

APLICAÇÕES DO DGPS PRECISO EM TEMPO REAL NO ÂMBITO MARINHO

Claúdia P. Krueger, Milton A. Campos
Universidade Federal do Paraná
Departamento de Geociências, Setor de Tecnologia
Centro Politécnico, Jardim das Américas, C.P. 19011, CEP 81531-990,
Curitiba-PR - Fone(0XX41) 366-2323 Ramal 3257, Fax (0XX41) 266-2393
e-mail: ckruieger@cce.ufpr.br

Carlos R. Soares
Universidade Federal do Paraná
Centro de Estudos do Mar (CEM)
Avenida Beira-Mar s/nº, Caixa Postal 43, CEP 83.255-000, Pontal do Sul-PR

Volker Böder, Günter Seeber
Universität Hannover
Institut für Erdmessung (IfE)
Schneiderberg 50, D-30451 Hannover, RFA

RESUMO

No âmbito marinho verifica-se um aumento crescente de usuários que utilizam o sistema GPS Diferencial (DGPS), visto que ele permite o posicionamento bidimensional em tempo real com alta precisão, alcançando alguns decímetros. A resolução das ambigüidades, geradas pela fase da portadora, é realizada com o emprego do algoritmo *On-The-Way (OTW, On-The-Fly OTF)*. O presente trabalho apresenta o posicionamento PDGPS em tempo real e com alta precisão utilizando o programa GPS GNRT-K com o objetivo principal de determinar as áreas de erosão e sedimentação em terra e no mar. Nas aplicações marinhas, o GPS é utilizado para o posicionamento cinemático de embarcações em tempo real. A precisão tridimensional da posição da antena GPS é inferior a 10 cm. A posição GPS deve ser reduzida ao sensor, p.ex. ecobatímetro. Contudo, as componentes de rolamento (*Roll*) e arfagem (*Pitch*) influenciam a distância vertical entre o sensor e a antena GPS. A atitude da embarcação é determinada com medições efetuadas por um inclinômetro de baixo custo. Os resultados preliminares mostram diferenças em profundidades inferiores a 10 cm, na componente vertical, utilizando o programa GNRT-K e o ecobatímetro. A área em estudo, engloba áreas de interesse na Ilha do Mel e regiões marinhas próximas à ela, em face do processo erosivo e sedimentar que a ilha apresenta nos últimos anos.

ABSTRACT

An increasing number of hydrographic applications have used the Differential GPS (DGPS) because of its real-time capability and high precision in 2-dimensional positioning. Its accuracy reaches up to some decimeter. The resolution of GPS carrier phase ambiguities with *On-The-Way (OTW, On-The-Fly OTF)*. This report deals with high precision real-time PDGPS positioning using the GPS-software GNRT-K with the special purpose of determining sedimentation and erosion in on-shore and off-shore areas. In off-shore applications, GPS is used for the kinematic positioning of a survey vessel in real-time. The 3-dimensional accuracy of the GPS antenna position is better than 10 cm. The GPS position has to be reduced to a hydrographic sensor, e.g. an echosounder. However, roll and pitch components influence the vertical distance between the sensor and the GPS antenna. The attitude of the survey vessel is determined with measurements carried out by a low-cost inclinometer. Preliminary results show depth differences generally less than 10 cm in the height component using GNRT-K, and an echosounder. The results of an on-going project in the Baía de Paranaguá, in part of the Ilha do Mel and in the near of its.

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 um aumento na precisão do posicionamento.

Desde 1985, o GPS vem sendo utilizado no ambiente marinho. Inicialmente, a precisão alcançada no posicionamento absoluto para os receptores com o código P era de 10 a 15 m; porém, com a introdução dos efeitos Selective Availability e Anti-Spoofing, a precisão alcançada com o código C/A passou a ser de 50 a 100 m para a estação móvel. Para a maioria das aplicações na geodésia marinha, essa precisão não é satisfatória. Visando uma melhoria na precisão, foi necessário recorrer ao GPS Diferencial (DGPS), que consiste basicamente no posicionamento de uma estação móvel através das correções geradas na estação de referência. A precisão relativa alcançada está entre 1 m a 10 m, dependendo da observável utilizada. No caso de se utilizar o código, obtém-se uma precisão relativa de 1 a 10 m, e, com o código suavizado pela portadora, de 1 a 3 m.

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

conduzindo a novos programas (p.ex. GNRT) e técnicas para o posicionamento.

Esse trabalho trata do uso do DGPS Preciso no ambiente marinho e foi desenvolvido junto ao Centro de Estudos do Mar (CEM), ligado diretamente à Universidade Federal do Paraná. Ele e os demais órgãos estaduais, estão interessados em manter um controle e obter soluções para as áreas sujeitas a erosão e a sedimentação. Com o auxílio do GPS e do programa GNREF / GNRT, realizou-se levantamentos com alta precisão, em tempo real. Até o presente momento, esse sistema não foi utilizado no Brasil em ambiente marinho, porém é amplamente empregado na Alemanha.

A área escolhida para esses levantamentos refere-se à Ilha do Mel, por ser atualmente, uma área de grande preocupação. Ela situa-se na entrada da Baía de Paranaguá (Figura 1), tendo o formato de um oito mal traçado, com uma parte noroeste mais extensa e uma parte sudeste menor, ligadas por um istmo, em franco processo erosivo. A área estimada da Ilha do Mel é de 113 alqueires (em torno de 2.700 hectares) e seu perímetro em 35 km (FIGUEIREDO, 1954). Ao norte e nordeste separa-se da Ilha das Peças pelos canais Norte e Sudeste. Ao sul separa-se de Pontal do Sul pelo canal Sul ou da Galheta. A região ocidental da Ilha é banhada pelas águas da Baía de Paranaguá, no local conhecido como Mar de Dentro ou Saco do Limoeiro. A região oriental é banhada pelo Oceano Atlântico.

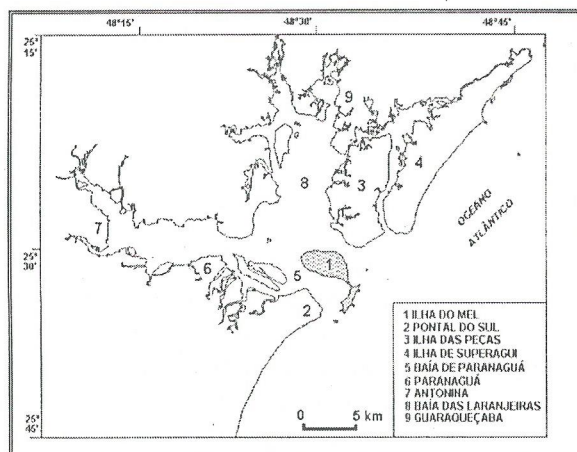


Figura 1 – Mapa de localização da Ilha do Mel, entrada da Baía de Paranaguá, Estado do Paraná.

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 do sistema GPS e com uma atuação multidisciplinar, espera-se estar fornecendo uma visão sistemática sobre a

problemática ambiental e informações para o monitoramento ambiental em estudo, principalmente na área da Ilha do Mel.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS

A Ilha do Mel é composta por rochas e sedimentos inconsolidados, que envolvem unidades do Pré-Cambriano, Mesozóico e Quaternário.

O grupo de rochas de idade pré-cambriana, chamado genericamente de embasamento cristalino, abrange rochas do tipo migmatitos heterogêneos associados a embrechitos, que formam os morros da Ilha do Mel, concentrados principalmente na sua porção sudeste. Um único morro ocorre a nordeste, chamado de morro da Fortaleza ou da Baleia. As rochas desta unidade têm a mesma composição da Serra do Mar, o conjunto montanhoso de borda que se estende desde o Espírito Santo até Santa Catarina.

As unidades do Mesozóico incluem as rochas da Formação Serra Geral, caracterizados na região por feixes de diques de diabásio de diferentes espessuras, que cortam discordantemente as unidades pré-cambrianas. Quando colocados à ação das ondas, as rochas básicas da Formação Serra Geral têm um comportamento distinto das encaixantes, sendo sujeitas à erosão diferencial pelo ataque das ondas mais rápida do que as rochas ácidas do embasamento. Como resultado, localmente formam-se cavas (grutas) de pequena extensão, como na praia de Encantadas, no sul da ilha. As unidades do Quaternário formam a planície costeira, que envolvem sedimentos inconsolidados de idade pleistocênica (120.000 anos Antes do Presente), que ocorrem apenas numa pequena porção da ilha, e holocênica (5.100 anos A.P.), que perfazem a maior parte da área da Ilha do Mel. Uma feição marcante na planície costeira são os lineamentos formados pelos cordões litorâneos, que representam antigas linhas de praia formadas ao longo do tempo à medida que o nível do mar variou. Diversos indicadores de nível do mar mais alto que o atual são encontrados na Ilha do Mel, como tubos de *Callichirus major* e restos de *Petalocochus (Macrophragma) varians*, além da altura dos terraços marinhos com cordões litorâneos. Estes indicadores mostram que a maior parte da Ilha do Mel foi formada durante períodos em que o mar tinha um nível relativo em torno de 0.75 +/- 0.50 m a 1.55 +/- 0.40 m acima do atual. Assim, a planície poderia ter sido formada durante as fases regressivas após as duas últimas transgressões marinhas ocorridas na região (ANGULO, 1992, 1994).

3. EROSÃO E PROGRADAÇÃO

A erosão marinha é o processo natural ou induzido pelo homem, regido pela ação de ondas, marés, correntes, ventos ou variação do nível do mar, que resulta no recuo da linha de costa, através da remoção do material sedimentar das praias ou de qualquer outro tipo de material exposto nas falésias. Normalmente o processo é resultado da ação física dos agentes que atuam sobre a linha de costa, mas fenômenos como os de dissolução, através do intemperismo químico, podem ser auxiliares no recuo. O processo oposto, o do avanço da linha de costa, é chamado de progradação. As mudanças volumétricas que ocorrem nas praias deveriam ser denominadas de acreção (no caso de aumento) ou erosão (no caso de diminuição), num dado intervalo de tempo (SOARES, 1995).

O processo erosivo na região do istmo da Ilha do Mel é noticiado há muitos anos pela imprensa (Figura 2), visto que várias casas tombaram ano após ano. O sistema de energia elétrica também foi afetado, pois os postes de transmissão situados na área erosiva do istmo já tombaram várias vezes nos últimos anos. Opostamente, também ocorre na Ilha do Mel processos de progradação da linha de costa, através da formação de um esporão (banco arenoso) próximo ao Morro do Farol das Conchas.



Figura 2 – O processo erosivo da Ilha do Mel tem sido motivo de ampla divulgação pela imprensa nos últimos anos.

Por pertencer à Marinha, com concessão administrativa para o Governo do Estado através do Instituto Ambiental do Paraná e por localizar-se no Município de Paranaguá, nunca houve uma ampla discussão sobre o problema erosivo da Ilha do Mel, ou mesmo chegou-se a um consenso sobre atitudes a

serem tomadas ou sobre qual é a responsabilidade de cada um dos envolvidos na administração do local.

PARANHOS F^o *et al.* (1994) analisaram relatos e fotografias de diferentes datas, concluindo que o istmo apresenta uma tendência erosiva nos últimos 40 anos. Os dados levantados permitiram fazer uma avaliação da largura do istmo ao longo do tempo, cujos resultados foram os seguintes: 152 m em 1954, 85 m em 1980, 55 m em 1985, 47 m em 1987, 32 m em maio de 1991, 23 m em dezembro de 1991, 18 m em março de 1992, 12 m em maio de 1992 e 4 m em dezembro de 1992 (Figura 3).

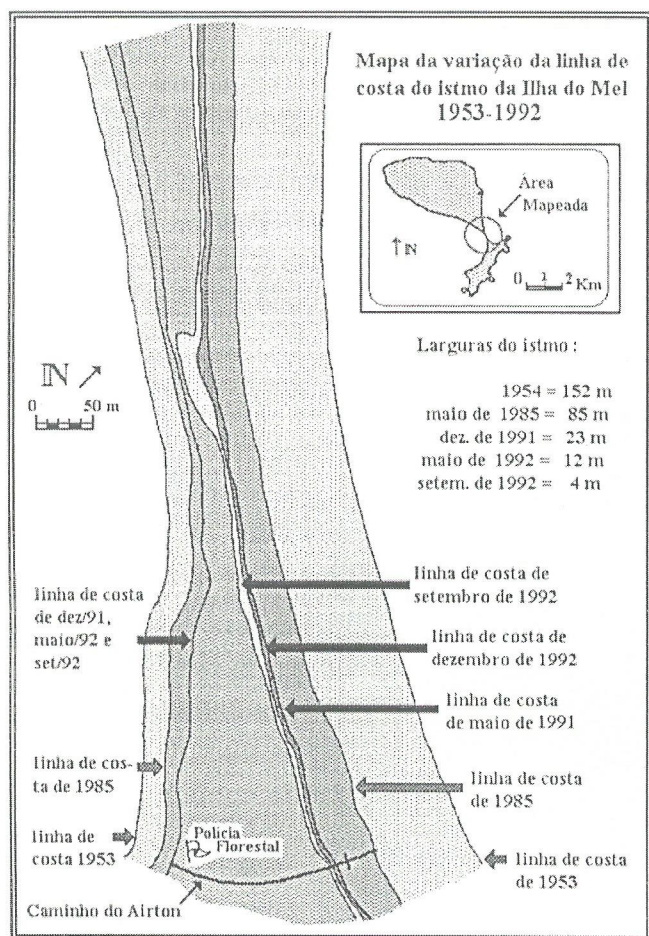


Figura 3 – Variações da linha de costa no istmo da Ilha do Mel entre 1953 e 1992 (PARANHOS F^o *et al.*)

O rompimento da Ilha em duas partes, formando um arquipélago ocorreu no verão de 1994/1995, quando a praia das Conchas (no lado oceânico) foi colocada em contato direto com a praia do Saco do Limoeiro (Mar de Dentro). Não ocorreu uma separação concreta da Ilha, com a formação de um canal entre as partes separadas, mas houve o desaparecimento da estreita faixa de terraço holocênico vegetado que separava os lados oceânico e

voltado para a Baía de Paranaguá (Foto 1). Durante os períodos de maré de sizígia, ou em casos extremos como os eventos das ressacas, a água passa livremente de um lado para o outro.

A erosão na Ilha do Mel ocorre tanto no Mar de Dentro como no lado oceânico da Ilha, sendo que o processo é mais rápido no lado oceânico. As Fotos 1 a 6 mostram a evolução da erosão no istmo da Ilha do Mel entre 1992 e 1995. O processo de recuo da linha de costa neste setor, cuja consequência imediata é o tombamento de casas, pode ser facilmente observado em curtos intervalos de tempo (Fotos 7 a 12).

Analisando-se as fotografias aéreas de 1953 e 1980 das áreas adjacentes ao Morro do Farol (Figura 4), constata-se que no período a linha de costa manteve-se praticamente estável. Entretanto, a partir de 1980 começou a ser formado um esporão, cujo crescimento se deu a partir do Morro do Farol em direção à área erosiva do istmo (Fotos 13, 14, 15, 16 e 17), processo que perdura até os dias atuais. O crescimento deste esporão passou a ser um importante mecanismo controlador da evolução da erosão, que, entretanto, já era relatada anteriormente a sua formação.

Com relação às causas da erosão e progradação, várias hipóteses podem ser formuladas, sem que se chegue a uma conclusão definitiva (SOARES *et al.*, 1997). Entre elas, pode-se mencionar:

--as variações da linha de costa nas áreas de desembocaduras de baías no litoral do Paraná são frequentes e rápidas, estando associadas à dinâmica local, regida pela interação entre ondas, marés e correntes induzidas pelas ondas e marés; neste caso, as variações da linha de costa na Ilha do Mel poderiam ser causadas por estes processos, sem qualquer interferência antrópica;

--na desembocadura da Baía de Paranaguá foram efetuadas dragagens em diversas datas, tanto no Canal Sueste (que foi dragado pela primeira vez em 1963, abandonado em 1975) como no Canal da Galheta, atual via de acesso ao porto (dragado quase que anualmente a partir de 1975). Os volumes totais dragados ao longo dos anos para estes canais são conhecidos, mas não se dispõe, entretanto, de informações sobre onde o material dragado foi despejado, pois várias áreas foram utilizadas para tal finalidade, ou mesmo que volume foi despejado em cada área; neste caso, tanto as áreas aprofundadas pela dragagem, que poderiam ter interrompido o transporte de sedimentos nas áreas adjacentes à Ilha do Mel, como a diminuição da profundidade nas áreas em que o material foi despejado (alterando o regime de ondas

e correntes) poderiam ser responsáveis pelas variações;

-poderia haver uma interação entre as duas hipóteses anteriores, ou seja, as variações da linha de costa estaria relacionada tanto à dinâmica natural quanto às alterações antrópicas efetuadas nas áreas adjacentes, afetando o transporte de sedimentos, gerando déficits e superávits locais;

-nível relativo do mar poderia estar subindo, embora não haja dados concretos sobre este tópico.

A detecção das variações volumétricas no istmo da Ilha do Mel pode ser efetuada através de métodos como: a) comparação de fotografias aéreas de diferentes datas, cujo detalhamento depende da escala das fotos; b) comparação de fotografias comuns, tiradas de um mesmo ponto de observação; c) medições periódicas com teodolito ou nível de precisão em pontos de interesse; d) imagens de satélite, no caso das variações envolverem dezenas ou centenas de metros; e) levantamentos cinemáticos sucessivos com o Sistema de Posicionamento Global

(GPS), aplicando a técnica PDGPS e o programa científico GNRT. Esse método possibilita a obtenção de resultados com alta precisão e em tempo real, contribuindo para o monitoramento e controle eficientes das áreas sujeitas a erosão e a sedimentação.

4. CONCEPÇÃO DO PROGRAMA UTILIZADO NO PDGPS

GNREF / GNRT

Este é um programa GPS que possibilita a determinação da posição em tempo real, através da combinação dos dados brutos da estação móvel com as correções transmitidas pela estação de referência. Ele é flexível (independe do *hardware* dos receptores) e trabalha dentro do sistema OS-2, em PC. Como trabalha em padrões standardizados (RTCM, NMEA, RINEX), é possível a sua integração com outros programas (p.ex. HYMAS e SEADAT) e a sua utilização em estações de referência (p.ex. Secretaria de Geodésia e Levantamento da Alemanha). O conceito modular permite a utilização de diferentes tipos de receptores. É um programa desenvolvido pela

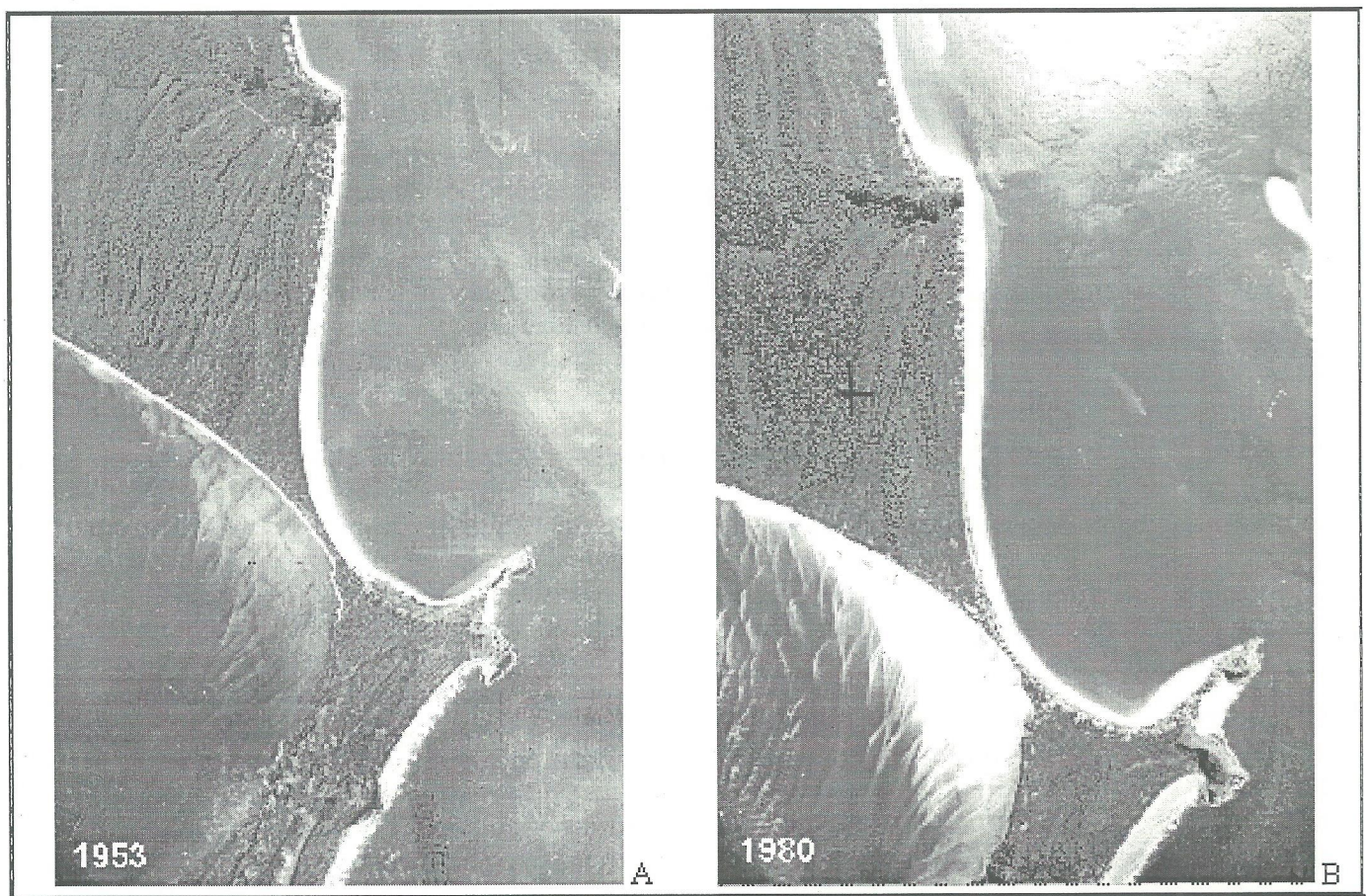


Figura 4 – Comparação de fotografias aéreas da Ilha do Mel em diferentes datas: (A)1953; (B) 1980. Em 1954 a largura do istmo era de 154 m e em 1980 de 85 m. Observar em (B) o início da formação do espório (banco arenoso) mostrado nas fotos 13 a 16.

empresa *Geo++ GmbH*, Garbsen, e apresenta três diferentes concepções, cujas diferenças se baseiam em quem envia as correções (estação de referência ou móvel). Essas concepções podem ser observadas nas

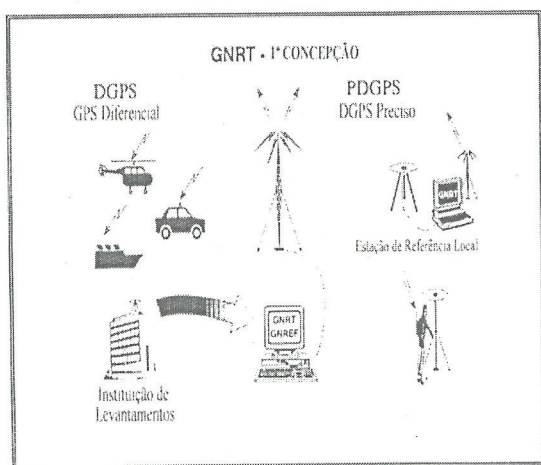


Figura 5 – 1ª Concepção do programa GNRT.

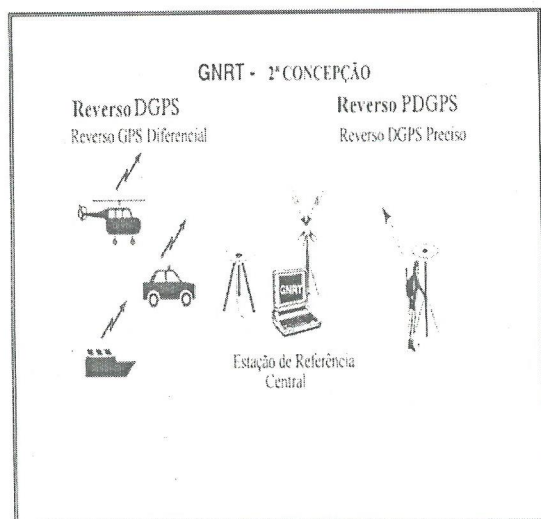


Figura 6 – 2ª Concepção do programa GNRT.

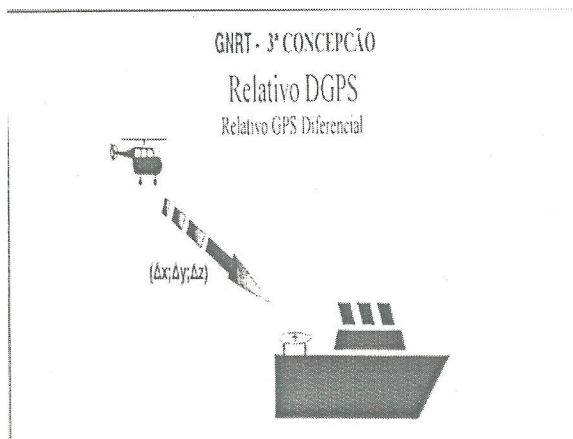


Fig. 7 - 3ª Concepção do programa GNRT

Na estação de referência é implantado o programa GNREF, que gera correções em RTCM 2.0, RTCM 2.1 e RTCM++, transferidas na forma serial e armazena os dados brutos no formato RINEX 2.0. As correções ou os dados brutos podem ser enviados para a embarcação através de diferentes meios de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica, telefone celular, ou satélites de comunicação). Essas estações encontram-se operando em grande parte das estações de referência pertencentes a rede de referência alemã (SAPOS - *Satellite Positioning Service of the Surveying and Mapping Authorities of the Federal Republic of Germany*). A conexão em tempo real, entre as estações, permite uma minimização dos erros dependentes da distância no posicionamento em tempo real através do módulo GNNET (WÜBBENA *et al.*, 1996).

Encontra-se dentro desse programa uma expansão de grande aplicação nos levantamentos cinemáticos de alta precisão em tempo real, que é o módulo GNRT-K. Nesse, tem-se tanto a estação móvel quanto a de referência equipadas para a transferência das correções no formato RTCM++. O GNRT-K apresenta as possibilidades de ambas as estações trabalharem com a fase das portadoras L_1 e L_2 , de resolverem as ambigüidades em tempo real (OTW) e ainda de avisarem em tempo real quando essas foram resolvidas. A precisão alcançada em tempo real com o módulo GNRT-K é da ordem subcentimétrica, segundo documento da *Geo++ GmbH* (WÜBBENA *et al.*, 1996).

5. ALGUNS FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRECISÃO DA MEDIDA DE PROFUNDIDADE

Analisando-se o GPS como um sistema integrado com outros sensores (como p. ex.: ecobatímetro, inclinômetro) 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 (KRUEGER, 1996).

POSICIONAMENTO DA ANTENA GPS EM RELAÇÃO À SONDA.

Em um levantamento GPS/eco-batimétrico, é importantíssimo determinar, a bordo da embarcação, a posição exata da antena do receptor GPS em relação à sonda. 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 a sonda. 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 a ela. Na Figura 8, tem-se uma visão da presente questão.

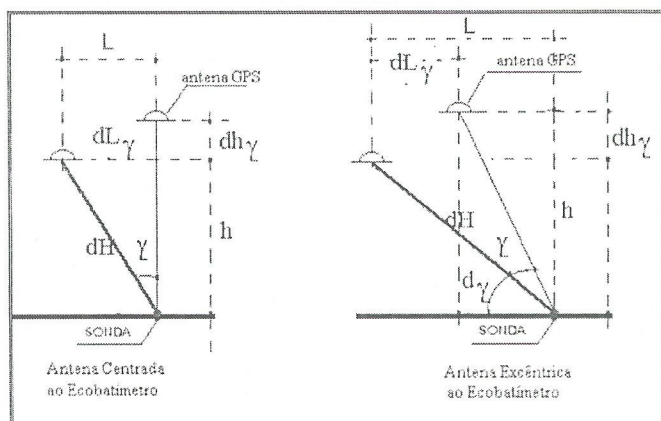


Figura 8 – Posicionamento da antena GPS em relação à sonda e o efeito do ângulo γ na precisão da posição

O modelo matemático (equações 1 e 2) é obtido a partir da Figura 8 e fornece os erros no posicionamento da antena GPS em relação à sonda devido ao ângulo de inclinação da embarcação. Se a antena estiver posicionada sobre a sonda, 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.

$$dh\gamma = |h - (L^2 + h^2)^{1/2} \cdot \sin(\gamma \pm \alpha)| \quad (1)$$

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

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

γ : ângulo formado entre a antena GPS e um plano horizontal;

α : ângulo de inclinação da embarcação;

dH : diferença de altura entre a antena GPS e o ecobatímetro no momento do levantamento ecobatimétrico;

$dh\gamma$: erro da diferença de altura dH em função da inclinação γ ; e

$dL\gamma$: erro de posicionamento horizontal em função da inclinação γ .

Segundos estudos realizados por WIRTH (1993), o erro na determinação da profundidade pode ser dado em função do ângulo de inclinação da embarcação, e encontra-se representado na Figura 9.

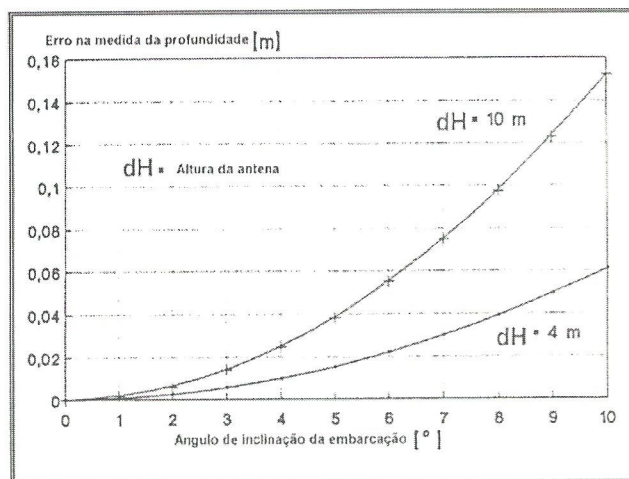


Figura 9 – Erro na determinação da profundidade em função do γ . (Fonte: WIRTH, 1996).

ORDENAÇÃO TEMPORAL

Outra correção a ser realizada diz respeito a ordenação temporal dos dados coletados. Tem-se problemas com relação à sincronização dos tempos entre os sistemas, os quais são: o tempo de retardo dos sensores e a falta de sincronismo entre os relógios dos sistemas. O primeiro é resolvido mediante uma calibração efetuada antes do levantamento e para o segundo problema, segundo WIRTH (1995), pode-se recorrer a três alternativas distintas. Elas são:

-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. 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 (*Bundesanstalt für Gewässerkunde*), que desenvolveu o programa HYMAS, o qual trabalha com uma precisão de sincronismo de 0,03 segundos. Na Figura 10, observa-se o erro de posicionamento causado pela falta de sincronização entre os sistemas, em função da velocidade da embarcação.

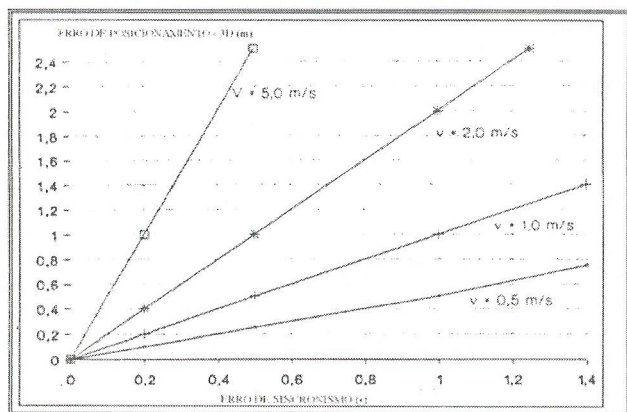


Figura 10 – Erro de posicionamento devido a falta de sincronização entre os sistemas (Fonte: WIRTH, 1993).

Maiores informações sobre esses fatores e sobre os demais fatores que podem influenciar na precisão da determinação de profundidade encontram-se descritos em KRUEGER (1996).

6. LEVANTAMENTO DE CAMPO

Em conjunto com o CEM procedeu-se a escolha da melhor área a ser analisada e testada com esse sistema (PDGPS em tempo real). A área escolhida foi a Ilha do Mel, que é uma das áreas que tem sofrido grandes alterações na sua forma, apresentando áreas erodidas e sedimentadas. Também possui a vantagem de se situar próxima ao marco no CEM, que serve como estação de referência.

Equipamentos Utilizados:

Nos levantamentos de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

--2 Receptores *Ashtech Z-XII*;

--1 Receptor *Trimble SSE*;

--1 sistema de comunicação (um par de rádios *Pacific*, operando com uma potência de 35 W e 2 W, na faixa de UHF em FM);

--computadores;

--1 ecobatímetro (modelo SDH-13A, operando numa frequência de 208 kHz);

--embarcação GEO (LOGEO do CEM);

--1 inclinômetro, construído pelo Prof. Dr.-Ing. Manfred Bonatz, *Institut für Theoretische Geodäsie*, Alemanha. É um equipamento de baixo custo, que permite o monitoramento vertical das antenas GPS em embarcações sujeitas a movimentos de rolamento (*Roll*), arfagem (*Pitch*) e guinada nos levantamentos, no ambiente marinho. As diferentes fases de rotação da embarcação são monitoradas pelos registros de um inclinômetro de pêndulo. Segundo BONATZ (1996), suspender por um fio elétrico um pêndulo prova ser um sensor de alto desempenho para a direção instantânea (aparente) do fio de prumo.

Estações:

Para os levantamentos realizados na área da Ilha do Mel contou-se com dois tipos de estações, a estação de referência e a estação móvel. A seguir fazer-se-á uma descrição das estações envolvidas:

Estação de Referência:

Nesses levantamentos, a estação de referência foi instalada no marco CEM, localizado no Centro de Estudos do Mar, em face de ser um marco cujas coordenadas já foram determinadas em levantamentos GPS anteriores. Na figura 11, observa-se o esquema dessa estação, na qual foi instalada o programa GNREF, que permite gerar e transmitir as correções DGPS para as estações móveis, realizando o seu posicionamento com alta precisão.

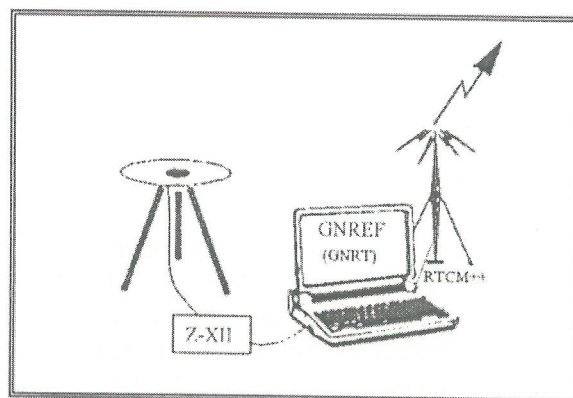


Figura 11 – Esquema da estação de referência instalada no CEM.

Estações Móveis:

No presente trabalho operou-se com duas estações móveis. Uma delas consistiu em uma pessoa se deslocando, realizando perfis na praia; a outra, constituiu da embarcação pertencente ao CEM / UFPR. Nas figuras 12 e 13, observa-se um esquema representativo das instalações nessas estações.

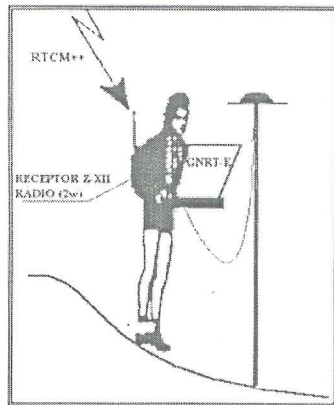


Figura 12 – Esquema da estação móvel para o levantamento do istmo da Ilha do Mel.

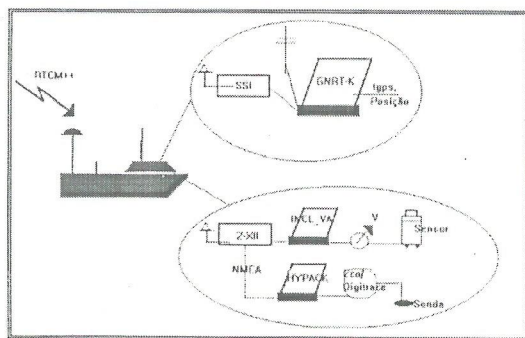


Figura 13 – Esquema da estação móvel à bordo da embarcação.

Na embarcação, a antena cinemática foi disposta de forma centrada em relação ao transdutor. Na Figura 14, observa-se a localização da antena cinemática e do transdutor de borda na embarcação

Levantamentos Realizados:

Esses levantamentos de campo se desenvolveram, em março de 1997, na Ilha do Mel. Consistiram em:

- levantamentos de perfis longitudinais e transversais na região do istmo da Ilha do Mel. Para esses levantamentos foram utilizadas a estação de referência, situada no CEM, e a estação móvel, instalada na mochila. Utilizou-se o programa GNRT-K, para a realização dos perfis

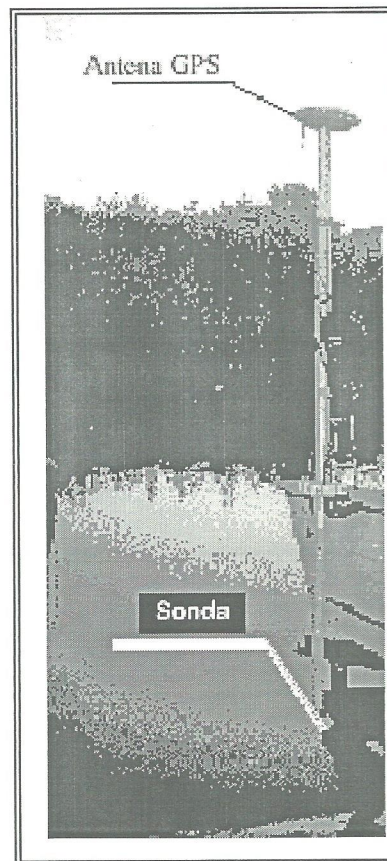


Figura 14 – Antena cinemática e a sonda.

e as suas coordenadas foram obtidas em tempo real. Esses levantamentos deverão ser repetidos no futuro, verificando-se as modificações ocorridas na área, efetuando-se o cálculo volumétrico da área erodida ou sedimentada.

- levantamentos de perfis longitudinais e transversais, na região do Saco do Limoeiro, região essa em frente a Ilha do Mel. Utilizou-se a estação de referência anteriormente descrita e a estação móvel consistiu da embarcação com os equipamentos já descritos. O posicionamento da embarcação foi realizado em tempo real, com a utilização do programa GNRT, e com alta precisão. O inclinômetro foi utilizado com a finalidade de se determinar a inclinação da vertical. Estando a antena GPS locada na mesma vertical da sonda, determinação essa conveniente quando se visa obter a alta precisão.

7. RESULTADOS PRELIMINARES

Mediante o levantamento de perfis longitudinais e transversais na área A, istmo da Ilha do Mel, foi possível avaliar-se a precisão alcançada com o programa GNRT, para os pontos de interseção. Na

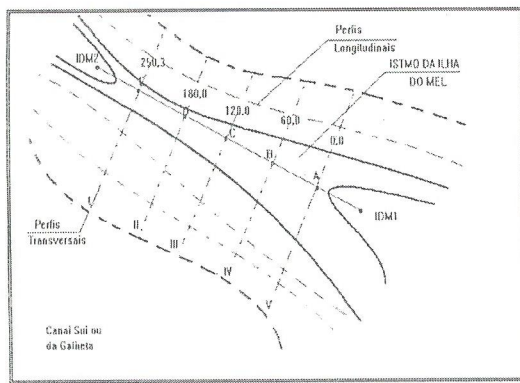


Figura 16 – Perfis longitudinais e transversais realizados no istmo da Ilha do Mel (Parte A).

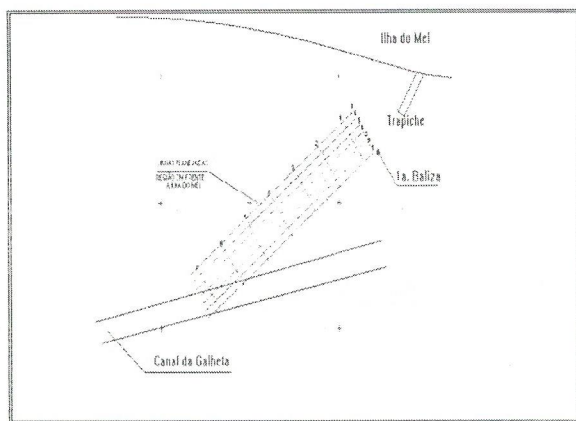


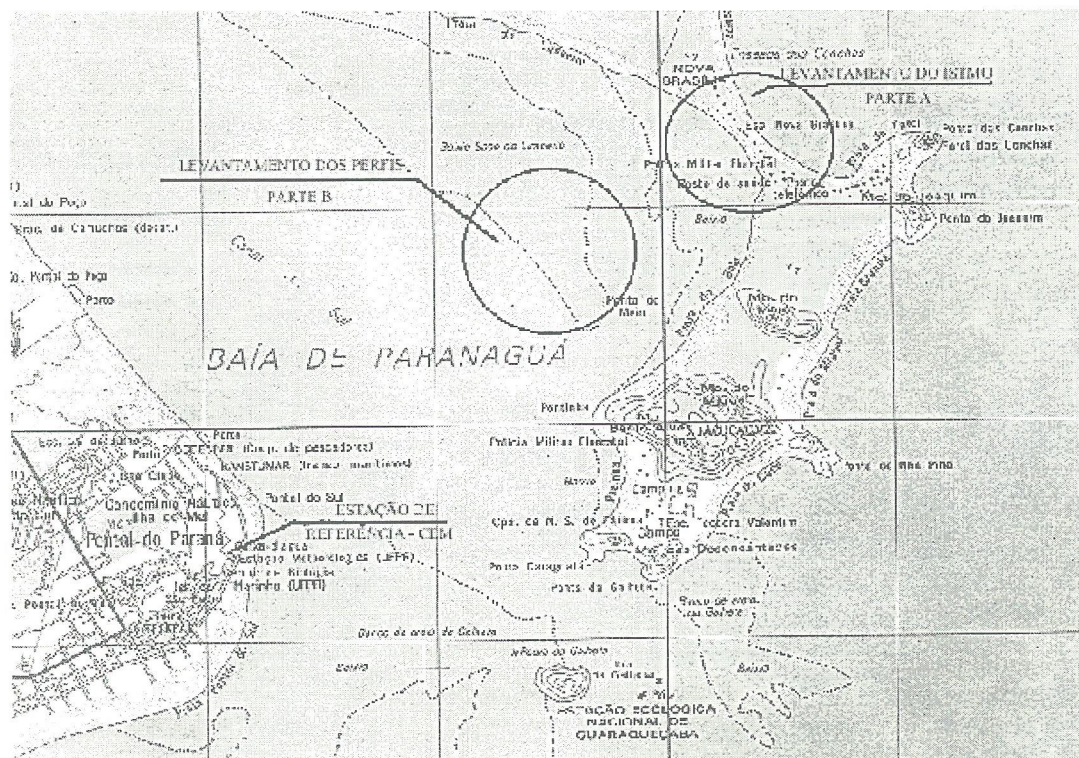
Figura 17 – Perfis longitudinais e transversais planejados para a parte B.

Tabela 1, podem ser observadas as coordenadas obtidas, em tempo real, bem como as diferenças para esses pontos.

Com as diferenças calculadas para os pontos de interseção dos perfis longitudinais e transversais (Tabela 1), verifica-se que em 80% dos casos elas foram inferiores a 10 cm. Constata-se, que as maiores diferenças se apresentam para o ponto D, provenientes de uma falsa resolução de ambigüidades durante um período de perturbação do sinal GPS. As coordenadas obtidas pelos perfis longitudinais foram obtidas com algumas épocas de observação sobre o ponto. Elas apresentam, conforme a Tabela 1, menores desvios padrão, apresentando uma maior confiabilidade.

Com os dados coletados em tempo real no istmo da Ilha do Mel, através do programa GNRT-K, foi obtida a representação do relevo (Figura 18) para a respectiva área em estudo. Observa-se que o ponto IDM1 (indicado na Figura 16) apresenta uma maior altitude em relação aos demais pontos levantados.

Os dados coletados na parte B, através de uma análise preliminar, indicam precisões tridimensionais da posição da antena GPS e diferenças em profundidades inferiores a 10 cm. Esses dados coletados ainda precisam ser mais explorados, devido ao fato de os resultados não terem se originado de um sincronismo direto, mas sim obtidos em um pós-processamento dos dados coletados pelo programa GNRT-K, ecobatímetro e inclinômetro. Para esse fim, foram desenvolvidos programas em



Na Figura 15, pode-se observar a área em estudo e nas Figuras 16 e 17 apresentam-se os perfis planejados para a área do istmo da Ilha do Mel e em frente a esta.

linguagem C, possibilitando uma ordenação, sincronização e junção dos dados levantados. Os cálculos continuam a ser realizados pelas instituições envolvidas no projeto: UFPR e IFE.

8. CONCLUSÕES

Com esse trabalho buscou-se mostrar algumas aplicações da técnica DGPS Preciso, em tempo real e no âmbito marinho, com o auxílio do programa GNREF/GNRT-K, desenvolvido pela GEO++ .Eles, mostraram ser de grande valia para as áreas sujeitas a intensas variações volumétricas, em face da erosão ou sedimentação nelas detectadas. Com esse programa, há uma eliminação da fase de pós-processamento dos dados levantados com o posicionamento cinemático, agilizando na obtenção dos resultados e conduzindo a um melhor monitoramento e controle das áreas em questão.

Na área do istmo da Ilha do Mel verificou-se, para os pontos de interseção da malha levantada, que em 80% dos casos as diferenças entre as coordenadas foram inferiores a 10 cm. Para os demais casos verificou-se uma falsa resolução de ambigüidades durante um período de perda de sinais GPS.

Os resultados preliminares dos dados coletados na área B indicam uma precisão melhor que 10 cm. Contudo, verificou-se a necessidade de um

sincronismo direto entre os sensores empregados no levantamento. Poderia-se utilizar p.ex., um relógio externo capaz de sincronizar e comandar os sensores. Esse sincronismo é de grande valia para os levantamentos de alta precisão em tempo real, que minimiza os trabalhos de pós-processamento dos dados coletados. Também, faz-se necessário uma ordenação espacial da antena GPS e dos demais sensores instalados na embarcação.

A obtenção dos dados em tempo real, através do programa GNRT-K, permite a geração de um modelo tridimensional da área em estudo. Mediante outros levantamentos a serem realizados nessa área, novos modelos tridimensionais poderão ser obtidos, possibilitando uma superposição desses modelos, e a detecção da variação volumétrica da área erodida e sedimentada da área em questão. Apesar de a erosão marinha ser um processo natural ou induzido pelo homem, é possível se realizar um monitoramento e controle mais eficiente da área da Ilha do Mel, que tem causado tantas preocupações aos órgãos estaduais, centros de pesquisa e a toda a população.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R. J. Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná. Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia

TABELA 1
COORDENADAS E DIFERENÇAS OBTIDAS PARA OS PONTOS DE INTERSEÇÃO
NA ÁREA A (ISTMO DA ILHA DO MEL)

Pontos	Coordenada sPerfil Longitudinal	Desvios Padrão	Coordenadas Perfil Transversal	Desvios Padrão	Diferenças	Diferenças(X, Y,Z - WGS84) (m)
A	25° 32' 25,23834" S 48° 18' 19,96560" W 3,263 m	0,001 0,001 0,002	25° 32' 25,23722" S 48° 18' 19,96602" W 3,300 m	0,005 0,006 0,010	0,00112 " -0,00042 " -3,70 cm	X = - 0,020 Y = - 0,047 Z = 0,015
B	25° 32' 23,68429" S 48° 18' 21,27153" W 2,912 m	0,001 0,001 0,002	25° 32' 23,67991" S 48° 18' 21,27244" W 2,930m	0,005 0,006 0,010	0,00438 " -0,00090 " -1,80 cm	X = - 0,030 Y = - 0,072 Z = 0,114
C	25° 32' 22,13295" S 48° 18' 22,58134" W 2,853 m	0,002 0,001 0,003	25° 32' 22,13536" S 48° 18' 22,58129" W 2,900 m	0,006 0,005 0,009	0,00241 " 0,00005 " -3,70 cm	X = - 0,0080 Y = - 0,0069 Z = - 0,0872
D	25° 32' 20,58115" S 48° 18' 23,8888" W 2,856 m	0,001 0,001 0,002	25° 32' 20,55305" S 48° 18' 23,87179" W 2,913m	0,005 0,005 0,009	0,02810 " 0,01701 " -5,70 cm	X = - 0,637 Y = - 0,001 Z = 0,756



Figura 18 – Modelo tridimensional para o istmo da Ilha do Mel gerado a partir das coordenadas obtidas em tempo real pelo GNRT-K.

- Sedimentar. Universidade de São Paulo, SP, 334 p., 1992.
- ANGULO, R..J. Geologia e Geomorfologia da Ilha do Mel. In: Silva, S.M.; Athayde, S.F. Ilha do Mel: história natural e conservação. Curso de extensão Universitária, UFPR, 79 p. + anexos, 1994.
- BÖDER, V; SEEBER, G. Real-Time PDGPS Positioning, Attitude determination and INS-Integration for Hydrographic Applications. In: Congress in Canadá., 1997.
- BONATZ, M. A sensorsystem for monitoring vertical distances of GPS-antennas on surveyor vessels to the surrounding mean sea surface. Bonn, Alemanha, p.6, 1996.
- FIGUEIREDO, J.C. Contribuição à geografia da Ilha do Mel (Estado do Paraná). Tese apresentada ao concurso de cátedra em Geografia do Brasil, da Faculdade de Filosofia da Universidade do Paraná. Curitiba, Paraná, 61 p., 1954
- KRUEGER, C.P. Investigações sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho. Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba, Paraná, 267 p., 1996.
- PARANHOS F°, A. C; SOARES, C.R; ANGULO, R..J. Nota sobre a erosão na Ilha do Mel (PR), Bol. Paran. Geoc.,42 : p.153-159., 1994.
- SOARES, C. R. Processos costeiros; Erosão Marinha; Métodos de monitoramento das variações da linha de costa. Exame Geral de Qualificação apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – UNESP, para a obtenção do título de doutor, 147 p. + anexos, 1995.
- SOARES, C.R; ANGULO, R.J; LESSA, G.C. VI Congresso da Associação Brasileira de estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul. Publicação Especial nº 02, Roteiro da Excursão ao litoral do Estado do

- Paraná: Morfodinâmica de Ambientes Atuais, Evolução da Planície Durante o Quaternário e Problemas de Erosão Costeira. Curitiba, PR, Brasil, 127 p., 1997.
- WIRTH, H; BRÜGGERMANN, T. Untersuchung der erreichbaren Ortungsgenauigkeit mit dem verfahren Differential-GPS (DGPS) – Teil II. Abschlussbericht BfG-0777, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Alemanha, 1993.
- WIRTH, H. Gewässervermessung im Binnenbereich der BwaStr mit DGPS-Ortung. Hydrographische Vermessung – Heute-, Vorträge des 37. DVW-Seminar, Universität Hannover, p. 46 – 56, Hannover, Alemanha, 1995.
- WIRTH, H; BRÜGGERMANN, T. Peilsystem HYMAS mit satellitengestützter Ortung auf dem MB “Hamster”. Abschlussbericht zum Pilotprojekt. Bf-0943, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Alemanha, 1996.
- WÜBBENA, G; BAGGE, A. Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen. Beitrag zum DVW-Praxisseminar DGPS-Anwendungen, 19-20 Sept. Hamburg, Alemanha, p. 01-06, 1995.
- WÜBBENA, G; BAGGE, A; SEEBER, G. Developments in Real-Time Precise DGPS Applications – Concepts and Status. In: Beutler u. a . (Hrsg.) GPS Trends in Precise Terrestrial, Airborne and Spaceborn Applications, IAG Symp. 113, 1996.