

CAPÍTULO 5 - NÍVEIS DE ÁGUA E ESCOAMENTOS

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste capítulo é fornecer ao hidrógrafo e ao leitor técnico informação fundamental e necessária para compreender e aplicar níveis de água, *Data* e produtos originados a partir de níveis de água e dados de correntes, de modo a desenvolver operações no campo de suporte a levantamentos hidrográficos e outras atividades diretamente relacionadas com a cartografia. Usualmente, o hidrógrafo está preocupado não apenas com a elevação da superfície do mar, que é afetada de forma significativa pelas marés, mas também com a elevação da superfície livre de lagos e rios, onde o fenômeno das marés pode ter efeitos reduzidos. Apesar do termo “nível de água” ser mais correto tecnicamente, o termo “maré” é tradicionalmente aceite e amplamente utilizado por hidrógrafos dado que efetua a ligação com a instrumentação utilizada para medir a elevação da superfície da água. De um modo semelhante, o termo “corrente” é aceite em muitas áreas no que diz respeito a correntes de maré; contudo, as correntes de água são afetadas por muitos outros fenômenos para além as forças geradoras de maré. O termo “escoamento” ou “fluxo” pode então ser utilizado em vez de “correntes”.

As forças de maré têm um papel muito importante nos levantamentos hidrográficos, porém as forças geradoras de maré e as variações fundamentais da maré são apenas descritas, neste capítulo, de uma forma geral mas apontando para referências técnicas apropriadas. É importante o hidrógrafo perceber porque é que as características da maré, níveis de água e correntes variam no domínio do tempo e espaço, razão pela qual estas são consideradas no planeamento de levantamentos e operações que irão dar origem à produção bem sucedida de cartas e levantamentos exatos.

Dado que as abordagens e procedimentos para medir e aplicar níveis de água, marés e correntes variam consoante o país, este capítulo refere os princípios gerais, utilizando para isso exemplos documentados sempre que apropriado.

2. MARÉS E NÍVEIS DE ÁGUA

2.1. Princípios de Marés e Níveis de Água

As marés observadas num determinado porto são o resultado de muitos fatores, entre os quais se inclui a resposta da bacia oceânica às forças geradoras de maré, às modificações da maré devido ao efeito de águas pouco profundas de baías e rios locais, e aos efeitos regionais e locais da meteorologia nos níveis de água.

2.1.1. Forças Astronómicas Geradoras de Maré

Na superfície da Terra, a atração gravítica da Terra atua na direção do seu centro de massa confinando as águas oceânicas à sua superfície. No entanto, as forças gravíticas da Lua e do Sol e a força centrífuga do sistema Sol/Terra/Lua atuam externamente sobre as águas oceânicas da Terra. Estas forças externas atuam como forças geradoras ou forças de tração. Os seus efeitos sobrepõem-se à força gravítica da Terra e atuam de modo a atrair as águas oceânicas horizontalmente para vários pontos à superfície da Terra.

Uma preia-mar é produzida nas águas oceânicas através da ação de empilhamento, resultante do escoamento horizontal de água em direção à região de máxima atração do efeito combinado das forças gravíticas lunares e Solares. Uma preia-mar adicional é produzida na posição oposta da Terra, onde a força centrífuga do sistema em órbita se sobrepõe à atração gravítica do Sol e da Lua. As baixa-mares são originadas por uma remoção da água das regiões na Terra a meio

caminho entre os dois bojos de maré. A alternância entre preia-mar e baixa-mar acontece devido à rotação diária (ou diurna) do corpo sólido da Terra em relação a estes dois bojos de maré e à depressão de maré. A variação dos tempos de chegada de quaisquer duas preia-mares ou baixamares sucessivas num dado local é o resultado de vários fatores. As forças geradoras de maré fundamentais têm duas componentes devido ao Sol (solar) e à Lua (lunar).

2.1.1.1. Origem das Forças Geradoras da Maré

Um observador na Terra tem a sensação que a Lua tem um movimento de rotação em torno da Terra, mas na realidade são a Lua e a Terra que têm um movimento de rotação em torno do seu centro de massa comum, conhecido como *baricentro*. Os dois corpos astronômicos tendem a ser puxados um para o outro através da atração gravítica e simultaneamente tendem a afastar-se devido à força centrífuga produzida à medida que se deslocam em torno do baricentro. A atração gravítica e a força centrífuga têm a mesma intensidade e direções opostas; portanto, a Terra e a Lua não são nem puxadas uma de encontro à outra nem separadas uma da outra da posição original. Existe um efeito semelhante para o sistema Terra/Sol mas é separado e distinto do mesmo efeito relativamente ao sistema Terra/Lua (daí as componentes lunar e solar).

Estas forças gravíticas e centrífugas são apenas equilibradas nos centros de massa dos corpos individuais. Em locais por cima, dentro ou à superfície dos corpos, as duas forças não estão em equilíbrio, originando marés nos oceanos, atmosfera e litosfera. No lado da Terra virado para a Lua ou Sol, uma força resultante (ou *diferencial*) geradora de maré atua na direção da atração gravítica da Lua ou do Sol ou seja na direção da Lua ou do Sol. No lado da Terra diretamente oposto à Lua ou ao Sol, a força geradora de maré resultante atua na direção da maior força centrífuga ou seja na direção oposta à Lua ou Sol.

2.1.1.2. Força Centrífuga

O baricentro do sistema Terra/Lua encontra-se num ponto aproximadamente 1700 km abaixo da superfície da Terra, no lado de frente para a Lua, e ao longo de uma linha que liga os centros de massa da Terra e da Lua (Figura 5.1). O centro de massa da Terra descreve uma órbita (E_1, E_2, E_3, \dots) em torno do baricentro (G), tal como o centro de massa da Lua descreve a sua órbita mensal (M_1, M_2, M_3, \dots) em torno deste mesmo ponto.

À medida que a Terra se desloca em torno do baricentro, a força centrífuga produzida no centro de massa da Terra está direcionada para fora do baricentro, do mesmo modo que um objeto preso por um fio, e que se pode fazer rodar por cima da nossa cabeça, exerce um puxão na mão que segura o fio. Devido ao fato do centro de massa da Terra estar no lado oposto do baricentro relativamente à Lua, a força centrífuga produzida no centro de massa da Terra está direcionada para o lado oposto ao da Lua. Todos os pontos dentro ou na superfície da Terra sentem a mesma intensidade e direção desta força centrífuga. Este fato é indicado pela direção e comprimento das setas que representam a força centrífuga (F_c) nos pontos A, B e C na Figura 5.1 e pelas setas finas nestes mesmos pontos na Figura 5.2. De um modo semelhante, o baricentro do sistema Terra/Sol encontra-se num ponto dentro do Sol uma vez que este astro tem uma massa muito maior que a da Terra; porém aplica-se a mesma teoria.

É importante notar que a força centrífuga produzida pela rotação diária da Terra no seu próprio eixo não tem consequência alguma para a teoria de marés. Este elemento não tem papel algum na criação das forças diferenciais geradoras de maré dado que a força em qualquer local particular permanece constante com o tempo, de modo que a superfície da água está sempre em equilíbrio em relação a esta.

As curvas sólida e a tracejado representam secções da Terra perto do equador, que contêm o plano de órbita da Lua em torno do baricentro (G). Os pontos E1, E2, E3 e M1, M2, M3 correspondem às posições dos centros de massa da Terra e da Lua, respectivamente.

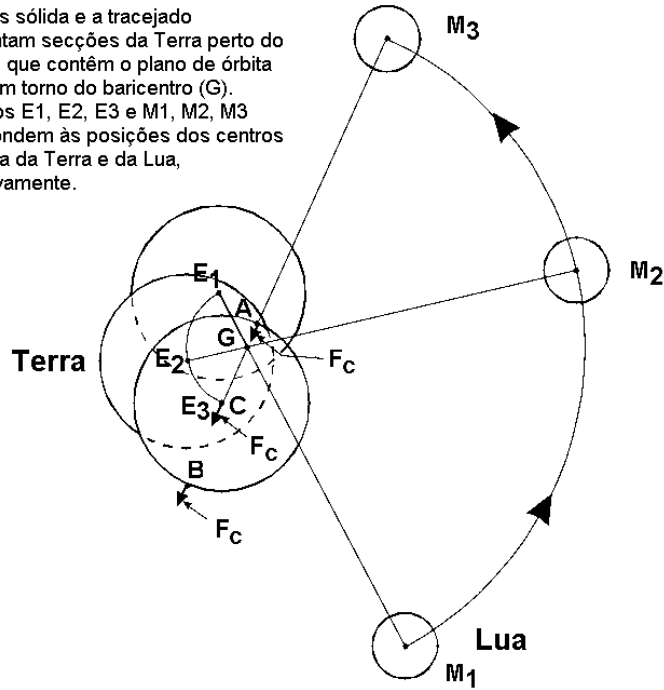


Figura 5.1

Tipo de força	Designação
Fc = força centrífuga devido ao movimento de rotação da Terra em torno do baricentro	seta fina
Fg = força gravítica devida à Lua	seta grossa
Ft = força geradora de maré resultante devida à Lua	seta dupla

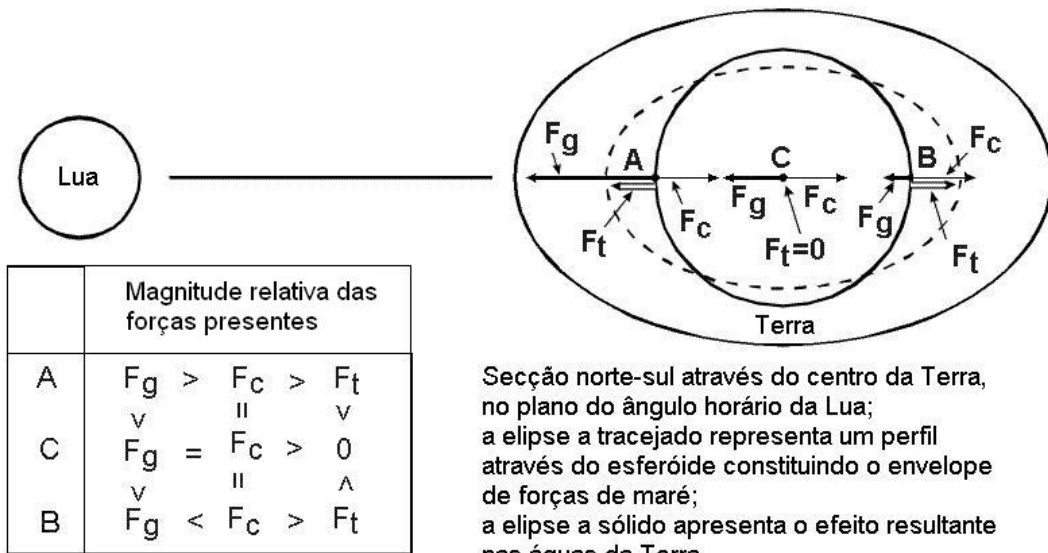


Figura 5.2

2.1.1.3. Força Gravítica

Enquanto o efeito da força centrífuga externa é constante em todos os pontos na Terra, o efeito da força de atração gravítica produzida por outro corpo astronómico varia de local para local. Isto deve-se à intensidade da força gravítica exercida variar com a distância ao corpo atraente. Portanto, na teoria das marés, outra variável de influência é introduzida, baseada nas diferentes distâncias dos vários pontos à superfície da Terra a partir do centro de massa da Lua. A atração gravítica relativa produzida pela Lua em várias posições na Terra está representada na Figura 5.2 pelas setas indicadas com F_g que são mais grossas do que aquelas que representam as componentes da força centrífuga F_c .

Analogamente ao fato de a própria força centrífuga da Terra não ter nenhum papel na produção de marés, os efeitos da própria força gravítica da Terra não têm um papel direto na origem das marés. Mais uma vez, isto é devido à força gravítica da Terra em qualquer local permanecer constante com o tempo.

2.1.1.4. Forças Diferenciais Geradoras de Maré

A força centrífuga que atua no centro da Terra como resultado da rotação desta em torno do baricentro é igual e de direção oposta à força gravítica exercida pela Lua no centro da Terra. Este fenómeno encontra-se indicado no ponto C na Figura 5.2 pelas setas finas e grossas de igual comprimento e que apontam em direções opostas. O resultado desta situação é que a força geradora de maré (F_m) é nula no centro de massa da Terra.

O *ponto sublunar*, ponto A na Figura 5.2, está aproximadamente 6400 km mais perto da Lua do que o ponto C. Aqui, a força produzida pela atração gravítica da Lua é maior que a força gravítica em C devido à Lua; dado que a força centrífuga é, em todo o lado, igual e de direção oposta à atração da Lua no centro de massa da Terra, a atração gravítica maior no ponto A sobrepõe-se à força centrífuga, originando uma força resultante na direção da Lua. O resultado pode ser observado na Figura 5.2 através da seta dupla. A maré resultante produzida no lado da Terra na direção da Lua é conhecida como *maré direta*.

No lado oposto da Terra, o *ponto antipodal*, ponto B, está cerca de 6400 km mais afastado da Lua que o ponto C e a força gravítica da Lua é menor que em C; uma vez que a força centrífuga no ponto B é maior do que a atração gravítica da Lua no ponto C, a força geradora de maré resultante neste ponto encontra-se direcionada para fora do centro da Terra. Esta força encontra-se indicada pela seta dupla no ponto B. A maré produzida no ponto antipodal é conhecida como *maré oposta*.

Existe também um esquema semelhante de forças diferenciais para o sistema Terra/Sol.

2.1.1.5. Força de Tração

As forças geradoras de maré têm apenas uma nona-milionésima parte da magnitude da atração gravítica da Terra. Portanto, as forças geradoras de maré são insuficientes para, de um modo perceptível, erguer a água, contrariando a atração da gravidade da Terra. Em vez disso, as marés são geradas pela componente horizontal das forças geradoras de maré. Em qualquer ponto na superfície da Terra, a força geradora de maré pode ser decomposta em 2 componentes - uma vertical, ou perpendicular à superfície da Terra, e outra horizontal, ou tangencial à superfície da Terra; dado que a componente horizontal não é contrariada de modo algum pela gravidade, pode atuar de modo a arrastar as partículas de água livremente sobre a superfície da Terra e em direção aos pontos sublunar e antipodal.

A componente horizontal, conhecida como a componente de tração (“com a ação de arrastar”) da força, é o mecanismo que realmente produz as marés. A força de tração é nula nos pontos sublunar e antipodal, dado que a força geradora de maré é inteiramente vertical nestes pontos; assim, não existe nenhuma componente horizontal. Qualquer porção de água acumulada nestes locais, devido ao escoamento de tração de outros pontos à superfície da Terra, tende a permanecer

numa configuração estável, ou *bojo* de maré. Portanto, existe uma tendência constante para a água ser arrastada de outros pontos na superfície da Terra em direção ao ponto sublunar (A na Figura 5.2) e ao seu ponto antipodal (B na Figura 5.2), empilhando-se nestes pontos formando dois bojos de maré. Sendo um caso especial da Lei da Gravitação Universal de Newton, a força geradora de maré varia inversamente com o cubo da distância do centro de massa do corpo atraente a um dado ponto à superfície da Terra.

Dentro de uma banda à volta da Terra aproximadamente a meio caminho entre o ponto sublunar e o ponto antipodal, a força de tração é também nula uma vez que a força geradora de maré está direcionada verticalmente. Existe, assim, a tendência para a formação de uma depressão estável nessa região.

2.1.1.6. A Envolvente da Força de Maré

Se as águas dos oceanos respondessem exclusivamente às forças de tração e a Terra estivesse totalmente coberta por água sem os continentes, a superfície de água teria a forma aproximada de um esferóide alongado. O eixo maior do esferóide coincidiria com a linha que une os centros de massa da Terra e da Lua, o eixo menor estaria em ângulo reto com o eixo maior e centrado neste. As duas elevações e a depressão de maré estão representadas neste envolvente de forças pelas direções do eixo maior e eixo menor do esferóide, respectivamente. De um ponto de vista puramente teórico, a rotação diária da Terra em relação a estes dois bojos de maré e à depressão, pode ser encarada como a causa das marés lunares. Em relação ao Sol, os bojos e as depressões resultantes podem ser considerados a causa das marés solares.

À medida que a Terra roda, idealmente esperava-se encontrar num mesmo local uma preia-mar seguida de uma baixa-mar 6 horas depois; mais tarde seguida de uma segunda preia-mar ao fim de 12 horas e assim sucessivamente. Este seria quase o caso se: fosse considerada uma Terra sem continentes nem atrito, coberta por uma camada de água de profundidade uniforme; se fosse considerado unicamente o envolvente de forças de maré da Lua, e a posição da Lua fosse fixa e invariável em distância e em orientação relativamente à Terra e ao Sol; e se não existissem outras influências que provocassem aceleração ou atraso nos movimentos das águas na Terra. Contudo, este cenário está longe de ser real.

Primeiramente, o envolvente de forças de maré produzido pelo efeito da Lua é acompanhado de, e interage com, o envolvente de forças de maré produzido pelo Sol. A força de maré produzida pelo Sol é o conjunto da atração gravítica do Sol e a força centrífuga criada pela rotação da Terra em torno do centro de massa do sistema Terra/Sol. A posição deste envolvente de forças varia com a posição orbital relativa da Terra em relação ao Sol. Devido à grande diferença entre as distâncias médias da Lua e do Sol relativamente à Terra (384 400 km e 150 000 000 km, respectivamente), a força geradora de maré da Lua é aproximadamente 2,5 vezes a do Sol, apesar de o Sol ter uma massa muito maior que a Lua.

Em segundo lugar, existe um grande número de variáveis astronómicas na produção de marés. Algumas destas representam: as distâncias variáveis da Lua à Terra e da Terra ao Sol, o ângulo que a órbita da Lua faz com o equador terrestre, o ângulo em que o Sol aparece na órbita anual da Terra em torno do Sol e as relações de fase variáveis da Lua em relação ao Sol e à Terra. Alguns dos principais tipos de marés resultantes destas influências puramente astronómicas encontram-se descritos abaixo.

Em terceiro lugar, outros efeitos entram em jogo, fazendo com que o nível da água seja diferente da maré produzida por efeitos astronómicos. Estes incluem as restrições ao escoamento induzidas pelos continentes e efeitos meteorológicos, entre outros.

2.1.2. Características da Maré

As características reais da maré em locais ao longo da Terra diferem significativamente do idealizado envolvente de marés discutido anteriormente. Em primeiro lugar, a água é um fluido

com viscosidade, o que provoca um desfasamento na sua resposta às forças geradoras de maré. Também, a Terra não é uma esfera lisa coberta por uma camada de água profunda e uniforme e que cobre a sua superfície por completo. Os movimentos da maré são afetados pelo atrito com o fundo oceânico e com outras correntes oceânicas; os continentes interrompem, restringem e refletem os movimentos da maré; a forma e tamanho das bacias oceânicas acentuam ou diminuem várias componentes das forças geradoras de maré.

A subida e descida das marés não ocorre a uma taxa uniforme. A partir da baixa-mar, a maré começa a subir muito lentamente no início, mas a uma velocidade sempre crescente durante cerca de 3 horas quando a taxa de aumento está no seu máximo. A maré continua a subir durante cerca de mais 3 horas, mas a uma velocidade sempre decrescente até atingir a preia-mar. A maré vazante segue um padrão semelhante de aumento e depois decréscimo da taxa. Quando a subida e descida da maré são representadas graficamente, verifica-se que se aproxima da forma de uma curva sinusoidal. Contudo, em qualquer local, à subida e descida da maré, e consequentemente à forma da curva, estão associadas uma variedade de características. Estas características variam consideravelmente de local para local. Destas características, podem-se considerar três que constituem as principais características da maré. Estas são o **tempo da maré**, a **amplitude da maré** e o **tipo de maré**. O hidrógrafo tem que compreender e considerar cada uma destas três características, de modo a calcular e aplicar as reduções de maré nas sondagens.

2.1.2.1. O Tempo da Maré

Uma Lua estacionária parece atravessar o meridiano de um determinado local uma vez por dia, mas dado que a Lua roda em torno da Terra na mesma direção em que a Terra está a rodar, qualquer ponto na Terra roda aproximadamente 12,5° extra em cada dia de modo a acompanhar a Lua. Estes 12,5° requerem cerca de 50 minutos, resultando num “dia lunar” de 24 horas e 50 minutos.

O tempo da maré refere-se ao tempo de ocorrência da preia-mar ou baixa-mar em relação à passagem meridiana da Lua. Esta característica da maré, num determinado local, é descrita pelos *intervalos lunitidais* de preia-mar e baixa-mar. O intervalo lunitidal é o tempo decorrido entre a passagem meridiana da Lua e a preia-mar ou baixa-mar. Este não é constante ao longo de um dado meridiano. Este intervalo varia devido à interrupção da propagação da onda de maré pelos continentes e pela resistência do fundo oceânico, à medida que a onda se propaga para águas pouco profundas.

Mesmo num determinado local, os intervalos lunitidais não são constantes, mas variam periodicamente dentro de limites relativamente pequenos. Esta pequena variação resulta da interação entre as forças de maré da Lua e do Sol. Entre a Lua Nova e o Quarto Crescente, e entre a Lua Cheia e o Quarto Minguante, esta interação pode originar uma aceleração nos tempos de chegada da maré. Entre o Quarto Crescente e a Lua Cheia, e entre o Quarto Minguante e a Lua Nova, esta interação pode resultar num atraso da chegada da maré.

Os intervalos lunitidais são definidos quer em termos da passagem meridiana da Lua por Greenwich, quer pela passagem meridiana da Lua sobre a longitude local. São conhecidos, respectivamente, como o intervalo lunitidal de Greenwich e o intervalo lunitidal local. Os intervalos de Greenwich são mais úteis na medida em que podem ser utilizados para comparar os tempos da maré num local com os de outro local. O tempo da maré é importante na análise e previsão de marés e na determinação de correções para cada zona de marés.

2.1.2.2. A Amplitude da Maré

A diferença em altura entre preia-mares e baixa-mares consecutivas que ocorrem num determinado local é conhecida como amplitude. No oceano aberto, a altura da crista da onda de maré é relativamente pequena (geralmente 1 m ou menos) e uniforme. Apenas quando as cristas e cavas da maré se movem para águas pouco profundas, contra os continentes, e para canais confinados, é que são visíveis elevadas amplitudes de maré e variações notórias na mesma.

A amplitude de maré num determinado local não é constante, mas varia de dia para dia. Parte desta variação é provocada pelos efeitos do vento e da meteorologia, mas maioritariamente é um fenómeno periódico relacionado com as posições do Sol e da Lua relativamente à Terra. Nesta variação diária, a maré responde a três variações, cada uma associada com um movimento particular da Lua.

Efeitos da Fase da Lua: Marés vivas e Marés Mortas – Na grande maioria dos locais, a fase da Lua é a que mais afeta a amplitude de maré. Constatou-se que as marés são originadas através do efeito combinado de forças de tração geradas pelo Sol e pela Lua; devido à constante variação da posição da Lua, relativamente à Terra e ao Sol (Figura 5.3) durante o seu ciclo mensal de fases, as forças de tração geradas pela Lua e pelo Sol atuam ao longo de uma linha comum ou em ângulos que variam relativamente um ao outro.

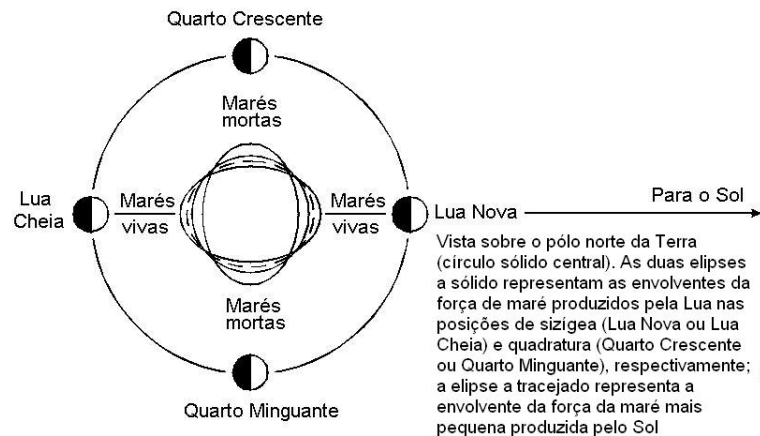


Figura 5.3

Quando a Lua se encontra na posição de Lua Nova ou Lua Cheia (ambas as posições denominadas de *sizígia*), as atrações gravíticas da Lua e do Sol reforçam-se. Como a força de maré resultante ou combinada também aumenta, as preia-mares são maiores que a média e as baixa-mares são menores que a média. Isto significa que a amplitude de maré é maior em todos os locais que apresentam uma preia-mar e uma baixa-mar consecutivas. Estas marés superiores à média, que ocorrem nas posições de sizígia da Lua, são conhecidas como *marés vivas*.

Nas posições de Quarto Crescente e Quarto Minguante da Lua (*quadratura*), as atrações gravíticas da Lua e do Sol sobre as águas da Terra atuam em ângulos retos. Cada força tende, em parte, a contrariar a outra. Na envoltura de forças da maré que representa estas forças combinadas, os valores máximos e mínimos da força são menores. As preia-mares são inferiores à média e as baixa-mares são superiores à média. Tais marés de amplitude mais reduzida são denominadas de *marés mortas*.

Efeitos de Paralaxe (Sol e Lua) – Dado que a Lua tem uma trajetória elíptica (Figura 5.4), a distância entre a Terra e a Lua varia ao longo de um mês em cerca de 50 000 km. A atração gravítica da Lua nas águas da Terra é inversamente proporcional ao cubo da distância entre a Terra e a Lua, de acordo com a Lei da Gravitação Universal de Newton já mencionada anteriormente. Uma vez por mês, quando a Lua está na posição mais próxima da Terra (*perigeu*), as forças geradoras de maré serão maiores que o normal, produzindo deste modo, amplitudes de maré superiores à média. Aproximadamente duas semanas depois, quando a Lua está na posição mais afastada da Terra (no *apogeu*), a força geradora de maré lunar será menor e as amplitudes de maré serão inferiores à média. De um modo semelhante, no sistema Sol/Terra, quando a Terra está mais próximo do Sol (*periélio*), por volta do dia 2 de Janeiro de cada ano, as amplitudes de

maré são amplificadas, e quando a Terra está na posição mais afastada do Sol (*afélio*), em torno do dia 2 de Julho, as amplitudes de maré são mais reduzidas.

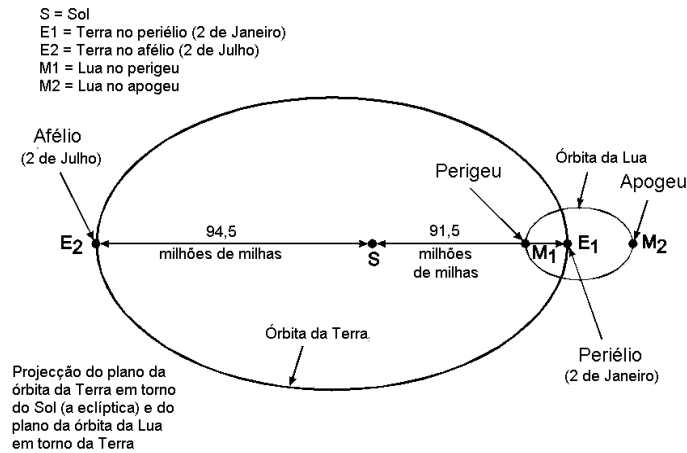


Figura 5.4

Quando o perigeu, o periélio e a Lua Cheia ou a Lua Nova se dão aproximadamente ao mesmo tempo, ocorre um aumento considerável das amplitudes de maré. Quando o apogeu, o afélio e o Quarto Crescente ou Quarto Minguante ocorrem aproximadamente ao mesmo tempo, ocorrem amplitudes de maré consideravelmente reduzidas.

Efeitos da Declinação Lunar: A Desigualdade Diurna – O plano da órbita lunar encontra-se inclinado apenas cerca de 5° relativamente ao plano da órbita da Terra (a *eclíptica*) e, portanto, a Lua na sua revolução mensal em torno da Terra permanece muito próximo da eclíptica.

A eclíptica encontra-se inclinada $23,5^\circ$ em relação ao equador terrestre, na qual o Sol aparenta mover-se para norte e para sul de modo a dar origem às estações. De um modo semelhante, a Lua, ao efetuar uma revolução em torno da Terra uma vez em cada mês, passa de uma posição de máxima distância angular a norte do Equador para uma posição de máxima distância angular a sul do equador em cada meio mês. A isto dá-se o nome de *declinação*.

Duas vezes em cada mês, a Lua cruza o equador. Na Figura 5.5, esta condição é apresentada pela posição da Lua a tracejado. O correspondente envolvente da força de maré devido à Lua está representado pela elipse a tracejado. As marés que ocorrem quando a Lua está próximo do equador são conhecidas como *marés equatoriais*, enquanto que aquelas que ocorrem quando a Lua está próximo da sua declinação máxima, a norte ou a sul, são conhecidas como *marés trópicas*.

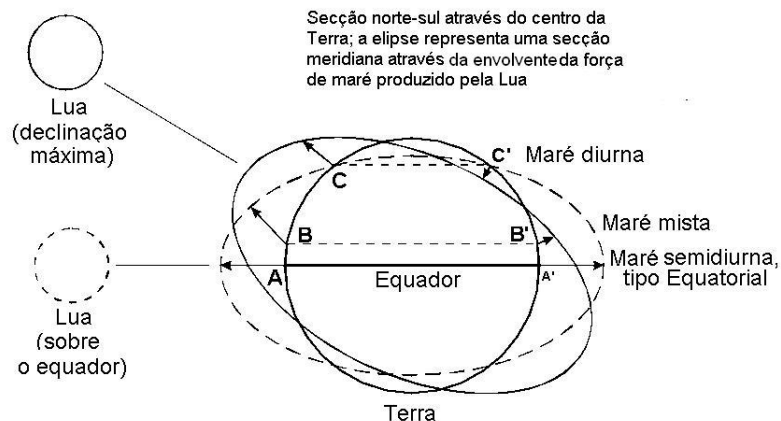


Figura 5.5

Variabilidade – Os efeitos da fase, paralaxe e declinação não são sentidos em todo o lado do mesmo modo, apesar dos três ocorrerem em todas as partes da Terra. As desigualdades de fase são normalmente maiores apesar de numa área particular qualquer uma das três variações poder produzir uma influência predominante na variação da amplitude de maré. O mês relativo às fases lunares, o *mês sinódico*, tem a duração aproximada de 29,5 dias; o mês da distância lunar, o *mês anomalístico*, é de aproximadamente 27,5 dias; e o mês da declinação lunar, o *mês trópico*, é de aproximadamente 29,3 dias. Assim, uma variação considerável da amplitude de maré ocorre em qualquer lugar como resultado das relações em progressiva alteração das três variações referidas umas em relação às outras. Em Seattle, por exemplo, a amplitude média da maré é de 2,3 m, mas as amplitudes isoladas dentro de um mesmo dia podem variar de menos de 1,5 m a mais de 4,5 m.

A amplitude de maré está sujeita a outras variações periódicas (por exemplo, as diferenças de paralaxe solares referidas anteriormente), mas as três discutidas acima são consideradas as variações principais. Todo este ciclo de variações, que se completa em 29,5 dias ou menos, é a razão principal porque o hidrógrafo tem de ter em funcionamento estações maregráficas chave por um mínimo de 30 dias. Apesar da variação de amplitude de um período de 30 dias para outro variar de algum modo, quaisquer 30 dias consecutivos obtidos em combinação com estações de longo período, serão geralmente suficientes para a preparação de reduções de maré. Um desvio importante da amplitude de maré de longo período é o provocado pela variação lenta na orientação da órbita lunar denominada de regressão dos nodos lunares. Esta variação resulta numa diferença de amplitude de maré mensurável mas que varia lentamente. Este desvio dá origem à necessidade de se usarem fatores nodais ou correções nodais quando se procede à análise harmónica ou a previsões de maré e é importante na determinação de diversos *Data* de maré (ver secção 2.1.4).

2.1.2.3. Tipos de Maré

Das três características principais da maré, o tipo é a mais importante. Se as marés em dois locais são do mesmo tipo, mas diferem em tempo ou em amplitude, a maré num dos locais pode ser relacionada de uma forma simples e exata com a maré do outro local. Esta semelhança apoia a capacidade do hidrógrafo de estender os planos de referência de sondagem e de determinar com exatidão as correções de níveis da água em áreas onde uma série relativamente pequena de observações de maré foram obtidas. Por outro lado, se o tipo de maré nos dois locais for diferente, o fato da fase e da amplitude de maré serem as mesmas não indica necessariamente uma relação simples entre os dois locais. Diferenças na fase e amplitude da maré são meramente diferenças em grau, mas diferenças no tipo de maré são diferenças na natureza básica da maré.

O tipo de maré refere-se à forma característica da subida e descida da maré tal como representado pela curva de maré. Apesar da curva de maré de qualquer local particular diferir nalguns aspectos da curva de maré de outro qualquer local, as curvas de maré podem ser agrupadas em três grandes classes ou tipos. Estes tipos são o semidiurno, o diurno e o misto.

Fazendo referência à Figura 5.5, como os pontos A e A' encontram-se no eixo maior desta elipse, a altura da preia-mar representada em A é a mesma daquela que ocorre à medida que este ponto roda até à posição A', cerca de 12 horas depois. Quando a Lua está sobre o Equador – ou numa outra declinação em que as forças se equilibram – as duas preia-mares e as duas baixa-mares de um determinado dia são semelhantes em altura em qualquer local. Preia-mares e baixa-mares sucessivas são também quase igualmente espaçadas em tempo e ocorrem uniformemente duas vezes por dia lunar. Este tipo de maré é conhecido como *semi-diurno*. No topo do diagrama da Figura 5.6. apresenta-se a evolução com o tempo de uma curva da altura de maré semi-diurna. O tipo semi-diurno da maré é aquele cujo ciclo completo da preia-mar e baixa-mar é completado em meio dia. Existem duas preia-mares e duas baixa-mares em cada dia lunar de 24 horas e 50 minutos. Para ser classificada como uma maré semi-diurna, os dois ciclos de maré diários devem

ser semelhantes de modo a que, apesar de não serem idênticos, as duas preia-mares e as duas baixa-mares não sejam muito diferentes uma da outra.

Contudo, com a variação da distância angular da Lua acima ou abaixo do equador (como se observa na Figura 5.5), a envolvente de forças de maré produzida pela Lua é inclinado, e as diferenças entre as alturas das duas marés diárias da mesma fase começam a ocorrer. Variações das alturas de maré resultantes das variações do ângulo de declinação da Lua e das linhas correspondentes de ação da força gravítica dão origem a um fenómeno conhecido como *desigualdade diurna*.

Na Figura 5.5, o ponto B encontra-se sob um bojo na envolvente de maré. Meio dia depois, o ponto B', encontra-se novamente debaixo de um bojo, mas a altura da maré não é tão elevada como em B. Esta situação dá origem a uma maré semi-diurna com alturas desiguais em sucessivas preia-mares ou baixa-mares, ou em ambos os pares de marés. Este tipo de maré, exibindo uma forte desigualdade diurna, é conhecido como maré mista (Ver o diagrama do meio na Figura 5.6). O tipo de maré misto é aquele em que duas preia-mares e duas baixa-mares ocorrem em cada dia lunar, mas existem diferenças marcadas entre as duas preia-mares ou as duas baixa-mares do dia. Este tipo de maré é denominado de maré mista porque tem propriedades de uma mistura das marés semi-diurnas e diurnas.

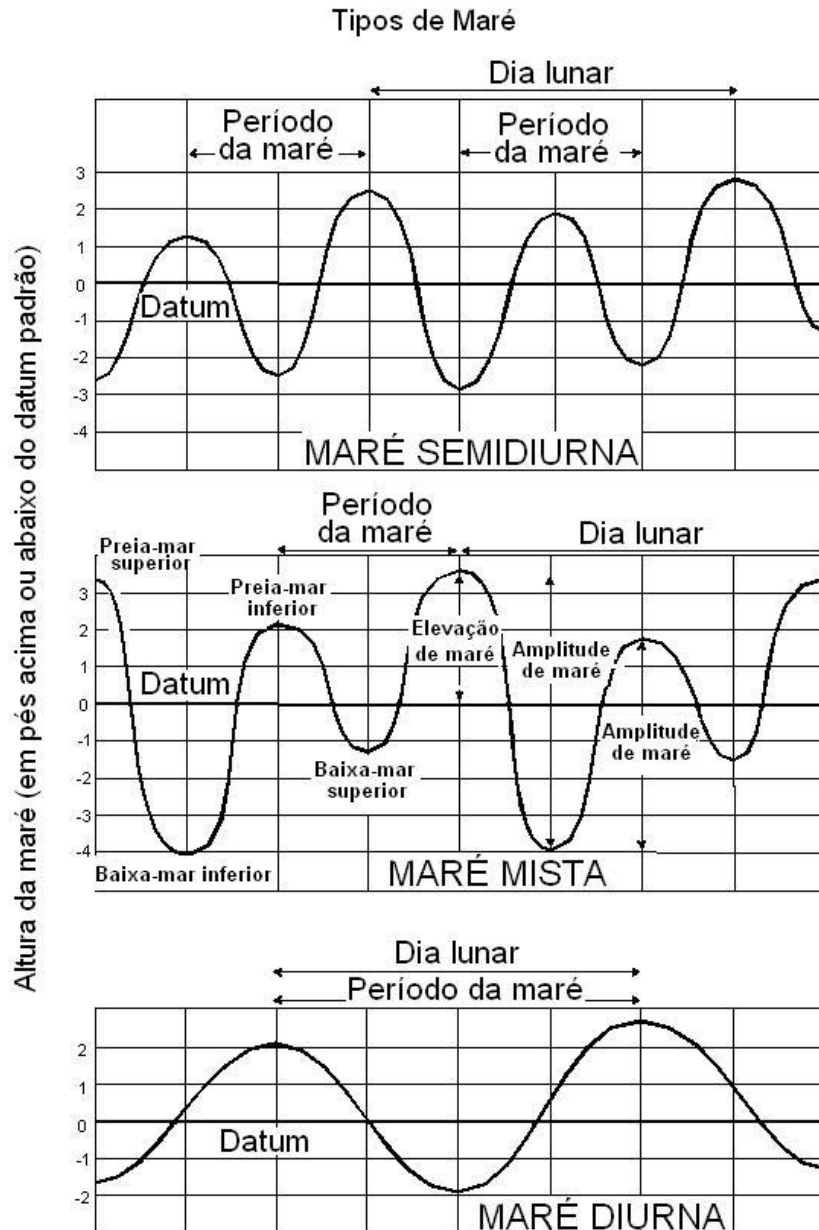


Figura 5.6

Finalmente, e como apresentado na Figura 5.5, o ponto C aparenta estar sob uma porção da envolvente de forças de maré. Contudo, meio dia depois, à medida que este ponto roda para a posição C' encontra-se agora sobre a envolvente de forças. Portanto, neste local, as forças de maré presentes produzem apenas uma preia-mar e uma baixa-mar em cada dia. O tipo de maré diurna resultante apresenta-se no fim do diagrama da Figura 5.6. Este tipo de maré descreve aquelas marés em que uma preia-mar e uma baixa-mar ocorrem num dia lunar. Na maré diurna, o período da enchente, e também da vazante de maré é aproximadamente 12 horas contrariamente ao período de 6 horas das marés semi-diurnas.

A Figura 5.6 apresenta exemplos de cada um dos três tipos de maré, utilizando três dias de registos maregráficos de: Hampton Roads, Virgínia; São Francisco, Califórnia; e Pensacola, Florida. A linha horizontal em cada curva representa o nível médio do mar e a intensidade da subida e descida da maré acima e abaixo do nível médio do mar é indicada pela escala à esquerda.

A curva de cima, para Hampton Roads, ilustra o tipo de maré semi-diurna. Duas preia-mares e duas baixa-mares ocorreram em cada dia, com as marés da manhã e da tarde diferindo relativamente pouco. A curva de baixo, para Pensacola, ilustra o tipo diurno de maré, com uma preia-mar e uma baixa-mar ocorrendo em cada dia. A curva de São Francisco ilustra uma das formas do tipo de maré mista. Duas preia-mares e duas baixa-mares ocorreram em cada dia, mas as marés da manhã diferem consideravelmente das marés da tarde. Neste caso particular, a diferença verifica-se quer na preia-mar quer na baixa-mar.

A diferença entre as marés da manhã e da tarde correspondentes, ou desigualdade diurna, surge principalmente do fato da órbita da Lua estar inclinada relativamente ao plano do equador. Esta inclinação resulta na existência de forças geradoras de maré diurnas e semi-diurnas. Estas forças afetam a subida e descida do nível da água a diferentes níveis, em diferentes locais, principalmente como resultado das respostas locais ou das bacias às forças resultando, deste modo, em diferentes intensidades da desigualdade diurna. De fato, a distinção entre marés mistas e marés semi-diurnas baseia-se inteiramente nesta diferença de intensidade.

Observe-se a curva de São Francisco na Figura 5.6, que ilustra uma maré mista. Apesar de existir uma desigualdade diurna considerável quer nas preia-mares quer nas baixa-mares, a desigualdade das baixa-mares é maior. Em Hampton Roads, a desigualdade, embora não muito grande é visível principalmente nas preia-mares. Como ilustra a Figura 5.7, a desigualdade diurna pode ser característica principalmente nas baixa-mares, nas preia-mares ou pode aparecer igualmente nas preia-mares e baixa-mares. É também importante verificar que a desigualdade diurna é uma característica do tempo da maré e da altura da maré. Tal como a desigualdade da altura varia de local para local e de dia para dia, a duração da enchente e da vazante e o intervalo lunitidal também variam.

De forma a distinguir as duas marés do dia, foram atribuídos nomes a cada uma das marés⁵¹. Das duas preia-mares, a maior é denominada “preia-mar superior” (PMsup) e a menor “preia-mar inferior” (PMinf). De um modo semelhante, as duas baixa-mares são chamadas de “baixa-mar inferior” (BMinf) e “baixa-mar superior” (BMsup) (ver Figura 5.6). Como medida da desigualdade, são utilizados os termos “desigualdade diurna da preia-mar” (DdPM) e “desigualdade diurna da baixa-mar” (DdBm). A DdPM é definida como metade da diferença entre preia-mar superior média e a preia-mar inferior média e, a DdBm, é definida como metade da diferença entre as médias da baixa-mar inferior e superior.

Isto pode ser mais facilmente compreendido como a diferença entre a preia-mar média e a preia-mar superior média, e a diferença entre a baixa-mar média e a baixa-mar inferior média, respectivamente.

Analisando um mês de uma série de dados de maré, tal como apresentado nas curvas na Figura 5.7, verifica-se que a desigualdade diurna varia também em intensidade relativamente à declinação da Lua, sendo que a desigualdade é menor quando a Lua está próximo do equador, tal como estava neste mês, do dia 3 ao 5 e do dia 18 ao 20, e sendo maior quando a Lua está próximo da declinação máxima a sul ou a norte do equador, tal como estava nos dias 11 a 13 e 25 a 27.

⁵¹ N.T.: Em Portugal estes termos são utilizados apenas para locais como Macau (que segundo este autor seria de maré mista) para designar os elementos de maré desse local.

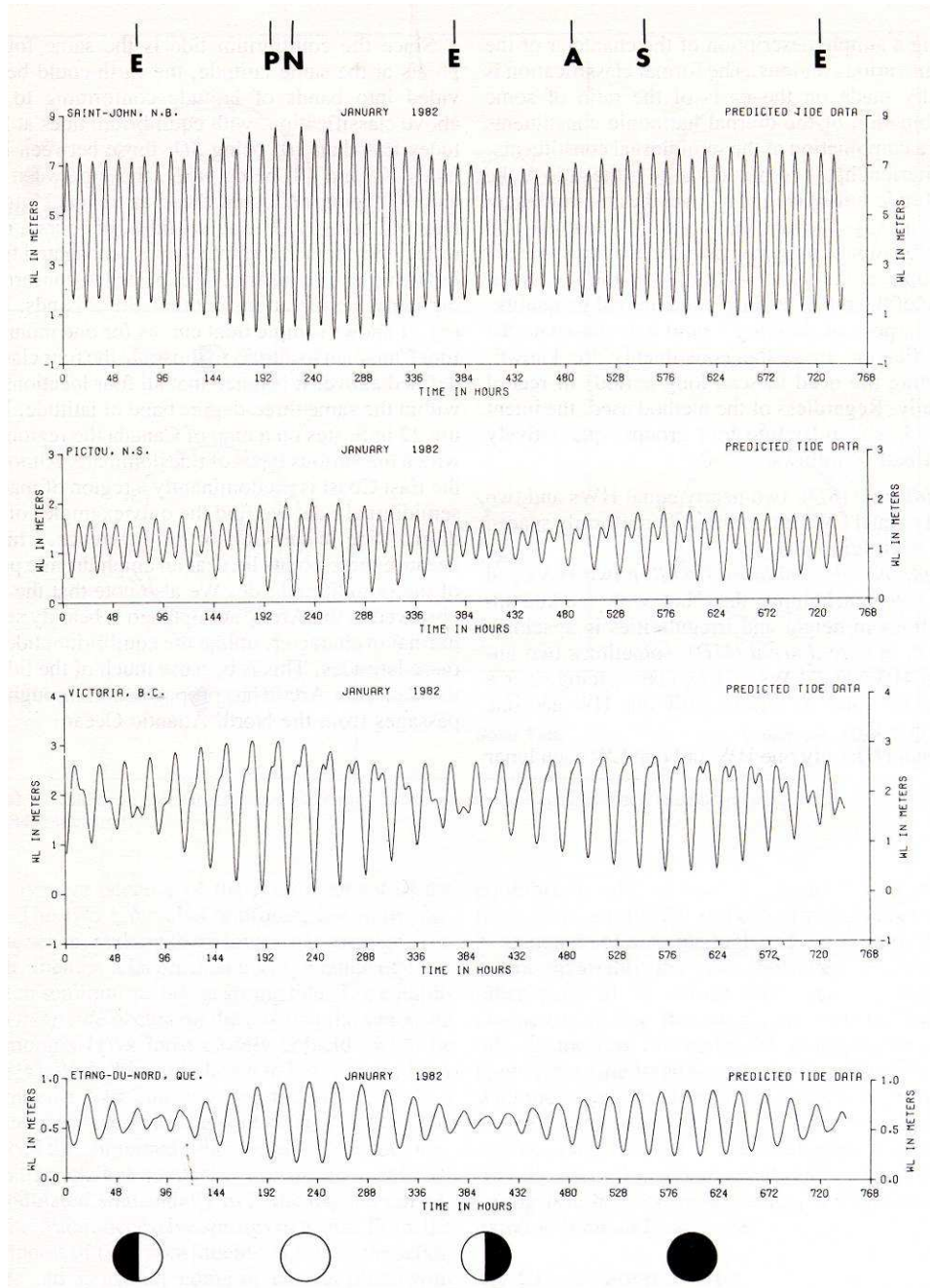


Figura 5.7

2.1.2.4. Efeitos Costeiros e de Bacias

Apesar de serem as forças combinadas do Sol e da Lua que colocam a onda de maré em movimento, é geralmente o tamanho e a forma da bacia oceânica que controla as características da maré. Por exemplo, Pensacola na Florida não se encontra certamente perto do pólo – região à qual a Figura 5.5 restringiria as marés diurnas – contudo tem uma maré diurna evidente. De um modo semelhante, São Francisco e Hampton Roads estão aproximadamente à mesma latitude, mas têm características da maré marcadamente distintas. Tal como a água no interior de uma banheira pode ser colocada num movimento ressonante de uma extremidade à outra, as oscilações de maré numa bacia oceânica ou num mar restrito podem ser amplificadas pelo período natural de ressonância da bacia. A bacia do Oceano Pacífico acentua a componente diurna das marés, originando marés diurnas ou mistas fortes. Por outro lado, o Oceano Atlântico acentua a

componente semi-diurna das marés. Como exemplo mais localizado, grande parte do norte do Golfo do México responde principalmente às componentes diurnas da maré.

O tipo de maré predominante pode mudar em distâncias relativamente curtas. Por exemplo, a costa Leste da Florida apresenta marés semi-diurnas, grande parte da costa Oeste apresenta marés mistas e a grande maioria da zona peninsular, a sul, tem marés diurnas.

Certas configurações costeiras e do fundo oceânico podem aumentar de forma significativa a amplitude das marés. Tal como a crista de uma onda de vento aumenta e quebra à medida que se aproxima da praia, uma onda de maré também aumenta a sua altura à medida que encontra águas pouco profundas e à medida que a linha de costa apresenta cada vez mais estrangulamentos. A análise das amplitudes de maré de estações costeiras revela quase sempre o aumento de amplitude à medida que a maré se propaga para o interior de uma baía ou enseada. A enseada de Cook no Alasca, uma massa de água afunilada e em concha, é um exemplo particularmente bom. À medida que a maré entra, vinda do Golfo do Alasca, a sua amplitude aumenta de cerca de 3 m na entrada para cerca de 10 m perto do final em Anchorage. Acima de Anchorage, em Turnagain Arm, a enseada estreita e diminui ainda mais a sua profundidade. Nos períodos de maiores marés, a maré enchente sobe a enseada contra o resto da vazante e eleva-se numa parede vertical de água atingindo cerca de 2 m de altura. Uma parede de água como a descrita, gerada pela maré, é conhecida como macaréu. Os macaréus ocorrem em vários rios ou estuários em todo o mundo onde a amplitude de maré é elevada e a configuração da costa e do leito do mar é a ideal.

2.1.3. Variações do Nível da Água Não Associadas à Maré

As variações no nível de água observado ao longo da costa são devidas, não apenas às forças de maré, mas também, a uma variedade de outras forças numa elevada gama de escalas temporais. Nas frequências mais altas, os níveis de água podem ser afetados por tsunamis, seichas, e sobre-elevações de origem meteorológica. O vento local e variações de pressão barométricas podem provocar um grande efeito, especialmente em águas pouco profundas. O empilhamento de água devido ao vento originado por ventos na direção da costa e pressões barométricas baixas provocam geralmente a elevação dos níveis de água acima dos previstos, enquanto ventos na direção contrária à da costa e pressões barométricas elevadas tendem a ter o efeito oposto. Padrões meteorológicos sazonais acentuados terão consequências mensais no nível do mar. A influência mensal do *El Niño (El Niño Southerly Oscillation)* no nível médio do mar no Oceano Pacífico é particularmente notória. Efeitos sazonais e de curto período são também encontrados em estuários com escoamentos fluviais intensos e que são influenciados pelas características do escoamento das bacias hidrográficas e das barragens a montante. Os Grandes Lagos e outros lagos de grandes dimensões são sensíveis aos ciclos anuais de evapo-transpiração e ao ganho ou perda total do volume de água. Variações sazonais nos padrões de circulação oceânica e os desvios nos vórtices oceânicos podem também afetar os níveis costeiros. Dependendo da escala espacial do fenómeno meteorológico, os seus efeitos podem ser vistos ao nível de bacias, a nível regional ou apenas local. O hidrógrafo tem de ter conhecimento destas dependências no planeamento e condução de operações de sondagem e deve saber distinguir quaisquer anomalias nas medições dos níveis de água devido a causas naturais ou meteorológicas contra o mau funcionamento do marégrafo.

2.1.4. Data de Maré e de Níveis de Água

O hidrógrafo deve saber relacionar todas as profundidades medidas, independentemente da fase da maré ou do nível de água no instante da sondagem, a um *Datum* ou plano comum. O *Datum* utilizado para referir alturas ou profundidades para aplicações náuticas é um *Datum* vertical denominado “*Datum* de nível de água”. Para *Data* deduzidos a partir da maré, na sua grande maioria são calculados a partir de, ou referidos a, períodos específicos de 19 anos ou épocas do *Datum* de marés. O período de 19 anos é importante, tal como referido na secção 2.1.2.2, devido à modulação de 19 anos das constituintes lunares pela variação de longo período no plano de órbita da Lua, denominado regressão dos nodos lunares.

O *Datum* de nível de água ao qual estão referidas as sondas de qualquer levantamento particular é conhecido como o “*Datum* de sondagem”. O *Datum* relativamente ao qual as profundidades de uma carta se encontram referidas é conhecido como o “*Datum* cartográfico”. Um *Datum* de níveis de água é denominado “*Datum* de marés” quando é definido em termos de uma determinada fase da maré. Nas águas costeiras dos Estados Unidos, a baixa-mar inferior média (BMIm) é utilizada, quer para sondagens, quer para *Data* cartográficos. A BMIm é determinada através da disposição em tabelas das observações de maré, neste caso a média das baixa-mares inferiores de cada dia e durante um período de 19 anos. Atualmente, os Estados Unidos referem todos os *Data* de maré determinados a partir de observações de maré à Época do *Datum* de Marés Nacional de 1983-2001 (NTDE) e atualizam para novos NTDEs apenas depois da análise da variação relativa do nível médio do mar. Em contrapartida, alguns *Data* cartográficos são determinados a partir da análise harmónica das observações e construindo séries temporais de previsões de maré para um período de 19 anos. O *Datum* Cartográfico Canadano é a superfície da baixa-mar inferior, maré maior ou BMIMM que contém o *Datum* utilizado anteriormente da maré normal inferior (MNI). As cartas britânicas utilizam, neste momento, um *Datum* cartográfico da maré astronómica mais baixa (BMmin) baseado na previsão da maré mais baixa que se espera que ocorra num período de 19 anos. A BMmin é determinada para um local específico através de análise harmónica das observações, utilizando-se depois as constituintes harmónicas resultantes numa equação de previsão que prevê a elevação da maré mais baixa que ocorrerá num período de 19 anos. O uso da BMmin tem sido adotado a nível internacional pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI). A análise harmónica tem também sido utilizada para determinar outros *Data* cartográficos. Os *Data* cartográficos utilizados em cartas antigas do Almirantado Inglês eram os de baixa-mar de águas vivas (BMAV) e baixa-mar de águas vivas indiana (BMAVI). A BMAV e a BMAVI são determinadas a partir do somatório das amplitudes das várias constituintes harmónicas principais abaixo do nível médio do mar local.

Em áreas onde a maré é bastante reduzida ou inexistente, outros *Data* de nível de água são utilizados. No Mar Negro, é utilizado o nível médio do mar ou o nível médio das águas. Na região dos Grandes Lagos, quer o Canadá quer os Estados Unidos, utilizam um *Datum* de baixa-mar (DBM) fixo para cada lago baseado na análise de médias mensais durante períodos de baixa-mar. Em lagoas e baías sem maré, na costa dos Estados Unidos onde se situa a transição de um local com maré para um local sem maré, utiliza-se um DBM que é determinado subtraindo 0,2 m ao nível médio do mar local, determinado a partir das observações e ajustado a um período de 19 anos.

Existe uma variedade de *Data* cartográficos locais empregue em rios sob a influência da maré. Nos Estados Unidos, os *Data* cartográficos foram determinados a partir da análise de medições durante períodos de baixo caudal fluvial durante um determinado período de tempo e que depois foram fixos para utilização cartográfica. Como exemplos tem-se o *Datum* do rio Hudson e o *Datum* do rio Columbia, ambos baseados na BMIm, a partir de observações em períodos de baixo caudal fluvial ao longo do ano.

O *Datum* de nível de água é um plano local de elevação que se aplica apenas na área específica onde foram efetuadas as medições de nível de água. Quer seja de maré ou não, está permanentemente referido a terra através do nivelamento do marégrafo a uma rede local de marcas de nivelamento. Procedimentos para a determinação dos *Data* de maré serão referidos mais à frente neste Capítulo.

Os *Data* de níveis de água são completamente distintos dos *Data* verticais geodésicos. Por exemplo, os Estados Unidos e Canadá utilizam o *Datum* Vertical Norte Americano de 1988 (NAVD 88) e o *Datum* Internacional dos Grandes Lagos de 1985 (IGLD 85) como os *Data* verticais para fins geodésicos. A relação entre NAVD 88 (ou IGLD 85) e o nível médio do mar local ou nível médio das águas varia consideravelmente de local para local. De fato, é impossível transferir um *Datum* de marés de um local para outro através de nivelamento geodésico, sem considerar as condições locais da maré. No entanto, a rede geodésica estabelece relações entre as

várias estações maregráficas e as elevações do seu *Datum* de marés ao longo do continente Norte Americano e pode ser utilizada para recuperar um *Datum* de maré local a que esteja ligado, se as marcas de nivelamento tiverem sido destruídas. Isto requer ligações por nivelamento ou ligações GPS entre as redes geodésicas e as redes de marcas de nivelamento associadas às estações maregráficas.

2.1.5. Análise Harmónica e Previsão da Maré

Cada um dos movimentos geradores de maré descritos nas secções anteriores pode ser representado por uma simples curva co-seno, tal como ilustrado na Figura 5.8. O eixo horizontal representa o tempo e o vertical representa a intensidade da força geradora de maré. As cristas fornecem o tempo dos máximos das forças geradoras de maré e as cavas os mínimos. Por exemplo, na Figura 5.8, considerando o sistema Sol/Terra, o meio-dia, com o Sol diretamente acima, está representado na primeira crista. Seis horas depois ocorre um mínimo na cava. O segundo máximo é à meia-noite com a segunda crista. Outra cava aparece de madrugada e, depois o ciclo repete-se e regressa à crista, ao meio-dia.

Cada um dos movimentos geradores de maré, representado por uma simples curva harmónica co-seno, é conhecido como uma componente da maré, constituinte da maré ou constituinte harmónica. Uma letra ou letras e, usualmente um subscrito, são utilizados para designar cada constituinte. A constituinte da maré descrita acima, por exemplo, denominada constituinte semi-diurna Solar Principal, é designada S_2 . A constituinte semi-diurna Lunar Principal é designada de M_2 . S é para o Sol e M é para a Lua e o subscrito $_2$ significa que existem dois ciclos de maré completos para cada ciclo astronómico. Portanto, dizem-se constituintes semi-diurnas. As constituintes são descritas pelo seu período de maré (o tempo de máximo a máximo), **P**. O período da S_2 é de 12,00 horas solares (h) e o período da M_2 é de 12,42 horas solares:

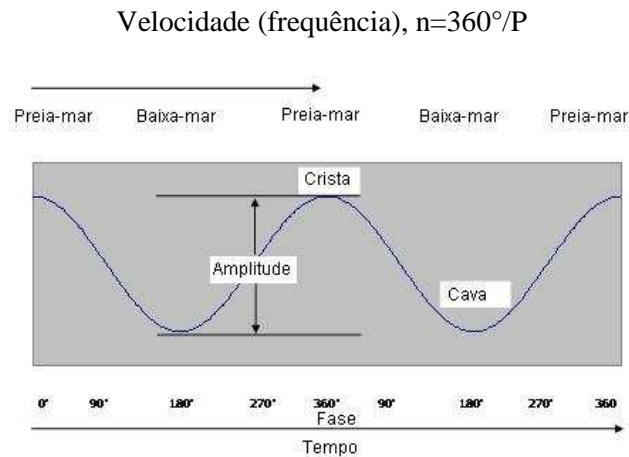


Figura 5.8 “A curva de maré representada como uma forma de onda [adaptado de S. Hicks (2004)]”

Em trabalhos de marés, cada constituinte (curva co-seno) é mais frequentemente descrita pela sua velocidade (ou frequência em graus por hora). A curva co-seno encontra-se dividida em 360° (de crista a crista). A velocidade n da constituinte é $360^\circ/P$. Então, para a S_2 , $n=360^\circ/12,00=30^\circ/h$; para a M_2 $n=360^\circ/12,42=28,984^\circ/h$.

Existe um número infinito de constituintes para descrever quase todas as perturbações nos movimentos relativos do Sol, Lua e Terra (incluindo os aspectos da distância e declinação). Contudo, depois de cerca de 37, os efeitos destes movimentos na representação das marés são extremamente pequenos na maioria dos locais nos Estados Unidos. Para áreas complexas em termos de marés, no interior de estuários, como em Anchorage, no Alasca e Filadélfia, na Pensilvânia, são necessárias acima de uma centena de constituintes para descrever adequadamente a curva de maré. Estas constituintes adicionais são artefatos que combinam as constituintes

fundamentais diurnas e semi-diurnas para produzir constituintes de alta-frequência (de 3 a 13 ciclos por dia) que tentam descrever os efeitos não-lineares complexos do atrito do fundo e de águas pouco profundas.

As representações dos vários acontecimentos astronómicos e o desenvolvimento dos seus períodos e velocidades são essenciais para a compreensão das técnicas de análise harmónica. O desenvolvimento de constituintes da maré compostas, ou as de águas pouco profundas, originadas por atrito, encontra-se fora do âmbito deste capítulo.

A constituinte semi-diurna Solar Principal, S_2 , representa a rotação da Terra relativamente ao Sol. A Terra roda uma vez em cada 24 horas solares médias ou, dado que uma volta completa da Terra são 360° , esta move-se à taxa de $360^\circ/24=15^\circ/h$. Porém, existe um máximo na força geradora de maré solar debaixo do Sol e no lado oposto (meia-noite). Então, o período (máximo a máximo) da constituinte é de 12 horas solares médias e a velocidade é: $S_2 360^\circ/12=30^\circ/h$.

A constituinte semi-diurna Principal Lunar, M_2 , representa a Terra a rodar relativamente à Lua. Dado que a Lua se está a mover para Leste, demora 24,8412 horas solares médias a trazer a Lua diretamente acima novamente. De novo, existem dois máximos neste dia lunar, portanto o período é apenas de 12,4206 horas Solares médias e a sua velocidade é: $M_2 360^\circ/12,4206=28,984^\circ/h$.

As constituintes S_2 e M_2 colocam-se em fase (máximo alinhamento) e desfasadas (o máximo alinhamento de uma constituinte com o mínimo da outra) para produzir marés vivas e marés mortas, respectivamente (Figura 5.3). As marés vivas ocorrem nos instantes de Lua Cheia e Lua Nova enquanto as marés mortas ocorrem nos instantes de Quarto Crescente e Quarto Minguante. O movimento de translação da Lua em torno da Terra relativamente ao Sol demora 29,5306 dias (denominado o mês sinódico ou uma lunação). Dado que existem dois máximos, as marés vivas ocorrem em cada $29,5306/2=14,765$ dias e as marés mortas 7,383 dias depois das marés vivas.

A constituinte semi-diurna Elíptica Lunar Maior, N_2 , e a constituinte semi-diurna Elíptica Lunar Menor, L_2 , são duas constituintes que simulam o ciclo de perigeu a perigeu. Estas constituintes são completamente artificiais em contraste com a S_2 e a M_2 que têm relações realistas com as envolventes solar e lunar das forças geradoras de maré. O instante de perigeu a perigeu ocorre em cada 27,5546 dias (o mês anomalístico) ou 661,31 horas solares médias. A velocidade de perigeu a perigeu é então $360^\circ/661,31=0,544^\circ/h$. Este é um acontecimento lunar e a velocidade da M_2 é de $28,984^\circ/h$. Portanto, as velocidades das constituintes são:

$$N_2 28,984 - 0,544 = 28,440^\circ/h$$

$$L_2 28,984 + 0,544 = 29,528^\circ/h$$

Então, quando a N_2 e a L_2 estão em fase em cada 27,5546 dias (mês anomalístico) estas ondas adicionam-se à M_2 para simular a maior aproximação da Lua à Terra (perigeu). Também, 13,7773 dias depois estas ondas desfasam-se para simular o apogeu (a Lua na posição mais afastada da Terra).

A constituinte diurna Declinacional Luni-solar, K_1 , e a constituinte diurna Declinacional Lunar Principal, O_1 , são também constituintes artificiais que simulam o ciclo entre duas declinações máximas consecutivas da Lua. A declinação máxima norte ocorre em cada 27,3216 dias (o mês trópico) ou 655,72 horas solares médias. Contudo, as declinações norte e sul produzem os mesmos resultados. O ciclo de norte a sul (e de sul a norte) é de $655,72/2=327,86$ horas. A velocidade é de $360^\circ/327,86=1,098^\circ/h$. As velocidades das constituintes, como modificam a M_2 , serão a velocidade da M_2 mais ou menos a velocidade do ciclo de norte a sul. Como o máximo é apenas sentido uma vez por dia à medida que a Terra gira, as velocidades das constituintes são metade da soma e da diferença:

$$K_1 (28,984 + 1,098) / 2 = 15,041^\circ/\text{h}$$

$$O_1 (28,984 - 1,098) / 2 = 13,943^\circ/\text{h}$$

Assim, quando a K_1 e a O_1 estão em fase, em cada 13,6608 dias (metade do mês trópico, i.e. o mês em relação ao equinócio vernal), adicionam-se à M_2 para simular a máxima declinação da Lua a norte ou a sul. Estas constituintes simulam a desigualdade diurna devido à Lua (as duas preia-mares e/ou as duas baixa-mares são desiguais em altura em cada dia lunar) e, em situações extremas, as marés diurnas (uma preia-mar e uma baixa-mar em cada dia lunar).

A constituinte diurna Declinacional Luni-Solar, K_1 , e a constituinte diurna Declinacional Solar Principal, P_1 , simulam o ciclo de máxima declinação a máxima declinação do Sol. O ciclo de máxima declinação norte a máxima declinação norte ocorre em cada 365,2422 dias (ano trópico) ou 8765,81 horas solares médias. No entanto, as declinações norte e sul produzem os mesmos resultados. O ciclo de norte a sul (e de sul a norte) é de $8765,81/2=4382,91$ h. A velocidade é de $360^\circ/4382,91=0,082^\circ/\text{h}$. As velocidades das constituintes, como modificam a S_2 , serão a velocidade da S_2 mais ou menos a velocidade do ciclo de norte a sul. Dado que o máximo é apenas sentido uma vez por dia à medida que a Terra gira, as velocidades das constituintes são metade da soma e da diferença:

$$K_1 (30,000 + 0,082) / 2 = 15,041^\circ/\text{h}$$

$$P_1 (30,000 - 0,082) / 2 = 14,959^\circ/\text{h}$$

Assim, quando a K_1 e a P_1 estão em fase em cada 182,62 dias (metade do ano trópico, i.e. o ano em relação ao equinócio vernal), estas adicionam-se à S_2 para simular a declinação máxima do Sol a norte ou a sul. Estas constituintes também contribuem para a desigualdade diurna.

As intensidades teóricas relativas das várias constituintes são também de interesse. Deve ser lembrado, contudo, que são determinadas a partir das forças geradoras de maré e não são necessariamente os valores da maré observada. São baseadas no valor um para a M_2 , dado que a M_2 é usualmente a constituinte dominante. Os valores das intensidades relativas e dos períodos das constituintes ($360^\circ/\text{velocidade}$) são:

M_2	1,00	12,42 h
S_2	0,46	12,00 h
O_1	0,41	25,82 h
K_1	0,40	23,93 h
N_2	0,20	12,66 h
P_1	0,19	24,07 h
L_2	0,03	12,19 h

2.1.5.1. Análise Harmónica

O processo matemático que analisa uma constituinte de cada vez a partir de uma série temporal observada é denominado de análise harmónica. Conhecendo os períodos das constituintes, é possível removê-las, desde que se tenha uma série suficientemente longa. Geralmente, um ano é o desejável mas um mês pode fornecer resultados adequados com marés semi-diurnas dominantes. Os Estados Unidos efetuam análises harmónicas padrão para 37 constituintes, apesar de diversas constituintes serem demasiado pequenas em muitas das estações.

A partir da análise harmónica dos registos de níveis de água observados, são obtidos dois valores para cada constituinte de maré. A amplitude⁵², a distância vertical entre o nível de meia maré e o nível da crista (quando representado num gráfico como uma curva co-seno) é um dos valores. O outro valor é a fase⁵³. A fase é a quantidade de tempo que decorreu entre o acontecimento astronómico máximo e o primeiro máximo da constituinte de maré correspondente. Geralmente é expressa em graus de uma curva co-seno completa (360°) dessa constituinte. Estes dois valores são conhecidos como constantes harmónicas e estão ilustrados na Figura 5.9. Deve ser lembrado que estes são únicos para cada estação particular para onde foram calculados. As constantes harmónicas são tratadas como uma constante apesar de no sentido estrito, não o serem dado que os valores determinados encontram-se afetados por ruído no sinal, pelo comprimento da série analisada, etc. As constantes que são aceites, e são utilizadas, são consideradas as melhores estimativas dos valores reais (desconhecidos). Sempre que ocorrer qualquer acontecimento natural ou projetos de engenharia, tais como a erosão, deposição, dragagens ou construção de quebra-mares, que têm o potencial para causar grandes alterações na topografia adjacente, devem ser efetuadas novas medições e uma nova análise harmónica.

A é a amplitude em pés
k é a fase (época) em graus

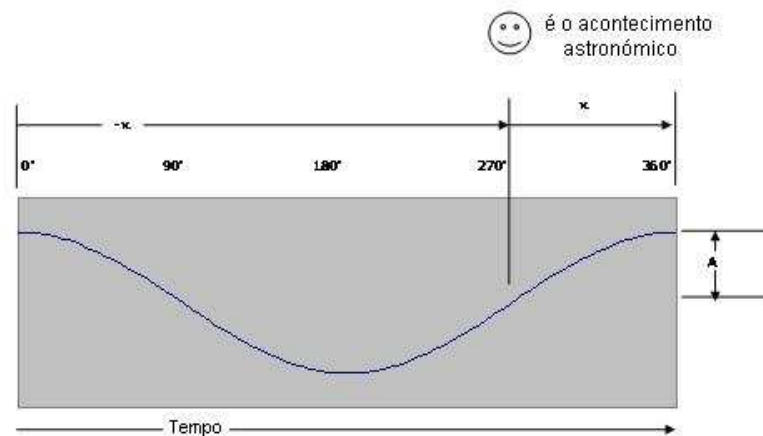


Figura 5.9 “A amplitude e fase de uma constituinte harmónica [adaptado de S. Hicks (2004)]”

2.1.5.2. Previsão da Maré

Para prever a maré para um ano de calendário civil, é necessário conhecer as constantes harmónicas (amplitudes e fases) para as constituintes em cada local para o qual se pretende efetuar previsões. Estas são obtidas a partir da análise harmónica da maré observada em cada local, tal como descrito acima. Os ajustamentos são efetuados para as configurações astronómicas do início do ano. Sabendo a fase de cada constituinte a partir da análise harmónica, o primeiro máximo de cada curva co-seno ocorre depois do fenómeno pela quantidade da sua fase. A amplitude de cada curva co-seno é aquela determinada a partir de análise harmónica. Finalmente, para cada hora do ano, são adicionadas as alturas de todas as curvas co-seno. Quando representada num gráfico, a curva resultante é geralmente muito semelhante (em forma e tamanho) à curva observada originalmente.

Os tempos e alturas das preia-mares e baixa-mares são colocados como previsões para o próximo ano. É possível obter um vasto número de previsões através da aplicação de correções às estações para as quais as constantes harmónicas foram determinadas – as Estações de Controlo Principais (Estações de Referência). As estações secundárias (aquelas que não têm constantes harmónicas)

⁵² N.T.: que corresponde na realidade à semi-amplitude de maré

⁵³ N.T.: em inglês *phase lag* ou *Epoch*

encontram-se referidas à sua Estação de Referência próxima por constantes empíricas. Portanto, são também obtidas previsões para estas Estações Secundárias.

O tipo de maré num determinado local é principalmente uma função das declinações do Sol e da Lua. Em muitos desses locais, as declinações estão constantemente a variar de tal modo que o tipo de maré varia ao longo do mês e ano. Um sistema de classificação mais rigoroso está disponível utilizando as amplitudes das constituintes principais em cada local. Quantitativamente, onde a razão entre (K_1+O_1) e (M_2+S_2) é menor que 0,25, a maré é classificada como semi-diurna; onde a razão se encontra entre 0,25 e 1,5, a maré é mista maioritariamente semi-diurna; onde a razão se situa entre 1,6 e 3,0, a maré é mista maioritariamente diurna; e quando a razão é superior a 3,0, a maré é diurna.

As características da desigualdade diurna e a sua variação quinzenal podem ser explicadas considerando a combinação das constituintes diurnas e semi-diurnas resultantes das forças geradoras de maré diurnas e semi-diurnas. Tal como apresentado na Figura 5.10, onde a constituinte semi-diurna é representada por uma curva ponteadada e a constituinte diurna por uma curva a tracejado cor-de-rosa, a maré resultante, representada por uma linha sólida azul, é claramente a soma destas duas constituintes.

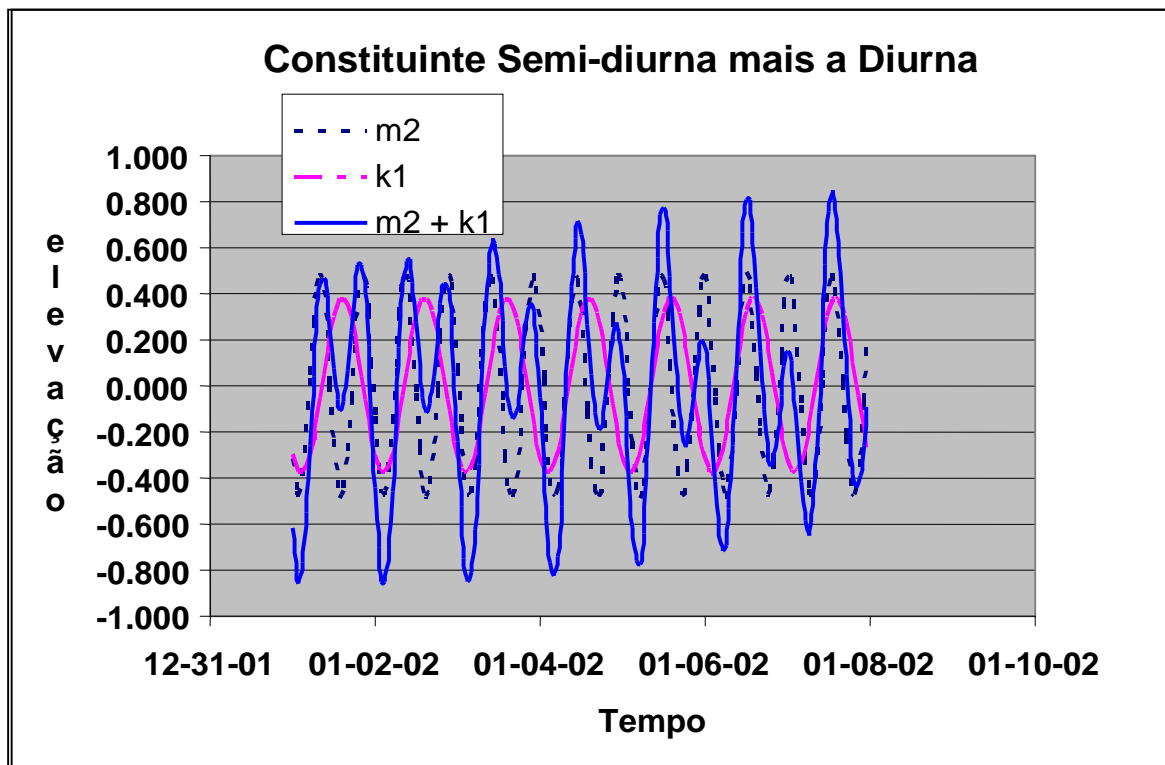


Figura 5.10

As amplitudes relativas das constituintes em qualquer local, assim como os tempos relativos das duas constituintes, dependem não só da fase e intensidade relativa das forças geradoras de maré, mas também das características hidrográficas da bacia de maré e da área local. Por esta razão, as mesmas forças geradoras de maré podem dar origem a diferentes amplitudes e tempos relativos das constituintes diurnas e semi-diurnas em diferentes locais. A Figura 5.10 exemplifica o caso mais simples onde as amplitudes das duas constituintes são iguais, mas o tempo relativo das preia-mares e baixa-mares varia. Em cada caso, existe uma considerável desigualdade diurna, mas existem diferenças profundas na fase da maré que apresenta a desigualdade. No diagrama de cima, onde as baixa-mares ocorrem ao mesmo tempo, a desigualdade diurna é verificada nas baixa-mares. No diagrama do meio, onde as preia-mares ocorrem simultaneamente, a desigualdade é apresentada nas preia-mares. E, no diagrama de baixo, onde as duas constituintes estão no nível

médio do mar ao mesmo tempo, a desigualdade é apresentada de igual modo nas preia-mares e baixa-mares. Estes três diagramas retratam as três classes gerais em que se encontra agrupada a desigualdade diurna das alturas de maré.

Nas marés observadas, não só os tempos das constituintes têm diferentes relações, como também as amplitudes das duas constituintes também diferem. Considere-se o diagrama inferior na Figura 5.10. Se a amplitude da constituinte semi-diurna (linha ponteadada) permanece como apresentado mas a amplitude da constituinte diurna (linha a tracejado) se torna maior, verifica-se que a preia-mar inferior tornar-se-á mais baixa e a baixa-mar superior tornar-se-á mais alta. Quando a amplitude da constituinte diurna torna-se o dobro da constituinte semi-diurna, a preia-mar inferior e a baixa-mar superior serão iguais em altura, resultando numa “maré que tende a desaparecer”. À medida que a amplitude da constituinte diurna aumenta ainda mais, haverá apenas uma preia-mar e uma baixa-mar por dia, resultando numa maré diurna. Combinando os efeitos do tempo e da amplitude, verifica-se que se a amplitude da constituinte diurna é menor que 2 vezes a da constituinte semi-diurna, ocorrerão duas preia-mares e duas baixa-mares por dia; se a amplitude diurna se encontra entre 2 a 4 vezes a da semi-diurna podem ocorrer duas preia-mares e duas baixa-mares ou uma preia-mar e uma baixa-mar por dia; e se a amplitude diurna for superior a 4 vezes a da semi-diurna, apenas uma preia-mar e uma baixa-mar por dia ocorrerão.

Note-se que as intensidades de ambas as forças diurnas e semi-diurnas variam ao longo de um mês, sendo as primeiras maiores nas declinações máximas a norte e a sul, e as últimas máximas quando a Lua está sobre o equador. Portanto, a maré num determinado local exhibe vários graus de desigualdade dentro de quaisquer dois períodos semanais.

Na realidade, existem cerca de 70 constituintes de maré que combinadas produzem a maré resultante. Destas constituintes, existem quatro constituintes semi-diurnas principais e três constituintes diurnas principais que correspondem às constituintes diurnas e semi-diurnas representadas na Figura 5.11.

Cada constituinte é baseada nalgum movimento da Terra, Lua ou Sol ou numa combinação dos três. As mais importantes destas constituintes completam os seus ciclos dentro de um mês e todas exceto as mais insignificantes completam os seus ciclos dentro de 18,6 anos. O período de 19 anos de operação necessário para a designação de uma estação maregráfica principal é baseado neste calendário. O período completo de 19 anos é usado em vez do ciclo de 18,6 anos, dado que as variações sazonais são geralmente muito maiores do que algumas das constituintes astronómicas menores.

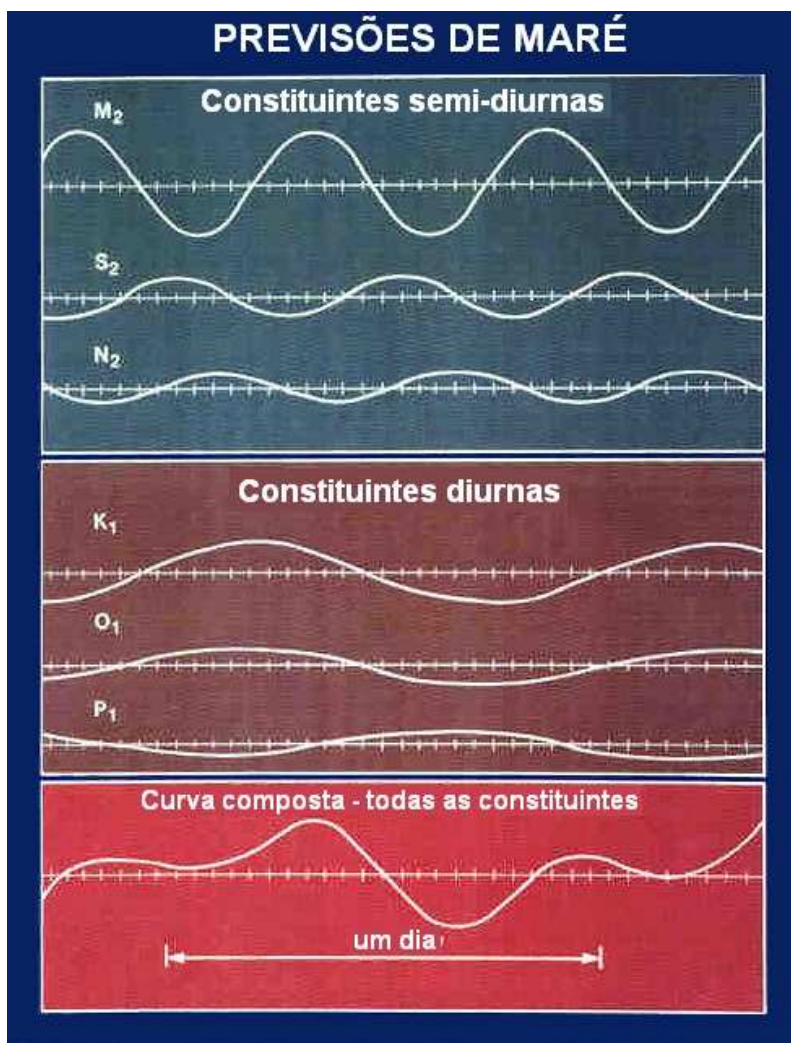


Figura 5.11

2.2. Funções de Apoio Operacionais

Esta secção cobre os requisitos dos *Data* verticais e de níveis de água para apoio operacional aos levantamentos hidrográficos. O âmbito deste apoio está compreendido nas seguintes áreas funcionais:

- Planeamento dos requisitos de marés e níveis de água;
- Desenvolvimento do zonamento preliminar de marés e níveis de água;
- Operação da estação de controlo de níveis de água;
- Instalação, operação e remoção de estações de níveis de água complementares;
- Controlo de qualidade, processamento e disposição dos dados em tabelas;
- Cálculo do *Datum* de marés e níveis de água e recuperação do *Datum*;
- Geração de redutores de níveis de água e zonamento final de marés;

2.2.1. Considerações acerca do Balanço de Erros

Os redutores de níveis de água podem ser um corretor importante às sondagens de modo a reduzi-las ao *Datum* cartográfico, nomeadamente em áreas de águas pouco profundas com relativamente grandes amplitudes de maré. Contudo, os erros associados a correções de níveis de água geralmente não são dependentes da profundidade. A porção do erro dos redutores de níveis de água deve ser equilibrada contra todos os outros erros de sondagem de modo a assegurar que o balanço total do erro não seja excedido. A contribuição permissível do erro associado às marés e níveis de água para o balanço total do erro de sondagem situa-se tipicamente entre 0,20 m e 0,45 m, dependendo da complexidade das marés.

O erro total das marés e níveis de água pode ser considerado como tendo as seguintes componentes de erro:

- a) O erro da medição do marégrafo/sensor e o erro do processamento ao referir as medições ao *Datum* da estação. O erro de medição, incluindo os efeitos dinâmicos, não deve exceder os 0,10 m a um nível de confiança de 95% (ver os requisitos mínimos da OHI para sondagens hidrográficas, S-44 5ª Edição, Capítulo 3). O erro de processamento inclui também o erro de interpolação do nível da água no instante exato das sondagens. Uma estimativa para um erro de processamento típico é 0,10 m a um nível de confiança de 95%.
- b) O erro associado ao cálculo da primeira redução ao *Datum* da maré e ao ajustamento ao período de 19 anos para estações de curto período. Quanto menor a série temporal, menos exato será o *Datum*, i.e. maior será o erro. Uma estação de controlo inapropriada também diminui a exatidão. A NOAA determinou que o erro estimado para um *Datum* de marés ajustado baseado num mês de dados é de 0,08 m para as costas Atlântica e do Pacífico e 0,11 m para a costa do Golfo do México (a um nível de confiança de 95%).
- c) O erro na aplicação do zonamento de maré. O zonamento da maré é a extrapolação e/ou interpolação das características da maré de um ponto(s) na costa conhecido para uma área desejada de sondagem utilizando diferenças em tempo e razões de amplitude. Quanto maior a extrapolação/interpolação, maior a incerteza e o erro. Estimativas para erros típicos associados com zonamento de marés são de 0,20 m a um nível de confiança de 95%. Porém, os erros para esta componente podem facilmente exceder os 0,20 m se as características da maré forem muito complexas ou mal definidas e se existem efeitos diferenciais pronunciados da meteorologia nos níveis de água ao longo da área de sondagem.

2.2.2. Planeamento dos Requisitos de Maré e Níveis de Água

O planeamento da medição de marés e níveis de água nos levantamentos hidrográficos requer atenção em cada uma das sete áreas funcionais mencionadas acima. No contexto da operação do levantamento completo e geração do produto final, o planeamento envolve:

- a) Determinação de uma estimativa de erro total;
- b) Estudo das características da maré e níveis de água e do ambiente meteorológico e oceanográfico;
- c) Determinação das estações de controlo a utilizar e que controlo vertical existe na área, localização, logística e período de tempo das estações níveis de água de curto período e equipamento, incluindo GPS e ligações ao *Datum* geodésico;
- d) Construção de esquemas de zonamento;

- e) Desenvolvimento operacional da recolha de dados, controlo de qualidade e processamento de dados e funções de análise;
- f) Desenvolvimento do zonamento final e de procedimentos de determinação do *Datum*, aplicação de redutores de níveis de água às folhas hidrográficas e estimação do balanço final do erro.

Através das seguintes aspectos de planeamento do projeto podem-se efetuar tentativas para minimizar e equilibrar estas fontes potenciais de erro: uso e especificação de equipamentos de medição de níveis de água exatos e fiáveis, otimização da mistura de zonamento necessária, número de localizações das estações requeridas e duração das observações dentro de limites práticos da área de sondagem e duração da sondagem. Os limites práticos dependem das características da maré da área e da adequação da linha de costa na instalação e operação apropriada dos marégrafos.

O hidrógrafo deve planejar as operações de modo a assegurar a recolha contínua de séries de dados válidas. Qualquer falha na medição de séries de níveis de água afeta a exatidão dos cálculos do *Datum*. Falhas nos dados resultam também no aumento do erro dos redutores de maré pois torna-se necessário efetuar interpolações para fornecer dados no instante das sondagens. Deve ser instalado, e operado durante o projeto, um sensor independente de salvaguarda das medições ou um sistema redundante completo de recolha de níveis de água sempre que se efetuam trabalhos num local de medição crítico onde os dados de níveis de água não podem ser transmitidos ou monitorizados durante as operações hidrográficas,

As localizações das estações maregráficas são selecionadas de modo a reunir dois conjuntos de critérios. Primeiramente, para ter uma cobertura adequada, as estações devem ser suficientes em número e distribuídas apropriadamente para retratar com exatidão o regime de marés e níveis de água. Em segundo lugar, os locais específicos devem ser adequados para a medição exata da grande variedade de níveis de água existentes.

A densidade e distribuição dos marégrafos dependem das variações das características dos níveis de água (geralmente das marés) da área de sondagem. A medição da maré é geralmente planeada de modo a identificar cada variação de 0,1 m na amplitude em áreas com 3 m ou menos de amplitude, cada variação 0,2 m de amplitude para áreas com mais de 3 m de amplitude e identificar cada variação de 0,3 horas no intervalo de Greenwich.

Na determinação dos requisitos de cobertura, as características da maré são primeiramente avaliadas num sentido geográfico geral. O tipo de maré e as variações do mesmo (semi-diurno, diurno, misto) são analisados. A fonte a partir da qual a maré avança para a área é determinada e a força da maré é avaliada relativamente às influências meteorológicas localizadas e sazonais. As áreas de transição de regimes de maré para regimes sem maré são particularmente importantes, uma vez que áreas sem maré recebem um tratamento diferente para a determinação do *Datum* de baixa-mar.

Seguidamente, são avaliadas as características da maré num contexto geográfico localizado. Verifica-se que ocorrem mudanças complexas na maré em enseadas pouco profundas, pântanos extensos e estrangimentos estreitos. As lagoas podem interromper o escoamento da maré na baixa-mar e o escoamento constante do rio afeta a maré em todas as fases. Em grandes baías de pequena profundidade e com pequena amplitude de maré, o vento tem um efeito considerável no tempo e altura da maré. Isto também é verdade em trechos largos do rio ou ao longo de costas onde a água é pouco profunda. Influências de origem antropogénica tais como molhes, dragagens, barragens, diques, tomadas de água de hidroeléctricas e práticas de gestão de níveis de água podem também ter impactos significativos.

Depois desta análise são identificadas, agora, as localizações aproximadas das estações: em ambos os lados de qualquer impedimento significativo ao escoamento da maré são geralmente necessárias estações; em intervalos frequentes em áreas pouco profundas e em braços dos rios estreitos a montante; na cabeça da navegação ou no limite do levantamento de todos os rios e riachos; e em ambos os lados da transição de zonas com maré para zonas sem maré ou entre zonas de transição de marés diurnas, mistas ou semi-diurnas. A área do levantamento está geralmente ladeada com estações de modo a que a extrapolação de redutores de níveis de água não seja necessária. Aquando da sondagem em aproximações de canais abertos onde as profundidades não são muito superiores ao calado dos navios, os dados de níveis de água fornecidos por um único marégrafo dentro da costa podem não ser exatos o suficiente para a redução de sondagem. Em tais levantamentos, pode ser bastante conveniente instalar uma estação temporária numa estrutura ao largo. Também, é normalmente planeada a sobreposição da cobertura de modo a que pelo menos duas estações estejam a operar numa determinada porção da área de sondagem. Esta sobreposição ajuda a interpolação com a finalidade do zonamento e fornece dados de *backup* no caso da avaria de um dos equipamentos.

Em muitos casos, está disponível informação histórica para ajudar no planeamento da cobertura de níveis de água. Informação acerca das estações principais e secundárias, assim como dados de marés e níveis de água de levantamentos hidrográficos anteriores, fornecem bons indicadores do número e localização aproximada das estações maregráficas necessárias para uma nova sondagem. Onde não há informação histórica, o planeador tem de estimar os requisitos necessários através da análise dos dados de áreas próximas com características fisiográficas semelhantes. Nestas situações, é mais prudente enganar-se e colocar demasiadas estações do que ser incapaz de fornecer um controlo satisfatório para a área de sondagem completa. Sondagens obtidas com um controlo de marés insuficiente não podem ser corrigidas com dados de equipamentos instalados depois do levantamento.

2.2.3. Zonamento Preliminar de Marés e Níveis de Água

O zonamento de marés e níveis de água é uma ferramenta utilizada para extrapolar ou interpolar as variações da maré ou níveis de água da estação mais próxima da área do levantamento. Muitas vezes, a interpolação ou extrapolação não é necessária e as correções de níveis de água são fornecidas diretamente pelo equipamento de medição de níveis de água que se encontra referido ao *Datum* Cartográfico. Mas na grande maioria dos casos, as estações existentes não se encontram próximas da área do levantamento ou, em termos práticos, não é possível instalar um número suficiente de estações de modo a fornecer um controlo direto em todo o lado. Os erros estimados na extrapolação e interpolação dos níveis de água devem ser equilibrados no balanço total do erro. Quanto maior o número de estações que podem ser instaladas ao longo da área de sondagem, menor será o erro de zonamento. Quanto maior o número de estações necessárias, maior o custo e a complexidade logística das operações.

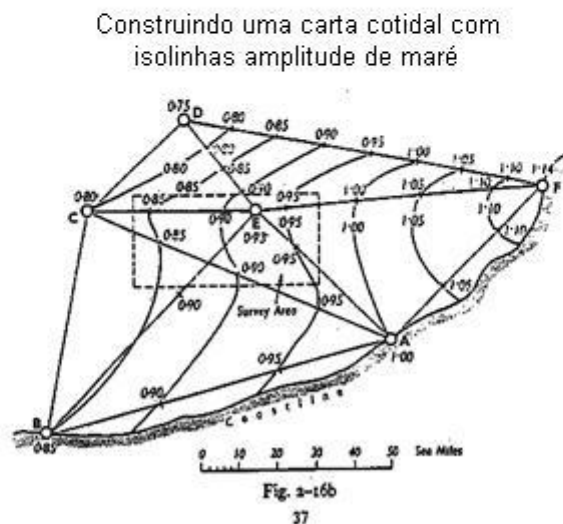
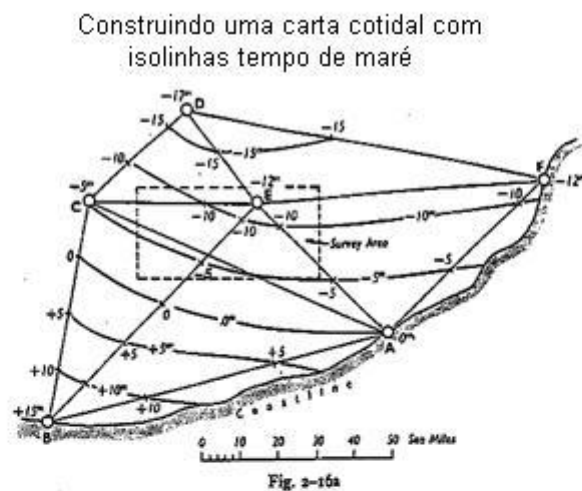
Qualquer esquema de zonamento requer um estudo oceanográfico das variações do nível da água na área do levantamento. Para áreas com maré, são construídos mapas cotidais do tempo e amplitude da maré baseados em dados históricos, modelos hidrodinâmicos ou outras fontes de informação. As linhas cotidais são utilizadas para delinear zonas geo-espaciais discretas de igual tempo e amplitude de maré baseadas na análise de quão rápido é o progresso da maré em tempo e amplitude numa determinada área de sondagem. Uma vez construídas, podem ser calculadas correções em tempo e amplitude para as estações operacionais apropriadas.

As técnicas descritas acima irão fornecer correções na vizinhança imediata de uma estação maregráfica. Em muitos casos, a área do levantamento estará entre duas ou mais estações maregráficas, cada uma com a sua amplitude de maré diferente. Em tais situações, as correções para a área intermédia têm de ser interpoladas para zonas de correção a partir das estações circundantes. Na maioria dos casos, o zonamento fornecido com a maré prevista será adequado para esta finalidade. Contudo, se o zonamento previsto estiver indisponível ou se verificar

incorreto, o hidrógrafo pode preparar cartas cotidais e cartas de igual amplitude no campo a partir de observações preliminares de níveis de água.

Uma carta cotidal apresenta linhas de igual intervalo lunitidal (fase) referidas a Greenwich. Para o zonamento no campo, as cartas cotidais são geralmente desenhadas de modo a apresentarem linhas de igual tempo de preia-mar ou baixa-mar antes ou depois do instante desse acontecimento na estação maregráfica de referência.

Cartas de isoamplitude de maré apresentam linhas de igual amplitude de maré. Para o uso no campo, as linhas geralmente contêm legendas com as razões relativamente à estação de referência. Estas comparações com o marégrafo de referência facilitam a preparação dos redutores. As Figuras 5.12 e 5.13 são exemplos de cartas cotidais e cartas de isoamplitude de maré para uma baía hipotética na qual foi efetuado um levantamento.



Figuras 5.12 e 5.13

Carta cotidal – As cartas cotidais são geralmente construídas utilizando ferramentas de desenho SIG. Seguidamente apresenta-se um simples exemplo manual que ilustra alguns dos seus fundamentos. Para construir uma carta cotidal, o hidrógrafo deve representar num gráfico a estação de referência e todas as estações maregráficas secundárias, terciárias e de curta duração presentes na área do levantamento. Para melhores resultados, a área do levantamento deve estar

dentro de um triângulo quase equilátero ou num quadrilátero formado pelas estações maregráficas. Em cada estação, é anotado o tempo de chegada da preia-mar ou baixa-mar antes ou depois do tempo de chegada à estação de referência. Em alguns casos, as diferenças em tempo são as mesmas para a preia-mar e baixa-mar.

Para simplificar, o exemplo referido é apresentado na Figura 5.12. Em muitos casos, contudo, são necessárias cartas cotidais em separado para preia-mares e baixa-mares. Estações adjacentes e opostas são ligadas por linhas retas. Intervalos de tempo ao longo de cada linha são depois interpolados e assinalados. Os segmentos de tempo utilizados dependem da amplitude da maré e da precisão desejada para os redutores. Para a maioria das áreas, 10 minutos é um intervalo adequado a escolher. As marcas de intervalo correspondentes, ao longo de cada linha, encontram-se ligadas por uma curva suave, tal como apresentado na Figura 5.12. Quando dois pontos interpolados entram em conflito, é dada precedência à marca ao longo da linha mais curta e às marcas nas linhas cujas curvas intersectam mais próximo da perpendicularidade. Em muitas situações, as áreas do levantamento são tão complexas que o desenho das linhas de interpolação ligando as estações não é prático e as linhas cotidais são colocadas pelo hidrógrafo utilizando ferramentas SIG.

Cartas de co-amplitude de maré – Tal como se observa na Figura 5.13, a carta é apresentada do mesmo modo que a carta cotidal. Em vez de tempos, são anotadas amplitudes de maré ou razões de amplitude relativamente à estação de referência. Cada linha é interpolada por incrementos, geralmente com amplitude de 0,1 m ou o equivalente incremento em razão. Linhas suaves de igual amplitude são depois desenhadas através dos pontos correspondentes em cada linha, dando prioridade do mesmo modo que as linhas cotidais.

Cartas de zonamento – A carta de zonamento é construída através da sobreposição da carta cotidal na carta de igual amplitude de maré. O hidrógrafo pode depois selecionar as regiões nas quais aplicar os corretores de amplitude e tempo às alturas e tempos da estação de referência. Analisando as Figuras 5.12 e 5.13 verifica-se que as linhas cotidais e as linhas de igual amplitude de maré não são paralelas. Esta diferença em orientação é típica da maioria das áreas e geralmente resulta em zonas de correção com formas irregulares que podem não ser operacionalmente eficientes. Contudo, com o intuito de simplificar os corretores de campo preliminares, o hidrógrafo pode ajustar o tamanho e a forma das zonas onde instalar a estação operacional. Por exemplo, se um sistema de sondagem de linhas este - oeste fosse planeado, seria mais eficiente alterar as zonas para bandas este - oeste ao longo da baía. Torna-se uma questão de bom senso equilibrar as considerações operacionais com a necessidade de exatidão e precisão. Independentemente do zonamento selecionado pelo hidrógrafo no campo, o zonamento final será baseado numa análise completa dos níveis de água observados e será planeado para a exatidão máxima.

Zonamento offshore – Sempre que for impossível, como é o caso das sondagens offshore, envolver a área de levantamento com estações maregráficas, as zonas de níveis de água têm de ser selecionadas com base em mais considerações teóricas. Onde a plataforma continental é larga e a onda de maré aproxima-se paralelamente à costa, tal como acontece em grande parte da costa Este dos Estados Unidos, a maré chegará mais cedo ao largo do que próximo da costa. Noutras costas, tal como na costa oeste dos Estados Unidos, a onda de maré é quase perpendicular à costa com diferenças mínimas em tempo e amplitude ao largo. Para redutores de sondagem ao largo, estimativas das correções em tempo e amplitude a serem aplicadas às estações maregráficas costeiras, podem ser efetuadas a partir de cartas cotidais existentes ou a partir de modelos oceânicos de maré existentes.

2.2.4. Operação da Estação Maregráfica de Controlo

Estações de níveis de água de controlo são aquelas que já têm *Data* aceites e determinados especificamente e que se encontram em funcionamento durante o levantamento. Estas podem ser operadas pela instituição ou país que efetua o levantamento ou podem ser mantidas por outra

entidade. Estas estações de controlo são tipicamente usadas como referência para a previsão de maré, como fontes diretas de redutores de níveis de água durante as operações do levantamento, como uma fonte de controlo de dados à qual os corretores de zonamento são aplicados e de controlo para comparação simultânea com estações de curto período aquando da determinação do *Datum* ou restabelecimento do mesmo. Estas estações de controlo de longo período fazem geralmente parte da rede nacional de estações maregráficas ou de níveis de água de cada nação.

2.2.5. Requisitos das Estações Maregráficas Suplementares

Estas estações são utilizadas para fornecer séries temporais de dados durante as operações de sondagem, referências do *Datum* de marés e zonamento de marés que, no seu conjunto, contribuem para a produção dos redutores finais de níveis de água para áreas específicas do levantamento. A localização e necessidades das estações podem ser modificadas depois do reconhecimento da estação ou à medida da progressão das operações do levantamento.

A duração da aquisição contínua de dados deve ser no mínimo de 30 dias exceto para equipamentos de zonamento. A aquisição de dados deve ser de pelo menos 4 horas antes do início das operações do levantamento hidrográfico até 4 horas depois do fim das operações do levantamento hidrográfico e/ou verificação da linha de costa nas áreas aplicáveis. As estações identificadas como estações de “30 dias” são as estações secundárias “principais” para o estabelecimento do *Datum*, fornecendo redutores de maré para um determinado projeto e para análise harmónica a partir da qual as constantes harmónicas para a previsão de marés podem ser deduzidas. Nestas estações, os dados têm de ser recolhidos ao longo de todo o período do levantamento em áreas específicas requeridas e são necessários nunca menos de 30 dias contínuos para a determinação exata do *Datum* de marés. Adicionalmente, podem também ser necessários marégrafos suplementares e/ou de *backup* dependendo da complexidade da hidrodinâmica e/ou da severidade das condições ambientais na área de projeto.

A instalação de uma estação de medição de níveis de água suplementar deve consistir no seguinte:

- a) Instalação de um sistema de medição de níveis de água [sensor(es) de níveis de água, sensores de medição auxiliares (se necessário), uma Plataforma de Recolha de Dados (DCP) ou *data logger* e transmissor satélite (se instalado)] e estrutura de suporte para o DCP e sensor, e uma escala de marés (se necessário).
- b) Recuperação e/ou instalação de um número mínimo de marcas de nivelamento e uma ligação do nível entre as marcas de nivelamento e o(s) sensor(es) de níveis de água e uma escala de marés, tal como necessário na instalação e remoção dos equipamentos de medição. Devem igualmente ser efetuadas medições de GPS estático a um conjunto de marcas de nivelamento.

2.2.5.1. Sistemas de Medição de Níveis de Água

2.2.5.1.1. Sensores de Níveis de Água e Plataformas de Recolha de Dados

Existem vários tipos de sensores de níveis de água e configurações da estação possíveis. Diversos tipos de sensores de níveis de água são utilizados por variadíssimos países para apoio a levantamentos hidrográficos. Os Estados Unidos utilizam em áreas com maré sistemas acústicos e sistemas digitais *bubbler* de pressão (ventilados) como equipamentos de controlo e de *backup* respectivamente e estação suplementar e marégrafos de flutuador e contrapeso para as estações de controlo dos Grandes Lagos, ver Figura 5.14. Muitos outros tipos de marégrafos de flutuador e contrapeso e sistemas de pressão internos não ventilados encontram-se instalados em todo o globo.

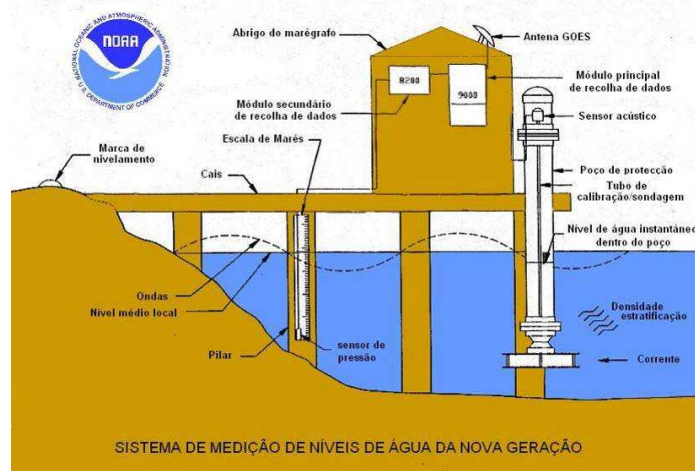


Figura 5.14

A amplitude de medição do sensor deve ser maior do que a amplitude esperada do nível de água. Sistemas de sensores/marégrafos devem ser calibrados anteriormente à instalação e a calibração deve ser verificada após as operações. A exatidão dos critérios de calibração deve ser seguida de acordo com algum padrão nacional ou internacional. A resolução necessária do sensor de níveis de água é uma função da amplitude de maré da área planeada dos levantamentos hidrográficos. Para amplitudes de maré menores ou iguais a 5 m, a resolução necessária do sensor de níveis de água deve ser de 1 mm ou melhor; para amplitudes de maré entre os 5 m e os 10 m, a resolução do sensor deve ser de 3 mm ou melhor; para amplitudes de maré superiores a 10 m, a resolução do sensor deve ser de 5 mm ou melhor.

Os sistemas de aquisição de dados devem adquirir e guardar as medições do nível de água em intervalos de tempo necessários para a classificação das variações significativas dos níveis de água. Os Estados Unidos utilizam para as marés um intervalo de tempo de 6 minutos de modo a assegurar o cálculo da hora das preia-mares e baixa-mares com exatidão ao décimo de hora. Outros intervalos de amostragem mais longos podem ser apropriados para lagos e zonas sem maré, apesar do fato do intervalo de amostragem ter de ser curto o suficiente para medir alguma ação de seichas. Muitos sensores empregam repetições de amostragem (*burst*) em taxas elevadas para fornecer um valor no intervalo de amostragem ou aquisição. Os sistemas da NOAA utilizam uma média de 3 minutos de amostras dos sensores a taxa elevada para determinar um valor com um intervalo de 6 minutos. Os *outliers* estatísticos da amostra e os desvios padrão são depois usados como parâmetros de controlo de qualidade. Os *data loggers* devem ter uma exatidão do relógio dentro de um minuto por mês. As fontes de erro conhecidas para cada sensor devem ser tratadas adequadamente através de medições auxiliares e/ou algoritmos de correção. Exemplos de tais erros são as variações da densidade da água para os marégrafos de pressão, a correção da pressão barométrica para os sistemas não ventilados, diferenças de temperatura do ar na trajetória do som nos sistemas acústicos e ação das ondas de alta frequência e correntes de velocidade elevada para todos os tipos de sensores.

Para aplicações ao *Datum* de marés, é importante que os marégrafos e sensores sofram processos de manutenção cuidadosos através da frequente verificação da calibração ou substituição cíclica de sensores calibrados em instalações de longa duração. O “zero” do sensor deve estar precisamente relacionado, ou com a escala de marés e/ou marcas de nivelamento através de comparações de leituras da escala de marés/marégrafo, ou através de nivelamento direto entre o sensor e as marcas de nivelamento. A estabilidade vertical do “zero” do sensor quer fisicamente quer internamente, tem de ser monitorizada e deve ser tido em consideração qualquer movimento na redução dos dados e determinação do *Datum*.

O hidrógrafo deve instalar uma escala de marés numa estação, se o ponto de medição de referência de um sensor (zero do marégrafo) não pode ser diretamente nivelado em relação às marcas de nivelamento, i.e. o orifício encontrar-se no fundo do mar no caso de marégrafos de pressão. Mesmo que um marégrafo de pressão possa ser nivelado diretamente, as leituras da régua são mesmo assim necessárias para se analisarem as variações no desempenho do marégrafo devido às variações de densidade da coluna de água ao longo do tempo. A escala de marés deve ser montada independentemente do sensor de nível de água de modo a manter a estabilidade da escala ou do sensor. A escala não deve ser montada no mesmo pilar no qual o sensor de nível de água está localizado. A escala de marés deve ser chumbada. Quando duas ou mais escalas de marés são unidas de modo a formar uma régua mais longa, o hidrógrafo deve ter um cuidado extra de forma a assegurar a exatidão da escala ao longo do seu comprimento. A distância entre o zero da escala e o topo da régua deve ser medida antes de a escala ser instalada e depois de ser removida e o topo da régua acima da altura do zero da escala deve ser registado nos formulários de documentação.

2.2.5.1.2. Escalas de Marés

Em áreas com grande amplitude de maré e praias com declive longo (por exemplo: Enseada de Cook e o Golfo de Maine), a instalação e manutenção de escalas de marés pode ser extremamente difícil e dispendiosa. Nestes casos, a instalação física de uma escala(s) de marés pode ser substituída por nivelamentos sistemáticos ao bordo da água da marca de nivelamento mais próxima. A marca de nivelamento torna-se o “topo da régua” e a diferença de cota ao bordo da água torna-se a “leitura da régua”.

Quando se utilizam sensores de pressão, por exemplo, deve ser efetuada no início uma série de comparações do marégrafo/escala de marés, ao longo de uma porção significativa do ciclo de maré, em intervalos frequentes durante a instalação e no fim de uma instalação. As comparações das leituras da escala e do marégrafo, no início e no fim da instalação, devem ser no mínimo em cada três horas de duração e as observações periódicas durante a instalação devem ter a duração de uma hora.

Em geral, o marégrafo e a escala devem ser lidos simultaneamente e registadas as leituras uma vez por dia (no mínimo 3 dias num período de 7 dias) durante a duração das medições de nível da água. A diferença média entre a escala e o marégrafo deve ser aplicada às medições de níveis de água de modo a relacionar os dados com o zero da escala. Comparações frequentes entre marégrafo/escala (pelo menos 3 vezes por semana ou no mínimo 8 vezes por mês) durante a instalação devem ser necessárias para assegurar a estabilidade da medição e para minimizar os erros de processamento. Um número elevado de leituras independentes da escala faz diminuir a incerteza na transferência das medições para o *Datum* da estação e das marcas de nivelamento. Se logisticamente não for prático ter um observador no local da estação maregráfica ou o pessoal de campo não conseguir visitar a estação por o local da sondagem ser distante do marégrafo, então sempre que forem efetuadas visitas, uma amostragem *burst* de várias leituras da escala deve ser efetuada durante um período de algumas horas em vez de uma medição discreta.

No caso da escala de marés for encontrada destruída durante os trabalhos, então deve ser instalada uma nova escala para o período restante da instalação e tem de ser determinada uma nova constante da escala para o marégrafo através de novos conjuntos de observações da escala/marégrafo.

2.2.5.1.3. Nivelamento e Marcas de Nivelamento

Uma rede de marcas de nivelamento é uma parte integrante de qualquer estação de medição de níveis de água. Uma marca de nivelamento é um objeto físico fixo ou monumento para ter estabilidade e utilizado como referência para os *Data* verticais e/ou horizontais. As marcas de nivelamento nas proximidades de uma estação de medição de níveis de água são utilizadas como a referência para os *Data* de marés locais deduzidos a partir dos dados de níveis de água. A

relação entre as marcas de nivelamento e o sensor de nível de água ou a escala de marés é estabelecida através de nivelamento diferencial. Dado que as medições do marégrafo estão referidas às marcas de nivelamento, verifica-se que a qualidade geral dos *Data* é parcialmente dependente quer da qualidade da instalação das marcas de nivelamento, quer da qualidade do nivelamento entre as marcas de nivelamento e o marégrafo.

2.2.5.1.4. Número e Tipos de Marcas de Nivelamento

O número e tipos de marcas de nivelamento necessárias dependem da duração das medições de níveis de água. Tipicamente cada estação tem uma marca de nivelamento designada como a marca de nivelamento principal (PBM), que deveria ser nivelada em cada operação de nivelamento. A PBM é tipicamente a marca mais estável na proximidade da estação maregráfica. A marca de nivelamento mais desejável para observações GPS terá desde 10° acima do horizonte, 360° de desobstrução na horizontal em torno da marca. Se a PBM se verificar instável, uma outra marca deve ser designada como PBM. A data da alteração e a diferença de cota entre a antiga e a nova PBM deve ser registada. Para estações instaladas durante mais de um mês, devem ser cravadas ou recuperadas e niveladas 3 a 5 marcas de nivelamento para cada estação.

2.2.5.1.5. Nivelamento

Devem ser efetuados pelo menos nivelamentos de 3ª ordem em estações secundárias, de curta duração operadas por menos de um ano. Os nivelamentos devem ser efetuados entre o sensor de níveis de água ou a escala de marés e o número necessário de marcas de nivelamento sempre que: a estação de medição de níveis de água é instalada, modificada (i.e. sensor de nível de água arranjado ou substituído), para o caso de nivelamentos de ligação entre marcas, ou antes de ser removida. Em qualquer caso, é necessário efetuar nivelamentos com um intervalo máximo de 6 meses durante o tempo de operação da estação e é recomendado efectuá-los depois de tempestades severas, furacões, terramotos, de modo a documentar a sua estabilidade (ver estabilidade referido abaixo).

Antes da remoção planeada do marégrafo, são necessários nivelamentos de ligação de um número apropriado de marcas (cinco para uma estação de 30 dias no mínimo) se for necessário conhecer as marés para um período de 30 dias ou mais, ou depois de 6 meses para estações que recolhem dados durante projetos hidrográficos de longa duração.

2.2.5.1.6. Estabilidade

Se existir um movimento não determinado do sensor de nível de água ou do zero da escala de marés relativamente à PBM superior a 0,010 m, de um nivelamento para o seguinte, o hidrógrafo deve verificar o movimento aparente efetuando um novo nivelamento entre o zero do sensor ou da escala de marés até à PBM. Este limite de 0,010 m não deve ser confundido com as tolerâncias de fecho utilizadas para a ordem e classe do nivelamento.

2.2.5.1.7. Observações GPS em Marcas de Nivelamento

Devem ser conduzidos levantamentos de GPS estático em cada estação de nível de água secundária instalada/ocupada para hidrografia, num mínimo de uma marca de nivelamento, preferencialmente duas marcas se o tempo e os recursos o permitirem,. Levantamentos de GPS estático devem ser conduzidos em estações de níveis de água simultaneamente com a ocupação de marcas NAVD 88, se possível, de modo a conseguir as transferências de *Datum* de níveis de água, utilizando alturas ortométricas deduzidas por GPS.

Em levantamentos com GPS diferencial estático de alta precisão é requerido um receptor GPS com qualidade geodésica, dupla frequência, com um mínimo de 10 canais para busca de satélites GPS. Uma antena de anel é preferível, contudo, qualquer antena plana de solo de qualidade geodésica pode ser utilizada. Mais importante que o tipo de antena, i.e., antena de anel ou antena plana de solo, é o fato das mesmas antenas ou antenas idênticas terem que ser utilizadas durante todas as sessões de observação. Caso contrário, tem de ser aplicada uma correção para a diferença

dos padrões de fase das antenas (padrões de fase modelados). Isto é extremamente crítico para se obterem resultados verticais precisos. O comprimento do cabo da antena entre a antena e o receptor deve ser mantido num tamanho mínimo sempre que possível; 10 m é o comprimento típico do cabo da antena. Se for necessário um comprimento de cabo maior, o cabo deve ser fabricado a partir de cabos coaxiais de perdas reduzidas (RG233 até 30 metros e RG214 para mais de 30 metros).

A marca de nivelamento mais desejável para observações GPS terá desde 10° acima do horizonte, 360° de visibilidade horizontal em torno da mesma. Marcas recentemente cravadas devem ser colocadas sempre que possível em locais que tenham a visibilidade requerida.

Se disponíveis, devem ser recolhidos dados meteorológicos (temperatura do ar, pressão barométrica e umidade relativa), aquando das observações GPS. Os dados meteorológicos devem ser recolhidos no centro de fase da antena ou próximo deste. Devem, ainda, ser verificadas periodicamente as calibrações do equipamento.

2.2.5.2. Documentação da Estação Maregráfica

Documentação associada a uma estação maregráfica:

- a) Instalação da estação;
- b) Desempenho dos nivelamentos de ligação/confirmação das marcas;
- c) Reparação e manutenção dos marégrafos;
- d) Remoção da estação.

A documentação da estação geralmente inclui, mas não é limitada aos seguintes:

- a) Documentação dos testes de calibração proveniente de uma fonte independente que não o fabricante, para cada sensor utilizado para recolher níveis de água ou dados auxiliares;
- b) Um relatório da estação que documente a configuração da estação e os meta dados associados;
- c) Uma secção de cartas náuticas novas ou atualizadas, ou mapas equivalentes que indiquem a localização exata da estação, com a indicação do número da carta ou nome do mapa e indicação da escala apresentada;
- d) Um desenho a grande escala do local da estação e um ficheiro digital SIG compatível, fornecido numa disquete, e que mostre a localização relativa do marégrafo, escala de marés (se existir), marcas de nivelamento e objetos de referência principais encontrados na descrição das marcas de nivelamento. O desenho deve incluir uma seta que indique a direção norte, um cabeçalho, latitude e longitude (obtida a partir de GPS portátil) do marégrafo e de todas as marcas de nivelamento;
- e) Uma descrição nova ou atualizada de como chegar à estação a partir de um local geográfico conhecido;
- f) Fotografias dos componentes da estação e das marcas de nivelamento. Fotografias digitais são preferíveis. No mínimo, as fotografias devem mostrar uma vista do sistema de medição do nível de água tal como instalado, incluindo os sensores e o abrigo do marégrafo; uma vista de frente da escala de marés (se instalada); diversas vistas da zona envolvente e outras vistas necessárias para documentar a localização do marégrafo; fotografias de cada uma das marcas de nivelamento, incluindo uma vista da localização e

aproximações que mostrem as inscrições nas marcas. Todas as fotografias devem estar registadas com o nome da estação, número, localização e data da fotografia;

- g) Notas da descrição/recuperação da marca de nivelamento;
- h) Relatório do nivelamento e resumo do mesmo, incluindo informação acerca do equipamento utilizado no nivelamento;
- i) Folha de cálculo utilizada na determinação do *offset* do *Datum* ou folha de cálculo da diferença escala/marégrafo demonstrando como o “zero” do sensor se encontra relacionado com as marcas de nivelamento.

2.2.6. Processamento de dados e Disposição em Tabelas

2.2.6.1. Controlo de Qualidade dos Dados

O produto resultante, utilizado na geração dos redutores de maré e na determinação do *Datum* de marés, é uma série temporal contínua de dados de níveis de água de intervalo discreto para o período de tempo desejado para hidrografia e um período de tempo mínimo especificado a partir do qual se deduz os *Data* de maré. (Nota: este intervalo de tempo discreto é tipicamente entre 6 a 10 minutos mas para este exemplo serão considerados 6 minutos.) Os dados de níveis de água com um intervalo de 6 minutos, obtidos a partir dos marégrafos, devem sofrer um processo de controlo de qualidade que detecte dados inválidos e suspeitos como revisão final anterior à geração do produto e respectiva aplicação. Isto inclui a detecção de falhas nos dados, descontinuidades, variações do *Datum*, dados anómalos, dados fora das tolerâncias esperadas, tais como valores máximos e mínimos esperados, e tendências anómalas nas elevações devido à variação do sensor ou movimentação vertical dos componentes da estação maregráfica e das marcas de nivelamento.

O controlo de qualidade deve incluir comparações com dados simultâneos de marégrafos de *backup*, marés previstas ou dados de estações próximas, tal como se verifique mais apropriado. A edição de dados e a geração de dados em falta devem usar algoritmos e procedimentos matemáticos documentados e devem ser utilizados mecanismos de verificação de modo a encontrar todas as modificações e edições aos dados observados. Todos os dados inferidos devem ser apropriadamente assinalados com *flags*. As medições de níveis de água de cada estação devem estar referidas a um único *Datum* comum denominado de *Datum* da Estação. O *Datum* da Estação é um *Datum* arbitrário e não deve ser confundido com um *Datum* da maré como a BMIm. Todas as descontinuidades, saltos ou outras variações do registo do marégrafo (ver o manual do utilizador do marégrafo), que podem ser devido ao movimento vertical do marégrafo, escala de marés ou marcas de nivelamento, devem ser convenientemente documentados. De modo a evitar erros de fuso todos os dados devem ser registados em UTC (Tempo Universal Coordenado – também conhecido como o Tempo Médio de Greenwich – GMT) e as unidades de medida devem ser indicadas de forma apropriada em formato informático e em ficheiros digitais.

2.2.6.2. Processamento de Dados e Disposição da Maré em Tabelas

Os dados de níveis de água contínuos com um intervalo de amostragem de 6 minutos são usados para gerar as tabelas de dados de maré usuais. Estas tabelas incluem os tempos e alturas de preia-mares e baixa-mares, alturas horárias, níveis de água máximos e mínimos mensais e valores médios mensais para os parâmetros desejados. Exemplos destas tabelas podem ser encontrados na Figura 5.15. Os tempos e alturas das preia-mares e baixa-mares devem ser deduzidos a partir de um ajustamento adequado de uma curva aos dados de 6 em 6 minutos. Com a finalidade de efetuar tabelas de preia-mares e baixa-mares e não do ruído de alta-frequência não associado à maré, preia-mares e baixa-mares sucessivas não devem ser dispostas em tabelas a não ser que sejam apropriadamente deduzidas. As alturas horárias devem ser obtidas a partir de cada valor de 6 minutos observado à hora certa. O nível médio do mar mensal e o nível de água médio mensal devem ser calculados a partir da média das alturas horárias de cada mês. Os dados devem ser

tabelados relativamente a um *Datum* da estação consistente e documentado, tal como o zero da escala de marés, um *Datum* da estação arbitrário, ou BMIm, etc. durante a duração das observações de maré. Em *Tide and Current Glossary, Manual of Tide Observations and Tidal Datum Planes* podem ser encontradas descrições de procedimentos gerais utilizados na disposição de dados de marés em tabelas.

2.2.6.3. Edição de Dados e Especificações Acerca do Preenchimento de Lacunas

Quando os dados de um sensor secundário (de *backup*) não estão disponíveis, as lacunas nos dados de 6 minutos não devem ser preenchidas se estas forem superiores a três dias consecutivos. O preenchimento de lacunas nos dados deve utilizar procedimentos e algoritmos cientificamente e matematicamente documentados e um método de verificação/detecção deve ser utilizado de modo a encontrar todos os preenchimentos de lacunas efetuados nos dados observados. As lacunas com menos de 3 horas podem ser inferidas utilizando técnicas de interpolação e de ajustamento de curvas. As lacunas superiores a 3 horas devem utilizar fontes de dados externas, tal como dados de uma estação maregráfica próxima. Todos os dados obtidos através de procedimentos de preenchimento de lacunas devem ser marcados como inferidos. As alturas horárias, preia-mares e baixa-mares, e médias diárias calculadas a partir de dados inferidos, devem também ser consideradas como inferidas.

2.2.6.4. Determinação de Médias Mensais

Quando a disposição em tabelas dos dados de maré engloba períodos de tempo mensais, médias mensais dos diversos parâmetros da maré são calculadas com a finalidade da determinação do *Datum* da maré e para o controlo de qualidade de conjuntos de dados de longo período. Por exemplo, o nível médio do mar mensal é um parâmetro importante na compreensão de tendências do nível do mar de longo período e de variações sazonais nos níveis de água. Com a finalidade de cálculos de médias mensais, as médias mensais não devem ser calculadas se as lacunas nos dados forem superiores a três dias consecutivos.

Jan 28 2003 08:24 DADOS DE PREIA-MARES E BAIXA-MARES Outubro, 2002

National Ocean Service (NOAA)

Estação: 8454049

T.M.: 0 W

Nome: QUONSET POINT, RI

Unidades: Metros

Tipo: Mista

Datum: Datum da estação

Nota: > Higher-High/Lower-Low [] Maré Inferida Quality: Verificada

Preia-mar			Baixa-mar		Preia-mar			Baixa-mar	
Dia	Tempo	Altura	Tempo	Altura	Dia	Tempo	Altura	Tempo	Altura
1	7.5	8.037	2.4	7.326	16	<9.7	[8.292]	2.6	7.394
	<20.2	8.071				<21.3	8.782		
2	8.8	8.000	2.6	7.173	17	10.6	8.345	<6.0	7.470
	<21.4	8.176				<14.3	7.066		
3	9.5	8.233	3.2	7.157	18	10.7	8.257	4.0	7.248
	<22.3	8.314				<15.6	7.049		
4	10.5	8.525	4.1	7.163	19	<11.8	8.296	<4.3	7.140
	<23.1	8.599				<16.3	7.057		
5	<11.5	8.632	4.4	7.109	20	12.4	8.209	<5.0	7.066
	23.8	8.466							
6	12.2	8.477	<5.8	6.670	21	0.4	[8.128]	5.8	7.036
			18.2	6.832		<12.8	8.297		
7	<0.5	8.582	<6.4	6.961	22	0.9	8.142	<6.5	6.999
	<13.3	8.819	19.2	6.969		<13.4	8.216		
8	1.3	8.457	6.9	6.888	23	1.4	[8.075]	<6.9	7.013
	<14.0	8.644				<20.1	6.877		
9	2.3	8.355	<7.9	6.852	24	2.1	7.934	7.3	6.969
	<14.9	8.631	20.9	6.986		<14.7	8.164		
10	3.4	8.316	<8.2	6.969	25	2.9	[7.993]	<8.0	7.047
	<15.8	8.497	21.2	7.086		<15.4	8.156		
11	4.3	8.240	<9.4	7.129	26	3.8	[8.061]	8.3	7.204
	<16.7	8.455	22.1	7.305		<16.2	8.607		
12	5.2	8.295	<10.3	7.380	27	4.6	7.974	<9.1	7.090
	<17.7	8.462				<17.1	8.216		
13	5.9	8.266	0.5	7.481	28	5.4	7.860	<10.5	7.064
	<18.7	8.344	11.8	7.461		<17.9	8.008		
14	6.8	8.077	<2.2	7.401	29	6.2	7.949	1.5	7.243
	<20.1	8.161	<12.7	7.190		<18.6	8.042		
15	8.3	8.156	2.0	7.349	30	7.3	[8.052]	<1.5	7.197
	20.9	8.273	<14.1	7.344		<20.0	[8.154]		
					31	8.3	8.215	2.1	7.239
						<20.7	8.290		

Preia-mar máxima: 8.819 13.3 Hrs Oct 7 2002

Baixa-mar mínima: 6.670 5.8 Hrs Oct 6 2002

Médias mensais:

MHHW

8.357

MHW

8.272

DHQ 0.085

MTL

7.707

GT 1.266

HWI 0.42 Hrs

DTL

7.724

MN 1.131

LWI 6.13 Hrs

MSL

7.668

MLW

7.141

DLQ 0.050

MLLW

7.091

Figura 5.15 “Exemplo da Disposição em Tabelas da Maré de um mês”

2.2.7. Determinação de *Data* de Maré

Um *Datum* vertical é chamado *Datum* de marés quando é definido para uma determinada fase da maré. Os *Data* de maré são *Data* locais e não devem ser estendidos a áreas que têm características hidrográficas diferentes sem medições que o fundamentem. De modo a serem recuperados sempre que necessário, tais *Data* estão referidos a pontos fixos conhecidos como marcas de nivelamento.

Procedimentos básicos:

- a) Execução de Observações – Os *Data* de maré são calculados a partir de observações contínuas do nível de água durante um período de tempo específico. As observações são efetuadas em locais específicos denominados de estações maregráficas. Cada estação maregráfica consiste num mareógrafo ou sensor(es) de nível de água, numa plataforma de recolha de dados de maré ou *data logger*, num sistema de transmissão de dados e num conjunto de marcas de nivelamento colocadas na proximidade da estação maregráfica. O *US National Ocean Service* (NOS) recolhe dados de níveis de água em intervalos de 6 minutos.
- b) Disposição da Maré em Tabelas – Assim que as observações de níveis de água passarem por processos de controlo de qualidade e quaisquer pequenas lacunas estiverem preenchidas, os dados são processados através da disposição em tabelas das preia-mares e baixa-mares e alturas horárias de cada dia. Os parâmetros de maré destas tabelas diárias da maré são depois reduzidos a valores médios, tipicamente na base de um mês para registos de longo período ou durante alguns dias ou semanas para registos mais curtos.
- c) Cálculo de *Data* de Maré – A redução inicial de *Data* de maré é determinada diretamente através dos valores médios dos parâmetros da maré durante um ciclo de 19 anos NTDE (*National Tidal Datum Epoch*). *Data* de maré NTDE equivalentes são calculados a partir de estações maregráficas que operam por períodos de tempo mais curtos através da comparação de dados simultâneos da estação de curta duração e a estação de longa duração.
- d) Determinação da Cota das Marcas de Nivelamento – Uma vez calculados os *Data* de maré através das tabelas, as cotas são transferidas para as marcas de nivelamento cravadas no chão durante a operação da estação através das diferenças de cota dadas através de nivelamento diferencial entre o “zero” do mareógrafo e as marcas de nivelamento. As cotas e descrições das marcas de nivelamento são divulgadas pela NOS através da publicação de uma folha de marcas de nivelamento para cada estação. As relações entre as elevações do *Datum* de marés e as elevações geodésicas são obtidas depois do nivelamento entre as marcas de nivelamento associadas ao mareógrafo e as marcas da rede geodésica. Tradicionalmente, isto tem sido efetuado utilizando nivelamento diferencial, contudo técnicas de levantamento GPS podem, também, ser usadas (NGS, 1997).

As localizações das estações maregráficas encontram-se organizadas numa hierarquia:

- a) Estações maregráficas de controlo são geralmente aquelas que têm estado em funcionamento ao longo de 19 anos ou mais, espera-se que continuem a funcionar no futuro e que são utilizadas para obter um registo contínuo de níveis de água num determinado local. Estações maregráficas de controlo estão localizadas de modo a fornecerem um controlo do *Datum* para aplicações nacionais e encontram-se localizadas em tantos locais quantos os necessários de modo a efetuar esse controlo.
- b) Estações de níveis de água secundárias são aquelas que estão em funcionamento há menos de 19 anos mas há mais de um ano e têm um tempo de vida finito. As estações secundárias fornecem o controlo em baías e estuários onde efeitos localizados da maré não são observados na estação de controlo mais próxima. As observações numa estação

secundária não são geralmente suficientes para uma determinação independente e precisa dos *Data* de maré, mas quando reduzidas por comparação com observações simultâneas de uma estação maregráfica de controlo adequada, podem ser obtidos resultados muito satisfatórios.

- c) Estações de níveis de água terciárias são aquelas que estão operacionais durante mais de um mês mas menos de um ano. Estações de medição de níveis de água de curto período (secundárias ou terciárias) podem ter os seus dados reduzidos aos *Data* de marés de 19 anos através da comparação matemática simultânea com estações de controlo próximas.

As estações maregráficas de controlo (ou primárias), estações secundárias ou estações terciárias encontram-se localizadas em locais estratégicos de modo a ter uma cobertura de rede. O critério de seleção do local inclui a cobertura espacial de variações significativas nas características da maré, tais como: alterações no tipo de maré, alterações na amplitude de maré, variações dos tempos da maré, variações do nível médio diário e alteração das tendências de longo período do nível médio do mar. Outros critérios incluem a cobertura de áreas de navegação críticas e zonas de transição, sítios históricos, proximidade à rede geodésica e a disponibilidade de estruturas existentes, tais como molhes adequados para a localização de equipamento científico.

Procedimentos para a Comparação Simultânea:

Conceptualmente, em estações de curto período, os seguintes passos devem ser executados de modo a calcular os *Data* de maré NTDE equivalentes, utilizando o método de comparação de observações simultâneas:

- a) Selecione o período de tempo a partir do qual a comparação simultânea será efetuada;
- b) Selecione a estação maregráfica de controlo apropriada para a estação secundária de interesse;
- c) Obtenha dados simultâneos das estações de controlo e secundária e obtenha ou registre em tabela as marés e determine médias mensais;
- d) Obtenha os valores aceites (relativamente ao NTDE nos EUA, por exemplo) dos *Data* de maré na estação de controlo;
- e) Determine as diferenças médias e/ou razões dos parâmetros da maré entre as estações de controlo e secundária durante o período de comparação simultânea;
- f) Aplique as diferenças médias e os quocientes calculados no passo e) aos valores aceites da estação de controlo de modo a obter valores NTDE equivalentes ou corrigidos para a estação secundária.

Determinação da Cota das Marcas de Nivelamento:

Assim que os *Data* de maré forem determinados a partir das tabelas, as cotas são transferidas às marcas de nivelamento cravadas no chão, através das diferenças de elevação obtidas por nivelamento diferencial entre o “zero” do sensor do marégrafo e as marcas de nivelamento, durante o período de operação da estação (*NOS Specifications and Deliverables*, 2000). As ligações entre as elevações do *Datum* de marés e as elevações geodésicas são obtidas depois do nivelamento entre as marcas de nivelamento associadas ao marégrafo e as marcas de nivelamento da rede geodésica. Tradicionalmente, isto tem sido efetuado através de nivelamento diferencial, contudo técnicas de levantamento GPS podem, também, ser utilizadas (NGS, 1997).

2.2.7.1. Recuperação do *Datum* de Maré

Sempre que são instaladas estações maregráficas em locais históricos, devem ser tomadas medidas de modo a “recuperar” os *Data* de maré estabelecidos através de nivelamentos. Isto pode ser conseguido através da ligação do “zero” do marégrafo ou da escala de marés a mais de uma marca de nivelamento, com a elevação de maré associada publicada. Através deste processo, a elevação publicada da BMIm é transferida através de diferenças de nível ao “novo” marégrafo ou escala de marés e comparada com a elevação da BMIm determinada a partir dos dados novos no mesmo “zero”. Os fatores que afetam a recuperação do *Datum* (i.e. diferenças entre os *Data* antigo e o recentemente determinado) incluem: o comprimento de cada série de dados utilizada para determinar os *Data*, a localização geográfica, as características da maré na região, a duração de tempo entre reocupações, as tendências de variação do nível do mar na região e a estação de controlo utilizada. Baseada em todos estes fatores, a recuperação do *Datum* pode variar entre +/- 0,03 m e +/- 0,08 m. Portanto, este processo também serve como um procedimento de controlo de qualidade muito útil. Depois de ter sido efetuada uma recuperação bem sucedida do *Datum* e a estabilidade da marca de nivelamento ter sido verificada, o valor histórico da Baixa-Mar Inferior média (BMIm) deve ser utilizado como o *Datum* de referência operacional para dados do marégrafo durante as operações do levantamento hidrográfico.

2.2.7.2. Controlo de Qualidade dos *Data*

É essencial para o controlo de qualidade do *Datum* de marés que existam procedimentos de nivelamento e de processamento de dados levados a cabo até à sua extensão máxima. Deve-se ter também algum cuidado na determinação de *Data* de maré em sistemas fluviais ou em regiões de regimes de maré desconhecidos. Comparações da maré a partir de dados de estações secundárias e de controlo detectam frequentemente diferenças anómalas que devem ser averiguadas de modo a se detectar possíveis funcionamentos anómalos dos marégrafos ou movimentos do sensor. Os *Data* devem ser estabelecidos a partir de mais de uma marca de nivelamento. As diferenças de cota entre as marcas de nivelamento baseadas no novo nivelamento devem concordar com as diferenças anteriormente estabelecidas nas folhas de marcas de nivelamento publicadas. Quaisquer variações nas diferenças de elevação têm de ser reconhecidas antes de serem utilizadas em qualquer procedimento de recuperação do *Datum*. A exatidão do *Datum* numa estação secundária depende de vários fatores, mas a disponibilidade e escolha de uma estação de controlo adequada de características de maré semelhantes, nível médio diário e variações sazonais do nível médio do mar semelhantes e tendências do nível médio do mar semelhantes, são as mais importantes. O tamanho da série também influencia a exatidão. Quanto maior a série, maior a exatidão do *Datum* e maior o controlo de qualidade e o grau de confiança ganho a partir da análise de numerosas diferenças médias mensais entre a estação secundária e a de controlo. Em estações históricas reocupadas para as quais a recuperação do *Datum* foi efetuada, os *Data* atualizados devem ser determinados a partir das novas séries temporais e comparados com os *Data* históricos à medida que o levantamento progride.

2.2.7.3. Relações com *Data* Geodésicos

Os *Data* de maré são *Data* verticais locais que podem variar consideravelmente dentro de uma área geográfica. Um *Datum* geodésico é um plano fixo de referência para o controlo vertical das elevações da terra. O *Datum* Vertical Norte-americano de 1998 (NAVD88) é o *Datum* geodésico de referência do U.S. *National Geodetic Spatial Reference System* e é oficialmente mantido pelo *National Geodetic Survey* (NGS) através de uma rede de estações de referência GPS em operação de forma contínua. A relação entre os *Data* de maré e o NAVD tem bastantes aplicações hidrográficas, de mapeamento costeiro e de engenharia, incluindo a monitorização da variação do nível do mar e a utilização de sistemas de informação e de visualização de cartas eletrónicas por GPS, etc. Em alguns países, o *Datum* local do Nível Médio do Mar (NMM) tem sido confundido ao longo do tempo com o *Datum* de referência geodésico nacional dado que os *Data* geodésicos foram originalmente deduzidos a partir de medições do NMM nos marégrafos. Contudo, como o nível do mar relativo tem vindo a modificar-se devido aos movimentos verticais da crosta e ao aumento global do nível do mar, os *Data* geodésicos começaram a distanciar-se do NMM

oceanográfico local. O NAVD88, por exemplo, utilizou apenas uma estação maregráfica como referência inicial e não é considerado um *Datum* correlacionado do NMM.

Devem ser detectadas e recuperadas marcas geodésicas existentes na vizinhança duma estação maregráfica secundária. Uma rotina de busca encontra-se disponível em <http://www.ngs.noaa.gov>. É necessário efetuar uma ligação entre as alturas ortométricas e as alturas elipsoidais numa estação maregráfica secundária que tem marcas de nivelamento geodésicas nas proximidades. Elevações NAVD 88 publicadas para marcas de nivelamento são dadas em unidades de altura ortométrica Helmert pelo NGS. As exatidões das alturas elipsoidais das redes GPS são classificadas de acordo com as exatidões padrão de 2 cm ou 5 cm (ver *NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58*). Atualmente, as alturas elipsoidais, de acordo com os padrões de exatidão de 2 cm, são necessárias para contratos de projetos de levantamentos hidrográficos. Ver a Secção 4.2.8 Observações GPS e o *User's Guide for GPS Observations*, NOAA/NOS, atualizado em Janeiro de 2003.

Uma ligação de nível ortométrica é preferível relativamente a uma ligação GPS elipsoidal, sempre que aplicável, de modo a deduzir as alturas NAVD 88. Uma ligação de nível ortométrica é necessária se algumas marcas geodésicas (até às cinco marcas) se encontram dentro de um raio de 0,8 km a partir do local da estação maregráfica secundária. Se as marcas consideradas adequadas forem encontradas na base de dados do NGS, e estão mais afastadas que 0,8 km mas menos do que 10 km de uma estação maregráfica secundária, então é necessária uma ligação GPS de forma a deduzir as alturas elipsoidais. Se não forem encontradas um mínimo de cinco marcas de nivelamento num raio de 1 km do local duma estação maregráfica secundária, ou não forem encontradas marcas geodésicas adequadas na base de dados do NGS num raio de 10 km de uma estação secundária, então devem ser instaladas, descritas e ligadas em nível, cinco novas marcas de nivelamento e devem ser efetuadas observações GPS em pelo menos uma das cinco marcas. (Ver *User's Guide for Writing Bench Mark Descriptions*, NOAA/NOS, atualizado em Janeiro de 2002, *User's Guide for GPS Observations*, NOAA/NOS, atualizado em Janeiro de 2003 e a Secção 4.2.8 Observações GPS). Com a finalidade de efetuar controlo de qualidade, pelo menos duas marcas geodésicas devem ser usadas para validar o nivelamento ou a ligação das alturas elipsoidais.

2.2.8. Zonamento Final e Redutores da Maré

Os dados, referidos à BMIm, de estações secundárias instaladas especialmente para o levantamento, ou de estações de controlo primárias existentes, devem ser utilizados de forma a reduzir os dados da sondagem ao *Datum* cartográfico, diretamente ou indiretamente através de uma técnica de correção denominada de zonamento das marés. As séries de dados temporais, quer corrigidas quer diretas, referidas à BMIm ou a outro DBM aplicado a levantamentos hidrográficos de referência ao *Datum* cartográfico, são denominadas como “redutores da maré” ou “redutores de níveis de água”.

2.2.8.1. Construção de Esquemas Finais de Zonamento de Marés

Como as características da maré variam espacialmente, os dados dos marégrafos instalados podem não ser representativos dos níveis de água ao longo da área de sondagem. O zonamento de marés deve ser utilizado para facilitar o fornecimento de séries temporais de níveis de água relativamente ao *Datum* cartográfico para qualquer ponto dentro da área do levantamento, de tal modo que os requisitos de exatidão necessários sejam mantidos na componente de medição dos níveis de água do levantamento hidrográfico. A NOS utiliza atualmente o método de “zonamento de marés discreto”, onde as áreas do levantamento são divididas num esquema de células delimitadas com características comuns de maré. O requisito mínimo é uma nova célula para cada variação de 0,06 m na amplitude média da maré e uma progressão no tempo da maré de 0,3 horas (intervalos de preia-mar e baixa-mar de Greenwich). As correções em fase e amplitude para os dados das estações maregráficas devem ser aplicadas em cada uma das células.

O zonamento preliminar, que é baseado nos dados maregráficos históricos disponíveis e em modelos globais e estuarinos da maré, encontra-se referido a uma estação de referência com previsões para utilização durante os trabalhos de campo. Para o processamento final, o zonamento preliminar deve ser sucedido pelo “zonamento final”, que é um refinamento baseado em novos dados recolhidos em estações secundárias durante o levantamento. Para o esquema de zonamento final, os corretores para cada zona devem ser deduzidos de uma estação secundária especialmente instalada para o levantamento, em vez de uma estação de referência utilizada no zonamento preliminar. Os erros de zonamento devem ser minimizados de modo a que quando combinados com erros de medições de níveis de água no marégrafo e erros na redução ao *Datum* cartográfico, o erro total dos redutores de maré esteja compreendido dentro de tolerâncias especificadas. O esquema de zonamento final e todos os dados utilizados no seu desenvolvimento devem ser documentados e registados.

2.2.8.2. Ficheiros de Redução da Maré e Nota Final acerca de Marés

As séries temporais de dados validados recolhidos em estações secundárias são referidas ao NTDE Baixa-Mar Inferior média (*Datum* Cartográfico) através de procedimentos computacionais do *Datum*. As séries temporais de dados recolhidos em intervalos de seis minutos e reduzidos ao *Datum* cartográfico, tal como referido, provenientes de marégrafos subordinados em operação durante o levantamento, devem ser utilizados diretamente ou corrigidos através do uso de um esquema de zonamento, de modo que os redutores de maré estejam dentro de tolerâncias especificadas. Uma Nota Final Acerca da Maré deve ser registada em cada folha hidrográfica com a informação de qual o zonamento da maré final que deve ser aplicado e a que estações, para obter os redutores da maré finais. Um exemplo da Nota Final Acerca da Maré e do gráfico de zonamento da maré final encontram-se nas Figuras 5.16 e 5.17, respectivamente.

Data: Dezembro 22, 1999

SEVIÇO HIDROGRÁFICO: Pacífico

PROJECTO HIDROGRÁFICO: OPR-P342-RA-99

FOLHA HIDROGRÁFICA: H-10910

LOCAL: 6 NM Noroeste do Cabo Kasilof, AK

PERÍODO DE TEMPO: 22 Julho – 20 Agosto, 1999

ESTAÇÃO MAREGRÁFICA UTILIZADA: 945-5711 Cabo Kasilof, AK

Lat. 60° 20.2’N Lon. 151° 22.8’W

PLANO DE REFERÊNCIA (BAIXA-MAR INFERIOR MÉDIA): 0.000 metros

ALTURA DA PREIA-MAR ACIMA DO PLANO DE REFERÊNCIA: 5.850 metros

NOTAS: ZONAMENTO RECOMENDADO

Zona(s) utilizadas identificadas como: CK394, CK395, CK399, CK400, CK401, CK407, CK408, CK409, CK434, CK435, CK441, CK442, CK443, CK467, CK468, CK469, CK470, CK477, CK480, CK481, CK482, CK483, CK493 & CK494.

Ver anexos para informação acerca do zonamento.

Nota 1: A série temporal de dados fornecida encontra-se tabelada em unidades métricas (Metros), relativamente à BMIm e em Tempo Médio de Greenwich.

Nota 2: Nikiski, AK serviu como *Datum* de controlo para as estações secundárias e para o zonamento de marés neste levantamento hidrográfico. Os *Data* aceites para esta estação foram atualizados recentemente e verificou-se que mudaram de uma forma significativa relativamente aos valores anteriores.

A atual Época do *Datum* de Marés Nacional (NTDE) utilizada para calcular os *Data* de marés nas estações maregráficas é a 1960-78 NTDE. Tradicionalmente, NTDEs têm sido ajustados quando alterações significativas nas tendências do nível médio do mar (NMM) foram encontradas através da análise das estações da Rede Nacional de Observação de Níveis de Água (NWLON). As épocas são atualizadas de modo a assegurar que os *Data* de marés são os mais exatos e práticos para a navegação, sondagem e para aplicações na área da engenharia e que refletem as condições locais existentes do nível do mar. Por exemplo, a análise das tendências do nível do mar demonstra que é necessário um novo NTDE e esforços estão a ser efetuados no sentido de atualizar o 1960-78 NTDE para um período mais recente de 19 anos.

Nota: Este exemplo da Nota de Campo da Maré e Carta de Zonamento Final da Maré foi escrito em Dezembro de 1999; nessa altura o NTDE era de 1960-1978, agora o novo NTDE é de 1983-2001.

Figura 5.16 “NOTA FINAL ACERCA DA MARÉ e CARTA DE ZONAMENTO FINAL DA MARÉ”

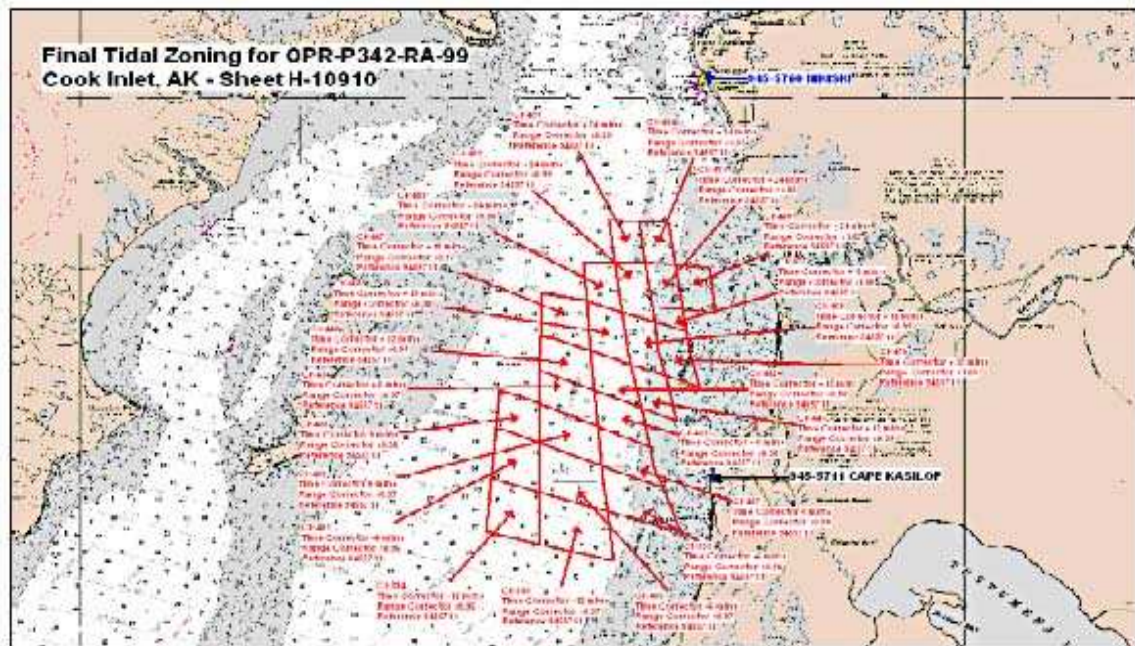


Figura 5.17

As medições finais de níveis de água observados devem ser registadas como alturas em metros com três casas decimais (i.e. 0,001 m). Todas as alturas devem estar referidas ao *Datum* da estação e a UTC. A série temporal final de dados redutores da maré deve ser referida à BMIm e a UTC.

Os dados brutos originais de níveis de água, assim como os corretores utilizados para converter os dados ao *Datum* cartográfico, devem ser guardados até nota escrita em contrário ou durante pelo menos dois anos depois do levantamento ter sido efetuado. Todos os algoritmos e conversões utilizados para obter os corretores devem ser convenientemente justificados pelas calibrações, manutenção da documentação, registos dos nivelamentos e práticas de engenharia/oceanográficas de sondagem. Os sensores de medições que convertem dados (i. e. pressão para alturas) devem ser calibrados e deve ser efetuada a sua avaliação de condição para o período completo de recolha de dados.

2.2.9. Utilização de GPS cinemático para o Controlo Vertical

A tecnologia baseada em GPS em modo cinemático para o controlo vertical dos levantamentos hidrográficos está a tornar-se uma prática cada vez mais comum depois de ter estado em fase de estudo durante vários anos. O GPS cinemático é uma forma de posicionamento diferencial de precisão centimétrica que utiliza principalmente observáveis da fase da portadora nas quais as correções diferenciais são formuladas em conjunto com um receptor GPS móvel (i.e. um navio ou uma lancha) e pelo menos uma estação fixa base.

O *GPS cinemático* requer uma estrutura de referência horizontal e vertical exata de modo a determinar uma posição exata em cada sondagem, relativamente ao NAD83 (por exemplo), e para determinar a profundidade exata de cada sondagem tal como a BMIm, BMmin ou outro *Datum* cartográfico local apropriado. É importante resolver o problema de determinar a separação entre um *Datum* vertical de *GPS cinemático* diferencial e o *Datum* cartográfico local para cada área do levantamento. Esta separação não é constante e pode ser bastante complexa. Geralmente não são muito bem conhecidos e podem ser necessárias medições adicionais para se compreender a complexidade da geodesia da área e as características da maré. Relações constantes podem ser adequadas em pequenas áreas da sondagem, interpolações simples noutras; ou podem ser necessários esquemas de zonamento contínuos e modelos de interpolação complexos. *Data* de

maré, batimetria e geodesia têm de ser colocados na mesma estrutura de referência vertical previamente às operações de sondagem.

A possibilidade de um bom controle no uso do *GPS cinemático* em sondagens tem de ser avaliada durante o planeamento e se necessário o controle do *Datum* geodésico e de marés tem de ser estabelecido antes da recolha operacional das sondagens para estabelecer a relação entre o *Datum* de marés e as superfícies de referência GPS ao longo da área do levantamento. A quantidade de trabalho de campo necessária é dependente da adequação do controle geodésico e da maré existente (NOS, 2000).

3. ESCOAMENTO DE NÍVEIS DE ÁGUA E CORRENTES DE MARÉ

3.1. Introdução

Deve-se esperar que o hidrógrafo tenha experiência de trabalho em condições oceanográficas e meteorológicas previstas e observadas, de modo a ser capaz de conduzir com sucesso levantamentos para a recolha de dados de campo e de modo a conduzir uma navegação segura com a eficiência necessária para as sondagens. Para além da subida e descida das marés, as correntes de maré são geralmente uma variável predominante que influencia as operações de campo. Frequentemente o hidrógrafo não é apenas necessário para efetuar sondagens para a produção de cartas náuticas, mas tem de ter conhecimento das características da maré e dos movimentos das correntes de maré e de ser capaz de descrevê-los para aplicações, tais como os roteiros da costa e produtos baseados em previsões de maré. Adicionalmente, é muitas vezes necessário que o hidrógrafo instale e recupere correntómetros e amarrações.

3.2. Princípios de Correntes de Maré

Uma corrente é o movimento horizontal da água. As correntes podem ser classificadas como sendo de maré ou não relacionadas com a maré. As correntes de maré são originadas pelas interações gravíticas entre o Sol, a Lua e a Terra e fazem parte do mesmo movimento dos oceanos que resulta na subida e descida da maré. As restantes correntes que não as de maré incluem as correntes permanentes dos sistemas de circulação geral dos oceanos assim como correntes temporárias originadas pela variabilidade meteorológica mais pronunciada.

Tal como os *Data* e alturas de maré, diversos países utilizam terminologia variada para descrever o mesmo fenómeno. O Reino Unido utiliza o termo fluxo de maré (em inglês *tidal streams*) em vez de corrente de maré (em inglês *tidal currents*) e o termo escoamento da maré (em inglês *tidal flow*) para descrever o escoamento real ou o escoamento total da corrente, que é uma combinação de componentes da maré e exteriores à maré.

As correntes residuais são por vezes referidas como a diferença entre as correntes totais observadas e as correntes de maré previstas ou a diferença entre *tidal streams* e *tidal flow*. Apesar das correntes de maré serem originadas pelas mesmas forças geradoras que a maré, as correntes de maré são muito mais variáveis e complexas de prever do que as alturas de maré. A subida e descida da maré é uma quantidade escalar (variam apenas as alturas) enquanto que as correntes de maré são uma quantidade vetorial (variam a intensidade e a direção associada). A intensidade e a direção das correntes num determinado local não variam apenas em tempo mas também com a profundidade. E as características da corrente num determinado local não podem ser estendidas muito longe, especialmente em áreas com batimetria complexa e pouco profunda e com configurações da linha de costa complexas. Os padrões das correntes em áreas complexas podem também apresentar vórtices e giros de vários tamanhos originados pela batimetria e pela configuração do canal em águas pouco profundas. Não é invulgar encontrar padrões de atrito da corrente nos quais existem variações significativas da direção e amplitude. Devido a esta variabilidade espacial, as previsões de marés obtidas a partir de medições correntométricas são

normalmente válidas somente para uma pequena área a uma dada profundidade, e não são necessariamente transferíveis no interior de uma região e ao longo da coluna de água.

Tipos de correntes que não as de maré incluem:

- Correntes de circulação oceânica;
- Giros, correntes de fronteira oeste e este, contra-corrente equatorial, etc.;
- Circulação termohalina;
- Correntes geradas pelo vento (Ekman até cerca dos 100M);
- Seichas;
- Caudais fluviais e correntes hidráulicas.

Em oceano aberto, as correntes de maré têm tendência a serem rotativas por natureza (Figura 5.18). Em teoria se a Terra estivesse completamente coberta por água, no instante em que a Lua ou o Sol está alinhado como o equador, as correntes de maré no equador mover-se-iam para trás e para a frente (este e oeste) de um modo invertido em resposta às marés. Com a latitude, as correntes mostrariam padrões elípticos que aumentariam com a latitude para um padrão circular nos pólos. O padrão a uma dada latitude variaria dependendo da declinação da Lua e do Sol. O efeito da força de *Coriolis* também acentua a natureza rotativa das correntes no oceano fazendo com que estas rodem no sentido dos ponteiros do relógio no hemisfério norte e no sentido contrário no hemisfério sul.



Figura 5.18

Nas áreas perto da costa, as correntes de maré tendem a ser mais alternadas na sua natureza respondendo à batimetria e topografia dos estuários e baías (Figura 5.19). As fases das correntes alternadas são descritas como tendo períodos de estofo, enchentes máximas e vazantes máximas. O estofo é o curto período de tempo entre a mudança da enchente para a vazante. Tipicamente, as correntes de enchente são aquelas que entram, que vêm em direção à costa ou para montante. As correntes de vazante são aquelas que saem, que se deslocam para o largo ou para jusante. Estas marés apresentam muitas das características da maré descritas no caso das alturas de maré. As enchentes e as vazantes apresentam as características das marés semi-diurnas, mistas ou diurnas, muito semelhantes às características correspondentes das alturas de maré numa dada área. As suas intensidades apresentam alterações como resposta à variação da declinação da Lua e do Sol e aos ciclos perigeu/apogeu e periélio/afélio (Figura 5.4). As correntes de maré, em regimes de marés mistas, apresentam desigualdades nas enchentes e vazantes de cada dia, tal como as alturas de maré.

A direção da corrente é por vezes denominada como o *set* e a velocidade denominada como *drift*. A direção da corrente, por convenção, é a direção para a qual a corrente flui (o oposto da convenção para os ventos). As velocidades são definidas em termos de nós (navegação) ou metros/segundo (científico) (1 nó=0,51444 m/s).

As correntes hidráulicas têm origem na diferença em altura nos níveis de água de duas bacias interligadas (*Hell's Gate New York, Cape Cod Canal* e o *Chesapeake and Delaware Canal*). As diferenças de altura nas marés são originadas pela diferença de fase na maré em cada extremidade de um estreito ou canal. Correntes hidráulicas não relacionadas com a maré ocorrem, por exemplo, nos canais dos Grandes Lagos e tipicamente numa direção única para jusante.



Figura 5.19

Em teoria, as correntes de maré deveriam ter relações consistentes entre os tempos e intensidades das enchentes e vazantes e os tempos e alturas das preia-mares e baixa-mares dado que estão relacionados e sujeitos às mesmas forças geradoras de maré. Contudo, a resposta das bacias e estuários às forças geradoras de maré e as relações resultantes entre as correntes de maré e as alturas de maré é complexa e varia com a localização. Nalguns locais, as correntes máximas ocorrem na meia maré e noutros, as correntes máximas ocorrem perto da preia-mar e da baixa-mar.

3.3. Medição de Correntes

Existem dois métodos distintos para medir correntes: métodos Lagrangeanos como flutuadores, corantes, e drogas de correntes e métodos Eulerianos como a utilização de correntómetros em pontos fixos. Ambos os tipos têm vantagens e desvantagens dependendo da aplicação. Os aparelhos Lagrangeanos necessitam do seguimento das concentrações ou das variações da posição dos drogas ao longo do tempo; estes são úteis para a modelação e previsão da trajetória para aplicação em derrames de materiais perigosos e óleos ou para estudos de padrões de circulação estuarinos. Os drogas sub-superficiais podem também ser lançados para acompanhar correntes do fundo. Os equipamentos Eulerianos fornecem uma boa informação acerca de séries temporais de correntes, em locais específicos e em profundidades utilizadas na previsão tradicional de correntes de maré, para a aplicação na navegação recreativa ou comercial e em operações de navios de pesca. Ambos os tipos de medições são úteis para uma compreensão completa dos regimes das correntes e para o desenvolvimento e calibração de modelos de circulação hidrodinâmicos. Os navios que executam levantamentos hidrográficos podem ter a necessidade de instalar uma grande variedade de equipamentos de medição de correntes dependendo da área do levantamento e da informação necessária.

Os primeiros sistemas de medição de correntes eram por natureza Lagrangeanos e utilizavam as posições do navio a derivar ou objetos flutuantes lançados dos navios. Para trabalhos perto da costa, estes foram substituídos por amarrações com correntômetros com configurações mecânicas e eletromecânicas variadas. Estes sistemas são instalados em configurações de amarrações submersas, com vários metros e ao longo da linha de amarração vertical, dependendo da profundidade do correntômetro de cima, instalado o mais próximo da superfície possível. Os correntômetros mecânicos usam combinações de pás, rotores e hélices para medir a velocidade e a direção. Os dados são geralmente gravados internamente, sendo a sua recolha efetuada aquando da recuperação dos equipamentos. O período de instalação dos equipamentos é geralmente muito curto (no máximo alguns meses). Os sistemas de correntômetros modernos utilizam perfiladores acústicos de correntes com efeito *doppler* (ADCP) para medir perfis de corrente na coluna de água ao longo do tempo a partir de um equipamento instalado no fundo. Os ADCPs podem também ser instalados horizontalmente de modo a medirem as correntes de um canal ao longo do tempo e em profundidades fixas e podem ser rebocados para medir as correntes com a profundidade através de transectos dos canais. Estes correntômetros podem também ser instalados virados para baixo em bóias de superfície e podem ser configurados de modo a fornecer dados em tempo real, utilizando tecnologia acústica moderna ou ligação direta por cabos, dependendo da instalação. Os ADCPs fornecem perfis de intensidade e direção da corrente através do fornecimento de informação de *bins* verticais fixos na coluna de água. A figura 5.20 apresenta algumas configurações típicas de instalações correntométricas.



Figura 5.20

Atualmente, novos sistemas de radar de alta-frequência estão a ser instalados para fornecerem mapas de correntes à superfície ao longo de áreas extensas que podem também ser úteis para conduzir operações de levantamentos hidrográficos. Estes sistemas costeiros utilizam uma antena transmissora e receptora para fornecer vetores de corrente para *bins* de áreas à superfície fixos em tempo quase real (ver figura 5.21).

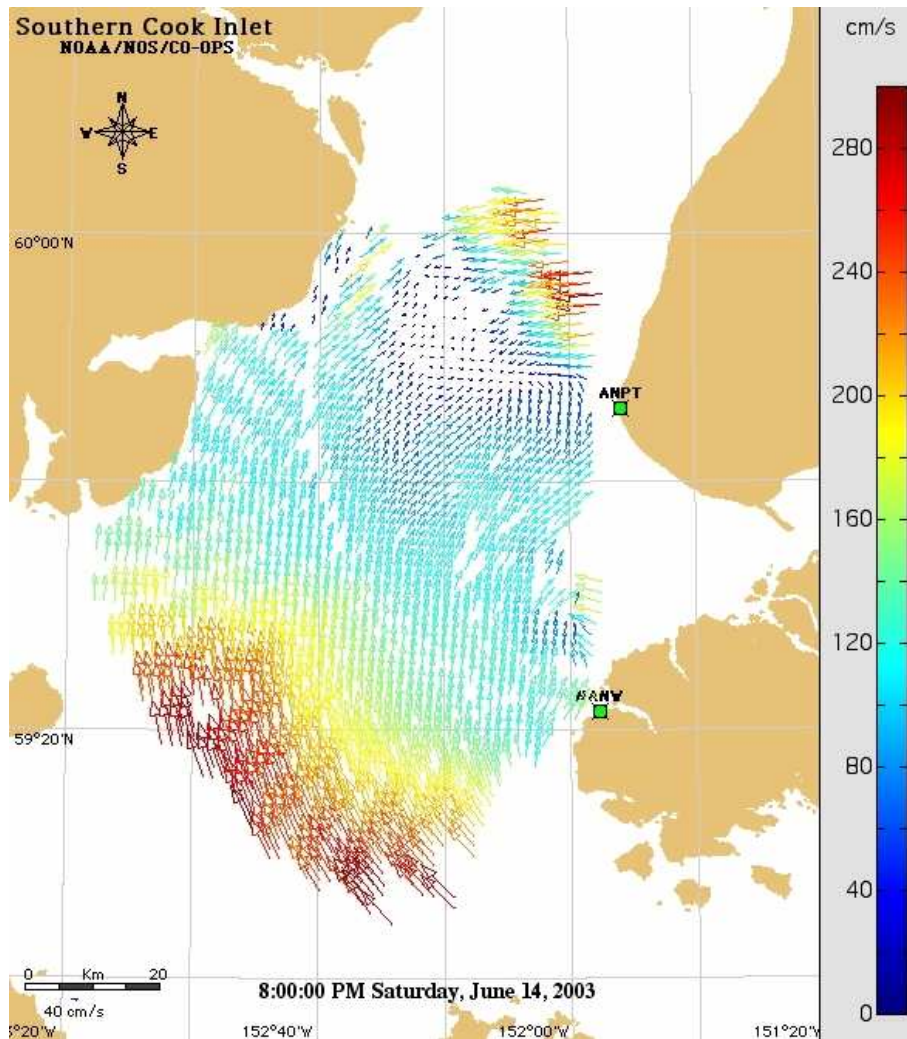


Figura 5.21

3.4. Previsão de Correntes de Maré

As correntes de maré, como as alturas de maré, podem ser previstas porque estas têm origem na interação do sistema Terra/Lua/Sol. Tal como as previsões de alturas de maré, as correntes de maré são previstas através da análise harmónica das medições obtidas, de preferência, a partir dos dados recolhidos durante 29 dias de modo a ter uma duração aproximada de um mês lunar. Podem ser utilizados para análise harmónica de correntes um mínimo de 15 dias de dados, visto que é historicamente e logisticamente complicado obter, de uma forma rotineira, mais do que essa duração numa instalação típica. Apesar da abordagem e teoria serem as mesmas na análise harmónica de marés e de correntes de maré, a análise de correntes de maré é mais complexa. Por exemplo, para correntes alternadas, dois conjuntos de constituintes são obtidos para os eixos maiores e menores, sendo o eixo maior a principal direção da corrente. Adicionalmente, a análise tem de tentar lidar com a presença de correntes permanentes que não as de maré que se encontrem na análise das observações.

Os navegantes estão geralmente interessados na duração e intensidade das quatro fases do ciclo das correntes de maré. As tabelas de previsões de maré da NOAA (E.U.A.) incluem previsões do estofa antes da enchente (SBF), da corrente máxima de enchente (MFC), do estofa antes da vazante (SBE) e da corrente máxima de vazante (MEC). Em áreas onde as correntes nunca estão no verdadeiro estofa (velocidade nula), os valores da corrente de enchente de estofa (SFC) e corrente de vazante de estofa (SEC) são também previstos. As estações de previsão de correntes

de maré também utilizam o mesmo conceito de estações de referência e estações secundárias que as tabelas de maré, de modo que as relações das velocidades são utilizadas para corrigir as previsões diárias da estação que se pretende em relação à estação de referência.

As previsões de correntes de maré têm limitações semelhantes às das previsões de alturas de maré. Deve-se ter muito cuidado aquando da extrapolação de uma previsão de maré ou corrente de maré para além do local da medição. Em especial no caso das correntes de maré devido à natureza da variação espacial da velocidade e direção em rios e estuários de águas pouco profundas, em consequência do forçamento exterior à maré devido ao escoamento do rio, velocidade e direção do vento e padrões de circulação naturais não devidos à maré. Tal como para as alturas de maré, as previsões de correntes de maré são muito menos úteis em áreas em que a relação sinal/ruído é reduzida (baixo forçamento da maré relativamente ao forçamento exterior à maré).

REFERÊNCIAS

Admiralty Manual of Hydrographic Surveying, Volume Two, The Hydrographer of the Navy, U.K., Chapter 2, Tides and Tidal Streams, 1969.

“Canadian Tidal Manual”, Warren D. Forrester, Ph. D. under contract to Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, 1983.

“Computational Techniques for Tidal for Tidal *Datums*”, NOAA Technical Report NOS CO-OPS 2, U.S. Department of Commerce, NOAA, NOS December 2003.

“Guidelines for Establishing GPS-Derived Ellipsoid Heights (Standards: 2CM and 5CM)”, Version 4.3, NOAA Technical Memorandum NOS NGS-58, November 1997.

“Manual of Tide Observations”, U.S. Department of Commerce, Publication 30-1, Reprinted 1965.

“NOS Hydrographic Survey Specifications and Deliverables”, NOAA, National Ocean Service, Office of Coast Survey, Silver Spring, Maryland, U.S.A., March 2003.

“NOS RTK Team Final Report”, NOAA/NOS Team Final Report, August 31, 2000.

“Standards and Specifications for Geodetic Control Networks”, U.S. Federal Geodetic Control Committee, September 1984.

“Tide and Current Glossary”, U.S. Department of Commerce, NOAA, NOS, October 1989.

“Tidal *Datum* Planes”, U.S. Department of Commerce, Special Publication No. 135, Marmer, 1951.

“Tidal *Datums* and Their Applications”, Special Publication No. CO-OPS 1, NOAA/NOS, June 2000.

“Understanding Tides”, Steacy Dopp Hicks, December 2004.

“Variability of Tidal *Datums* and Accuracy in Determining *Datums* from Short Series of Observations”, NOAA Technical Report NOS 64, Swanson, 1974.