissas. Para efectuar este gráfico, foram usados 18 anos de observações de maré do porto de Leixões. Cada vector de cada constituinte corresponde a um ano de dados, e é caracterizado pela amplitude e fase da constante harmónica para esse ano. É notória a grande amplitude da onda M_2 relativamente às outras. Note-se que todas as outras constituintes de maré (cerca de 300) têm amplitude inferior à K_1 .

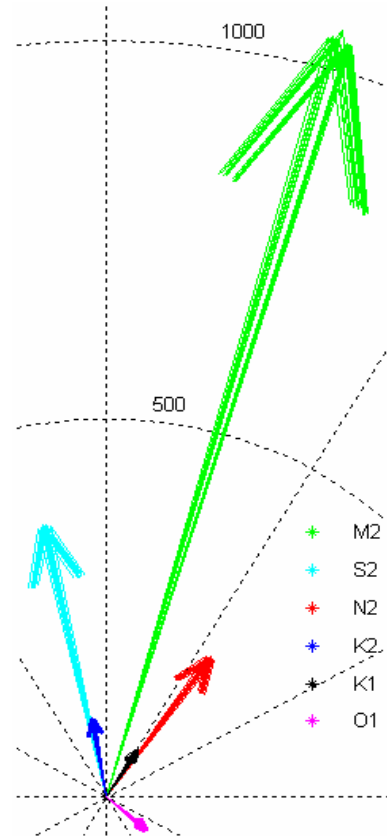


Figura 2 – Visualização gráfica dos vectores representativos de cada constituinte para vários períodos de dados. São aqui representados os vectores das 6 constituintes de maré de maior amplitude, tal como resultaram num teste efectuado com 18 séries anuais de dados do porto de Leixões. As amplitudes estão em milímetros.

De modo a obterem-se previsões de maré o mais adequadas possível à realidade, é necessário proceder a uma análise exaustiva dos dados de altura de água registados pelos marégrafos. Esta análise é efectuada através do procedimento de análise harmónica e através do estudo dos dados em tempo e em frequência.

1.1 A maré em rias e estuários

A maré é uma onda cujas características se vão modificando com o tempo, o que demonstra que não se trata de uma onda simples, com amplitude e período constante. Devido ao seu longo período e comprimento de onda, as ondas de maré comportam-se como ondas de águas pouco profundas, sendo influenciadas pela profundidade em que se encontram.

A onda de maré ao entrar em rias ou estuários é influenciada, por factores tais como batimetria, configuração da bacia e caudal fluvial. À medida que caminha para montante a sua amplitude aumenta até uma determinada zona do rio ou estuário onde o atrito das margens e do fundo começa a ter importância tal que a sua amplitude começa a decrescer. A amplitude dentro de estuários, ou baías, por vezes também é amplificada devido a fenómenos de ressonância, dependentes da forma e dimensões da bacia, que se podem somar às constituintes de maior amplitude da maré no local. A Figura 3 apresenta a maré em Cascais

comparada com a maré em Ponta da Erva, no estuário do Tejo, para o ano de 1972. Como se pode constatar a amplitude da maré em Ponta da Erva é superior à da maré registada em Cascais. Verifica-se, também, uma diferença em fase entre as duas curvas, ou seja, a maré atinge primeiro a zona de Cascais do que a zona do interior do estuário, em Ponta da Erva.

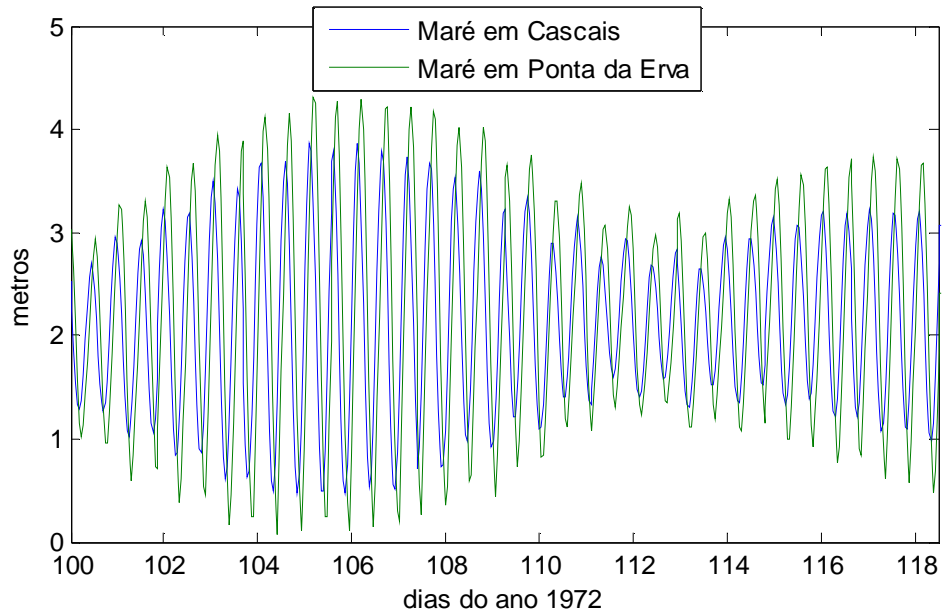


Figura 3 – Comparação da maré em Cascais (em mar aberto) com a maré em Ponta da Erva (estuário do Tejo) para o ano de 1972.

A Figura 4 é outro exemplo da modificação da curva de maré em zonas de ria. Não querendo fazer um estudo pormenorizado da maré no estuário, constate-se apenas que em Moranzel, localizado na Ria de Aveiro, para dados de 1987, não se consegue fazer a distinção entre marés vivas e marés mortas em situação de baixa-mar. Isto é, a altura de água mínima atingida em baixa-mar é aproximadamente constante, o que pode estar relacionado com o facto de a água ficar aprisionada em pequenas bacias devido, por exemplo, a fenómenos de assoreamento.

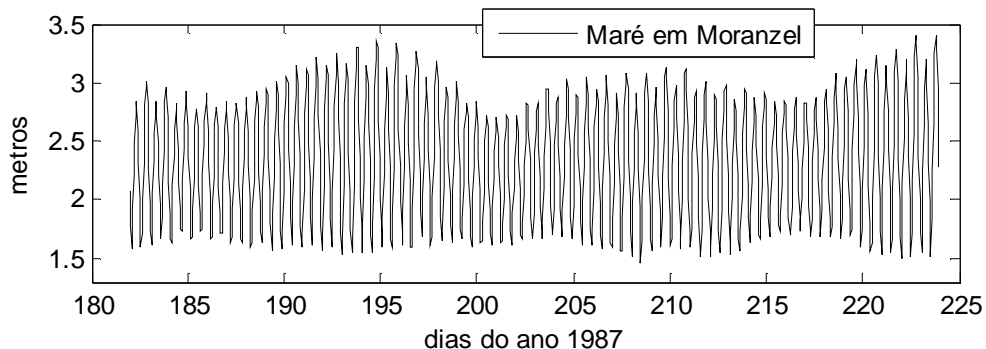


Figura 4 – Alturas de água registadas em Moranzel, Ria de Aveiro, no ano de 1987.

2. Nível médio

Para se ter um conhecimento da maré com valor prático, necessita-se de um conhecimento correcto dos níveis de referência. As previsões de maré efectuadas pelo Instituto Hidrográfico (IH) são referidas ao nível do Zero Hidrográfico (ZH), que é o nível de referência utilizado na medição das sondas reduzidas e das alturas da maré, situado perto do nível atingido pelas mais baixas baixa-mares. Porém, a referência assumida em Portugal na determinação de cotas ou altitudes, é o Nível Médio Adoptado (NMA) que corresponde ao nível médio do mar em Cascais, determinado a partir de mais de 50 anos de dados maregráficos centrados em 1910 (1882-1938). Existem marcas de nivelamento espalhadas por todo o território Português cuja cota indica o seu afastamento vertical relativamente ao NMA. O transporte desta medida para o resto do País foi efectuado através de nivelamentos de precisão levados a cabo pelo Instituto Geográfico Português. Essa referência tem um valor legal e mantém-se até agora, pois a sua actualização acarretaria a alteração de todos os valores numéricos associados aos nivelamentos efectuados desde então. Tendo em conta este facto e, por outro lado, a subida do nível médio do mar, justifica-se que as previsões de maré publicadas pelo IH estejam geralmente abaixo dos valores reais da maré registada.

O nível médio do mar corresponde à posição que a superfície livre do mar teria na ausência da maré e dos efeitos meteorológicos, constituindo um nível de referência ou Datum altimétrico das altitudes assinaladas nas cartas. O estudo do nível médio incide no cálculo das variações dos termos não periódicos e dos termos cujos períodos ainda não são bem conhecidos e que, além de outros elementos, tais como termos periódicos de origem astronómica, compõem a expressão que descreve a altura da água do mar.

Geralmente calculam-se os níveis médios diários e, a partir destes, os níveis médios mensais e anuais. Existem vários métodos para a determinação do nível médio diário através de alturas horárias, entre eles a média de 24 alturas horárias, a média de 25 alturas horárias, o filtro 30X0 de Doodson e o método das alturas reduzidas ao meio-dia, de Bernard Simon, sendo este último método o utilizado no IH (método acoplado ao programa de análise harmónica).

A Figura 5 apresenta o nível médio do mar, determinado através do filtro de Doodson, para os registos de alturas horárias de um total de 26 dias do ano de 2002 em Leixões.

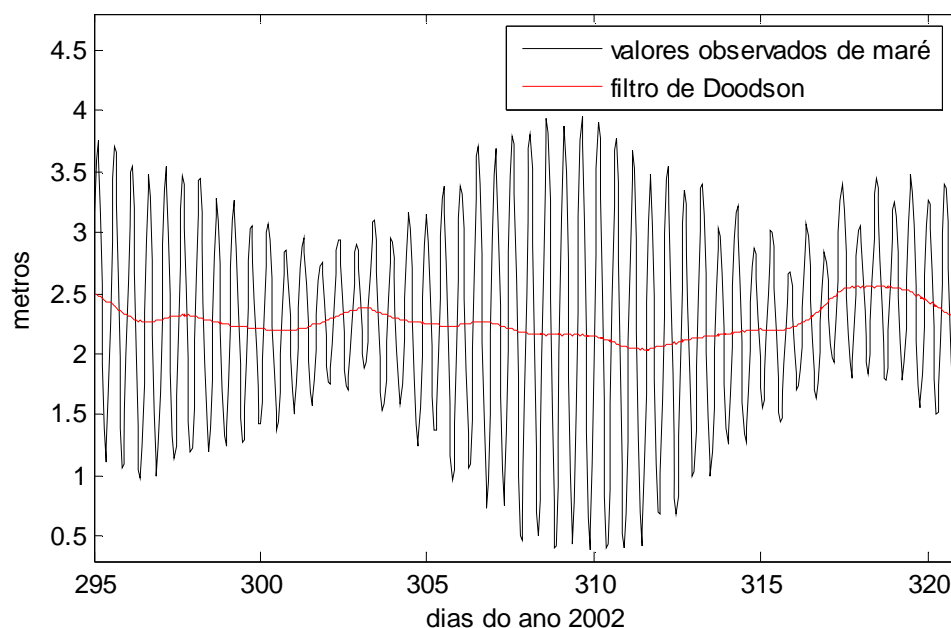


Figura 5 – Nível médio do mar determinado através do filtro de Doodson.



O filtro de Doodson, definido por

$$\begin{aligned} 30 \times \bar{N}(19h, 24h) = & \\ = & h(0) + h(2) + h(5) + h(7) + h(8) + 2h(10) + h(12) + h(13) + 2h(15) + h(16) + \\ & + h(17) + 2h(18) + 2h(20) + h(21) + h(22) + 2h(23) + h(25) + h(26) + 2h(28) + \\ & + h(30) + h(31) + h(33) + h(36) + h(38) \end{aligned}$$

é simétrico relativamente a $t = 19h$. Como se pode verificar, obter o nível médio diário equivale a obter o nível médio instantâneo ao longo da série de dados.

Comparando os desvios entre observações e previsões com o nível médio do mar, obtido através do filtro de Doodson, tal como se observa na Figura 6, verifica-se que os desvios acompanham o nível médio do mar, sendo um indicador grosseiro do nível médio instantâneo. Note-se que para esta comparação foram adicionados 2 metros aos desvios (valor do NMA, usado nas previsões).

A figura mostra também que os desvios entre observações e previsões apresentam um ruído em bandas de frequência de algumas constituintes. Tal deve-se ao facto de algumas constituintes se ajustarem menos bem a alguns períodos da série.

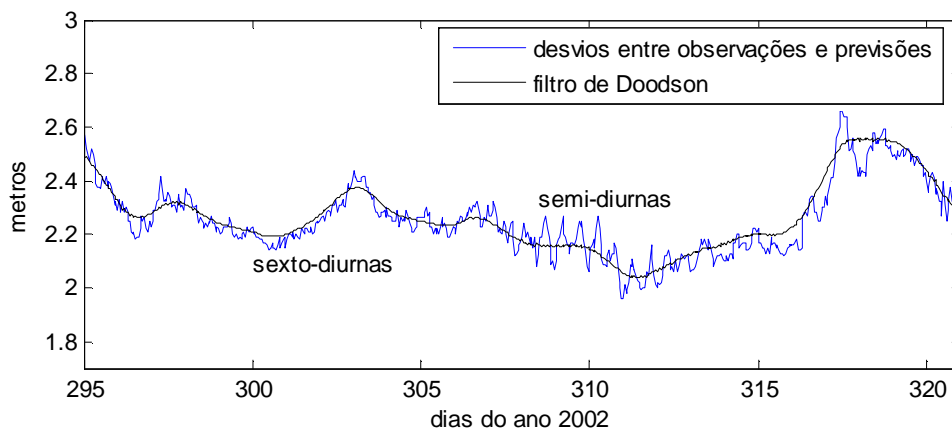


Figura 6 – Nível médio obtido através do filtro de Doodson comparado com os desvios entre observações e previsões. Os desvios apresentam um ruído em bandas de frequência de algumas constituintes (sexto-diurnas próximo dos dias 300 a 303 e semi-diurnas próximo dos dias 308 a 312).

Observe-se agora a Figura 7 que apresenta uma comparação dos níveis médios diários obtidos através dos filtros de Doodson, média das 24 e 25 alturas horárias e método das alturas reduzidas, para o ano de 2003 no porto de Leixões.

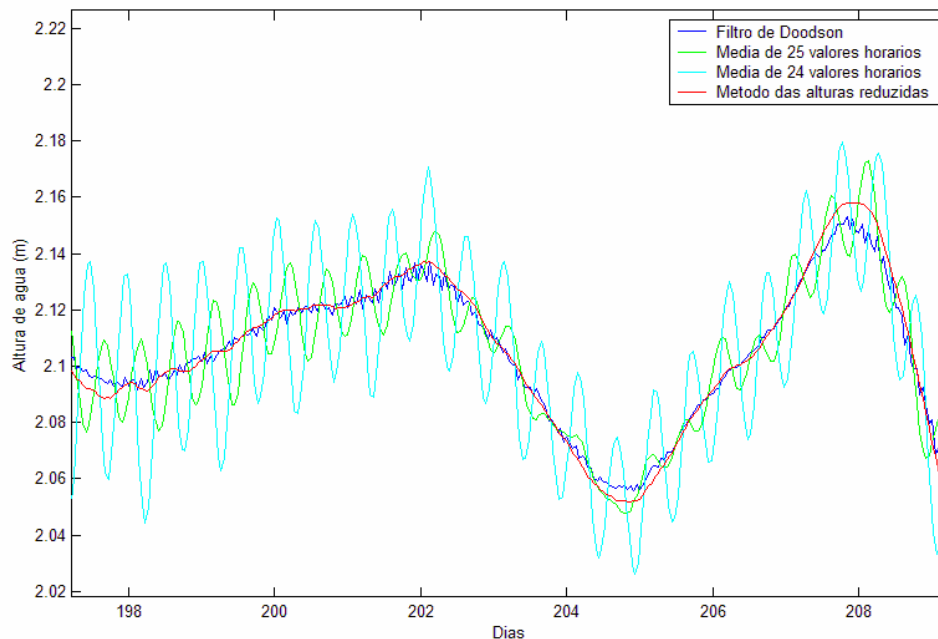


Figura 7 – Comparação dos níveis médios diários obtidos através dos filtros de Doodson, média de 25 valores horários, média de 24 valores horários e método das alturas reduzidas para dados de 2003 do porto de Leixões. Verifica-se melhor capacidade de filtragem nos filtros de Doodson e alturas reduzidas, relativamente a médias aritméticas de 24 ou 25 valores horários.

O efeito de filtragem que se pretende alcançar com qualquer um destes métodos é a eliminação da energia associada às variações astronómicas. Os métodos mais simples e directos são a média das 24 e 25 alturas horárias mas, nenhum deles origina resultados notáveis. Como se pode observar, o método das 24 horas comporta-se pior, apresentando uma forte componente sinusoidal de grande amplitude relativamente aos outros métodos. O filtro de Doodson e o método das alturas reduzidas ao meio-dia têm um melhor desempenho relativamente a todos os outros métodos, dado que a capacidade de filtragem é superior. Porém, este último método parece ligeiramente melhor o que se reflecte no desenho de uma curva muito mais suave (melhor capacidade de filtragem) que o filtro de Doodson. A elaboração deste estudo confirma a validade da utilização deste método no IH.

3. Análise em frequência

A análise em frequência é bastante utilizada, nomeadamente, na validação de dados de alturas horárias provenientes dos marégrafos. Basicamente, o método principal de trabalho, neste caso, consiste na comparação em tempo ou em frequência das observações e previsões.

As análises em tempo, constituem o teste directo do que se pretende analisar, neste caso, se as previsões geradas são de facto semelhantes à maré observada. Para além disso, permitem determinar os períodos de tempo em que se verificaram condições meteorológicas irregulares, os quais não são adequados para geração de CH. Por outro lado, constituem um modo directo de detectar falhas e/ou erros nos dados, como por exemplo erros em tempo directamente relacionados com o mecanismo de relojoaria, entupimento do poço, leitura da

curva de maré errada aquando da digitalização dos dados provenientes de maregramas de tambor.

Na análise em frequência, em situações de teste, utiliza-se a função FFT (*Fast Fourier Transform*) aplicada às observações, previsões e desvios. Para uma melhor interpretação dos resultados gráficos, a variável nas abcissas, normalmente a frequência, é transformada em graus/hora para se tornar directamente comparável com as velocidades das constituintes. Por sua vez, no eixo das ordenadas é efectuada a conversão de energia para amplitude, em metros.

Só através de uma análise em frequência se consegue analisar o comportamento individual de cada onda. A Figura 1 apresenta a FFT dos dados de Vila Franca de Xira. Conseguem-se distinguir claramente as bandas de frequência características da maré observada. Nesta figura também é perceptível o fenómeno de *leakage* relativamente à onda M_2 .

O *leakage* é um fenómeno que acontece numa análise de Fourier, em particular numa FFT, quando os picos de energia não acontecem em frequências que sejam múltiplos exactos da frequência principal. Veja-se a Figura 8 que apresenta um exemplo do fenómeno referido. A constituinte M_2 , em virtude da sua maior amplitude relativamente às outras constituintes, é a que apresenta mais problemas de *leakage*. Note-se que ao retirar o *leakage* a amplitude da onda aumentou, o que dá pleno sentido ao significado da palavra; efectivamente, no primeiro gráfico a amplitude da M_2 “entornou” um pouco sobre as frequências vizinhas. Quando se trabalha com dias inteiros, caso frequente no IH, mas não o apresentado neste exemplo, as ondas solares, S_1 , S_2 , S_4 , S_6 , entre outras, não apresentam *leakage*.

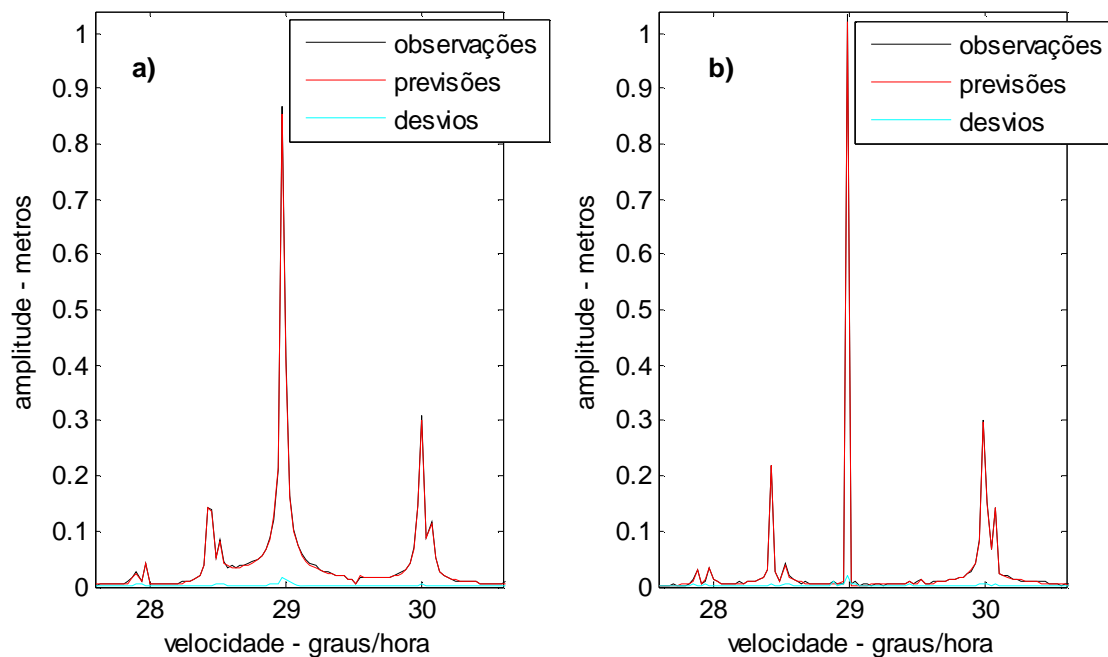


Figura 8 – Análise em frequência dos dados de alturas horárias de Leixões referentes aos anos de 2002 e 2003. a) *Leakage* presente nas várias constituintes, em particular na M_2 ; b) Espectro sem *leakage* aparente na onda M_2 .

Tal como referido anteriormente, a análise em frequência é bastante utilizada para analisar cada uma das constituintes da maré individualmente. Constituintes compostas, como é o caso da M_1 , são muito mais complexas matematicamente uma vez que resultam da combinação de vários termos presentes na fórmula para a força geradora de maré. A M_1 , é uma constituintes que não se separa num ano mas apenas em aproximadamente metade do

ciclo nodal lunar. Como a análise harmónica se faz em geral com um ano de dados a única maneira de lidar com este tipo de ondas é aplicar as correcções chamadas nodais. A constituinte M_1 apresenta, deste modo, bastante instabilidade. De modo a determinar a origem desta instabilidade, foi aplicada a FFT à maré observada e à maré prevista no porto de Leixões para os anos entre 1956 e 1977¹ estando o resultado apresentado na Figura 9. Na FFT foi usada toda a série de dados sem a dividir em troços. As setas indicam as velocidades relativas à onda M_1 listadas em Schureman, 1988.

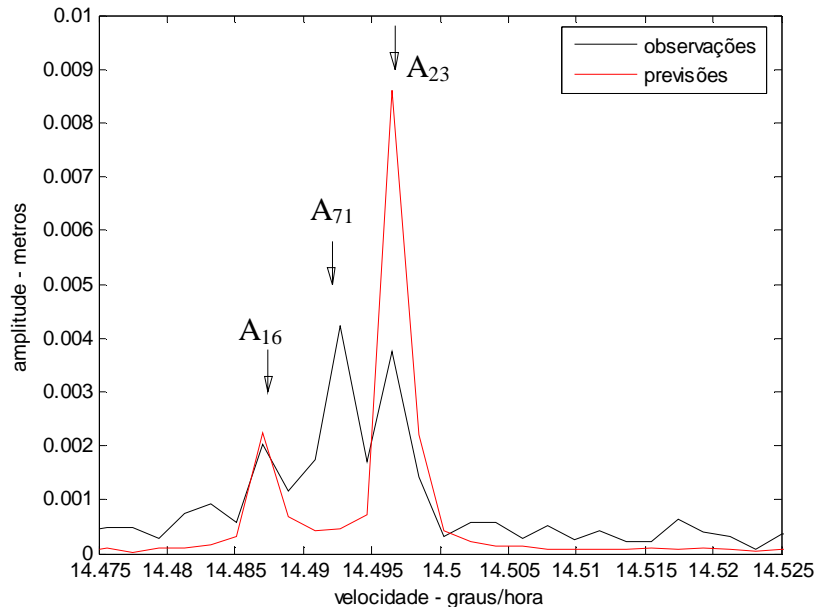


Figura 9 – Espectro da maré em Leixões ampliado para a zona da constituinte M_1 . Os três picos assinalados correspondem às velocidades relativas à onda composta M_1 .

No espectro da maré observada em Leixões destacam-se três velocidades com maior amplitude que correspondem aos termos A_{16} , A_{71} e A_{23} da fórmula da força lunar geradora de maré. No entanto, no espectro da maré prevista constatam-se apenas duas velocidades com maior amplitude de maré, correspondentes aos termos A_{16} e A_{23} . Então, provavelmente na nossa posição geográfica a constituinte M_1 para além de uma combinação dos termos A_{16} e A_{23} deve ainda ser considerado nos programas de análise/previsão o termo A_{71} . Em Schureman, 1988, encontram-se listadas as três componentes da M_1 , com as seguintes velocidades apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1: Componentes da constituinte M_1

<i>Ref. No.</i>	<i>Velocidade (°/h)</i>
A16	14,4874103
A23	14,4966939
A71	14,4920521
Onda Composta	14,4966939

¹ Este período aproxima-se do ciclo nodal lunar de 18,6 anos.

Se a série de dados for dividida em troços aquando da análise em frequência, perde-se a noção de que a onda M_1 é uma onda composta não se conseguindo justificar a sua instabilidade. Veja-se a Figura 10, que apresenta o resultado da FFT para os dados do porto de Leixões divididos em troços com a duração de 9 anos.

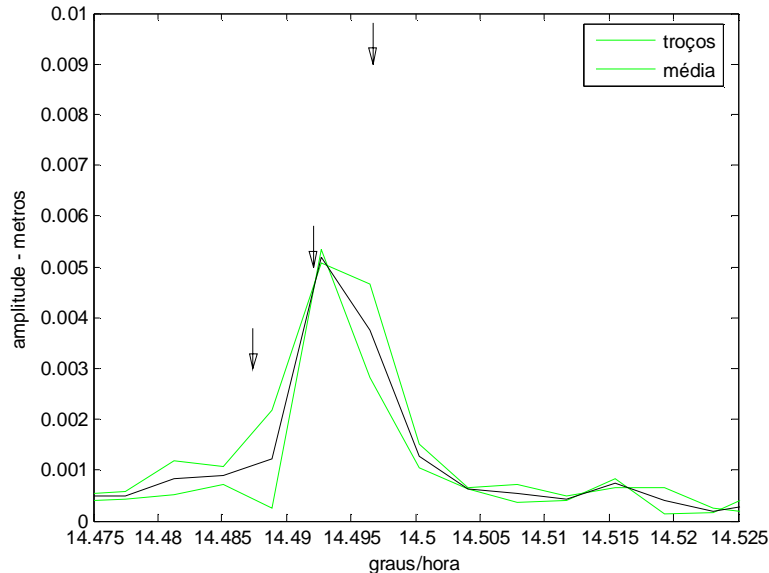


Figura 10 – Espectro da maré no porto de Leixões ampliado para a zona da constituinte M_1 . A série de dados analisada foi dividida em 2 troços. As setas indicam as velocidades referidas na figura 9.

3.1 Análise Harmónica

Dá-se o nome de análise harmónica ao processo matemático através do qual a maré observada num dado local é separada em constituintes harmónicas simples. A sua finalidade é determinar a amplitude e fase de cada constituinte, a partir da série de alturas de água registadas. Na análise harmónica, caso particular da análise em frequência, as frequências relevantes são bem conhecidas, donde as constituintes a determinar são previamente escolhidas.

Para se proceder à análise harmónica, deve-se ter em conta o tamanho da série temporal uma vez que condiciona o número de constituintes que se conseguirão separar nesse período. De acordo com o Critério de Rayleigh, duas ondas de períodos T_1 e T_2 , com velocidades angulares dadas w_2 e w_1 , são separáveis no período T se se verificar a seguinte desigualdade:

$$T|w_2 - w_1| \geq 360^\circ \text{ ou } T \geq \frac{T_1 \times T_2}{|T_1 - T_2|} \quad (1)$$

Para que o ajustamento à soma de duas sinusóides de velocidades diferentes produza resultados satisfatórios é necessário dispor de uma série temporal suficientemente longa. A Figura 11 pretende ilustrar a verificação intuitiva deste critério. As ondas na figura de cima, azul e verde, têm a sua soma representada a vermelho na figura de baixo. Como se pode verificar as duas ondas só se separam em 200 unidades. Portanto, seria esta a duração mínima da série temporal a utilizar.

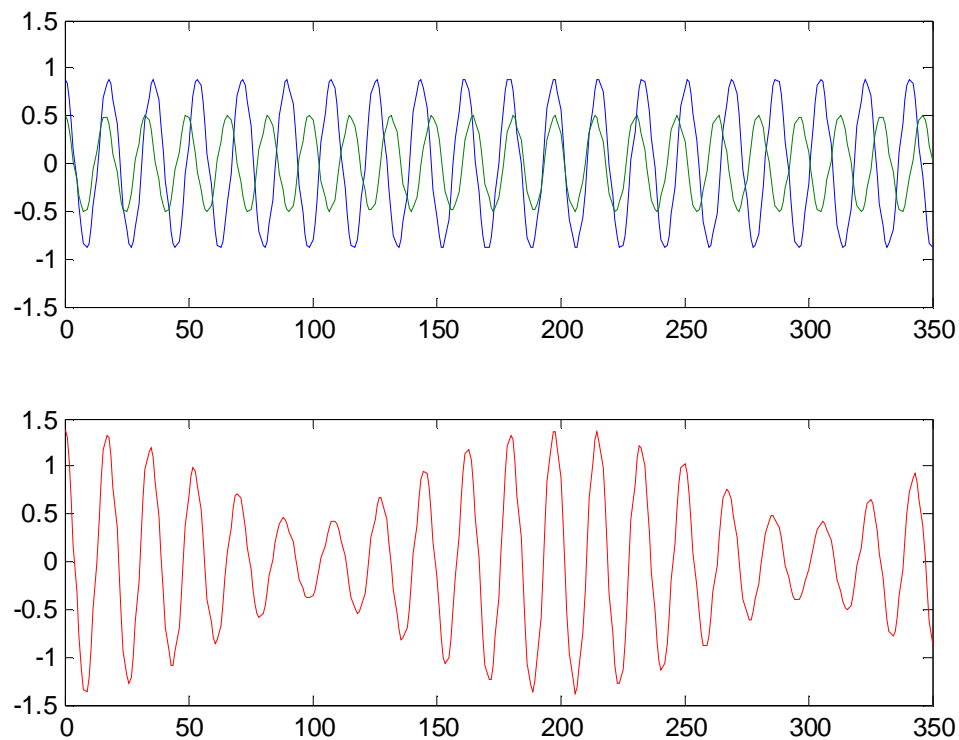


Figura 11 – Ilustração do critério de Rayleigh

Dado que o ciclo nodal lunar tem uma duração aproximada de 19 anos, o ideal seria dispor desta duração de dados consecutivos. Porém, por variadas razões (entre elas, problemas com o próprio equipamento) na prática não é possível ter um período tão longo de dados sem interrupções. Deste modo, usa-se um ano de dados, critério adoptado internacionalmente, pois este período inclui as constituintes de grande relevância que só se separam num ano. O ciclo nodal lunar é contemplado na análise harmónica através da inclusão de um factor nodal que introduz as correcções em amplitude necessárias.

Para além da razão apresentada acima, a necessidade de se utilizar séries temporais relativamente longas para uma boa análise harmónica, está relacionada, também, com a minimização dos efeitos aleatórios oriundos de fenómenos meteorológicos ou outros ruídos, como por exemplo passagem ou atracagem de embarcações nas proximidades do marégrafo.

Na grande maioria dos programas de análise, o número mínimo de dias utilizado é 15 pois permite separar as 4 constituintes fundamentais, 2 diurnas e 2 semi-diurnas. No entanto, em locais com maré semi-diurna regular, como é caso de Portugal e dos Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa, ficam em falta a 3^a e 4^a constituintes de maior amplitude, N2 e K2. Para além deste facto, perde-se igualmente a noção de desigualdade quinzenal, ou seja, as diferenças em amplitudes entre duas marés vivas consecutivas ou duas marés mortas consecutivas.

Este fenómeno é ilustrado na Figura 12, que apresenta observações e previsões de maré do dia 63 ao dia 115 do ano de 2003 para o porto de Leixões, sendo que, as constantes harmónicas que estiveram na origem das previsões foram obtidas através de análise harmónica com base em apenas 16 dias de dados do dia 101 a 116. Com efeito, analisando as curvas apresentadas, nomeadamente os desvios entre observações e previsões (a azul no gráfico) verifica-se que as previsões se ajustam mal a toda a série temporal, inclusivamente ao período de dados que deu origem às previsões. Note-se que as previsões (a vermelho)

apresentam uma regularidade artificial, repetindo o mesmo padrão indefinidamente; daí, a importância da inclusão das ondas N_2 e K_2 , na análise harmónica.

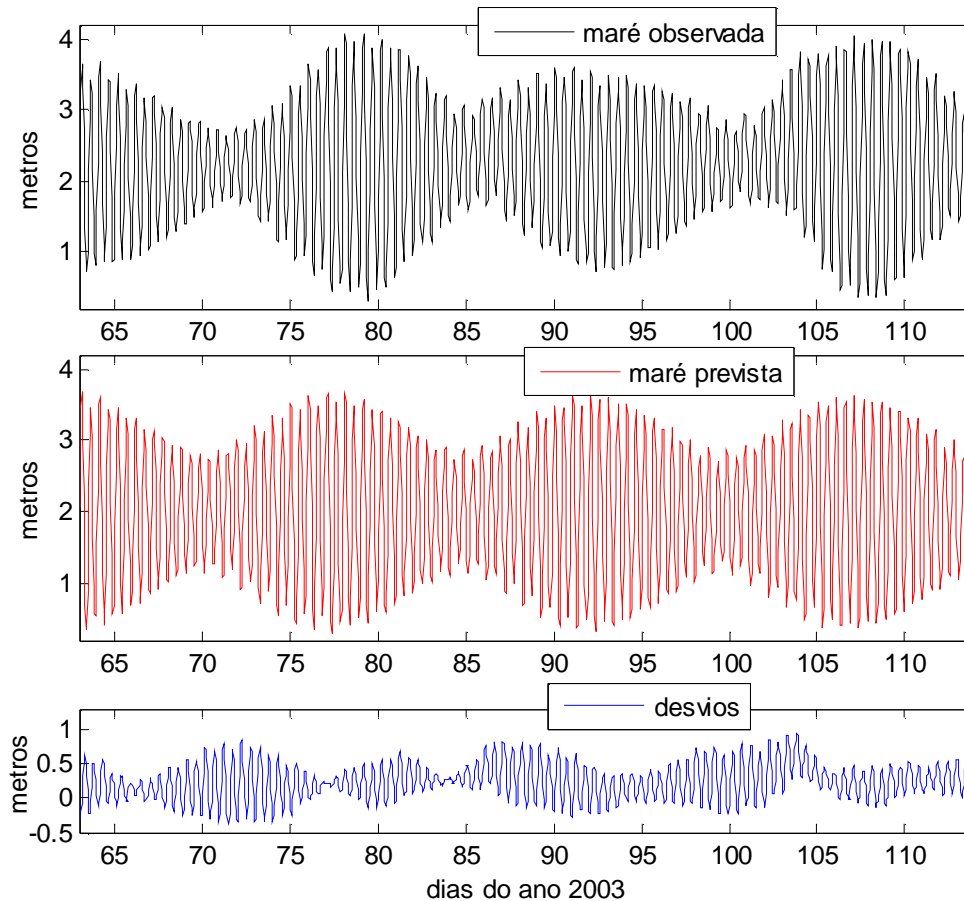


Figura 12 – Comparação de dados observados de maré com previsões obtidas com base em apenas 16 dias de dados.

Embora se conheçam cerca de 300 constituintes de maré, nem todas são utilizadas para a respectiva previsão. De facto, em média usam-se cerca de 35 constituintes harmónicas na previsão de maré de um porto. Porém todas as constituintes incluídas no programa de análise harmónica são analisadas de modo a serem seleccionadas as que contribuem para a maré calculada para um determinado porto.

No IH, quando já se dispõe de uma quantidade razoavelmente elevada de dados validados, e nos propomos renovar as CH de um porto, os dados são divididos em vários troços do mesmo tamanho, por exemplo um ano, são calculadas as CH para os diferentes períodos e é feita a comparação entre os valores obtidos, os quais se espera que sejam semelhantes nos diversos períodos de dados. Na realidade não é isso que acontece; em regra são encontradas discrepâncias que podem decorrer da diferente qualidade dos dados em cada troço, ou da ocorrência demasiado frequente de condições meteorológicas irregulares.

Tendo em conta que o número de CH que podem ser usadas nas previsões do IH é de 62, e sendo as CH dois valores, amplitude e fase, por cada constituinte, torna-se difícil quer a comparação visual das diversas listas, quer a avaliação das discrepâncias encontradas. Para facilitar a análise dos resultados, é calculada a média vectorial das CH nos diversos troços; se



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

presumimos que as CH são tanto melhores quanto a semelhança entre si nos vários troços, as mesmas deverão igualmente ser próximas da média.

Face à dificuldade da comparação de listas de CH, foi desenvolvido no IH um modo de visualização gráfica dos vectores representativos de cada constituinte para os vários troços que facilita a análise da estabilidade ou não de cada constituinte. A Figura 2, apresentada anteriormente, é um exemplo da representação gráfica das CH. Permite uma visão da importância relativa das quatro constituintes de maior amplitude, todas semi-diurnas; por outro lado, a quase coincidência dos vectores mostra como as várias séries usadas poderão ser consideradas igualmente adequadas para a obtenção das CH que darão origem às previsões de maré oficiais. Trata-se de uma análise bastante sugestiva, porém tem a desvantagem de não discriminar os vários períodos de dados em análise. Convém pois realizar este tipo de teste após serem retirados os troços considerados de menor qualidade. Por outro lado é muito mais elucidativo quando se pretende avaliar o comportamento das constituintes. Veja-se por exemplo a Figura 13 que apresenta as CH obtidas para a onda S_a (solar anual), para cada um dos 18 troços em estudo dos dados do porto de Leixões.

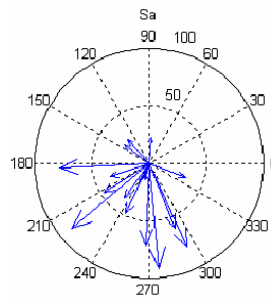


Figura 13 – Visualização gráfica das CH para 18 troços de dados de maré do porto de Leixões. Amplitude em mm.

Verifica-se bastante inconsistência nos resultados, dado que para cada um dos períodos analisados se obtiveram discrepâncias quer na amplitude quer na fase. A razão destes resultados é a seguinte: o nível médio do mar depende de vários factores alheios à maré, como ventos e pressão atmosférica; esses factores aleatórios de origem meteorológica funcionam como ruído, afectando o cálculo das ondas de longo período. A Figura 14 demonstra o que se acabou de referir. A azul tem-se os desvios entre observações e previsões e a verde a pressão atmosférica invertida, para o porto de Sines, ano de 2002. Como se pode verificar, a curva dos desvios acompanha bastante bem a curva da pressão atmosférica observada. De facto, os desvios entre observações e previsões acabam por resultar aproximadamente no nível médio instantâneo. A curva a azul apresenta, ainda, um ruído de curto período associado geralmente a ondas não contempladas na previsão ou a reflexos de problemas com o equipamento, como por exemplo entupimentos no poço que originam desfasamento em tempo (atrasos), perceptíveis pela presença de um ruído semi-diurno. Conclui-se, portanto, que a pressão atmosférica deve ser retirada dos dados de alturas horárias antes da análise harmónica, de modo a não influenciar o cálculo das CH de algumas constituintes.

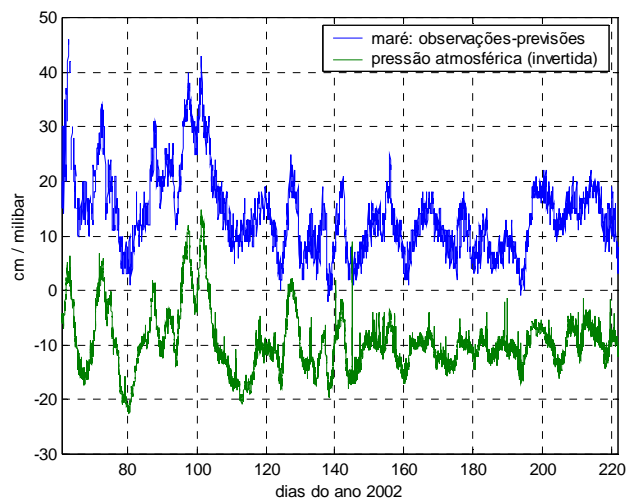


Figura 14 – Nível médio versus pressão atmosférica (Porto de Sines). Nesta figura é evidenciada a relação entre a pressão atmosférica e a evolução do nível médio, representada pelas diferenças entre observações e previsões.

Este tipo de análise das CH, visualização gráfica dos vectores de cada constituinte, é usado preferencialmente para decisões sobre as CH a incluir ou a rejeitar para a previsão da maré de um dado porto. A Figura 15 e a Figura 16 apresentam, respectivamente, exemplos de constituintes a incluir e a não incluir de maré. As constituintes da Figura 16 são rejeitadas uma vez que têm uma amplitude tal que se confundem com ruído. O gráfico da constituinte M_1 confirma a instabilidade observada aquando da análise dos dados através de FFT.

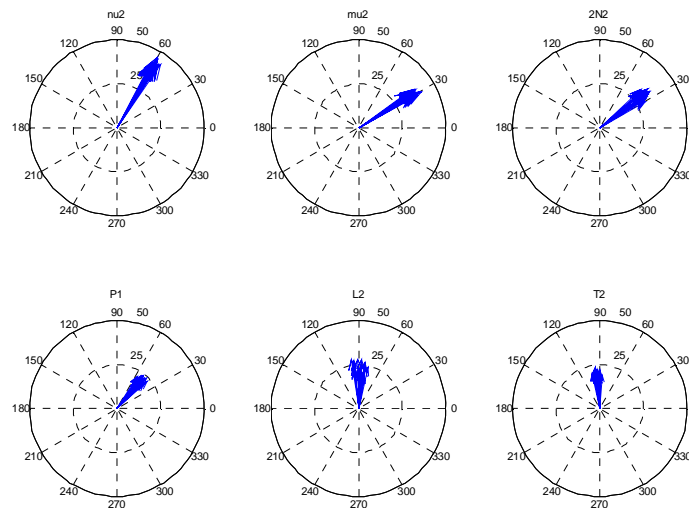


Figura 15 – Visualização gráfica de CH. Constituintes a incluir na previsão de maré. Amplitudes em mm.

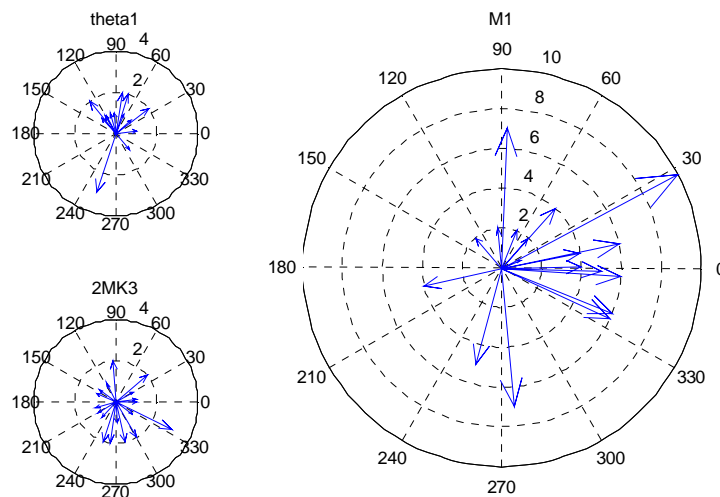


Figura 16 – Visualização gráfica de CH. Constituintes que se confundem com ruído e a excluir da previsão de maré. Amplitudes em mm.

4. Considerações finais

Neste artigo, foram apresentados vários exemplos de métodos de análise de dados de marés. A análise em tempo constitui o método principal de visualização dos dados, bastante útil na detecção de eventuais erros ou falhas nos mesmos. Foram apresentados exemplos de análise em tempo quando se alertou para o facto de a maré ser uma onda de origem complexa e cujas características se vão alterando conforme o local onde se encontra. Neste âmbito, mostraram-se exemplos da modificação das características da maré em rias e estuários.

Exemplos de análise em tempo foram também apresentados aquando do capítulo do nível médio do mar. Aqui verificou-se que o nível médio diário podia ser um reflexo do nível médio instantâneo observado numa série de dados de maré. Foram igualmente comparados diversos métodos de determinação de níveis médios diários tendo-se verificado que os mais eficientes na filtragem das frequências de origem astronómica eram os de Doodson e o das alturas reduzidas.

Finalmente, demonstrou-se a importância da utilização da análise em frequência, nomeadamente FFT e análise harmónica. A análise em frequência permite analisar cada constituinte da maré individualmente, sendo um método bastante útil quando se pretende determinar quais as constituintes a incluir ou não no programa de previsão de maré. Apresentou-se, também, o método desenvolvido no IH para visualização gráfica das CH de cada constituinte, o qual, de uma forma intuitiva, nos permite avaliar a estabilidade de cada constituinte da maré.

Bibliografia

DOODSON, A.T. & WARBURG, H.D., (1973) Admiralty - Manual of Tides, Hydrographic Department, *Admiralty*, London, U.K.



**5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007**

SCHUREMAN, P., (1988), Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, *U.S. Government Printing Office*

SIMON, B., (1974), Calcul des Constantes Harmoniques de la Marée, *EPSHOM*