

Levantamentos no Litoral do Estado do Paraná com o GPS

Prof^a. Dr^a. Claudia Pereira Krueger

UFPR - Departamento de Geomática
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Centro Politécnico, Jardim das Américas, CP 19011
81531-990 Curitiba - PR
✉ ckrueger@cce.ufpr.br

Conteúdo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. Descrição da Área em Estudo 3. Levantamentos Realizados no Litoral Paranaense <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Implantação de uma Rede Geodésica Local 3.2. Posicionamento Preciso de Recifes Artificiais 3.3. Levantamentos Cadastrais de Cais Portuários 3.4. Monitoramento de Linhas de Costa sujeitas a Progradação e ao Recuo 3.5. Conexão de Marégrafos 4. Conclusões e Perspectivas Futuras 5. Referências Bibliográficas
-----------------	--

Resumo: O objetivo do presente trabalho é apresentar os levantamentos geodésicos desenvolvidos no litoral do estado do Paraná, Brasil. Eles iniciaram-se em 1996 em face de que nas áreas costeiras deste estado constatava-se uma ausência de informações confiáveis, contudo havia um grande interesse e uma constante preocupação pelas instituições de pesquisa (CEM/UFPR) e pelos demais órgãos estaduais (p.ex.: Secretaria do Meio Ambiente-SEMA). Neste artigo descreve-se alguns destes levantamentos, a metodologia empregada e os resultados alcançados.

Palavras chave: GPS, Litoral Paranaense, Levantamentos GPS.

Abstract: The objective of this paper is to present the development surveys within the coast of Parana State (Brazil). Such surveys began in 1996 because of the lack of reliable information is found there, however, research institutions (CEM/UFPR) and other state agencies (e.g. Department of the Environmental-SEMA) show a great interest and constant preoccupation in controlling and obtaining solutions for those areas. In this paper will be present some surveys, their methodology and their results.

Keywords: GPS, Coastal of Paraná State, GPS surveys.

1. Introdução

O GPS vêm sendo empregado desde 1985 no âmbito marinho, inicialmente apenas como um sistema de navegação e atualmente nos mais diversos campos de aplicação como por exemplo: mapeamento do fundo do mar, controle de dragagens; apoio para a engenharia costeira; controle de atitude em embarcações, bóias e plataformas flutuantes; navegação precisa em áreas costeiras; levantamentos hidrográficos precisos; acesso a portos; monitoramento de assoreamentos e de erosões em rios, lagos, áreas portuárias, áreas costeiras; controle contínuo e preciso das alturas e posicionamento de sensores abaixo d'água.

Esta tecnologia de ponta têm sido empregada no âmbito do litoral paranaense com grande êxito. Dentre os levantamentos realizados com o GPS, na área em estudo, pode-se citar: a implantação de uma rede geodésica local; o monitoramento de áreas sujeitas a progradação e ao recuo; o posicionamento preciso de embarcações, de recifes artificiais, bóias e plataformas; a localização destes recifes; levantamentos cadastrais de cais portuários e edificações; a conexão de alguns marégrafos; testes com uma rede de estações de referência local analisando-se a correlação espacial e geração de modelos de superfície em áreas costeiras.

Este artigo apresenta alguns destes levantamentos realizados no litoral paranaense, indicando a metodologia aplicada e os resultados alcançados.

2. Descrição da Área em Estudo

O litoral paranaense têm uma área de aproximadamente 6.600 km², possui características que o diferenciam dos demais estados da costa sul e sudeste brasileira. Ele situa-se entre as latitudes 25^o e 26^o Sul e entre as longitudes 48^o e 49^o Oeste de Greenwich, encontrando-se ao sul do Brasil. Os limites estaduais são, respectivamente com o estado de São Paulo ao norte, na foz do rio Ararapira e com o estado de Santa Catarina ao sul na foz do rio Saí-Guaçu. Na figura 1, observa-se as principais cidades da região litorânea sendo elas: Paranaguá, Morretes, Antonina, Guaraqueçaba, Praia de Leste, Pontal do Paraná e Guaratuba.

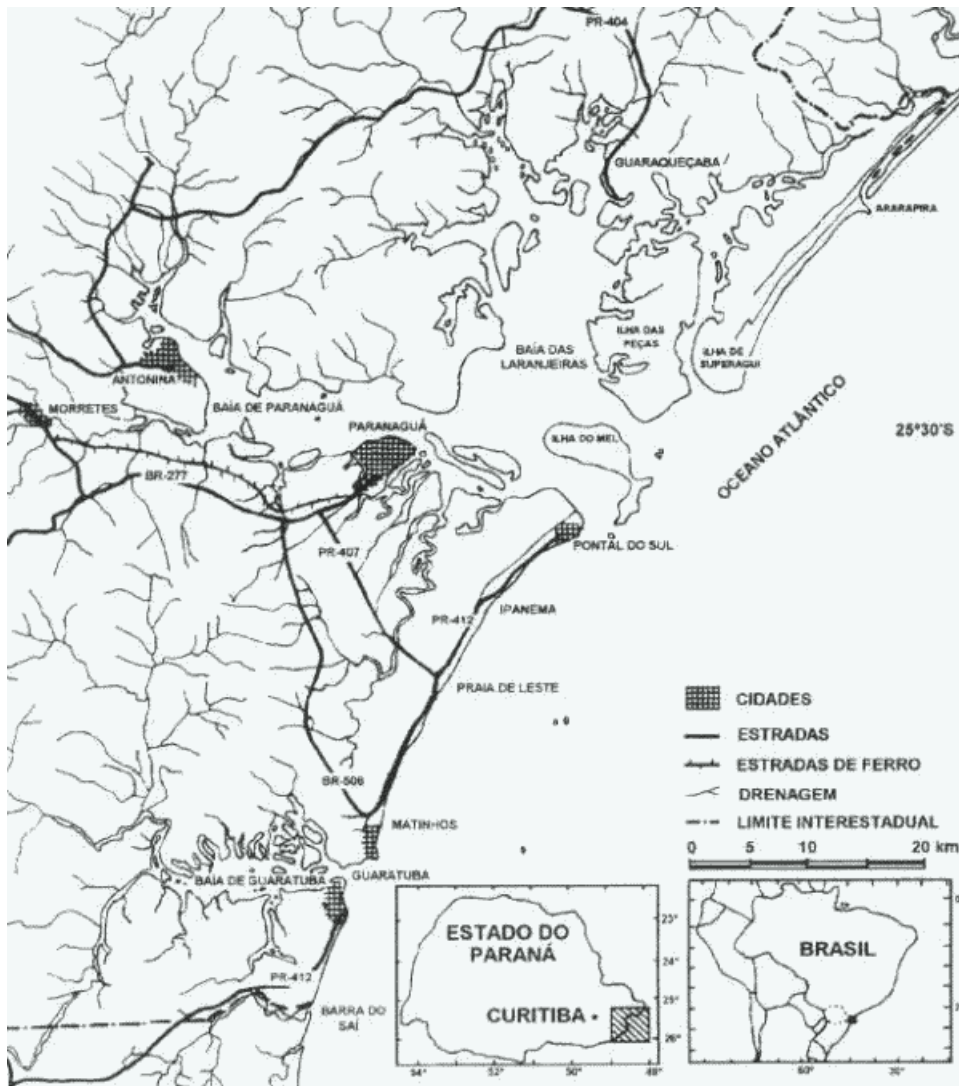


Figura 1 : Mapa do Litoral do Estado do Paraná

3. Levantamentos Realizados no Litoral Paranaense

Os primeiros levantamentos com o GPS no litoral do estado do Paraná datam de 1996. Nesta época constatou-se uma ausência de informações confiáveis, contudo um grande interesse e uma constante preocupação por parte das instituições de pesquisa (CEM/UFPR) e pelos demais órgãos estaduais.

Visando auxiliar e contribuir para um melhor conhecimento geodésico da área em questão é que diversos levantamentos começaram a ser desenvolvidos nesta área, fornecendo subsídios e informações confiáveis para o desenvolvimento de outros estudos ambientais na área em estudo.

Dentre os levantamentos que têm sido realizados com o GPS, no litoral paranaense, pode-se citar: a implantação de uma rede geodésica local; o monitoramento de áreas sujeitas a progradação e ao recuo; o posicionamento preciso de embarcações, de recifes artificiais; a localização dos recifes artificiais; levantamentos cadastrais de cais portuários e edificações; o levantamento de linhas de costa; a conexão de alguns marégrafos; a geração de modelos de superfície em áreas costeiras e testes com uma rede de estações de referência local analisando-se a correlação espacial.

Foram empregados os métodos de posicionamento relativo e diferencial (DGPS) com as suas técnicas em função da precisão desejada e do fim a que se destinava o levantamento.

Dentre os equipamentos utilizou-se receptores geodésicos de dupla frequência (p.ex. Ashtech Z-XII e Trimble 4000 SSI), bem como de uma frequência (p.ex. Ashtech Reliance). Quando se almeja o posicionamento preciso em tempo real, neste ambiente, tem-se recorrido ao programa GNREF/GNRT-K.

No pós-processamento dos dados estão sendo utilizados diferentes programas GPS: comerciais (PRISM) e científicos (GEONAP-K, GNRT-K, BERNESE); também em alguns casos utiliza-se o programa hidrográfico HYPACK. Busca-se ainda uma interação com outros ramos que necessitam de coordenadas precisas como por exemplo o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e com outros sistemas como por exemplo a ecobatimetria.

Segundo Heimberg e Seeber (1993), a precisão obtida com os diferentes tipos de posicionamentos e técnicas GPS pode ser observada na figura 2.

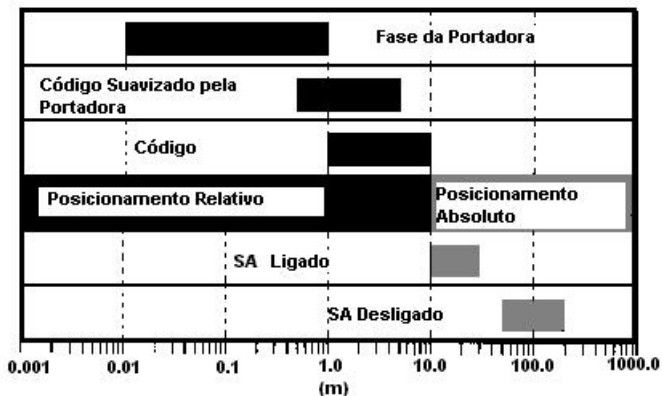


Figura 2 : Precisão para os Posicionamentos GPS
(Adaptado de: SEEBER et al., 1993)

Maiores informações sobre GPS, DGPS e PDGPS, bem como sobre o formato RTCM e os sistemas de comunicação podem ser obtidas em: Krueger (1996), Krueger (2001), Seeber (1993), Heimberg et al. (1993), Willgalis et al. (2002) e Wübbena et al. (1995).

3.1 Implantação de uma Rede Geodésica Local

Atualmente, o Brasil conta com duas redes: a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) e a Rede de Estações de Radiofaróis. A primeira é composta de 12 estações, localizadas nas cidades de: Manaus, Imperatriz, Fortaleza, Bom Jesus da Lapa, Brasília, Cuiabá, Presidente Prudente, Viçosa, Porto Alegre, Salvador, Recife e Curitiba. Elas, fazem parte da Rede de Referência SIRGAS-Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul. As coordenadas finais das estações RBMC têm precisão da ordem de 5 mm, configurando-se como uma das redes mais precisas do mundo. A Segunda localiza-se na costa brasileira e é composta de 11 estações, com um alcance de 200 à 300 milhas náuticas. Segundo a DHN-Divisão de Hidrografia e Navegação, órgão da Marinha do Brasil responsável por esta rede, a precisão alcançada é inferior a $9\text{ m } (3\sigma) + 2\text{ ppm}$. Ela, fornece apoio a: navegação marítima, levantamentos hidroceanográficos, sinalização náutica e dragagem. Apenas com a rede implantada pela DHN é que o usuário consegue se posicionar em tempo real através das correções diferenciais enviadas por meio das portadoras dos radiofaróis.

Visando o desenvolvimento de um sistema geodésico, conduzindo a altas precisões pretende-se implantar uma rede geodésica local, que será conectada a RBMC. As estações que farão parte desta rede local serão implantadas em locais de interesse a toda a comunidade técnico-científico que atua na área. Atualmente, conta-se com 11 estações já definidas e rastreadas na área em estudo, conforme ilustra a figura 3. A princípio o marco CEM1 (pertencente a rede), localizado nas dependências do Centro de Estudos do Mar (CEM), foi conectado a estação PARA (RBMC) através de um posicionamento relativo. As suas coordenadas geodésicas foram determinadas com os dados coletados durante 8 dias de rastreamento sucessivos, sendo pós-processadas e ajustadas pelo programa Bernese. Futuramente, esta conexão será realizada com outra estação da RBMC implantada recentemente na cidade de Porto Alegre. Para os demais marcos constituintes desta rede utilizou-se a técnica estática de posicionamento relativo tendo como estação base a estação CEM1, um intervalo de gravação dos dados igual a 15s e um tempo de ocupação nas estações igual a 5 horas. Foram empregados os receptores *Ashtech Z-XII* com antenas de dupla frequência (L1 e L2). Na figura 4 pode-se observar estes equipamentos instalados sobre 3 marcos que compõem esta rede geodésica local.

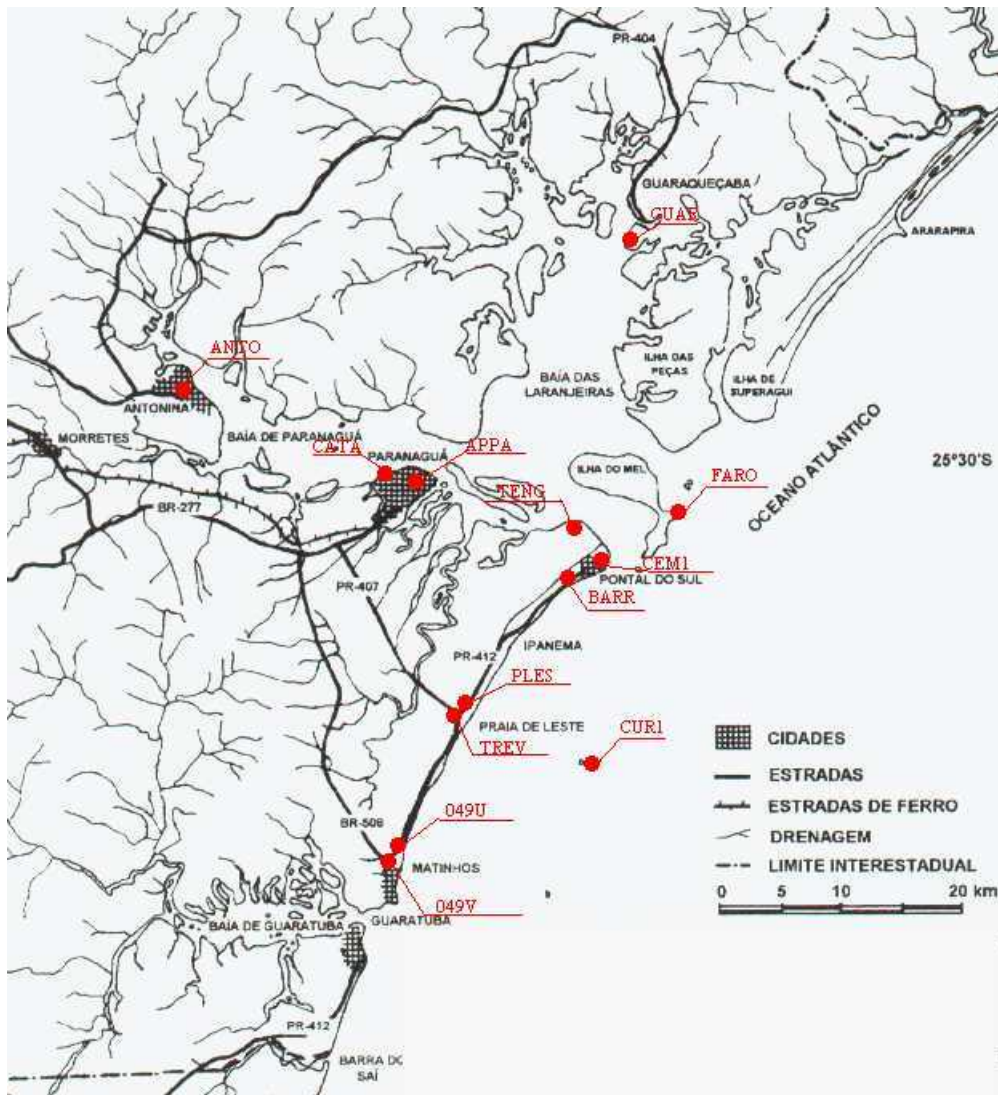


Figura 3 : Mapa de Localização das Estações da Rede Geodésica Local do Litoral do Estado do Paraná

Estações da Rede GPS no litoral Paranaense



Figura 4 : Equipamentos Instalados em 3 Marcos que Compõem a Rede Geodésica Local do Litoral

3.2 Posicionamento Preciso de Recifes Artificiais

Os recifes artificiais têm sido lançados por um grupo de pesquisadores do CEM/UFPR, os quais pretendem a curto e médio prazo: a conservação da biodiversidade marinha; a criação de corredores de pesca e áreas de exclusão; o desenvolvimento da pesca artesanal e do turismo sustentável; uma melhor compreensão dos processos ecológicos e hidrológicos na plataforma continental paranaense e sugerir estratégias para a implantação de programas de recifes artificiais no Brasil.

É de extrema importância a determinação precisa das coordenadas geográficas destes recifes artificiais durante os seus lançamentos, em face da necessidade de visitas periódicas aos mesmos visando o monitoramento da evolução deste programa.

Eles são posicionados relativamente com o receptor GPS Ashtech Reliance (com código C/A e L1) e as suas coordenadas têm sido obtidas no pós-processamento dos dados.

Com o emprego do GPS Diferencial são realizadas as localizações periódicas destes recifes. A estação de referência situa-se no marco CEM2, implantado em cima da caixa d'água do CEM. Este posicionamento têm sido realizado com os receptores Ashtech Reliance, as correções são enviadas à estação móvel (embarcação) através de um sistema de comunicação (Rádios de 35 W na estação de referência e de 2 W na estação móvel) e as correções são enviadas no formato RTCM 2.0.

Na figura 5 observa-se os recifes artificiais na embarcação e no instante do seu lançamento no mar.

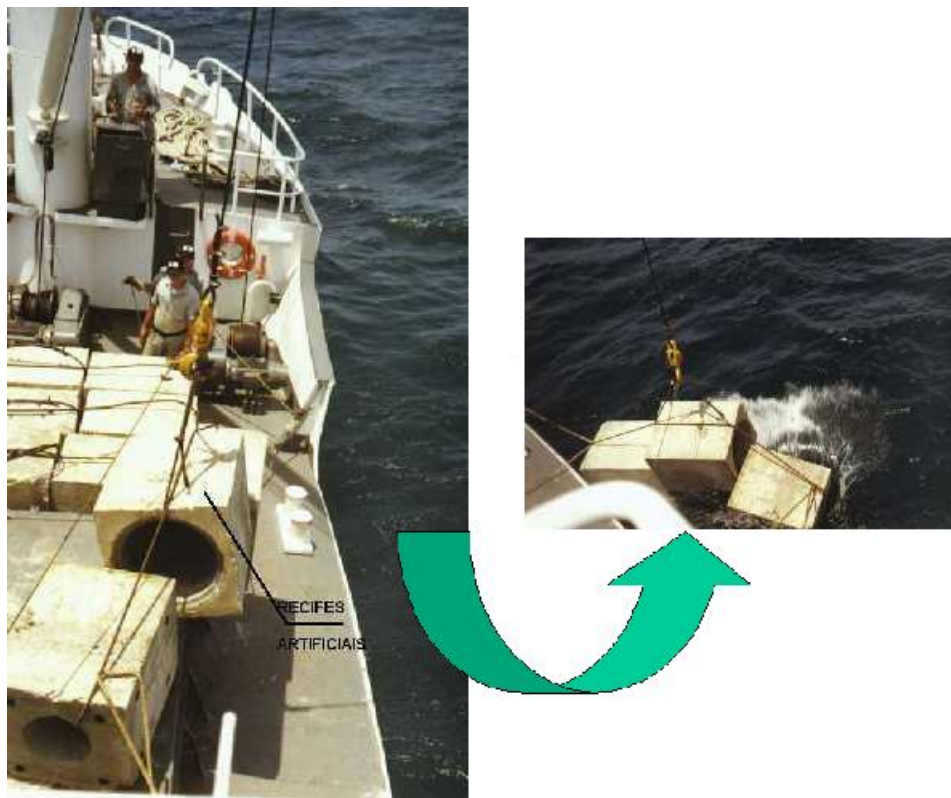


Figura 5 : Lançamento de Recifes Artificiais no Litoral Paranaense

3.3 Levantamentos Cadastrais de Cais Portuários

O GPS é uma componente eficaz para apoiar um sistema marinho de informações geográficas (SIG). Ele contribui para a formação de uma base geométrica uniforme e para a locação geométrica de objetos que entram no SIG (berços, cabeços, bóias de sinalização, cais portuários, canalizações de água e luz, oleodutos e gasodutos).

Até o presente momento, foram realizados levantamentos cadastrais dos cais do Porto de Paranaguá e da Capitania dos Portos.

O Porto de Paranaguá, que é o maior exportador de grãos da América Latina e o terceiro no ranking econômico brasileiro, começou a mudar o seu perfil com a Lei de Modernização dos Portos Brasileiros (Lei nº. 8.630/93) e a consolidação do MERCOSUL. Dentro do programa de modernização a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) vem realizando junto com o Centro de Estudos do Mar trabalhos inerentes à operação portuária, que envolvem vários tipos de levantamentos, dentre os quais a elaboração de cadastros de pontos notáveis ao longo do cais.

Foram levantados 24 pontos notáveis ao longo do cais. utilizou-se o posicionamento relativo com a técnica estático rápido, com uma taxa de gravação dos dados igual a 2 s e com um tempo de permanência no ponto igual a 5 minutos. A estação base foi instalada no marco APPA, localizado no pátio do estacionamento da sede administrativa dos Portos de Paranaguá e Antonina. Foram empregados os receptores Ashtech Reliance com antenas de frequência



simples (L1) conforme pode-se observar na figura 6. As coordenadas geodésicas (WGS-84) foram obtidas por meio do pós-processamento dos dados através do programa Reliance. Elas, vem acompanhadas pelos respectivos desvios de precisão interna, indicativos da qualidade dos resultados obtidos.

Na figura 07 apresenta-se um detalhe da representação do cais do Porto de Paranaguá.

Figura 6 :
Levantamento de um dos pontos notáveis ao longo do cais do Porto de Paranaguá com os receptores Ashtech Reliance.

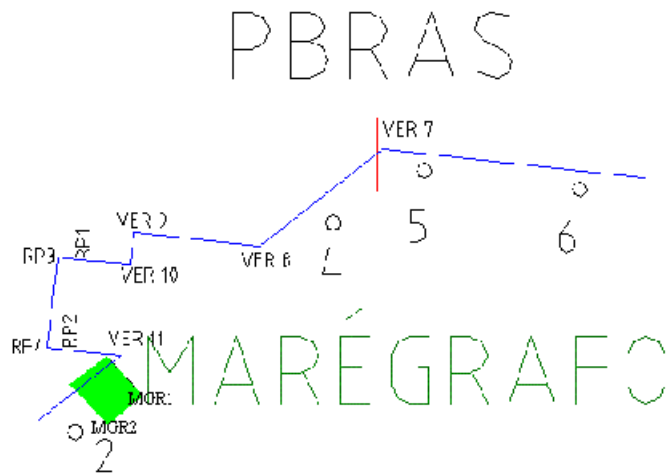


Figura 7 : Detalhe de alguns pontos levantados no cais do Porto de Paranaguá.

3.4 Monitoramento de Linhas de Costa sujeitas a Progradação e ao Recuo

No entendimento de Soares (1995) linha de costa é 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 uma progradação ou um recuo (erosão).

Diversos métodos podem ser empregados na determinação destas linhas, contudo desde 1996 (Krueger; et al. , 1996), tem-se empregado o GPS na detecção da variação de algumas linhas de costa no litoral paranaense, sujeitas a progradação e ao recuo, verificando a sua viabilidade em obter maiores informações sobre a área em estudo e de manter um cadastro atualizado dessas linhas de costa.

Nestes monitoramentos tem-se empregado o método de posicionamento relativo com a técnica cinemática contínua utilizando receptores *Ashtech Z-XII*, nestes casos os dados coletados tem sido pós-processados com os programas PRISM e GEONAP-K. Também têm se utilizado o DGPS Preciso com o emprego do programa GNREF/GNRT-K, o qual possibilita o posicionamento de uma estação móvel a partir das correções geradas e transmitidas pela estação de referência, atingindo precisão inferior ao decímetro.

Estes levantamentos têm sido realizados em várias áreas do litoral paranaense. Foram levantadas as linhas de costa do Balneário de Pontal do Sul, de parte do município de Matinhos e das linhas próximas ao istmo da Ilha do mel que se encontra em franco processo erosivo.

Cita-se neste artigo um destes levantamentos. Nele a estação de referência (estação base) é instalada no marco CEM1, marco implantado no Centro de Estudos do Mar, com um intervalo de gravação dos dados igual a 3 s. A estação móvel, nestes casos, fica caracterizada por uma pessoa percorrendo a costa a pé numa velocidade média de 4km/h, com receptor e antena devidamente instalados numa mochila (figura 8). Realiza-se inicialmente uma inicialização, permanecendo-se de 5 a 15 minutos no ponto inicial das trajetórias a serem descritas. Procura-se manter a sintonia com pelo menos 4 satélites, utilizar dados de dupla frequência e a combinação dos códigos com as portadoras. Fatores esses, de extrema importância na recuperação dos Cycles Slips, no método cinemático (Seeber, 1993).



Figura 8 : Estação Móvel

A superposição das linhas de costa geradas a partir de um posicionamento relativo com a técnica cinemática contínua em Pontal do Sul (Village), de 1997 e 1998, a qual pode ser observada na figura 9. Nela, verifica-se as áreas progradas e erodidas.

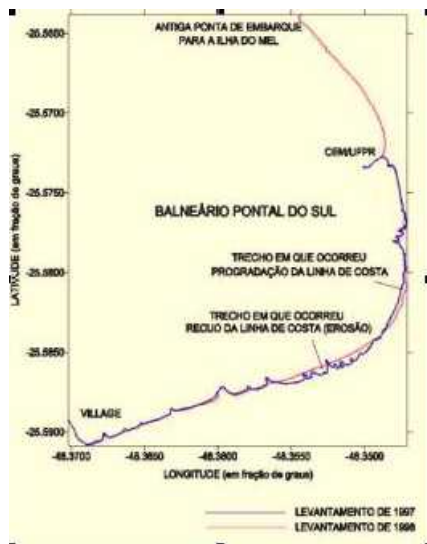


Figura 9 : Superposição das Linhas de Costa de 1997 e 1998 – Balneário de Pontal do Sul

Estes monitoramentos também têm sido realizados em áreas sujeitas a movimentações sedimentares como é o caso do istmo da Ilha do Mel (sujeito a um intenso processo erosivo). A partir da geração de modelos de superfície tem-se calculado as variações volumétricas destas áreas em estudo.

3.5 Conexão de Marégrafos

Os marégrafos existentes no litoral paranaense estão referenciados a RRNN locais, porém eles não se encontram referidos a um mesmo referencial altimétrico. Contudo, para a correta utilização dos dados marítimos, necessita-se da conexão destes a um mesmo referencial.

Foi realizada a conexão dos marégrafos existentes em Paranaguá e Antonina a um mesmo nível de referência vertical. Realizou-se um posicionamento relativo visando a determinação das coordenadas geodésicas das RRNN locais e posteriormente um nivelamento geométrico de alta precisão visando a determinação do desnível destas RRNN locais com as RRNN do IBGE.

A localização das RRNN locais e do marégrafo de Paranaguá e das RRNN locais e do marégrafo de Antonina pode ser observada na figura 10 e figura 11, respectivamente.

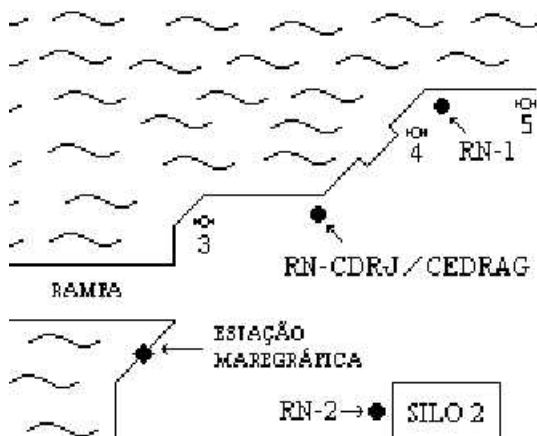


Figura 10 : Croqui das RRNN e do marégrafo de Paranaguá

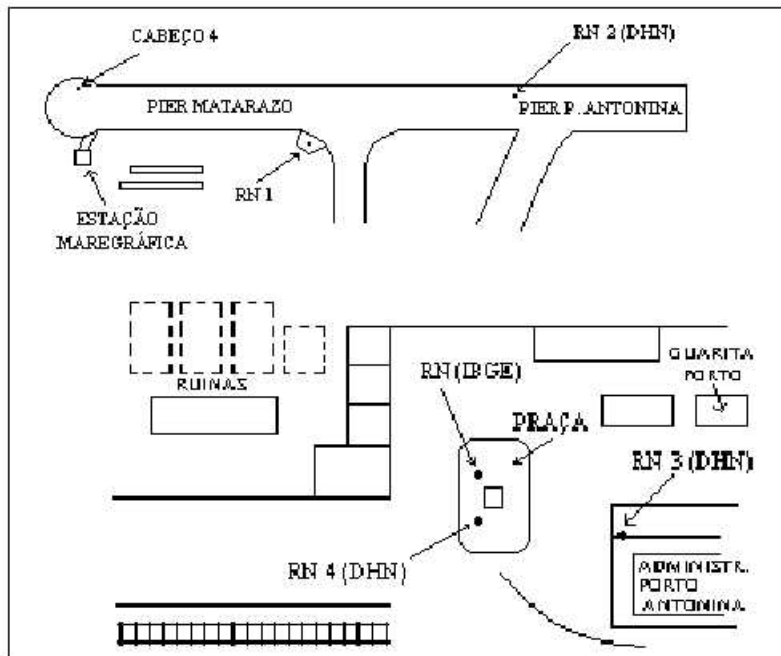


Figura 11 : Croqui das RRNN e do marégrafo de Antonina

No posicionamento relativo empregou-se a técnica estática, com um tempo médio de ocupação de 2 horas e com uma taxa de gravação dos dados igual a 15 segundos. Empregou-se como estação base o marco APPA, pertencente a Rede Geodésica do Litoral Paranaense (seção 3.1) e os dados foram pós-processados com o programa GPS científico GEONAP-K.

O nivelamento geométrico de 1ª ordem foi realizado com o emprego de um nível digital LEICA NA 3003, miras verticais de invar e foi empregado o método de visadas iguais. Foram adotados todos os cuidados necessários a realização de um nivelamento de 1ª ordem.

4. Conclusões e Perspectivas Futuras

Os levantamentos realizados com o auxílio do GPS, até o presente momento no litoral paranaense, têm contribuído sobremaneira com as demais áreas atuantes e fornecido uma visão sistemática sobre a problemática ambiental e informações para o seu monitoramento.

Nos posicionamentos precisos em tempo real tem-se obtido precisões inferiores ao decímetro, quando do emprego do programa GNREF/GNRT-K.

Verificou-se a eficiência do GPS nos levantamentos geodésicos desenvolvidos até o presente momento, contudo enfrenta-se sempre alguns problemas a serem contornados. Dentre estes pode-se citar: em levantamento de pontos notáveis nos cais portuários, o qual deve ser realizado de preferência em épocas de pouco tráfego marítimo, reduzindo a má recepção do sinal GPS e os erros provenientes do efeito do multicaminho e em levantamentos das linhas de costa nem sempre é possível percorrer exatamente esta linha, devido aos obstáculos que se apresentam contribuindo também para as perdas dos sinais GPS.

O levantamento de pontos notáveis nos cais portuários com o GPS deve ser realizado de preferência em épocas de pouco tráfego marítimo. A presença de navios ancorados nos portos acarreta na formação de obstáculos conduzindo a uma má recepção do sinal GPS e contribui a um acréscimo dos erros provenientes do efeito do multicaminho.

Embora o GPS seja preciso e prático, nem sempre é possível percorrer exatamente a linha de costa, devido aos obstáculos que se apresentam contribuindo também para as perdas do sinal GPS.

Pretende-se no futuro ampliar esta rede geodésica local e monitorar o possível deslocamento de seus marcos. Este controle será realizado semestralmente, e os deslocamentos serão verificados a partir de marcos considerados estáveis, ou seja, aqueles localizados sobre solo rochoso.

5. Referências Bibliográficas

Heimberg, F.; Seeber, G.: *Kinematische Anwendungen von GPS – GPS-eine universelle geodätische Methode*. DVW e.V., Wittwer, Schriftreihe, 11/1993.

Krueger, C.P., Soares, C.R., et. al.: *Levantamento com GPS da Linha de Costa na Área Erosiva da Ponta do Poço (PR)*. 2º COBRAC, Florianópolis, SC, 1996.

Krueger, C.P.: *Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho*. Tese de doutoramento apresentada ao CPGCG - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 267 p, 1996.

RTCM – RECOMMENDED STANDARDS FOR DIFFERENTIAL NAVSTAR GPS SERVICE: Version 2.1. Radio Technical Commission for Maritime Services, Washington, U.S.A, January 3, 1994.

B>Seeber, G.: *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*. Berlin - New York, 1993.

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 obtenção do título de doutor, São Paulo, 1995.

Wanniger, L.: *Einfluss ionosphärischer Störungen auf präzise GPS-Messungen in Mitteleuropa.* In: GPS-Leistungsbilanz'94, Beiträge zum 34. DVW-Seminar, p218 à 232, Godätischen Institut, Universidade de Karlsruhe, Alemanha, Outubro 1995.

Wübbena, G.: *Zur Modellierung von GPS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung.* Tese, Nr.168, Institut für Erdmessung, Universität Hannover, 1991.

Wübbena, G., Bagge : *Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen.* In: Beitrag zum DVW-Praxisseminar DGPS- Anwendungen, Hamburg, p.01 à 16, 19.-20. Sept. 1995.