

DETERMINAÇÃO DAS VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS NO ISTMO DA ILHA DO MEL UTILIZANDO PDGPS

*Determination of volumetric variations which took place at
Ilha do Mel isthmus by means of PDGPS*

ELAINE CRISTINE BARROS DE SOUZA
CLÁUDIA PEREIRA KRUEGER
CLAUDIA ROBBI SLUTER

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Universidade Federal do Paraná
Caixa Postal 19011 - Centro Politécnico - Jardim das Américas
CEP 81531-990 - Curitiba - PR - Brasil
{ecsouza, robbi}@geoc.ufpr.br; ckrueger@cce.ufpr.br

RESUMO

As ações e os projetos envolvendo temas ambientais devem estar apoiados por uma base geodésica e por uma cartografia de qualidade. Neste sentido o *Global Positioning System* (GPS) é um componente eficaz, pois contribui para a formação de uma base cartográfica precisa num setor do meio ambiente, cujos componentes estão sendo continuamente alterados, consumidos ou reconstruídos por atividades orgânicas e humanas, bem como por fenômenos de recirculação física e química. Com o presente trabalho verificam-se as soluções obtidas utilizando o GPS no istmo da Ilha do Mel, a qual situa-se na entrada da baía de Paranaguá, no litoral do estado do Paraná. Buscou-se desenvolver um estudo geodésico nessa área, obtendo informações que permitiram a geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) do istmo, possibilitando calcular as variações volumétricas entre diferentes épocas (1997, 1999 e 2001), quantificando a erosão e/ou progradação ocorridas nestes períodos. Com a utilização do GPS para detecção das variações volumétricas na área do istmo, pode-se verificar a sua praticabilidade, além da viabilidade em função da precisão relativa alcançada.

Palavras chaves: PDGPS, MDT, Variações Volumétricas, Âmbito Marinho.

ABSTRACT

The actions and projects involving environmental themes should be supported by a geodetic base and by good cartography. In this sense, Global Positioning System (GPS) is an efficient component to support such research in the marine environment, where it contributes to develop a uniform cartographic basis in an altered, consumed or rebuilt by human and organic activities, and by physical and chemical recirculation phenomena as well. This work aims at analysing solutions obtained with the use of GPS in the isthmus of the Ilha do Mel, an island located at the entrance of the Paranaguá bay, on the coast of the state of Paraná. A geodetic study in Digital Terrain Models (DTM) of the isthmus, thus making the calculation of the volumetric variations at different times (1997, 1999 e 2001). In this work, the applications of high precision of GPS in those marine environments were investigated, being restrictions. With the use of GPS for the detection of volumetric variations in the area of the isthmus, its performance may be checked, along with the viability, according to the relative precision obtained.

Keywords: PDGPS, DTM, Volumetrics Variations, Marine Environment

1 INTRODUÇÃO

No litoral paranaense têm-se desenvolvido alguns levantamentos geodésicos objetivando: o monitoramento de áreas sujeitas a acreção/progradação (aumento) e ao recuo/erosão (diminuição); o posicionamento preciso de embarcações, de recifes artificiais, bóias e plataformas; a localização dos recifes artificiais; levantamentos cadastrais de cais portuários; testes com uma rede de estações de referência local. Na década de 90 iniciaram-se estudos na Ilha do Mel, baseados no posicionamento por meio de técnicas espaciais, visando detectar e quantificar a evolução temporal das linhas de costa, bem como a variação do processo erosivo do istmo nesta ilha. Mais detalhes ver: (KRUEGER, et al,1999); (KRUEGER, et al.,1997); (KRUEGER, 1996).

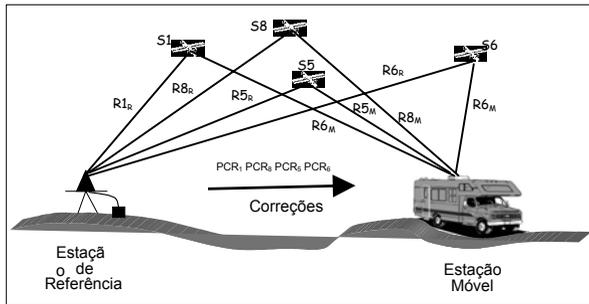
A Ilha do Mel tem sido motivo de atenção, tanto da imprensa quanto do meio acadêmico científico, devido a fenômenos erosivos que atuam na região (PARANHOS F^o., 1996). A separação da ilha em duas porções poderá mudar a desembocadura da bacia de Paranaguá, afetando as condições de acesso ao porto de Paranaguá, que conforme a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), é um dos maiores em exportação de grãos e em arrecadação de divisas do Brasil.

Com relação à área costeira sua aparência varia com o ganho ou com a perda de areia e define-se linha de costa, como sendo o limite entre o continente e a porção adjacente ao mar onde não há efetiva ação marinha no alcance máximo das ondas, concretizando-se pela presença de falésias, no limite entre a vegetação e a praia, ou nos costões rochosos, ou por qualquer outra feição que marque o início da área continental, essa linha pode sofrer um avanço (progradação) ou recuo (erosão) (SUGUIO, 1992). Essa variação poderá alterar o balanço sedimentar em

função da variabilidade de parâmetros oceanográficos como: ondas, correntes e marés; dados meteorológicos; precipitação, direção e intensidade de vento. Modificações nas taxas de aporte e da retirada de sedimentos tendem a provocar sérios problemas em áreas urbanizadas que representam uma importante opção de lazer e de atividade econômica, principalmente quando o balanço é negativo, gerando erosão (GUERRA; CUNHA, 1996).

No Brasil, verifica-se o emprego em alguns levantamentos realizados em áreas costeiras através do método de posicionamento diferencial (DGPS). Ele consiste basicamente no posicionamento de uma estação móvel (itinerante), por meio da combinação dos dados brutos e das correções diferenciais geradas e transmitidas a partir de uma estação de referência (fixa sobre um ponto com coordenadas conhecidas) como ilustra a Figura 1. As correções diferenciais citadas referem-se a correções das posições ou pseudodistâncias. Utilizam-se estas últimas por serem elas mais flexíveis, havendo necessidade apenas da constelação de satélites GPS da estação móvel ser um subconstelação de satélites GPS da estação de referência. As correções consistem na diferença entre as pseudodistâncias verdadeiras e calculadas para cada um dos satélites na estação de referência. As grandezas observadas nesse sistema são a fase do código com a fase do código suavizada pela portadora. Mais detalhes ver: (KRUEGER, 1996); (RTCM, 1998).

Figura 1 – Método de posicionamento diferencial (DGPS)

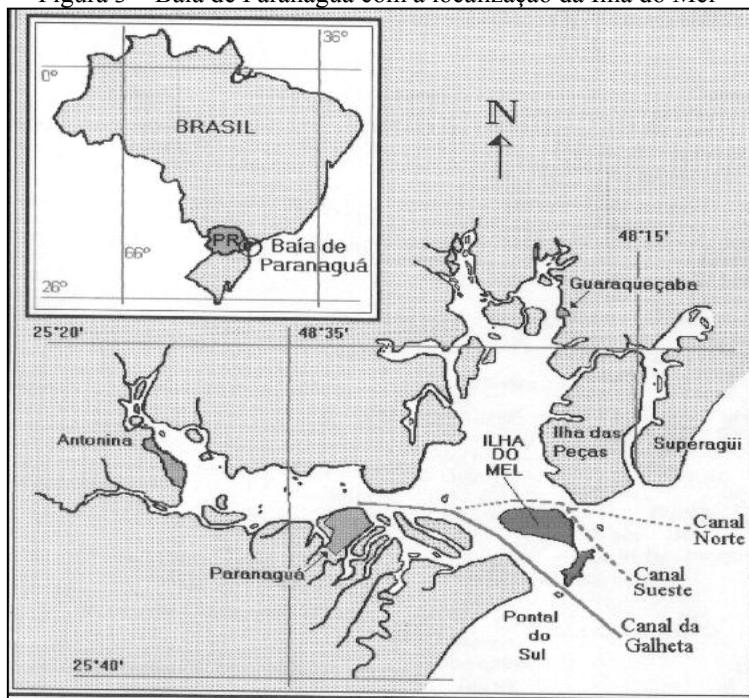


Algumas instituições, como a Universidade Federal do Paraná (UFPR), têm empregado a técnica DGPS Preciso (PDGPS), a qual segue o mesmo princípio do DGPS, com exceção do tipo de observável utilizada. Esse sistema utiliza a medida da fase da portadora. Com a utilização, em tempo real, do PDGPS, é necessário o emprego do programa GNREF/GNRT-K (desenvolvido pela empresa Geo++ GmbH – Alemanha), a qual têm se mostrado eficiente e precisa (da ordem decimétrica ou melhor) e é aplicada a linhas de base com comprimento superiores a 10 km. Mais detalhes ver: (WILLGALIS, et al., 2002); (KRUEGER, 1996); (GEOPP, 1995), (GEOPP, 1998), (GEOPP, 2002).

2 DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

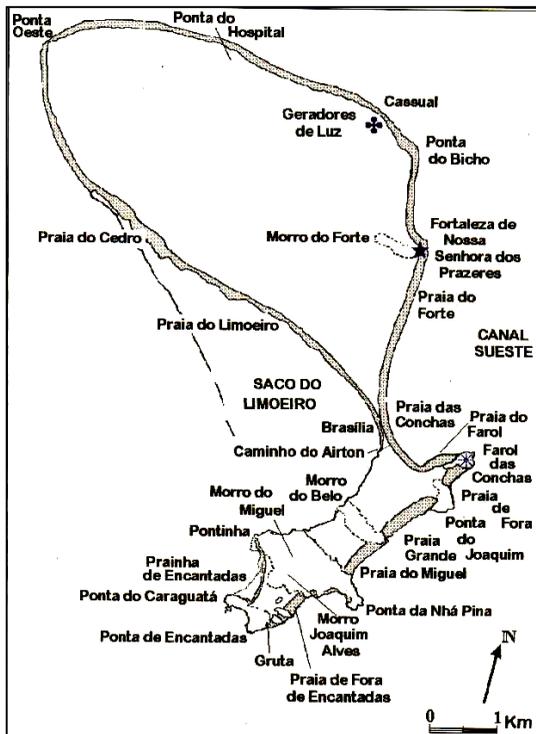
A Ilha do Mel situa-se na entrada da baía de Paranaguá, litoral do Estado do Paraná, com uma parte noroeste maior que a sudeste, sendo as partes ligadas por um istmo. A superfície estimada da ilha é de aproximadamente 27 km² e seu perímetro é da ordem de 36,5 km (FIGUEIREDO, 1954). Ao norte e nordeste é separada da Ilha das Peças pelos canais Norte e Sueste. Ao sul separa-se de Pontal do Sul (continente) 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, e por isso apresenta um comportamento dinâmico completamente diferente da parte ocidental protegida pela baía (PEREIRA, 2000). As Figuras 3 e 4 mostram a localização da Ilha bem como a sua toponímia.

Figura 3 – Baía de Paranaguá com a localização da Ilha do Mel



Fonte: (PARANHOS F^o, 1996)

Figura 4 – Toponímia da Ilha do Mel



Fonte: (PARANHOS F^o.,1996)

3 METODOLOGIA

3.1 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa foi determinar as variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel em diferentes épocas (1997, 1999 e 2001). Como objetivos específicos teve-se: utilizar a técnica de posicionamento PDGPS empregando receptores GPS de dupla frequência para os levantamentos do istmo e utilizar o programa GNREF/GNRT-K, desenvolvido pela empresa Geo++ GmbH (Alemanha), na técnica PDGPS, visando à resolução das ambigüidades e o cálculo das correções diferenciais *on line*.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Materiais

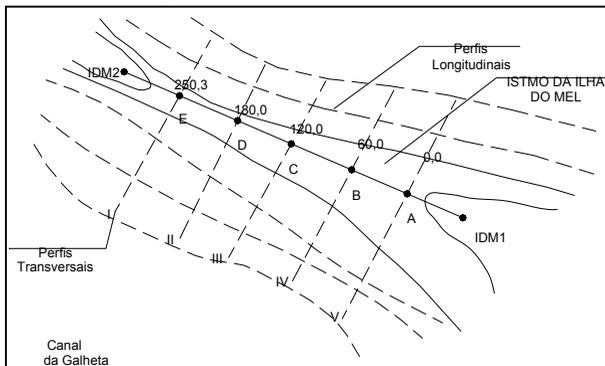
Os equipamentos e programas utilizados nesta pesquisa foram: receptores geodésicos Ashtech Z-XII (12 canais), antenas de dupla frequência, 1 sistema de comunicação, caracterizado por um par de rádios da marca *Pacific Crest* (35 e 2W

de potência na faixa de frequência UHF), antenas omnidirecionais; 2 microcomputadores operando no sistema OS-2 e com o programa GNREF/GNRT-K (1 para a estação móvel e 1 para a estação de referência); computadores adequados para o pós-processamento dos dados (PRISM e GEONAP-K) e para a edição dos gráficos e das figuras, bem como para a geração e análise dos MDT (SURFER).

3.2.2 Levantamentos de Campo

Os levantamentos realizados nos anos de 1997, 1999 e 2001 consistiram em levantamentos em tempo real, de perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel (Figura 5). Empregou-se a técnica PDGPS com o programa GNREF/GNRT-K. Os pontos foram materializados no terreno, com estacas de madeira longitudinalmente ao longo do istmo. Sendo as distâncias entre elas: AB (59,7m), BC (60,6m), CD (59,7m), DE (70,6m), partindo-se do ponto IDM1 (ponto mais alto, 3,3m) para o ponto IDM2 (mais baixo, 1,5m), também materializados no início e fim da linha longitudinal central na área do istmo.

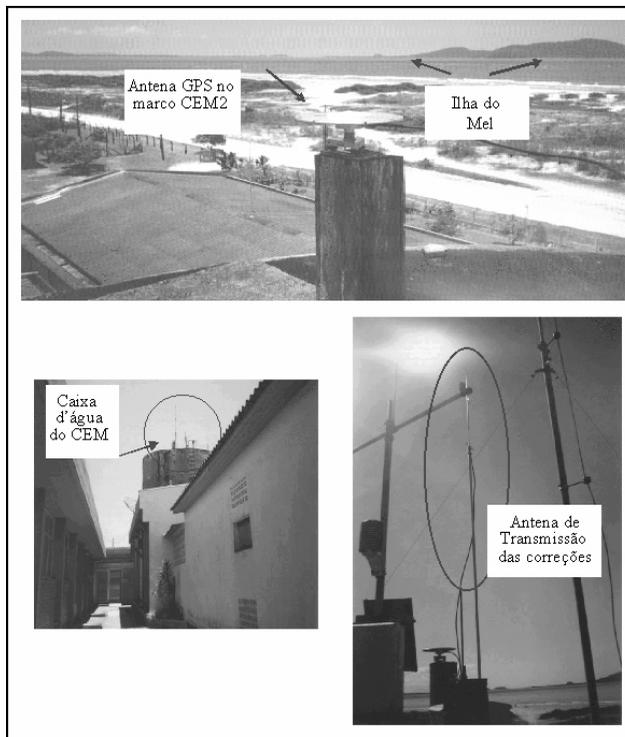
Figura 5 – Perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel



Fonte: (KRUEGER, et al., 1999)

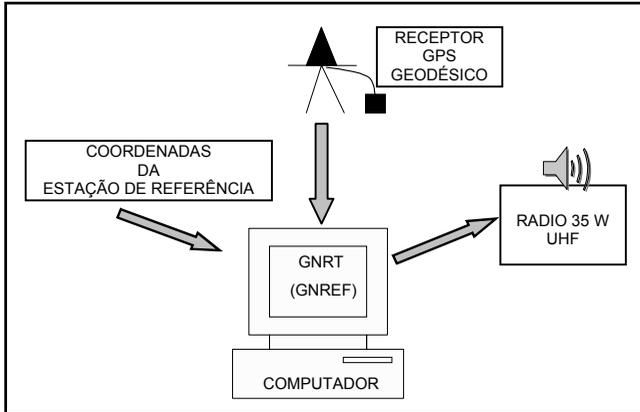
A estação de referência foi instalada no marco CEM2, localizado na caixa d'água do Centro de Estudos do Mar (CEM), no qual empregou-se uma antena GPS Geodésica III e a antena de transmissão Figura 6.

Figura 6 – Esquema da estação de referência instalada no marco CEM



Nas dependências do CEM instalou-se um computador, com o módulo GNREF (que gerou e transmitiu as correções diferenciais no formato RTCM++ para a estação móvel), um receptor Ashtech Z-XII e o rádio de transmissão (UHF) da *Pacific Crest*. A Figura 7 mostra o esquema desta estação. A estação móvel (MOBI) consistiu de uma pessoa se deslocando ao longo dos perfis transversais e longitudinais, com um receptor Ashtech Z-XII, uma antena GPS, um *laptop* no qual foi instalado o módulo GNRT-K e um rádio *Pacific Crest* com 2W de potência. Mais detalhes sobre os levantamentos ver: (KRUEGER, et al. 1999); (KRUEGER, 2001); (SOUZA, 2002).

Figura 7– Esquema da estação de referência instalada nas dependências do CEM



4 Análises dos Resultados

Com o levantamento dos perfis longitudinais e transversais no istmo da Ilha do Mel em 1997, foi possível avaliar a precisão alcançada com o programa GNRT-K para os pontos de interseção destes perfis (A, B, C, D, E), Figura 5.

Verifica-se que em 80% dos casos através das coordenadas, desvios padrão e diferenças em latitude (ϕ), longitude (λ) e altitude geométrica (H), obtidas e calculadas para os pontos de interseção, dos perfis longitudinais e transversais os valores obtidos foram inferiores a 10cm, como pode-se observar nos Gráficos 1 e 2 e que as maiores diferenças ocorreram para o ponto D, provenientes de uma falsa resolução das ambigüidades durante um período de perturbação do sinal GPS (Gráfico 3).

Gráfico 1 – Desvios padrão das coordenadas dos perfis longitudinais

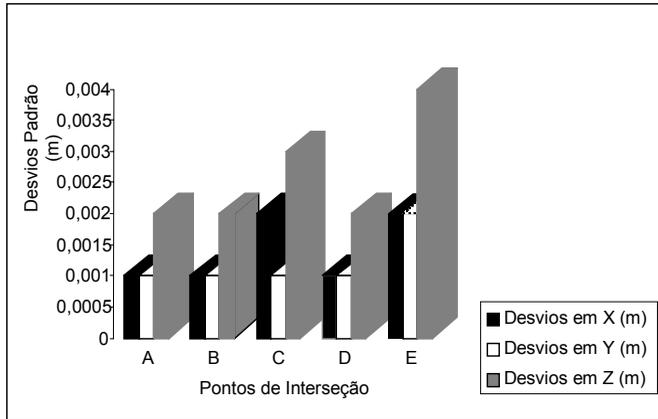


Gráfico 2 – Desvios padrão das coordenadas dos perfis transversais

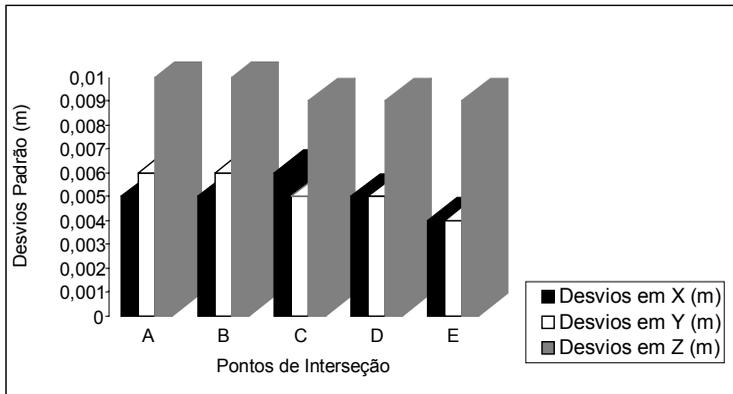
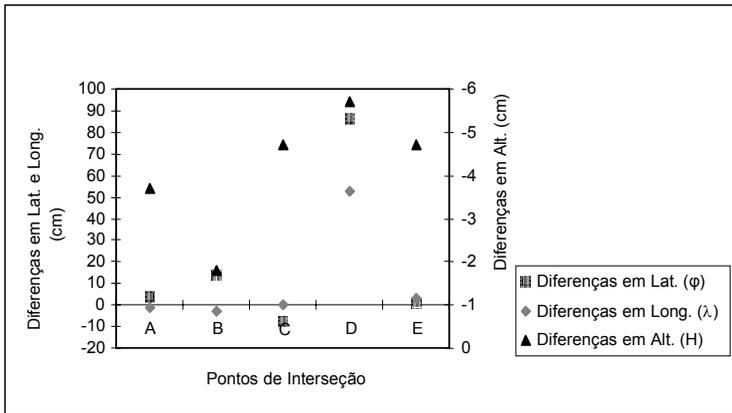


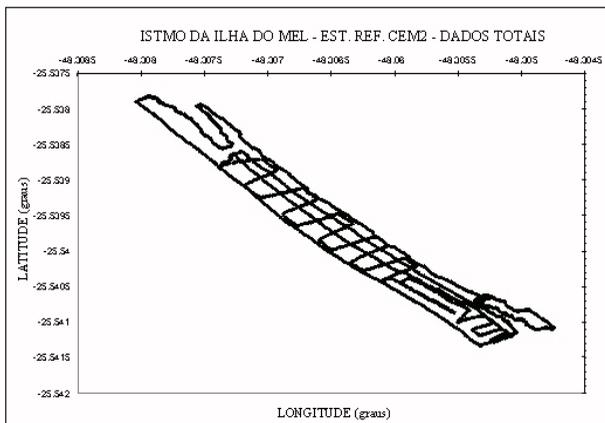
Gráfico 3 - Diferenças em φ , λ , H (cm) para os pontos de interseção dos perfis longitudinais e transversais



As coordenadas dos perfis longitudinais foram obtidas com algumas épocas de observação sobre o ponto, que conforme o Gráfico 1, apresentam menores desvios padrão, indicando uma maior confiabilidade. O arquivo de saída apresentou 1.164 posições levantadas, com as quais o MDT da área foi gerado (seção 3.1).

Nos levantamentos do istmo em 1999, a partir dos dados coletados pelas estações CEM 2 e MOBI (Móvel) (Figura 8) obteve-se a representação do istmo da ilha. A cada 5s foram obtidas coordenadas geocêntricas com os seus respectivos desvios padrão, as quais foram transformadas em coordenadas geodésicas.

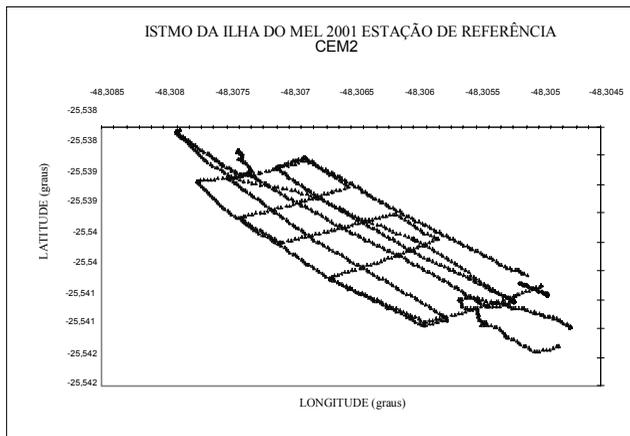
Figura 8 – Istmo da Ilha do Mel com as estações (CEM 2 e MOBI)



O arquivo de saída apresentou 1.184 posições levantadas, contudo considerou-se apenas 1.161 posições em face que as demais apresentaram elevados desvios padrão (de 200 a 900m). Foi verificado que para a maioria do tempo rastreado estes desvios padrão foram inferiores a 10cm, indicando a qualidade nos resultados obtidos. A elevação destes desvios foi maior nos segundos iniciais, fato este devido a não resolução das ambigüidades e, também em certos momentos devido à perda de sinal GPS. Mais detalhes ver (KRUEGER, 2001); (SOUZA, 2002).

No levantamento de 2001, seguiu-se a mesma metodologia descrita para o ano de 1997, contudo ressalta-se que neste levantamento não foi obtido sucesso no posicionamento em tempo real. Quando se iniciou o levantamento no istmo, que dista 5,8km da estação de referência CEM2, detectaram-se alguns problemas na comunicação. Grandes interferências nas transmissões das correções surgiram (fálhas na recepção e na transmissão das correções). Os dados coletados no ano 2001 foram pós-processados, gerando resultados e propiciando a análise destes resultados. A Figura 9 mostra a trajetória percorrida no istmo da Ilha do Mel, com a estação de referência CEM2. O MDT da área foi gerado com as 1.568 coordenadas obtidas no levantamento.

Figura 9 – Istmo da Ilha do Mel com a estação de referência CEM2 e a MOBI



4.1 Geração dos MDT e Avaliação das Variações Volumétricas

Para o processo de geração das grades, utilizou-se o *software* SURFER, e o interpolador inverso da distância, o qual possui as seguintes características principais: este método utiliza um interpolador de média ponderada e que pode ser exato ou suavizado em relação à concordância com os pontos originais de observação. Durante a interpolação, os dados do levantamento são ponderados

para que a influência de um ponto em relação a outro varie inversamente com a distância de um nó da grade regular ou seja, os pontos ou as amostras mais próximos terão peso maior. Este é um método muito rápido para se gerar a grade, entretanto, tende a gerar curvas de nível que circundam a posição dos pontos observados (FRANKE, 1982).

A interpolação por sua vez dependerá da quantidade de dados (amostras) coletadas em campo, bem como da sua distribuição espacial. Deve-se ressaltar que quando a quantidade de dados do levantamento é pequena, em relação à área em estudo, deve-se ao menos, buscar uma distribuição espacial uniforme dos pontos de observação, caso contrário, nenhum método de interpolação fornecerá bons resultados. A utilização de diversos métodos de geração da malha possibilita a geração de mapas de elevação (curvas de nível), ondulações geoidais, MDT, entre outras. Em geral, utilizam-se métodos que necessitam de pontos de levantamentos distribuídos sobre uma grade regular. Cada método calcula os nós da grade por meio de diferentes algoritmos e os resultados podem levar a diferentes interpretações dos dados. A escolha do método de interpolação é, portanto muito importante para a geração da grade, pois influência na posterior geração de novos produtos e em toda a análise dos resultados.

A primeira etapa para geração dos MDT e posterior cálculo dos volumes, consistiu na transformação das coordenadas geodésicas latitude (φ), longitude (λ) e altitude geométrica (H) no sistema de referência WGS-84 fornecidas pelo processamento dos dados GPS, em coordenadas X, Y e Z na projeção UTM. Deve-se ter esse cuidado antes de se efetuar o cálculo dos volumes no programa SURFER, porque ele exige que as coordenadas de entrada tenham as mesmas unidades tendo em vista que, a saída dos resultados é dada em “unidades cúbicas”. Por exemplo, se as unidades de entrada forem o metro para as coordenadas X, Y e Z, então o resultado final será fornecido em metros cúbicos. Outra questão importante como já citado e que deve ser considerada com atenção é a resolução, a partir dessa o espaçamento da grade será definido. O critério para definição da resolução é baseado na distribuição e quantidade de amostras, em consequência à grade será mais ou menos densa. A resolução adotada foi de 5m em X e Y. Estes valores foram estabelecidos partindo-se da coleta dos dados GPS que foi realizado com uma taxa de 3s com o usuário se deslocando a uma velocidade de 5 km/h, assumindo então uma distância entre os pontos de aproximadamente 5m. Desta forma as grades geradas foram de 61 linhas por 58 colunas.

Optou-se pela geração de grades regulares porque os levantamentos foram realizados em anos distintos 1997, 1999 e 2001, e principalmente pelo fato de que devido às próprias variações naturais e temporais na área em estudo, não foi possível percorrer exatamente os mesmos pontos, ou seja, realizar a mesma trajetória, apesar de ter-se aplicado o mesmo procedimento nos levantamentos de campo. Com isso o caminhamento dos perfis, em 1999 e 2001, foram

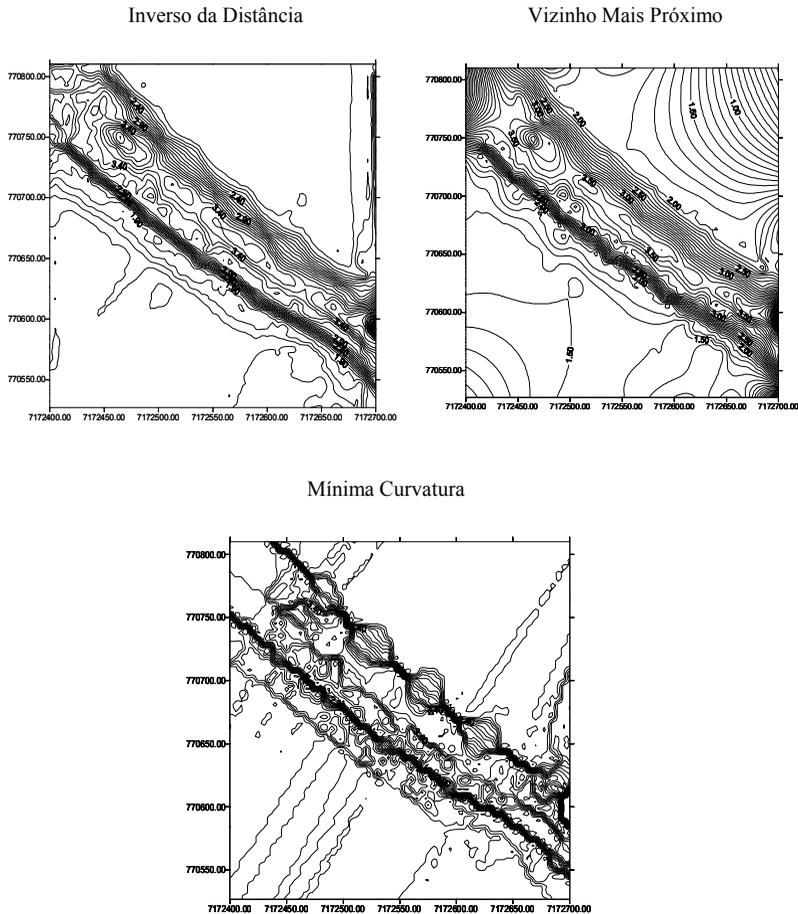
“aproximados” em relação à primeira época, isto é, do levantamento dos primeiros perfis transversais e longitudinais em 1997.

Desta maneira, gerando-se MDT com grade regular definiu-se as superfícies “equivalentes” impondo os limites máximos, mínimos e a resolução nas grades geradas. Os testes foram então efetuados gerando-se as grades com os interpoladores, inverso da distância, regressão polinomial, vizinho mais próximo, mínima curvatura. Estes diferentes métodos de *gridding* (interpoladores), como já foi dito, forneceram diferentes interpretações para os dados, pois cada método calcula o *grid* a partir dos valores das amostras, utilizando diferentes algoritmos. Desta forma, utilizando-se os diferentes métodos de *gridding* pode-se comparar e analisar os resultados fornecidos.

A primeira análise dos resultados obtidos com diferentes interpoladores foi a comparação visual dos mapas de isolinhas das diferentes grades. Quando se cria um mapa de isolinhas, muitas das linhas podem estar posicionadas de forma não satisfatória, ou até fornecer resultados não confiáveis, quando comparados com os dados originais. Isto ocorre porque as isolinhas são determinadas unicamente por valores interpolados dos nós do *grid* e não diretamente pelos dados originais. Enfatiza-se mais uma vez que cada método de interpolação possui uma particularidade, fazendo-se necessário determinar qual o melhor método a ser utilizado, que por sua vez depende dos dados originais, ou seja, das amostras e do fenômeno modelado. Isso faz com que a escolha do interpolador para a geração das grades, seja a etapa mais importante, pois a partir dele as grades serão geradas e delas os demais produtos cartográficos.

De posse das curvas de nível geradas, foi possível visualizar e analisar o comportamento das mesmas no que se refere aos interpoladores. Em princípio efetuou-se uma análise visual das curvas de nível, porém, através da Figura 10 verifica-se que os interpoladores que representaram melhor o comportamento da superfície foram o inverso da distância e o vizinho mais próximo.

Figura 10 – Mapas de Isovalor gerados com diferentes interpoladores



Com o intuito de uma análise quantitativa, partiu-se para outro teste visando a escolha do interpolador a ser utilizado. Buscou-se investigar qual seria o melhor interpolador para a quantidade e distribuição espacial das amostras disponíveis, ou seja, qual interpolador retrataria da forma mais confiável o terreno a ser modelado e posterior volume a ser calculado. Utilizou-se então para o módulo *grid/residuals* que o programa SURFER oferece. Esta ferramenta permite computar a diferença entre os valores de Z (cotas) dos dados originais e os valores de Z (cotas) dos dados interpolados. Com estes resultados o programa fornece medidas estatísticas que permitem a análise da qualidade dos *grid* gerados com os dados originais. Calculou-se para estes valores a média, desvio padrão e

efetuaram-se as análises para escolha do interpolador. Escolheu-se a média aritmética como representativa da grandeza medida através de observações não correlacionadas de mesma confiança, restando estimar o seu grau de precisão. Para tanto adotou-se uma estimativa da precisão das observações, que neste trabalho foi o desvio padrão (medida de dispersão).

Coletaram-se alguns pontos aleatoriamente em todo o contorno da área (bordas) e também no seu interior de forma a computar os resultados e gerar o Quadro 1, resultado da análise de 114 coordenadas escolhidas para este teste.

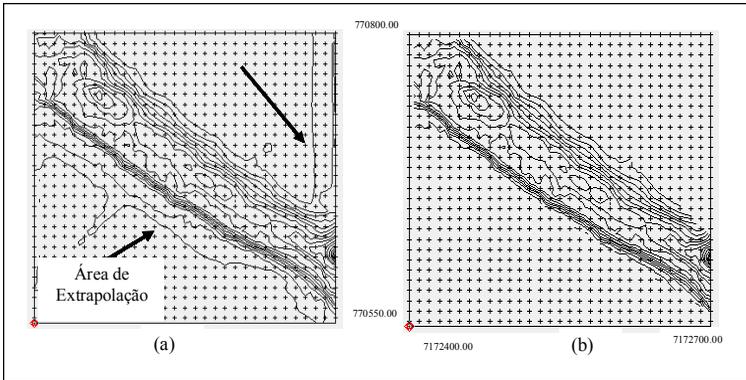
Quadro 1 – Teste com os interpoladores

Interpoladores	Média (m)	Desvios Padrão (cm)
Inverso da Distância	0,01283	8,7
Vizinho mais Próximo	0,01915	9,7
Mínima Curvatura	0,01352	10,1

Verifica-se a partir do Quadro 1 que dos três interpoladores utilizados, o que apresentou melhor resultado foi o inverso da distância, com menor desvio padrão (8,7293cm) e portanto para esta situação, melhor confiabilidade na geração dos produtos (MDT, mapas isolinhas e cálculo dos volumes). Tendo em vista estas considerações quanto aos interpoladores, geraram-se todos os produtos subsequentes.

Uma questão importante no processo do cálculo do volume, é que poderão existir áreas na grade gerada que extrapolam os limites de interesse no cálculo dos volumes, ou seja, se essas áreas forem consideradas no processo do cálculo dos volumes, poderão existir volumes totais não condizentes com os volumes supostamente esperados para a área (Fato este, inerente ao processo de interpolação durante a geração das grades). Mediante este problema, sempre que volumes forem calculados, deve-se delimitar a área de interesse. O SURFER disponibiliza os arquivos chamados de *blanked* ou vazios, os quais possibilitam delimitar a área de interesse dentro da grade gerada para posteriormente calcular o volume apenas na área de interesse. De posse então da nova área delimitada, pode-se realizar uma nova interpolação gerando como saída uma nova grade a qual apresenta-se mais coerente com a área real ou verdadeira. A Figura 11 mostra a grade gerada com o interpolador inverso da distância antes e depois da criação do arquivo *blanked*. A partir das novas grades geradas pode-se efetuar novamente o cálculo do volume.

Figura 11 – Grades geradas antes e depois da criação dos arquivos *blanked* geradas a partir do interpolador inverso da distância



Verifica-se na Figura 11 (a) que sem a delimitação da área de interesse fica evidente que para calcular o volume, os algoritmos utilizam todas as informações existentes na grade. Isto significaria um volume maior em (a) do que em (b), “mascarando” o volume real, acarretando um resultado impreciso, ou seja, não confiável.

O *software* SURFER calcula os volumes baseados em sólidos definidos por uma superfície mais alta e outra mais baixa, definidas como *upper* e *lower*. A escolha do plano horizontal de referência, ou seja, o valor de Z constante, para geração do volume fica a critério do usuário. Estas superfícies ficarão definidas através de um arquivo (.grd) anteriormente gerado. Os volumes calculados no SURFER, utilizam métodos de Integração Numérica (Regra trapezoidal, Simpson e 3/8 de Simpson).

O Quadro 2 fornece os volumes calculados pelo programa SURFER nas épocas levantadas utilizando-se os três métodos de integração numérica. O plano de referência horizontal adotado foi $Z=0$, tendo em vista que o interesse maior neste estudo foi comparar as diferenças de volumes entre épocas de levantamentos, de forma a quantificar o processo erosivo. O Quadro 3 fornece as diferenças volumétricas entre as épocas, adotando o método de integração numérica Regra dos Trapézios.

Quadro 2 – Volumes de corte calculados para as três épocas (1997, 1999 e 2001)

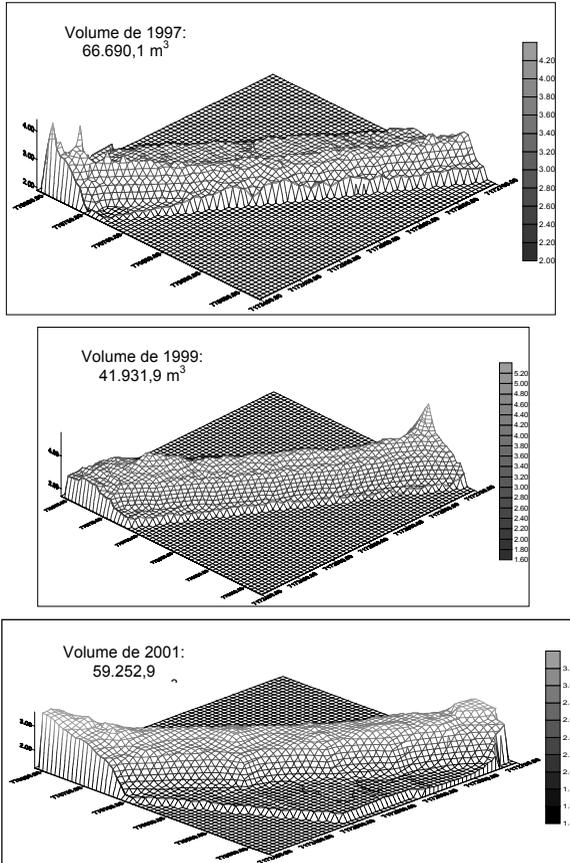
Método de Integração Numérica	1997 (m ³) para Z=0	1999 (m ³) para Z=0	2001 (m ³) para Z=0
Regra dos Trapézios	66.690,1	41.931,9	59.252,9
Regra de Simpson	66.933,3	42.183,5	59.596,8
Regra 3/8 de Simpson	66.841,2	42.075,0	59.396,2
Área Plana das 3 épocas: 84.900 (m ²)			

Quadro 3 – Diferenças volumétricas calculadas para a regra dos trapézios entre épocas

Épocas	Diferenças Volumétricas (m ³)
1997 - 1999	+24.758,2
1997- 2001	+7.437,2
1999 -2001	-17.321,0

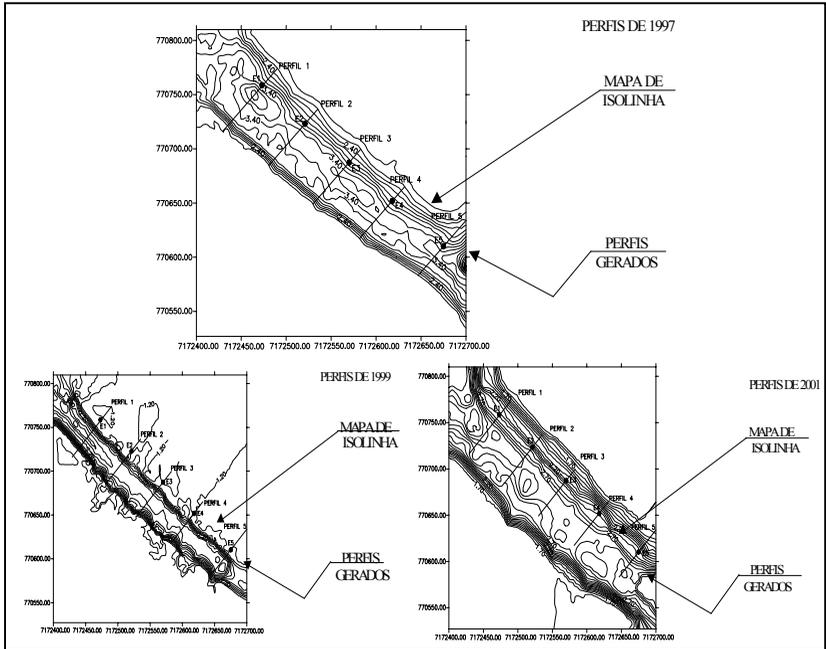
Verifica-se no Quadro 2 como era esperado, devido à tendência do processo erosivo no istmo da ilha, que os volumes totais de corte para a época 1999 são menores do que a época 1997, ou seja, 66.690,1m³ e 41.931,9m³ respectivamente. Provavelmente devido a dinâmica do fluxo sedimentar, foi constatado através dos levantamentos efetuados em 1999 que grande parte da área foi erodida, apresentando uma variação volumétrica de + 24.758,2 m³. A diferença volumétrica apresenta um volume de corte evidenciando a área em franco processo erosivo. Para a época 2001, o volume de corte que foi de 59.252,9 m³, ou seja, aumentou em relação a 1999 e diminuiu em relação a 1997. As diferenças volumétricas foram da ordem de +7.437,2 m³ entre as épocas 1997 e 2001 e de -17.321,0 m³ entre as épocas 1999 e 2001. Constatou-se que as diferenças volumétricas calculadas entre 1997 e 2001 apresentaram volume de corte, ou seja, diminuição de sedimentos (erosão) e entre 1999 e 2001 aumento de sedimentos (progradação). Tendo em vista a progradação ocorrida em 2001 (Quadro 2 e 3), faz-se necessárias algumas discussões e estudos mais aplicados na área do istmo para que as afirmações relacionadas às causas dessa progradação tenham convicção, uma vez que a erosão esperada não ocorreu e sim o contrário, houve uma progradação e também um aumento no volume do istmo com relação a uma outra época. A Figura 12 fornece os MDT gerados para as épocas 1997, 1999 e 2001.

Figura 12 – Modelos Digitais do Terreno para o istmo da Ilha do Mel



Visando avaliar a qualidade dos dados fornecidas através do *software* SURFER foi realizado um estudo adicional que consistiu na determinação dos volumes por meio do método das seções transversais. Este método é muito empregado em estradas e ferrovias, nos cálculos de corte e aterro onde para uma mesma seção pode-se ter áreas de corte e aterro, que posteriormente serão usadas para obter volumes de corte e aterro. A etapa mais trabalhosa e lenta deste método é o cálculo das áreas das seções transversais. Desta forma aproveitou-se os recursos do *software* AutoCad para gerar cada uma das seções e calcular as áreas dos perfis. Exportou-se os mapas de isolinha gerados no SURFER (1997, 1999 e 2001) para o AutoCad e sobre essas curvas, 5 perfis foram traçados a partir das coordenadas conhecidas das estações implantadas nos perfis longitudinais do levantamento de 1997, como na Figura 13.

Figura 13 – Perfis gerados para os levantamentos no istmo da Ilha do Mel



Com as áreas dos perfis e os volumes computados, posteriormente foram calculadas manualmente as diferenças volumétricas entre as épocas, obtiveram-se os valores que estão indicados nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Áreas dos perfis e volumes calculados pelo método das seções transversais

Perfis	Área 1997 (m ²)	Área 1999 (m ²)	Área 2001 (m ²)
1	263,75	138,56	223,55
2	223,94	139,76	193,84
3	221,96	134,46	184,92
4	205,37	121,60	174,84
5	218,14	128,78	174,41
	Volume total 1997 54.779,80 (m ³)	Volume total 1999 32.512,03 (m ³)	Volume total 2001 46.162,42 (m ³)

Épocas	Diferenças Volumétricas (m ³)
1997 – 1999	+ 22.267,97
1997 – 2001	+ 8.617,58
1999 - 2001	- 13.650,39

Enfatiza-se que como o *software* SURFER, utiliza método de integração numérica, isso faz com que o algoritmo considere o terreno como uma superfície contínua. Então, se o volume for calculado utilizando outro método, por exemplo, método de seções transversais (o qual considera uma formulação que supõe seções planas paralelas entre si, espaçadas de uma distância *d*, o terreno será considerado como uma superfície plana entre duas áreas de perfis consecutivos, fornecendo volumes diferentes, inerentes à própria formulação. As diferenças encontradas entre os dois métodos de cálculo do volume encontram-se no Quadro 6, mediante esses valores apresentados verifica-se que os valores diferiram de aproximadamente 10% a 20% entre um método e outro e que tais diferenças poderiam ser minimizadas se fossem realizados um maior número de perfis.

Quadro 6 – Diferenças volumétricas calculadas pelo método tradicional e pelo SURFER

Épocas	Diferenças Método: Integração Numérica	Diferenças Método: Seções Transversais
1997 – 1999	+ 24.758,2 m ³	+ 22.267,9 m ³
1997 – 2001	+ 7.437,2 m ³	+ 8.617,5 m ³
1999 - 2001	-17.321,0 m ³	- 13.650,4 m ³

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho buscou-se mostrar aplicações da técnica PDGPS no âmbito marinho, com o auxílio do programa GNREF/GNRT-K. Eles mostraram ser de grande valia para as áreas sujeitas a intensas variações volumétricas. Com as posições calculadas para o istmo da Ilha do Mel foram gerados MDT sob os quais os volumes e as variações entre as épocas foram determinados. Provavelmente devido à dinâmica do fluxo sedimentar foi constatado por meio dos levantamentos efetuados em 1997 e 1999 que grande parte da área foi erodida isto é, neste período evidencia-se a área em franco processo erosivo. Já para 2001 os resultados mostraram uma progradação.

Com este estudo verifica-se que apesar da erosão marinha ser um processo natural ou induzido pelo homem, é possível se realizar um monitoramento e um controle mais eficiente da área da Ilha do Mel, uma vez que a construção de uma

base geodésica e de uma cartografia com as informações devidamente espacializadas, classificadas e hierarquizadas para uma gestão eficaz e segura possibilitará um debate permanente e a mobilização sobre os riscos e problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público, de determinadas atividades humanas ou de fatores naturais induzidas ou não, provocados por alterações geoambientais e climáticas.

O interpolador utilizado na geração das grades regulares (inverso da distância) mostrou-se satisfatório uma vez que as grades geradas representaram adequadamente a superfície real. Tanto a distribuição espacial quanto a quantidade de amostras mostraram-se satisfatórias analisando-se os resultados obtidos, referentes a alguns testes realizados com os interpoladores disponíveis no *software* SURFER, o interpolador escolhido apresentou a melhor medida de dispersão/desvio padrão.

Ressalta-se que se faz necessário ocupar a mesma estação de referência para a realização do levantamento quando se planeja a obtenção das variações volumétricas. Desta forma, minimiza-se o problema de correlação espacial que poderá influenciar no processo dos cálculos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FIGUEIREDO, J. C. **Contribuição à geografia da ilha do Mel (estado do Paraná)**. Curitiba, 1954. 61 p. Tese (Concurso de Cátedra em Geografia do Brasil – Inédito). Faculdade de Filosofia da Universidade Federal do Paraná.
- FRANKE, R. **Scattered data interpolation: test of some methods, mathematics of computations**. 1982, Vol. 33, nº. 157, pp. 181-200.
- GEOPP. Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH. **Kurzanleitung zu GNRT-K / GNRT empfangenunabhängiges Softwaresystem zur (hoch) genauen Positionierung mit GPS ind Echtzeit**. Garbsen: Geo++, 1995.
- GEOPP. Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH (1998) **GNET Multistationsoftware**. Programmdokumentation und Referenzhandbuch. Garbsen: Geo++, 1998.
- GEOPP. Gesellschaft für satellitengestützte geodätische und navigatorische Technologien mbH. **GEO++ GNRT**. Disponível em: <<http://www.geopp.de>> Acesso em: junho de 2002.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.: **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro, 1996, Bertrand Brasil, 343p.
- KRUEGER, C. P. **Relatório internacional – projeto de pesquisa para uma cooperação entre Brasil e Alemanha**. (Relatório consolidado dos resultados). CNPQ/DLR. Curitiba, 2001, 81p.

- KRUEGER, C. P.; BÖDER, V.; SEEGER, G.; SOARES, C. R. **Aplicações do DGPS Preciso em tempo real no âmbito marinho**. Revista Brasileira de Cartografia, nº. 51. Maio de 1999, pp. 59-71.
- KRUEGER, C. P.; PRADO, A.; SOARES, C. R.; PILATI, F. B.; CARRILHO, J. C.; KRÜGER, M.; LAMOUR, M. **Performance dos receptores ASHTECH Reliance na determinação das coordenadas de feições na região da Ilha do Mel - PR**. Curitiba, 1997. Trabalho apresentado no Gis Brasil.
- KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- PARANHOS F^o, A. C. **O processo erosivo e as variações morfodinâmicas praias na ilha do Mel (baía de Paranaguá - PR)**. Curitiba, 1996. 239 p. Dissertação (Mestrado em Geologia com área de concentração em geologia ambiental). Departamento de Geologia. Universidade Federal do Paraná.
- PEREIRA, M. A. M. Disponível em: <<http://www.ilhadomel.com>> Acesso em: outubro de 2000.
- RTCM - (Radio Technical Commission for Maritime Service). **Recommended standards for differential GNSS Service**, v. 2.2. Washington, D. C., 1998.
- SOUZA, E. C. B. **Análises temporais de alta precisão utilizando o GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel**. Curitiba, 2002. 154p. Dissertação. (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- SUGUIO, K.: **Dicionário de geologia marinha**. T.A. Queiroz, 1992, 172p.
- WILLGALIS, S.; SEEGER, G.; KRUEGER, C. P.; ROMÃO, V. M. C. **A real time reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys**. In: FIG XXII INTERNATIONAL CONGRESS, 2002, Washington, D.C. USA. Presented paper, p. 1-14.

(Recebido em 26/11/02. Aceito para publicação em 20/02/03.)