

---

## LEVANTAMENTO GEODÉSICO GNSS-RTK PARA O MAPEAMENTO DA LINHA DE COSTA

GLEICE PEREIRA DA SILVA<sup>1</sup>

RODRIGO MIKOSZ GONÇALVES<sup>1</sup>

ELMO LEONARDO XAVIER TANAJURA<sup>2</sup>

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Centro de Tecnologia e Geociências - CTG

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE

gleice750@ig.com.br

rodrigo.mikosz@ufpe.br

Universidade Federal do Acre - UFAC

<sup>2</sup> Centro de Tecnologia Exatas e Tecnológicas - CCET

elmo@ufac.br

---

**RESUMO** - A linha de costa é uma das feições cartográficas mais dinâmicas em um ambiente costeiro. Existem alguns indicadores de como efetuar seu mapeamento, principalmente, relacionado com o instante da maré alta para um determinado dia. Comparar resultados obtidos em pesquisas costeiras com o objetivo de monitoramento torna-se importante e almeja-se sempre a melhor confiabilidade e acuracidade da determinação posicional da linha de costa. O presente trabalho tem por objetivo a realização do levantamento da linha de costa na Praia de Piedade, município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. Destaca-se que o local de estudo vem sofrendo com os efeitos de erosão costeira sendo importante o seu monitoramento. Para melhor execução dos levantamentos geodésicos GNSS com o método RTK foi feito o planejamento para a escolha do melhor horário em função de duas variáveis: o número de satélites visíveis conforme as obstruções presentes no local e o horário adequado para mapear a linha de costa em função da variação diária da maré. Os resultados obtidos são avaliados de acordo com o erro médio quadrático das coordenadas geodésicas da linha de costa, o qual foi obtido o valor médio de 0,54 m.

**ABSTRACT** – The shoreline is one of the most dynamic cartographic features in a coastal environment. There are some indicators of how to mapping the shoreline related to the time of high tide for a specific day. The comparison of results obtained in coastal monitoring researches becomes important and investigating the best reliability for shoreline positional accuracy is expected. The goal of this paper is to carrying out the shoreline survey at Piedade beach, located at Jaboatão dos Guararapes municipality, Pernambuco state, Brazil. It is noteworthy that the study area has suffering the effects of coastal erosion and monitoring is important. For better GNSS geodetic survey with the RTK method a survey planning was done, to choose the best time as a function of two variables: the number of visible satellites according to the obstructions in the location and time suitable to map the shoreline due to the daily variation of the tide. The results are evaluated according to the mean square error of the geodetic coordinates of the shoreline; which was obtained a mean value of 0.54 m.

---

### 1 INTRODUÇÃO

A faixa litorânea brasileira compreende cerca de 8000 km de extensão e abrange os mais variados tipos de sistemas costeiros de relevância ambiental, tais como manguezais, restingas, dunas, praias, ilhas, costões rochosos, baías, brejos, falésias, estuários, recifes de corais e outros ambientes importantes do ponto de vista ecológico (IBAMA, 2007). A linha de costa pode ser definida como 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 (SUGUIO, 1992). O mar, com uma ação paulatina e difícil de ser percebida dada a sua longa duração, ameaça invadir lares e ocupar terra útil. Tão paulatina quanta esta ação, deve ser a prevenção contra ela. Nessas circunstâncias, reside a

necessidade de um constante monitoramento do avanço do mar, tipicamente efetuado através de levantamentos baseados em posicionamento global como, por exemplo, usando medições através de satélites no caso o GNSS (*Global Navigation Satellite System*- Sistema Global de Navegação por Satélite).

Os levantamentos baseados no posicionamento por satélite em ambientes costeiros vêm crescendo no Brasil e no mundo. Alguns autores como Krueger (1996), apresentam bons resultados e dão indicativos para aplicações do sistema GPS (*Global Positioning System*) para ambientes marinhos. Na literatura internacional Ruggiero *et al.* (1999) destacam a importância do monitoramento da linha de costa para o planejamento urbano utilizando o levantamento diferencial RTK (*Real Time Kinematic*). Souza e Krueger (2002) avaliaram variações volumétricas temporais utilizando levantamentos GPS para uma determinada área costeira localizada no istmo da Ilha do Mel. Tedesco *et al.* (2000) e Babinsky (2006) realizaram experimentos com a utilização do GPS para o mapeamento costeiro juntamente com análise de extração da linha de costa com o uso de sensoriamento remoto e câmaras fotogramétricas de pequeno formato, respectivamente. Ribeiro (2005) destaca o uso do Geoprocessamento para análise espaço-temporal em ambientes costeiros complexos, enfatizando o uso do GPS. Zeferino (2007) faz uma comparação utilizando diferentes receptores GPS demonstrando suas limitações e precisões encontradas em um experimento prático para o mapeamento da linha de costa. Questões referentes ao posicionamento geodésico e avaliações de diferentes métodos e processamento de dados GPS utilizando diferentes estações bases e técnicas com aplicações costeiras podem ser encontradas em TANAJURA (2008). Já MAIA e MAZUR (2008) se preocupam em organizar dados temporais geodésicos da linha de costa para analisar suas variações temporais obtidas por levantamentos GPS.

O desafio inicial para detecção e monitoramento da linha de costa é desenvolver uma técnica capaz de identificar e mapear a feição denominada como “linha de costa”. Mais detalhes e discussões em relação a este tema podem ser encontrados em Book e Turner (2005). Gonçalves (2010) destaca as dificuldades em escolher pesos nas observações temporais da linha de costa extraída por diferentes métodos e discute as diferenças e implicações nas análises de tendências considerando a modelagem preditiva adotada.

Entre os métodos GNSS para levantamento de linha de costa optou-se pela diferencial RTK (*Real Time Kinematic*) que foi aplicada em função da amplitude da maré e seu horário. O RTK é uma técnica de posicionamento onde os levantamentos se caracterizam pela particularidade de obtenção de coordenadas geodésicas em tempo real. Um sistema RTK é composto por dois receptores com as respectivas antenas, link de comunicação (para transmitir ou receber correções e/ou observações da estação de referência) e *software* apropriado para realizar o processamento e a validação dos dados (MONICO, 2008).

Outro fator levado em consideração diz respeito às obstruções, pois, muitas vezes, devido ao alto grau de automação envolvida com os receptores GNSS, os usuários subestimam a necessidade de realizar um bom planejamento (GEMAEL, 2004). Em regiões com obstáculos como, por exemplo, árvores, postes, muros e edifícios, torna-se necessário fazer um planejamento para verificar o melhor horário para o rastreamento. Especificamente, na Praia de Piedade, local escolhido para realizar os experimentos, existe várias edificações que podem obstruir os sinais dos satélites. Sendo assim, buscou-se planejar o melhor horário para o rastreamento juntamente com a informação à respeito da amplitude máxima da maré local, tornando-se uma informação necessária para efetuar o levantamento cinemático da linha de costa.

O objetivo deste trabalho é fazer uso do levantamento geodésico GNSS/RTK para o mapeamento da linha de costa na praia de Piedade, localizada no município de Jaboatão dos Guararapes. A escolha desta praia deve-se ao fato de haver vários registros de erosão costeira.

O planejamento para a realização deste experimento consistiu nas seguintes fases: planejamento baseado no número de satélites visíveis e verificação dos horários de coleta de dados de acordo com as marés favoráveis, no caso a maré alta. Após a etapa de planejamento determinou-se o melhor dia e horário para a execução do levantamento geodésico.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

O litoral de Jaboatão do Guararapes localizado na costa do Nordeste Brasileiro está a uma distância da capital pernambucana (Recife) de aproximadamente 10 km partindo do marco zero em Recife, ele é formado pelas praias da Barra de Jangada, Candeias e Piedade. Atualmente encontra-se bastante urbanizado possuindo uma área de 256.073 km<sup>2</sup> e uma população de 644.699 habitantes, (IBGE, 2010).

O bairro de Piedade vem se consolidando como uma extensão do bairro de Boa Viagem em Recife. No passado esta praia foi lugar de veraneio, mas hoje tem sua orla quase que totalmente tomada por prédios residenciais altos, sobrecarregando a paisagem de ambos os bairros. A praia de Piedade tem o agravante de não ter avenida beira-mar. Os prédios são construídos diretamente sobre a pós-praia. Isso levou a uma situação de alto risco ambiental, comprometendo severamente o balanço sedimentar da praia e conseqüentemente o patrimônio privado.

### 3 MÉTODOS

A realização de um levantamento da linha de costa com êxito está fundamentada em encontrar uma situação ideal para o rastreamento dos pontos baseada no cruzamento de informações da visibilidade de um maior número de satélites conforme as obstruções locais atrelada a uma previsão de maré alta para aquele determinado instante.

A figura 1 apresenta o fluxo de trabalho para determinação da linha de costa ordenando todas as etapas, partindo da definição da área de estudo no caso a praia de Piedade, até o mapa final da linha de costa.

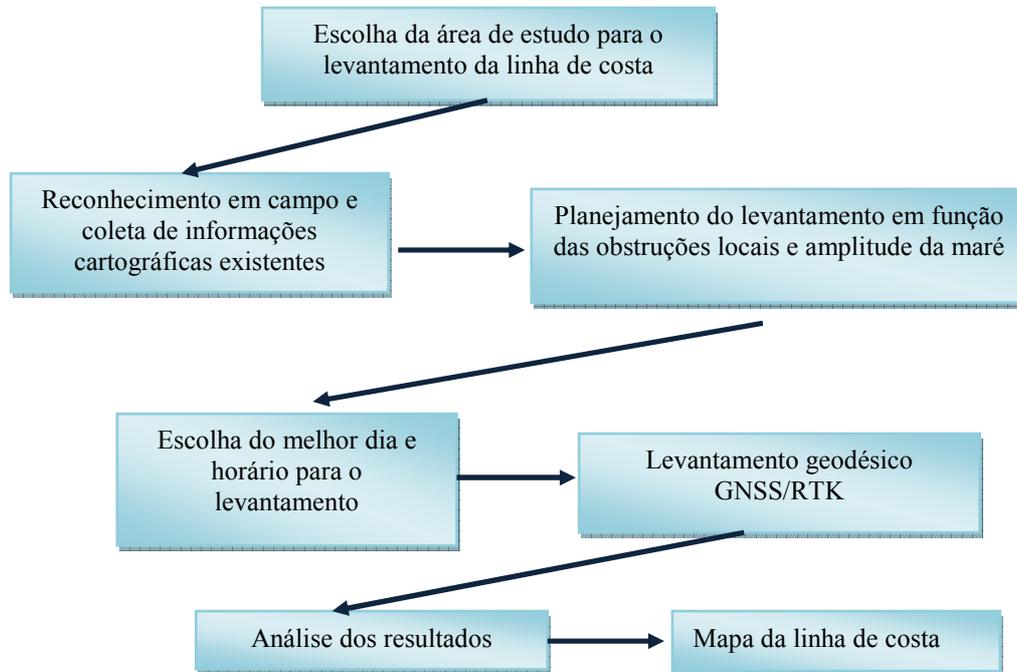


Figura 1 – Fluxo de trabalho para o levantamento.

Após escolhido a área de estudo a primeira etapa para iniciar um projeto de determinação da linha de costa é o reconhecimento em campo, assim como, a busca de informações cartográficas como: pontos geodésicos materializados, mapas, imagens de satélite, enfim qualquer documento que possa auxiliar no planejamento e levantamento geodésico.

Na praia de Piedade encontram-se várias edificações ao longo da praia que foram considerados como obstáculos para os sinais de satélites. A figura 2 apresenta uma fotografia mostrando estes obstáculos.



Figura 2 – Edifícios encontrados ao longo da praia de Piedade

As informações referentes aos obstáculos existentes no local no caso azimute e elevação das edificações são estimados e inseridos no *software* de planejamento. A figura 3 mostra o mapa do céu para uma das análises em questão. Utilizou-se para este propósito o *Trimble Office Planning*.

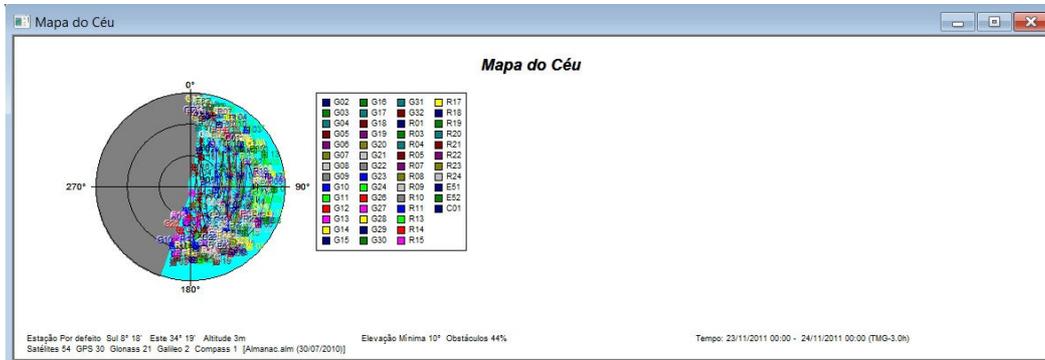


Figura 3 – Azimute das obstruções e satélites disponíveis

Foi efetuado o planejamento para os dias entre 17 e 24 de novembro de 2011. Para cada dia planejado foram gerados gráficos que permitem a análise dos melhores horários disponíveis para o rastreo em função do número de satélites figura 4.

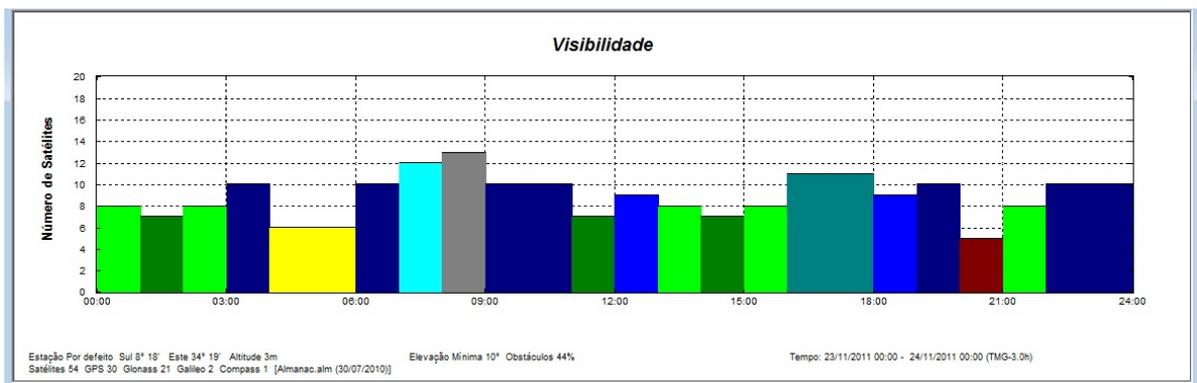


Figura 4 – Número de satélites visíveis no intervalo de 24 horas

A próxima etapa do planejamento consiste em observar a tábua de amplitude de maré. Esta análise de previsão de maré é realizada no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) vinculado ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). A Tabela 1 a seguir apresenta a variação de maré para a semana do levantamento baseada nos dados do Porto de Suape.

Tabela 1 – Previsões de maré

<b>PREVISÕES DE MARÉ</b>			
<b>PORTO DE SUAPE - PERNAMBUCO</b>			
<b>Latitude:</b> 08° 23,9' S	<b>Longitude:</b> 034° 27,6' W	<b>Fuso:</b> +03,0	<b>Ano:</b> 2011
<b>Instituição:</b> INPH	<b>13 componentes</b>	<b>Nível Médio:</b> 1,24	<b>Carta:</b> 00906
<b>Lua</b>	<b>Dia</b>	<b>Hora</b>	<b>Altura(m)</b>
-	Quinta 17/11/2011	01:49	0,6
		08:06	1,8
		14:11	0,7
		20:30	1,9
Minguante	Sexta 18/11/2011	03:00	0,6

		09:21	1,8
		15:28	0,7
		21:47	1,9
-	Sábado 19/11/2011	04:11	0,5
		10:34	1,9
		16:43	0,6
		22:58	2,0
-	Domingo 20/11/2011	05:19	0,4
		11:38	2,0
		17:49	0,5
-	Segunda 21/11/2011	00:00	2,1
		06:17	0,3
		12:34	2,1
		18:45	0,3
-	Terça 22/11/2011	00:56	2,2
		07:09	0,2
		13:24	2,2
		19:38	0,2
-	Quarta 23/11/2011	01:49	2,3
		08:00	0,3
		14:13	2,3
		20:26	0,3

Observa-se que no intervalo de dias analisado, a maré está variando entre 0,2 a 2,3 m. Considerando que a situação de planejamento ideal para a execução do levantamento da linha de costa seria em função do maior número de satélites visíveis associada a uma maré alta, chegou-se a conclusão que no dia 23 de novembro em torno das 14h13min seria uma boa hora para dar início ao levantamento geodésico.

### 3.1 Levantamento Geodésico

A estação de referência (BASE) encontra-se nas proximidades do PONTO INÍCIO onde foi efetuado o levantamento percorrendo uma extensão de aproximadamente 1,2 km. As coordenadas precisas pré-determinadas da base são  $8^{\circ}10'10,5296''S$ ,  $34^{\circ}54'51,7915''W$  e 1,4440m de altitude elipsoidal no sistema SIRGAS2000. A figura 5 apresenta um esboço com o trecho rastreado que vai desde o PONTO INÍCIO, origem do levantamento até o PONTO 1 término do levantamento.

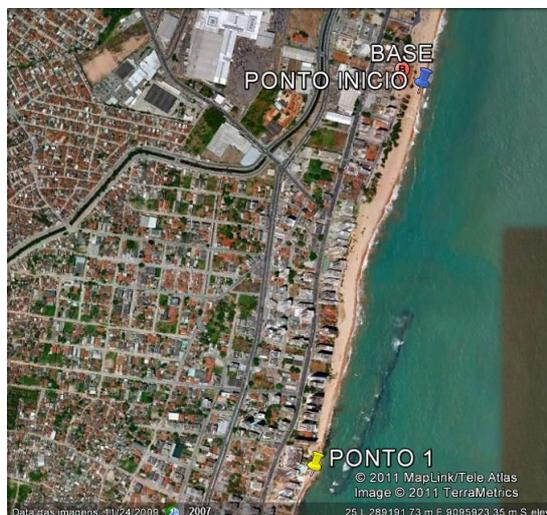


Figura 5 – Esboço da área de estudo, base, ponto início e o ponto 1.

Para a execução do levantamento foram utilizados os receptores Hiper da marca Topcon, modelo LITE +.

A estação itinerante percorreu a linha de costa de Piedade coletando os dados. A figura 6 demonstra o caminhar sobre a linha de costa, que pode ser identificado no limite do alcance máximo da maré entre a areia seca e molhada.



Figura 6 – Levantamento da linha da costa

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados pelo receptor, as coordenadas geodésicas obtidas foram transformadas para coordenadas no sistema UTM. Os dados obtidos foram desenhados no AutoCad gerando assim um mapa com o traçado da linha de costa conforme a figura 7:

Levantamento RTK da linha de costa em Piedade

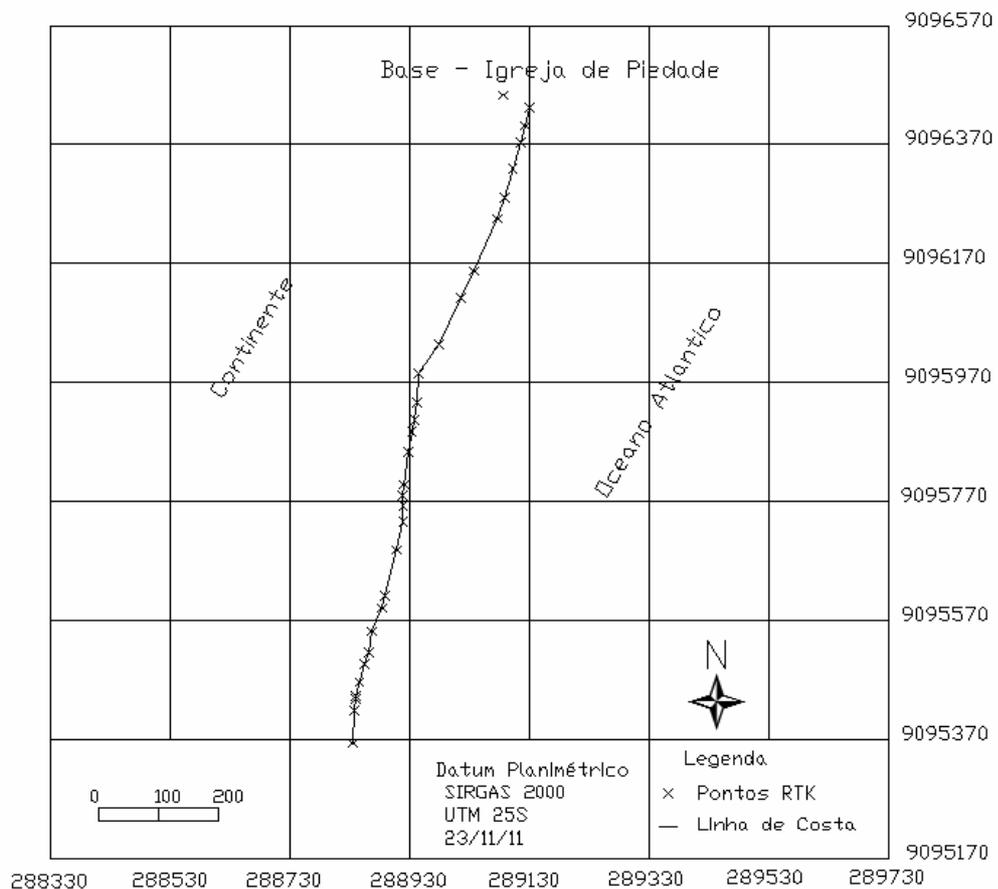


Figura 7 – Mapa da linha de costa em Piedade

Apesar da previsão de 6 a 9 satélites feita no planejamento, verificou-se na prática que foram captados de 8 a 14 satélites durante o levantamento do trecho.

Das 30 soluções apresentadas 8 delas foram Fixas (*Fixed*) e 22 Flutuantes (*Float*) (Tabela 2). Notas-se que as soluções Fixas apresentam os menores valores para o Erro Médio Quadrático (EMQ), onde se encontrou as seguintes estatísticas: valor mínimo 0,012m , máximo 2,000 m e média aritmética de 0,543 m.

Tabela 2- Dados coletados do Levantamento do dia 23/11/2011 em UTM.

Pontos	UTM E(m)	UTM N(m)	Solução GPS	Nº de Satélites	EMQ (m)
Piedade 3	289086,345	9096452,613	Fixo	11	0,013
1	289129,634	9096432,011	Flutuante	13	0,120
2	289123,376	9096401,345	Flutuante	13	0,202
3	289115,425	9096373,662	Flutuante	12	0,123
4	289102,405	9096328,581	Fixo	11	0,013
5	289088,454	9096281,547	Fixo	11	0,012
6	289076,489	9096245,479	Fixo	14	0,013
7	289037,906	9096157,457	Fixo	13	0,013
8	289015,178	9096112,153	Flutuante	13	0,390
9	288978,868	9096034,560	Flutuante	10	1,000
10	288944,502	9095984,560	Fixo	10	0,014
11	288942,879	9095936,263	Flutuante	09	0,372
12	288938,609	9095907,871	Flutuante	10	0,518
13	288934,075	9095887,743	Flutuante	10	0,340
14	288928,074	9095853,120	Flutuante	9	0,938
15	288921,032	9095798,264	Flutuante	10	0,341
16	288917,488	9095780,963	Flutuante	10	0,289
17	288919,064	9095762,021	Flutuante	10	0,404
18	288918,939	9095735,655	Flutuante	11	0,772
19	288907,529	9095688,576	Flutuante	10	0,813
20	288888,401	9095611,523	Flutuante	09	0,886
21	288884,673	9095590,975	Flutuante	09	0,706
22	288865,910	9095551,946	Fixo	08	0,013
23	288861,103	9095515,495	Flutuante	08	2,000
24	288854,550	9095496,024	Flutuante	09	0,475
25	288846,041	9095466,308	Flutuante	10	2,000
26	288840,386	9095443,902	Flutuante	09	0,481
27	288840,202	9095438,162	Fixo	07	0,033
28	288836,713	9095419,031	Flutuante	11	1,000
29	288835,090	9095363,637	Flutuante	09	2,000
				EMQ médio	0,543

Os pontos com maiores EMQ encontram-se no final do levantamento onde a linha de costa se confunde com as edificações como pode ser visto na figura 8, prejudicando assim a recepção do sinal.



Figura 8 – Levantamento muito próximo as edificações

## 5 CONCLUSÕES

O Planejamento do melhor horário para rastreamento GNSS é uma etapa fundamental em locais onde existem obstáculos como edificações, árvores ou postes. Estes podem obstruir os sinais e assim prejudicar a realização do levantamento geodésico.

No caso deste experimento o EMQ máximo encontrado foi de 2,0 m, observado em locais onde a linha de costa se confundia com o limite das edificações.

O levantamento diferencial RTK é uma alternativa para a determinação da linha de costa para pequenos percursos onde destacam-se suas vantagens de praticidade e rapidez na obtenção dos dados de campo.

A previsão de maré foi um fator preponderante a ser considerado, pelo fato da determinação da linha de costa considerar a amplitude da maré máxima para um determinado local e dia.

Este trabalho possibilitou o mapeamento da linha de costa em um local vulnerável à erosão costeira.

## AGRADECIMENTOS

Ao Projeto de pesquisa PPP/APQ-1242-1.07/10, Monitoramento e mapeamento costeiro do uso e ocupação do solo nos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes. Financiadores: FACEPE/CNPq.

Ao LACCOST ([Laboratório de Cartografia Costeira da UFPE](#)).

## REFERÊNCIAS

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research** 21(4), p. 688-703, 2005.

BABINSCK, A. P. **Determinação da Linha de Costa por Meio da Monorrestituição Digital de Imagens de Câmaras de Pequeno Formato e Técnicas GPS**. Curitiba, 2006. 140 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

GEMAEL, C. ; ANDRADE, J. B. **Geodésia Celeste**. Curitiba: Editora da UFPR, 2004. 319p.

GONÇALVES, R. M. **Modelagem de Tendência a Curto-Prazo da Linha de Costa Através de Dados Geodésicos Temporais Utilizando Regressão Linear, Estimativa Robusta e Redes Neurais Artificiais**. 2010. 152p. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Ecosistemas Brasileiros**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/costeiros.htm>> Acesso: 25 novembro 2011.

MAIA, R.; MAZUR S. **Dinâmica de linha de costa: mapeamento e monitoramento**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica), UFPR, Curitiba-PR. 2008. 73p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

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.

RIBEIRO, G. P. **Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro**. Tese (Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense – UFF, Rio de Janeiro-RJ, 2005

RUGGIERO, P.; CÔTÉ, J.; KAMINSKY G.; GELFENBAUM, G. Scales of Variability along the Columbia River Littoral Cell. **Proceedings of Coastal Sediments**, ASCE, 1999. p.1692-1707.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha** São Paulo. T.A. QUEIROZ, Editor. 1992. 171p.

TANAJURA, E. L. X. **Investigações quanto aos parâmetros que influenciam no processamento de dados GPS visando a geração do MDT do Esporão Arenoso da Ilha do Mel**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR, Curitiba-PR. 2008. 120p.

TEDESCO, A.; TEIXEIRA E. E.; LANDOVSKY S. G. **Uso das técnicas de posicionamento por satélites e sensoriamento remoto para monitoramento do impacto ambiental decorrente da ação antrópica na região de Matinhos (PR)**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Cartográfica), UFPR, Curitiba-PR. 2000. 141p.

SOUZA, E. C. B.; KRUEGER, C. P. Determinação das Variações Volumétricas Ocorridas no Istmo da Ilha do mel Utilizando o GPS. In: COBRAC2002 - Congresso Brasileiro de cadastro Técnico Multifinalitário, 2002, Florianópolis. **Anais do COBRAC2002** - Congresso Brasileiro de cadastro Técnico Multifinalitário, v. 1, 2002. 1-12p.

ZEFERINO, C.C. **Investigações de Alguns Métodos de Posicionamento e Receptores GPS na Determinação das Linhas de Costa de Matinhos com uma Análise Temporal**. Curitiba, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.