

INTEGRAÇÃO DO GPS E DA ECOBATIMETRIA

Cláudia Pereira Krueger

Universidade Federal do Paraná
Departamento de Geomática
Setor de Ciências da Terra
Centro Politécnico, Jardim das Américas
C.P. 19011, CEP 81531-990, Curitiba -PR
Fone(041) 361-3155, Fax (041) 266-2393
e-mail: ckrueger@cce.ufpr.br.

RESUMO

No âmbito marinho, muitas têm sido as técnicas utilizadas para o posicionamento de uma embarcação. Inicialmente, o homem recorreu à navegação astronômica ou a métodos expeditos. Com o avanço das ciências e da tecnologia, novos equipamentos e métodos foram sendo desenvolvidos, possibilitando melhorar a precisão para esses posicionamentos. Desde 1985, o sistema de navegação por satélites *GPS (Global Positioning System)* vem sendo utilizado nessa área e se tornou muito atraente, em função das suas propriedades predominantes: disponibilidade contínua, fácil aplicação e independência em relação às condições meteorológicas. O presente trabalho mostra a utilização do GPS, a sua conexão com o sistema ecobatimétrico e os cuidados a serem adotados.

ABSTRACT

Through out the years several techniques have been used for navigation in marine environment. At the beginning of the history of navigation astronomy provided the means to measure latitude and azimuth. Later, with the development of clocks, longitude determination became feasible. The most recent and revolutionary development on navigation was made by NAVSTAR-GPS, making continuous positioning possible at any weather conditions, any time and anywhere on Earth. This paper shows applications of NAVSTAR-GPS in sensor navigation.

1. INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System - GPS*), usuários de diversas áreas têm a ele recorrido, principalmente em virtude da sua disponibilidade contínua, fácil aplicação e independência em relação às condições meteorológicas.

No âmbito marinho, muitas foram e têm sido as técnicas utilizadas para o posicionamento de uma embarcação. Inicialmente, o homem recorreu a métodos expeditos ou à navegação astronômica. Com o avanço das ciências e da tecnologia, novos equipamentos e métodos foram sendo desenvolvidos, possibilitando melhorar a precisão para estes posicionamentos.

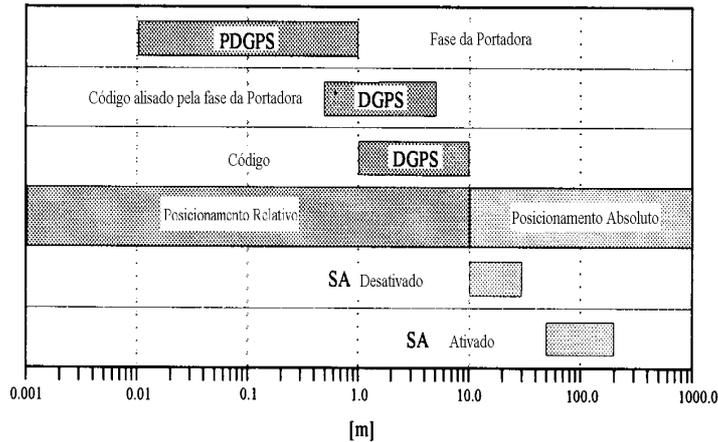
Na visão clássica, os métodos de posicionamento marinho são: a radionavegação, as técnicas de radionavegação por satélites, técnicas inerciais, técnicas acústicas e técnicas integradas. Desde 1994, destacam-se três métodos: o GPS, as técnicas acústicas conectadas ao GPS, e o GPS integrado com a técnica inercial ou sensores complementares (SEEBER et al.1994a).

Desde 1985, o GPS vem sendo utilizado no âmbito marinho. Inicialmente, a precisão alcançada no posicionamento cinemático absoluto para os receptores com o código P era de 10 a 15 m; porém, com a introdução dos efeitos *Selective Availability - SA - e Anti-Spoofing - AS -* (GPS NAVSTAR, 1995), a precisão passou a ser de 50 m a 100 m. Para a maioria das aplicações na geodésia marinha, essa precisão não é satisfatória. Visando melhorar a precisão, surgiu o GPS Diferencial (DGPS). Esse sistema consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções geradas na estação de referência. A precisão relativa alcançada está entre 10 m e 1 m, dependendo da observável utilizada. No caso de se utilizar a fase do código, obtém-se uma precisão relativa de 1 m a 10 m, e, com o código suavizado pela portadora, de 1 m a 3 m (SEEBER, 1993).

A nível internacional, no âmbito marinho, novos campos de aplicação para o GPS foram se descortinando, como por exemplo: mapeamento do fundo do mar; levantamentos hidrográficos precisos; acesso a portos; monitoramento de assoreamentos e de erosão em rios, lagos, áreas portuárias, áreas costeiras; controle de dragagens; apoio para a engenharia costeira; controle de atitude em embarcações, bóias e plataformas flutuantes; controle contínuo e preciso das alturas, posicionamento de sensores abaixo d'água e monitoramento do nível dos mares. Para essas aplicações, faz-se necessária uma precisão melhor que um metro. Ela, é alcançada com a utilização do DGPS Preciso (PDGPS). Esse sistema, apresenta o mesmo princípio que o DGPS, porém emprega as correções utilizando a fase da portadora. Ele, ainda apresenta problemas nas áreas a saber: transmissão dos dados, idade dos dados, distância entre estações e dificuldade na obtenção de solução das ambigüidades em tempo real. Visando solucionar tais problemas, estudos são realizados continuamente. Nesse nível, também se observa o grande interesse nas aplicações em tempo real (RTPDGPS) (WÜBBENA et al. 1995) e na integração com outros ramos, que necessitam de coordenadas precisas, como é o caso do GIS.

Na figura 01, observa-se a precisão que se pode alcançar em função da observável e da estratégia de exploração empregadas. Na medição dos códigos e dos códigos suavizados pela portadora utiliza-se o GPS Diferencial e, na medida da fase da portadora, o DGPS Preciso (PDGPS).

Figura 01 - PRECISÃO PARA O POSICIONAMENTO CINEMÁTICO COM O GPS
(Fonte: SEEBER *et al.*, 1993)



No Brasil, verifica-se a existência de muitos usuários do GPS, porém, poucos trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos nessa área. Algumas instituições públicas e privadas têm utilizado o sistema DGPS para posicionar a embarcação durante os levantamentos batimétricos, assim como para auxiliar na navegação. Dentre estas instituições pode-se citar a Diretoria de Hidrografia e Navegação -DHN - e a Companhia Vale do Rio Doce - CVRD. Em 1981, a DHN iniciou com a utilização dos satélites do sistema TRANSIT e no final da década de 80, passou a utilizar os satélites do sistema NAVSTAR-GPS. Atualmente vem empregando o GPS diferencial (DGPS) (FELIX, 1996). A PETROBRÁS também tem realizado alguns trabalhos com o DGPS e o RTDGPS.

A partir de um convênio estabelecido entre a DHN e a CVRD, alguns testes foram realizados para verificar a viabilidade da implantação de uma rede DGPS utilizando os radiofáróis marítimos (FELIX, 1996). Atualmente, encontra-se 10 estações DGPS implantadas fornecendo uma cobertura em águas jurisdicionais, com um alcance de 200 à 300 milhas e com a finalidade de apoiar: a navegação marítima, os levantamentos hidroceanográficos e a sinalização náutica e dragagem.

Alguns trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos pela UFPR no litoral paranaense e estão descritos em KRUEGER (1996, 1997, 1998). Sendo o Brasil um país de grande extensão territorial e marítima, é de extrema importância um melhor domínio sobre suas áreas e conformações. Dessa forma, com o auxílio dos sistemas DGPS e DGPS Preciso e com uma atuação multidisciplinar é possível obter-se uma visão sistemática sobre a problemática ambiental e informações para o monitoramento ambiental das áreas em estudo.

2. INTEGRAÇÃO DO GPS E DA ECOBATIMETRIA

No âmbito marinho e na hidrografia, a concepção inicial do GPS era a de um sistema de navegação. Posteriormente, novos campos de aplicação para esse sistema foram aparecendo e atualmente, há interesse nas aplicações em tempo real (p. ex. na orientação das dragagens) e na integração com outros ramos, que necessitam de coordenadas precisas (como p.ex. GIS); e sistemas (p.ex. ecobatimetria).

Analisando-se o GPS como um sistema integrado com a ecobatimetria faz-se necessário realizar algumas correções, as quais são de extrema importância para a obtenção dos resultados com precisão. Também é necessário o conhecimento do sistema tridimensional de coordenadas cartesianas da embarcação e do sistema de altitude. Esses sistemas e estas correções serão apresentados na seqüência.

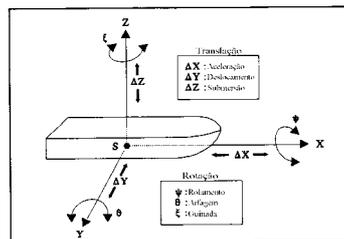
2.1. SISTEMA TRIDIMENSIONAL DE COORDENADAS CARTESIANAS DA EMBARCAÇÃO

O movimento de embarcação no espaço é descrito segundo um sistema local e tridimensional de coordenadas cartesianas. A origem desse sistema situa-se no centro de gravidade da embarcação, sendo seus eixos definidos da seguinte forma (figura 02):

- X: eixo ao longo da embarcação, sendo positivo no sentido de sua navegação;
- Y: eixo transversal à embarcação, sendo positivo no sentido de estibordo (à direita do sentido de navegação); e
- Z: eixo vertical, positivo para o alto da embarcação.

Existem seis graus de liberdade no movimento do barco, sendo três translações e três rotações. Na figura 02, tem-se uma visão desse sistema e dos componentes do movimento da embarcação. As translações poderão ser ignoradas se houver um sincronismo entre os sistemas GPS e ecobatímetro.

Figura 02 - OS MOVIMENTOS DA EMBARCAÇÃO
(Fonte: HEIMBERG, 1994)



Na prática, as rotações apresentam um significado especial, pois permitem analisar a situação de equilíbrio da embarcação. A orientação desses vetores de rotação pode ser obtida através de alguns equipamentos. Por exemplo: com um sensor de inclinação, com um sensor de elevação com mais de um medidor de aceleração ou com pelo menos três receptores GPS. Neste último caso, é necessário

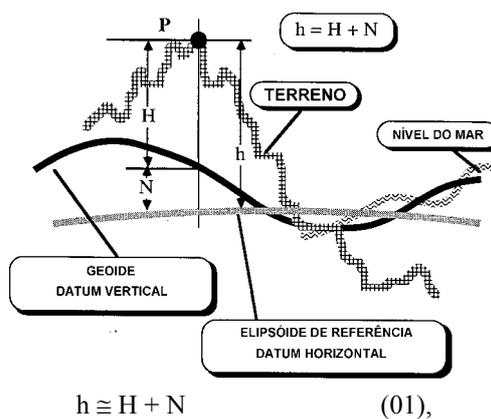
conhecer a distância entre as antenas e, então, resolver as ambigüidades da fase da portadora e obter as posições das antenas no WGS84. Com a análise da alteração nas coordenadas, obtém-se a inclinação da embarcação e o seu azimute.

2.2. SISTEMA DE ALTITUDE

Nas aplicações geodésicas, é importante a determinação da altitude de um ponto sobre a superfície terrestre. Essa grandeza pode ser determinada a partir de diferentes referenciais - geóide e elipsóide -, que estão representados na figura 03. O geóide, fisicamente definido mas não materializado, trata-se de uma superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre que mais se aproxima do nível médio dos mares (NMM), estendendo-se hipoteticamente sobre toda a superfície continental. Vinculado ao geóide está a altitude ortométrica (H). No Brasil, a origem do sistema se situa em Imbituba - SC (Brasil). Por sua vez, as altitudes elipsoidais (h) referem-se a um elipsóide, que é a figura geométrica mais aproximada de um geóide global. A separação vertical entre o geóide e um elipsóide de referência particular é denominada de ondulação do geóide (N). Os valores numéricos para essas ondulações dependem, evidentemente, do elipsóide utilizado. Para um elipsóide global ela pode alcançar até 100 m.

Da figura 03, constata-se que a diferença entre as altitudes ortométrica e elipsoidal, em um ponto (P), é dada pela equação (01).

Figura 03 - ALTITUDES ORTOMÉTRICA E GEOMÉTRICA
(Fonte: WELLS, 1992)



onde:

h : altitude elipsoidal ou geométrica;
H : altitude ortométrica; e
N : ondulação do geóide.

2.3. ORDENAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL

A determinação da posição com alta precisão só tem sentido quando se realiza a determinação correta da ordenação espacial e temporal.

Na ordenação espacial, em âmbito hidrográfico, há o problema da integração do GPS com o outro sistema, como por exemplo, a ecobatimetria. A transferência das coordenadas da antena GPS para outro sistema necessita da orientação da plataforma (posição e atitude) e de informações sobre o Rolamento (*Roll*), a Arfagem (*Pitch*), e a Guinada (*Yaw*), que são obtidos através do auxílio de sensores externos ou de antenas GPS e/ou do sistema compasso.

A ordenação temporal é um problema que permanece. Consiste na ordenação dos dados de posicionamento com os dados de outro sensor, tendo, como tempo base, outro que não o tempo GPS. Nessa ordenação, espera-se uma precisão melhor que 1 microssegundo.

Dar-se-á ênfase, na seqüência, ao problema de sincronismo de tempo entre os sistemas GPS e a ecobatimetria, bem como ao posicionamento da antena GPS em relação ao ecobatímetro. Para uma precisão decimétrica verificar-se-á que o tempo de sincronismo deve ser inferior a 0,1 segundo.

2.3.1. SINCRONISMO ENTRE O GPS E O ECOBATÍMETRO

O movimento dinâmico da embarcação depende do meio ambiente marítimo e do seu tamanho. Segundo HOPKINS (1981), as águas oceânicas são caracterizadas por ondas de altura de 2 metros e com períodos de 5 a 10 segundos, correspondendo a uma velocidade de aproximadamente 1 m/s. Portanto, para uma precisão decimétrica, o tempo de sincronismo deve ser de 0,1 segundo. É possível ordenar as coordenadas DGPS ao centro do ecobatímetro, porém há problema com relação à sincronização dos tempos entre os sistemas. São dois problemas distintos:

- tempo de retardo: todos os sensores apresentam um retardo interno devido ao tempo de cálculo e às conexões com a interface, apresentando dados mais antigos do que os da atual observação;
- os relógios dos sistemas de posicionamento (GPS) e do ecobatímetro não são sincronizados; logo, as observações em ambos sistemas não coincidem.

O primeiro problema pode ser resolvido mediante uma calibração efetuada antes do levantamento. Para o segundo problema, segundo LEMMENS (1989) ou WIRTH (1995), apresentam três alternativas:

- receptor GPS ou um relógio central, que serve como estação de referência, envia impulsos elétricos e o sensor de bordo (*triggers*) capta-os e os decodifica provocando a medida simultânea;
- valor medido no sistema de posicionamento é interpolado para um instante de tempo medido no sistema de levantamento da profundidade, no qual é determinado, em um certo intervalo de tempo, um novo arquivo de hora;
- uma correlação periódica das escalas de tempo entre os sistemas; ou seja, sempre que for lido um valor de profundidade, deve-se procurar escolher o

lugar de interseção do sensor de posicionamento. Se, por acaso, existir tal valor medido, então ordena-se o valor da profundidade. Contudo, não resulta um sincronismo direto.

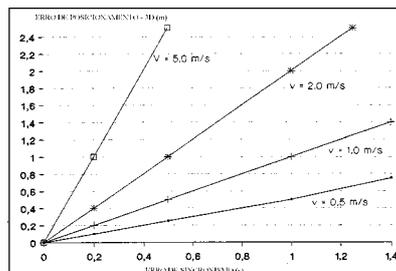
Segundo WIRTH (1995) a terceira alternativa é a mais empregada, apesar de não apresentar uma solução satisfatória. É a variante que o Instituto Federal para o Conhecimento das Águas (BfG) tem buscado. A primeira alternativa também não é satisfatória porque nem todos os sensores efetuam as medidas numa mesma frequência; logo, nem todos os valores medidos estarão disponíveis.

Após uma proposta feita por WÜBBENA and BAGGE (1995), pode a primeira alternativa realizar-se, os dados do levantamento ecobatimétrico são recebidos e armazenados na ordenação temporal através da leitura do relógio central computador. A precisão depende do sincronismo desse relógio com o tempo GPS.

A alta precisão é exigida não só na determinação do posicionamento, mas também no espaço temporal desses dados de posicionamento. Na figura 04, observa-se o erro de posicionamento causado pela falta de sincronização entre os sistemas, em função da velocidade da embarcação.

Como a precisão desejada está intimamente ligada ao sincronismo dos sistemas, tal fator tem sido estudado e pesquisado por algumas instituições. É o caso do BfG, que desenvolveu o programa HYMAS, o qual trabalha com uma precisão de sincronismo de 0,03 segundos.

Figura 04 - ERRO DE POSICIONAMENTO DEVIDO A FALTA DE SINCRONIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS
(Fonte: WIRTH,1993)

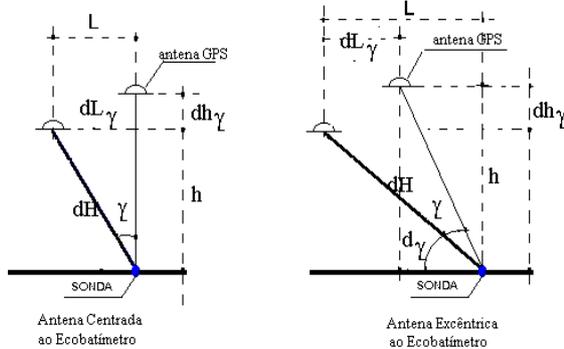


2.3.2. A INFLUÊNCIA DOS ÂNGULOS DA INCLINAÇÃO DA EMBARCAÇÃO E DA INCLINAÇÃO DE TERRENO NO POSICIONAMENTO

Em um levantamento GPS/ecobatimétrico, é importantíssimo determinar, a bordo da embarcação, a posição exata da antena do receptor GPS em relação ao ecobatímetro. Tal determinação pode ser feita antes de se iniciar o levantamento ou pode ser conhecida "a priori", se esses equipamentos estão instalados de forma definitiva.

É possível se estabelecer uma relação matemática entre a antena e o ecobatímetro. Contudo, é preciso determinar ambos no sistema de coordenadas da embarcação. A antena do receptor GPS pode estar disposta de forma centrada ou excêntrica em relação ao ecobatímetro. Na figura 05, tem-se uma visão da presente questão.

Figura 05 - POSICIONAMENTO DA ANTENA GPS EM RELAÇÃO À SONDA E O EFEITO DO ÂNGULO γ NA PRECISÃO DA POSIÇÃO



O modelo matemático (equações 02 e 03) é obtido a partir da figura 05 e fornece os erros no posicionamento da antena GPS em relação ao ecobatímetro devido ao ângulo de inclinação da embarcação. Se a antena estiver posicionada sobre o ecobatímetro, tal modelo fica simplificado. Os ângulos de inclinação da embarcação (γ) e do terreno (α) também ocasionam um erro que exerce influência sobre a precisão da medida de profundidade:

$$dh\gamma = |h - (L^2 + h^2)^{1/2} \cdot \text{sen}(d\gamma \pm \gamma)| \quad (02),$$

$$dL\gamma = |L - (L^2 + h^2)^{1/2} \cdot \text{cos}(d\gamma \pm \gamma)| \quad (03),$$

sendo:

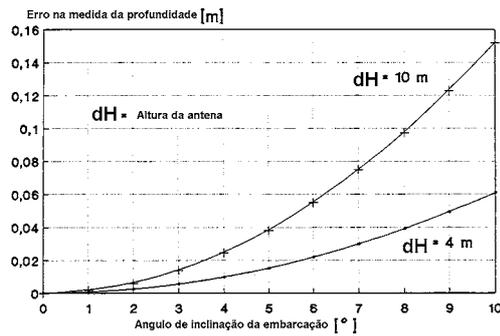
h : diferença de altura entre a antena GPS e a sonda do ecobatímetro;

L : distância horizontal entre a antena GPS e a sonda; e

dγ: ângulo formado entre a antena GPS e um plano horizontal.

Na figura 06 observa-se o erro na determinação da profundidade em função do ângulo de inclinação da embarcação (WIRTH, 1993).

Figura 06 - ERRO NA DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE EM FUNÇÃO DO γ
(Fonte: WIRTH, 1993)



2.3.3. ORDENAÇÃO DAS PROFUNDIDADES (*BESCHICKUNG*)

Em hidrografia, *Beschickung* significa o transporte dos dados de um marégrafo para pontos no local da sondagem.

Com essa definição, compreende-se a ordenação dos valores de profundidade em relação a um sistema de referência de altura.

Essa ordenação, ou seja, o transporte das alturas para um sistema de referência, pode ser feita por métodos direto ou indireto. O método direto consiste de um sistema de apoio terrestre; um nivelamento. Atualmente, pode-se citar o sistema de nivelamento a laser, o qual consiste na instalação de uma estação estacionária de rotação laser numa costa, gerando um nivelamento contínuo, que proporciona dessa forma, o *Beschickung* para cada viagem no sistema de levantamento. Segundo BEHRENS (1993), a precisão alcançada para a ordenação das profundidades, nesse caso, é de 8 a 10 cm/1000 m, sem levar em consideração a refração local existente, que, é claro, limita a precisão.

O método indireto, por sua vez, baseia-se nesse transporte, contando com o apoio dos dados do nível d'água. Segundo ROSENGARTEN (1987), devem-se considerar os seguintes fatores:

- a quantidade e a posição das réguas linimétricas existentes na região;
- a condição hidrodinâmico-morfológica da região a ser levantada;
- influência meteorológica; e
- método de ordenação das profundidades utilizado.

A precisão da ordenação das profundidades (ROSENGARTEN, 1987), nesse caso, está em torno de ± 20 cm.

Buscando uma melhor precisão na determinação do *Beschickung*, foram desenvolvidos novos sistemas. KÖVES, segundo (1995), emprega um polinômio de segundo grau para aproximação da superfície da água em uma seção vertical ao

longo da ligação entre réguas linimétricas. A precisão de ± 10 cm fica limitada à existência de uma rede de réguas linimétricas, com uma régua a cada 2 km² (ROSENGARTEN, 1987). Verifica-se que os sistemas apresentam deficiências, pois dependem não apenas da carta calculada para o nível d'água, como do cálculo da curva média de maré. O sistema empregado após KÖVES foi representativo e confiável para os dados de nível d'água, mas para um local muito limitado.

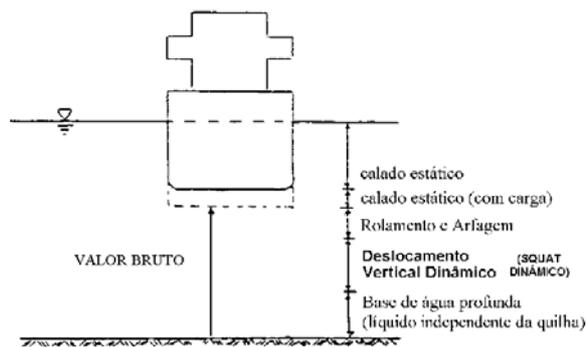
Visando a necessidade de uma determinação imediata da ordenação das profundidades com precisão e de forma econômica, foi desenvolvido na Alemanha um projeto (ROSENGARTEN, 1987) que conduz a um novo princípio: o modelo digital da superfície da água. Tal modelo dinâmico (DYWOM) partiu da concepção inicial do modelo digital de terreno.

Atualmente, utiliza-se o sistema GPS para a determinação do *Beschickung*, que não fica determinado apenas com o posicionamento da antena com alta precisão. É necessária a observação do sincronismo entre os sistemas, a transformação das coordenadas GPS para a posição do ecobatímetro, considerando a influência do ângulo de inclinação da embarcação e a transformação do sistema WGS84 para o sistema de referência. O *Institut für Erdmessung* tem realizado projetos no âmbito marinho, nos quais a ordenação das profundidades tem sido analisada. Num projeto (*Norderney*) obteve-se uma precisão pelo menos igual à obtida pelo sistema tradicional. Com a utilização do GPS para essa aplicação, existe a vantagem da independência na determinação do *Beschickung* com relação a uma carta calculada para o nível d'água, e há limitações com relação à precisão atualmente obtida para o tempo de sincronismo entre os sistemas GPS e ecobatímetro. Porém, como a questão está em estudos, provavelmente haverá uma significativa melhoria nesse sincronismo.

2.3.4. DESLOCAMENTO VERTICAL (*SQUAT*)

Deslocamento Vertical (*Squat*) é o fenômeno definido como a modificação vertical do barco com respeito à superfície atual da água, ou seja, é o afundamento e a desestabilização que o barco apresenta durante a navegação. É fácil de se constatar tal movimento, pois a embarcação, durante a navegação, impele parte das águas deslocadas para a sua proa. A onda de proa corre lateralmente e sob a quilha do barco com uma velocidade maior do que a do barco. Há uma redução da pressão ao redor do barco, provocando um afundamento do espelho d'água. O corpo do barco submerge para mais fundo, e ocorre desestabilização. Pode-se observar o deslocamento vertical (*squat*) na figura 07.

Figura 07 - DESLOCAMENTO VERTICAL (SQUAT)
(Fonte: ANDREE, 1995)



Este fenômeno sucede independentemente da profundidade das águas navegáveis. Todo barco robusto ou com considerável quantidade de carga apresenta um *squat* dominante na proa, enquanto que o barco mais delgado, na popa.

Classifica-se o deslocamento vertical em estático e em dinâmico, segundo LEMMENS (1993). O estático é determinado pela leitura da superfície atual da água com respeito a uma linha especificada no barco, popularmente denominado de calado da embarcação. Em muitos casos, esse valor é conhecido para um barco, em função do seu peso. Porém, é um método deficiente. O calado estático está também sujeito as cargas presentes na embarcação (p.ex. combustível, o número de pessoas principalmente em embarcações de pequeno porte). O deslocamento vertical dinâmico depende da profundidade submersa do barco na água, de sua forma e velocidade. Com alta velocidade, o deslocamento vertical aumenta em vários centímetros.

Esse fenômeno pode ser determinado por um modelo simples, no qual a velocidade é um dos parâmetros. Com esse modelo, a precisão obtida não é superior a 5 cm, segundo LEMMENS (1993).

O deslocamento vertical (*Squat*) é importante quando se realiza a batimetria pelo sistema convencional e quando se deseja determinar a *Normal-Null*, por exemplo. Quando utilizo o sistema GPS ele não é importante para a determinação da profundidade.

Em uma pesquisa efetuada em águas dinamarquesas, numa embarcação com as características de 225 m de comprimento, 32 m de largura, 12,8 m de profundidade submersa na água e 14 nós de velocidade, foi detectada uma modificação média na profundidade de 1,54 m e, no âmbito da proa, de 1,89 m. Como consequência de uma modificação no curso de 2° a 4° para um barco com 32m de largura, houve uma modificação de 0,56 a 1,10 m na profundidade. Com esses exemplos, fica claro que

o deslocamento vertical é um fenômeno importante quando se deseja obter precisão na determinação da profundidade.

2.3.5. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DO SOM NA ÁGUA

O ecobatímetro baseia-se na medição do tempo gasto por um sinal sonoro para ir do transmissor ao fundo do mar e desse retornar ao receptor. No levantamento das profundidades são utilizadas as ondas ultrasônicas com frequências entre 12.000 e 200.000 Hz. Possuem a vantagem de serem geradas por pequenos transmissores e a desvantagem de serem absorvidas pela água, sendo necessário utilizar um receptor sensível.

A velocidade de propagação do som na água é função da temperatura, da salinidade e da pressão da água. Essa velocidade pode ser obtida por medições diretas (p.ex.: velocímetro), pelo cálculo a partir das medições desses parâmetros ou deduzida por métodos indiretos (p.ex.: comparação com a barra de calibragem).

Os ecobatímetros atuais permitem a introdução e o ajustamento da velocidade durante o levantamento, evitando a introdução de um erro sistemático, na obtenção da profundidade.

Geralmente, encontra-se junto as especificações técnicas do ecobatímetro os valores tabelados das velocidades de propagação do som na água em função destes parâmetros da água (temperatura, salinidade e pressão).

3. CONCLUSÃO

Quando se utiliza o sistema GPS para o posicionamento tridimensional da embarcação, a ordenação das profundidades (*Beschickung*) e o deslocamento vertical (*Squat*) não são fatores problemáticos, pois o sistema GPS funciona como um sistema independente. Nesse caso se faz necessário o perfeito conhecimento da posição da antena na embarcação e o ângulo de inclinação da embarcação.

Ao se utilizar o sistema GPS apenas para o posicionamento bidimensional da embarcação e o sistema ecobatimétrico para determinar as profundidades, faz-se necessário observar a ordenação das profundidades e o deslocamento vertical da embarcação.

O tempo de sincronismo entre os sensores é um dos fatores mais preocupantes nos levantamentos hidrográficos. Ele, está diretamente ligado a velocidade da embarcação. Para uma precisão decimétrica, o tempo de sincronismo (GPS/Ecobatímetro) deve ser inferior a 0,1 segundos. Quando da utilização de vários sensores, é ideal trabalhar-se com um tempo de referência.

Verifica-se que a utilização do GPS na determinação direta da ordenação das profundidades (*Beschickung*) tem sido de grande valia e tem alcançado uma precisão igual ou melhor a 10 cm. Dessa forma, ele passa a ser um sério competidor com os demais métodos anteriormente descritos.

É interessante e viável procurar eliminar-se todas as fontes de erros a fim de se alcançar no mínimo a precisão estabelecida pela OHI (1989).

A possibilidade de se alcançar alta precisão no âmbito marinho é atraente, por exemplo, na obtenção de pontos de controle no relevo marinho, na geodinâmica, na observação das marés, monitoramento de plataformas, bóias e no monitoramento de assoreamentos e da erosão.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMMERSDÖRFER, R. Optimierung der Beschickung durch Wasser-oberflächenmodellierung-Konzeption und erste Arbeiten. **Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, p.92 à 102, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.
- ANDREE, P. DGPS – Anwendungen in der Hydrographie – peilung. Tiefgang-und Radarleitlinienüberprüfung. **DGPS – Anwendungen – DGPS zum Anfassen, DVW - Praxisseminar**, p.01 à 22, 19-20. September 1995, Hamburg.
- BEHRENS,G.;WEBER,R. Der Internationale GPS Dienst für Geodynamik (IGS). **GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar**, p92 à 106, 05-07. Oktober 1995, Geodätischen Institut, Universidade de Karlsruhe.
- FELIX, L.A. Algumas considerações sobre levantamento hidrográfico em grande escala. **Seminário apresentado no curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas**, 1996, Universidade Federal do Paraná.
- GLOBAL POSITIONING SYSTEM - STANDARD POSITIONING SERVICE – SIGNAL SPECIFICATION. **GPS NAVSTAR**, 2nd Edition, June 2, 1995.
- HEIMBERG, F. **Untersuchungen zum operationellen Einsatz des Differential GPS**. Doktor dissertation, Nr.202, 1994, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, Hannover.
- INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION**. Special publication, No. 44 , Fourth Edition, 1996,. Monaco.
- KRUEGER, C.P. **Investigações sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho**. Tese apresentada ao CPGCG, UFPR, Curitiba, Paraná, Dez. 1996, 267p.
- KRUEGER, C.P.; SEEGER, G.; SOARES, C.R.; et al. **Aplicações do DGPS Preciso em Tempo Real no Âmbito Marinho**. Sociedade Brasileira de Cartografia & Assembléia Científica da Associação Internacional de Geodésia, Rio de Janeiro, 1997.
- KRUEGER, C.P.; SOARES, C.R.; PRADO, A. **Monitoramento do Recuo e da Progradação da Linha de Costa Utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS)**. 3º COBRAC 98, Florianópolis, Outubro, 1998.
- LEMMENS, R.L.G. **Dynamic GPS height determination in the decimeter level for bathymetric applications**. Faculty of Geodetic Engineering, July, 1993, Delft University of Technology.
- ROSENGARTEN, H. **Ein geometrisches Modell der Wasseroberfläche zur Beschickung von Küstenvermessungen**. Wissenschaftliche Arbeiten der

- Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 150, 1987, Hannover.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin - New York, 1993.
- SEEBER, G.; SCHMITZ, M.; GOLDAN, H.-J. Precise GPS-Based Positioning at Sea. **Proceedings INSMAP 94**, p. 11 à 24, 19.-23. September 1994, University of Hannover, Hannover, Germany.
- WELLS, D.E., KLEUSBERG, A. Feasibility of a Kinematic Differential Global Positioning System. **Technical Report DRP-92**, 1. March 1992, Department of the Army.
- WIRTH, H., BRÜGGEMANN, T. Untersuchung der erreichbaren Ortungsgenauigkeit mit dem verfahren Differential-GPs (DGPS) - Teil II. **Abschlußbericht BfG-0777**, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Oktober 1993, Koblenz.
- WIRTH, H. Gewässervermessung im Bienenbereich der BWaStr mit DGPS-Ortung. **Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, p.46 à 56, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.
- WIRTH, H., BRÜGGEMANN, T. Peilsystem HYMAS mit satellitengestützter Ortung auf dem MB "Hamster". **Abschlußbericht zum Pilotprojekt.Bf-0943**, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Dezember, 1995, Koblenz.
- WÜBBENA, G., BAGGE, A. GPS-bezogene Ortungssysteme. Beitrag zum 37. DVW-Seminar **Hydrographische Vermessung - Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar**, 28.-29. März 1995, Universität Hannover.
- WÜBBENA, G., BAGGE, A. Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen. **Beitrag zum DVW-Praxisseminar DGPS-Anwendungen**, 19.-20. Sept. 1995, Hamburg, p.01 à 16.

(Recebido em 15/06/99. Aceito para publicação em 13/08/99.)