



## NOTA TÉCNICA

# Método de Levantamento Topo-Batimétrico do Perfil do Sistema Praia-Antepraia

## Beach-Shoreface coupling profile by topo-bathymetric leveling method

Dieter Muehe

Departamento de Geografia, Laboratório de Geografia Marinha - UFRJ - dtmuehe@igeo.ufrj.br

### Resumo

É apresentada uma metodologia de levantamento topo-batimétrico visando o acoplamento do perfil da praia ao perfil submarino da antepraia, a partir de um mesmo *datum* vertical de referência em terra, transposto por nivelamento para o ajuste do ecobatímetro, assim como o controle e correção da navegação ao longo do perfil.

**Palavras chave:** Praia, antepraia, batimetria

### Abstract

A methodology for the coupling of the beach to the shoreface profile through transposition of the vertical datum by topographic leveling from the shore to the boat as also the navigation control and correction along the profile is presented.

**Keywords:** Beach, shoreface, bathymetry

### 1. Introdução

A antepraia compreende o prisma sedimentar submarino de transição entre a plataforma continental interna e a praia. Caracteriza-se por um contínuo incremento do gradiente topográfico em direção ao litoral, associado ao processo de empolamento das ondas (*shoaling*) até sua quebra. A forma exponencial do perfil da antepraia tem sido objeto de estudos na busca de aprimoramento da equação empírica de Bruun (1954) e Dean (1977, 1991) expressa pela relação:

$$h_s = Ax^{2/3}$$

na qual a profundidade "h" a uma distância "x" da linha de costa é definida em função do diâmetro granulométrico mediano dos sedimentos ou da correspondente velocidade mediana de decantação.

A intensa atividade hidrodinâmica

associada à dissipação da energia das ondas faz dessa zona um objeto de estudo complexo e de difícil observação devido ao risco para a embarcação e, na zona de surfe, ao portador da mira, exigindo prudência, habilidade e disponibilidade de tempo e embarcação para a realização dos trabalhos no momento em que as condições oceanográficas se tornem propícias.

O objetivo do presente trabalho, considerando a importância da morfologia da antepraia como indicador de desequilíbrios no balanço sedimentar e da profundidade limite de variação significativa da batimetria por efeito das ondas (profundidade de fechamento), é apresentar uma metodologia para o levantamento do perfil batimétrico da antepraia e seu acoplamento ao perfil da praia mantendo um mesmo referencial vertical, a manutenção do rumo desejado para o perfil através de navegação com GPS/DGPS e a correção de desvios de rumo durante a navegação na fase de plotagem do perfil.

## 2. Proposta Metodológica

### 2.1 Nivelamento Topográfico

O nivelamento de um perfil da praia pode ser feito tanto por nivelamento topográfico convencional, empregando nível ou teodolito, quanto pelo processo das balizas de Emery (Emery 1961). No entanto, a extensão do levantamento para a zona submarina precisa ser feita com emprego do nível topográfico ou teodolito e o uso de uma mira topográfica. Esta é levada para dentro da zona de surf e arrebentação por um portador da mira ou através de um trenó submarino (Muehe e Souza 1997). Dependendo da declividade da zona de surf e do comprimento da mira (as disponíveis no mercado nacional são de apenas 4 m ao passo que há miras de pouco mais de 7 m no mercado externo) poderá ser necessário empregar um teodolito para leitura de ângulos verticais a partir do momento em que a mira ficar abaixo da altura da visada horizontal. As distâncias na zona submarina serão determinadas por meio de estadimetria. Em praias abrigadas a semi-expostas tal procedimento permite levar o perfil para além da zona de arrebentação, em muitos casos até a profundidade de fechamento. Em praias expostas se torna indispensável o emprego de embarcação com ecobatímetro e sistema de posicionamento por satélite (GPS ou DGPS) para a extensão do levantamento a toda a antepraia até o limite com a plataforma continental interna.

O ajuste do nivelamento ao nível médio do mar deverá ser feito a partir de uma referência de nível (RN) conhecida ou, na sua ausência, a partir da

determinação do nível do mar, no momento da observação, na posição do refluxo máximo da onda na face da praia, sob condições de mar calmo, posteriormente corrigido com auxílio da tábua de marés, conforme metodologia explicitada em Muehe *et al.* (2003).

### 2.2 Navegação

Durante o levantamento é fundamental que seja mantida uma trajetória a mais próxima possível do perfil planejado, o que requer habilidade e experiência do navegador. Para isto é mais fácil manter a direção navegando do mar em direção à terra.

Para a localização do perfil e o registro das coordenadas deve ser usado um programa de navegação, acoplado a um sistema de posicionamento por satélite GPS ou, preferencialmente DGPS.

Um programa disponível gratuitamente na internet é o *GPS TrackMaker* desenvolvido por Odilon Ferreira da Silva, podendo ser acessado no site [www.gpstm.com](http://www.gpstm.com). Para plotar a posição do perfil deve-se reproduzir eletronicamente (*scanning*) o mapa da área, salvá-lo no formato gif ou jpg, importá-lo no Trackmaker e efetuar o georeferenciamento, introduzindo as coordenadas de dois pontos do mapa, devendo-se ter o cuidado de selecionar o mesmo datum do mapa utilizado. A figura 1 mostra um segmento de litoral próximo ao cabo Frio com a localização de um perfil, cujas coordenadas extremas são introduzidas na memória do GPS (*waypoints*) para a determinação do rumo de navegação.

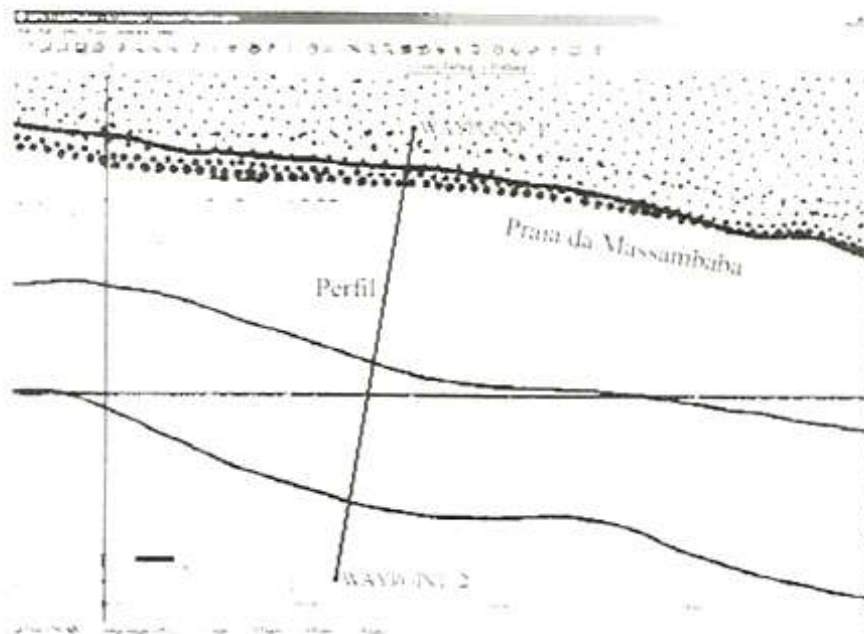


Figura 1. Reprodução da tela do monitor de parte de mapa do IBGE em coordenadas UTM, importado e georeferenciado no programa GPS TrackMaker mostrando a posição de um perfil

Para posicionar a embarcação no início do perfil, seleciona-se através do comando "GOTO" do GPS, o destino (*waypoint*) desejado, seguindo as instruções de direção na tela do GPS até o início do perfil. Nesse ponto seleciona-se a posição do final do perfil, em terra, passando-se a navegar na direção deste ponto de acordo com as direções indicadas no GPS. Ao mesmo tempo a posição da embarcação é mostrada na tela do computador, o que permite comparar continuamente a trajetória da embarcação com a posição programada. Como há um lapso no tempo de reação entre a plotagem da posição na tela do computador e a posição da embarcação deve-se realizar as correções de rota seguindo as instruções apresentadas na tela do GPS.

### 2.3 Batimetria

Para a batimetria deve ser empregado um ecobatímetro devidamente calibrado de acordo com a velocidade de propagação do som na água, na área do levantamento, já que esta velocidade varia com a temperatura e salinidade. Esta calibração é feita por meio do lançamento de uma placa refletora presa a um cabo, cuja profundidade, conhecida através do comprimento do cabo, é comparada com a profundidade indicada pelo ecobatímetro que é então ajustado à profundidade correta. Esta operação é repetida para várias profundidades aumentando assim a precisão da calibração.

Para o ajuste do perfil batimétrico ao perfil topográfico, a embarcação deverá se aproximar da zona de arrebenção e lançar âncora. A profundidade próxima ao transdutor do ecobatímetro será determinada por nivelamento a partir da praia, colocando-se a mira topográfica ao lado da embarcação. A equipe em terra deverá informar, via fonia, a profundidade determinada através da leitura da mira para a correção da

profundidade registrada no ecobatímetro. Este ajuste topográfico também pode ser feito, com excelente precisão, por meio de uma estação total na qual a medição é feita por meio de um feixe laser refletido num prisma colocado no topo da mira ou outro suporte de comprimento conhecido.

Em vista da geralmente curta duração do levantamento (em torno de 15 minutos para perfis da ordem de 1 km) uma única calibração ao datum vertical é suficiente, devendo ser feita ao término do levantamento, considerando que o perfil foi levantado do mar em direção à terra. Em regimes de micro-maré, com variações horárias de altura da ordem de 10 cm a 20 cm, levantamentos com duração de 30 minutos não provocarão erros inaceitáveis no levantamento. Para perfis mais longos ou variações horárias maiores deverá se realizar o levantamento na estufa da maré, podendo ser tanto na estufa de vazante quanto na de enchente. Tais procedimentos eliminam a necessidade de correção pela altura da maré, geralmente não disponível com a precisão necessária, permitindo, além disso, uma boa comparação entre perfis, no caso de novos levantamentos do mesmo perfil.

Quando utilizado um ecobatímetro analógico a topografia do fundo é continuamente registrada em papel na forma de um perfil, enquanto as coordenadas são registradas no programa de navegação em intervalos de segundos (Fig. 2). Para associar posteriormente as profundidades ao longo do perfil às correspondentes coordenadas, deverão ser inseridas marcas de posição no papel do ecograma em intervalos de 10 s a 30 s de acordo com a complexidade da topografia e a velocidade da embarcação, utilizando-se do horário indicado no GPS. O horário deverá ser anotado junto a cada linha de marcação. Apesar de ser possível compartilhar o mesmo GPS com o navegador, é preferível o operador do ecobatímetro utilizar um segundo GPS.

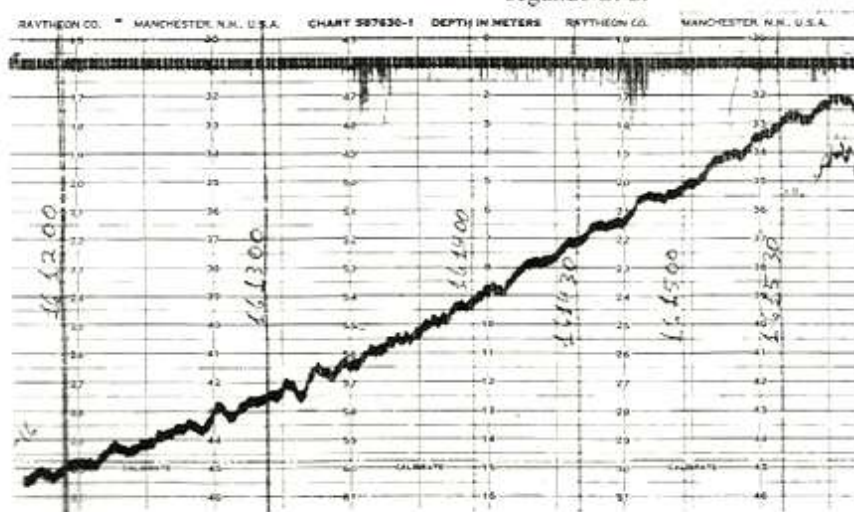


Figura 2. Exemplo de um registro batimétrico com as marcas de posição e tempo (hora, minuto e segundo), para posterior associação com as coordenadas geográficas registradas no programa de navegação.

### 2.4 Correção de Desvios da Rota

A manutenção da rota é difícil devido aos efeitos combinados de ondas, correntes e vento, de modo que uma rota prevista pode se tornar uma trajetória em zigue-zague, resultando num perfil mais longo que o real e com erros de declividade da topografia. Para reduzir este erro é proposta uma planilha que retifica cada segmento entre coordenadas, tornando-o paralelo à direção planejada. Esta é definida pelo arco tangente do quociente das diferenças entre as coordenadas X,Y extremas do perfil (em UTM):

$$Dir.Planej. = \text{Atan} \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}$$

onde  $X_1, Y_1$  e  $X_2, Y_2$  são, respectivamente, as coordenadas do perfil em terra e no ponto extremo do perfil no mar.

A figura 3 reproduz a planilha eletrônica (Excel), ressaltando em cinza as colunas de entrada de dados. Os espaços em branco, no cabeçalho, se destinam às coordenadas do início do perfil, em terra, e da direção da rota planejada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Correção da orientação e comprimento de segmentos entre coordenadas UTM											
2	Perfil: Exemplo											
3												
4	X-UTM	Y-UTM	Xn-Xn+1	Yn-Yn+1	Atan (rad)	Direção	C (m)	C-acum. (m)	Direção Planejada	Cc(m)	Cc-Acum	Prof. (m)
5	797642	7458847							80.88			
6												
7	797601.1	7458738	40.871	109.461	1.213443	69.53	117	117	11.35	115	115	5.4
8	797599.2	7458726	1.929	11.047	1.397922	80.09	11	128	0.79	11	126	5.7
9	797598.9	7458714	0.255	12.926	1.551071	88.87	13	141	7.99	13	139	6.9
10	797597.3	7458632	1.607	81.254	1.551021	88.87	81	222	7.99	80	219	6.4
11	797596.3	7458667	1.016	35.121	1.541876	88.34	35	257	7.46	35	254	7.2
12	797595.3	7458701	1.053	33.273	1.53916	88.19	33	291	7.31	33	287	6.45
13	797593.7	7458619	1.607	81.253	1.551021	88.87	81	372	7.99	80	367	5.3
14	797590	7458605	3.712	14.706	1.323547	75.83	15	387	5.05	15	382	5.4
15	797586.3	7458594	3.64	11.013	1.251581	71.71	12	399	9.17	11	394	5.9
16	797570.3	7458563	16.012	31.089	1.095191	62.75	35	434	18.13	33	427	7
17	797553.8	7458509	16.451	53.25	1.271159	72.83	56	489	8.05	55	482	9.0
18	797540.9	7458462	12.92	47.778	1.306696	74.87	49	539	6.01	49	532	12.5
19	797529	7458377	11.94	84.744	1.430923	81.90	86	624	1.10	86	617	15.75
20	797516.9	7458285	12.087	92.131	1.440348	82.53	93	717	1.65	93	710	18.8
21	797510.5	7458220	6.408	64.533	1.471823	84.33	65	782	3.45	65	775	21
22	797498.7	7458141	11.83	79.204	1.422531	81.50	80	862	0.62	80	855	22.45
23	797495.8	7458084	2.842	57.213	1.521163	87.16	57	920	6.28	57	912	23.55
24	797465	7457996	30.825	88.067	1.234106	70.71	93	1013	10.17	92	1004	24.75
25	797399.4	7457681	65.574	115.092	1.062914	60.33	132	1145	20.55	124	1128	26.75
26	797369.3	7457828	30.13	52.98	1.053706	60.37	61	1206	20.51	57	1185	27.6
27	797337.4	7457773	31.877	54.793	1.043888	59.81	63	1270	21.07	59	1244	28.4
28	797319.9	7457664	17.544	108.65	1.410706	80.83	110	1380	0.05	110	1354	30
29	797286.1	7457541	53.747	122.716	1.157984	66.35	134	1514	14.53	130	1484	31.5
30	797246.1	7457483	19.979	58.722	1.242851	71.21	62	1576	9.67	61	1545	32.3

Obs. Insira os dados nas colunas A, B, L e I5. Se o perfil vai em direção à costa selecione as colunas A e B e pressione o botão A-Z (Classificação Crescente). Repita a operação na coluna das profundidades. Nas células A5 e B5 insira as coordenadas do perfil em terra a fim de acoplar o perfil subaéreo ao submarino. Verifique se o datum escolhido está correto.  
 Definições: C comprimento do segmento; c-acum comprimento acumulado; Direção arco tangente do segmento medido; Direção Planejada, arco tangente do segmento planejado; Cc Comprimento do segmento corrigido; Cc-Acum, comprimento do segmento acumulado.

Figura 3 - Exemplo de planilha de cálculo de comprimento dos segmentos e correção de desvios de rumo durante a navegação.

A programação da planilha é listada no anexo I.

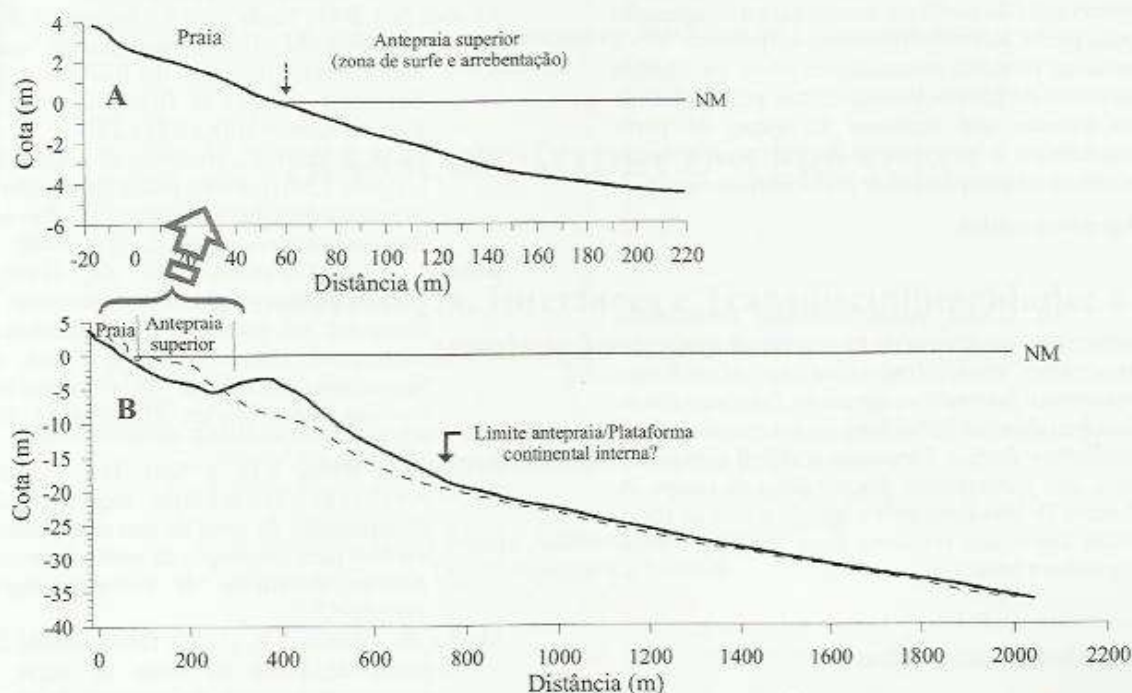
### 2.5 O Perfil Topo-Batimétrico

Os dados do nivelamento topográfico da praia e da batimetria, expressos em distâncias e cotas são plotados em um gráfico 2D empregando

programas gráficos a exemplo do *Microsoft Excel*, *Bmap* do Coastal Engineering Research Center (CERC), *Grapher* da Golden Software entre outros. Na figura 4 é apresentado um exemplo do resultado do acoplamento entre os dados levantados por nivelamento convencional da praia e antepraia superior com os dados batimétricos

obtidos por ecobatimetria, empregando o programa Grapher da Golden Software. Como há uma pequena

superposição entre os dois levantamentos, em termos de profundidade e distância, a junção entre os dois perfis é perfeita.



**Figura 4.** Superposição de dois perfis topo-batimétricos. Em "A" o perfil da praia e zona de surfe levantado por nivelamento topográfico tradicional e em "B" o resultado do acoplamento do nivelamento topográfico com o perfil eco-batimétrico. A superposição do perfil levantado após uma tempestade excepcional (linha cheia) com um perfil representativo de condições antes da tempestade (linha tracejada), fornece uma idéia do enorme volume de sedimentos mobilizados. O possível limite da antepraia em direção à plataforma continental interna é evidenciado pela mudança de declividade e a convergência da batimetria entre os dois perfis.

### 3. Considerações Finais

O estudo da antepraia é relativamente recente no Brasil. Dentre os trabalhos pioneiros cita-se Muehe e Carvalho (1993) realizado defronte à praia da Massambaba, entre Saquarema e Arraial do Cabo (RJ), onde o limite da antepraia foi identificado visualmente através da mudança de declividade do perfil batimétrico observado. Ainda no litoral do Rio de Janeiro, Fernandez e Muehe (1998) estudaram o efeito de lamas fluviais na declividade da antepraia no embaçamento Rio das Ostras Cabo Búzios. Estudos realizados no litoral norte do Rio Grande do Sul por Gruber e Nicolodi (1998); Almeida *et al.* (1999); Gruber (2003), Gruber *et al.* (2003) indicaram, em termos gerais, um equilíbrio do perfil da antepraia. Já Fachin (1998) estudando a antepraia do sul do Rio Grande do Sul, entre a Lagoa do Peixe e o Farol de Albardão, não encontrou ajustes satisfatórios ao empregar a equação de equilíbrio de Dean (1977), devido a influência da geologia, da grande variabilidade granulométrica dos sedimentos e da presença de sedimentos coesivos. O autor levantou um significativo número de perfis ao longo

de todo o trecho investigado resultando na identificação de diferenciações dos perfis em termos de declividade. Em Pernambuco, na praia de Serinhaém, Manso *et al.* (2001) buscaram ajustar a equação de Dean para as características sedimentares e morfodinâmicas locais. A diferença entre o perfil de equilíbrio teórico e o perfil observado indicou a ocorrência de déficit sedimentar, concordante com a erosão observada na linha de costa. Roso (2003) testou o ajuste de perfis observados aos perfis teóricos empregando diferentes equações de perfis de equilíbrio na praia de Itaóca (ES). Para a equação de Dean foi observado um fraco ajuste devido à ocorrência de sedimentos reliquias abaixo da cobertura sedimentar moderna, cuja granulometria não se ajusta às características morfodinâmicas locais. Observa-se, assim, que o estudo da antepraia e sua caracterização ao longo do litoral brasileiro encontra-se em fase inicial, sendo de fundamental importância a continuidade e expansão desses trabalhos para identificação de segmentos em desequilíbrio erosivo, para o estabelecimento da profundidade de fechamento e para a avaliação da

amplitude de retrogradação da linha de costa em ajustamento a uma elevação do nível do mar. Em todos estudos citados verifica-se a necessidade de observação do perfil em campo para a comparação com perfis teóricos. Considera-se portanto que a presente proposta metodológica possa ser adotada na rotina de futuros levantamentos, principalmente no aspecto que concerne ao ajuste do perfil batimétrico a um datum vertical para a maior acurácia na comparação de perfis teóricos e reais.

#### Agradecimentos

Ao CNPq pelos recursos financeiros fornecidos no âmbito do Projeto *Geomorfologia e processos morfodinâmicos na plataforma continental interna e antepraia no Estado do Rio de Janeiro*, Proc. 470792/03-5. Aos pesquisadores *Guilherme Borges Fernandez e David Canabarro Savi*, que participaram dos trabalhos de campo. À Rosuita Helena Roso pela a revisão crítica do texto, assim como aos revisores desta revista, pelas sugestões e críticas.

#### Referências Bibliográficas

- Almeida, L.E.S.B., Rosauro, N.L., Toldo Jr., E.E. e Gruber, N.L.S. (1999). Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (13)*. Anais. CD-Rom. 11p.
- Bruun, P. (1954). *Coast erosion and the development of beach profiles*. Technical Memorandum n° 44. Beach Erosion Board, US Army Corps of Engineers, Washington. 79 p.
- Dean, R.G. (1977). Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf coasts. *Ocean Engineering Report No. 12*, Department of Civil Engineering, University of Delaware. 45 p.
- Emery, K.O. (1961). A simple method of measuring beach profiles. *Limnological Oceanography*, 6:90-93.
- Fachin, S. (1998) *Caracterização do perfil de equilíbrio da antepraia na costa do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS/Geociências. Porto Alegre. 114p.
- Fernandez, G.B. & Muehe, D. (1998). A influência de sedimentos fluviais na morfologia da praia e antepraia no embaiamento Rio das Ostras - Cabo Búzios - (RJ). *Geosul 14 (27)*:201-207.
- Gruber, N.L.S. (2003). *A antepraia na região de Tramandaí - RS*. Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Gruber, N.L.S. e Nicolodi, J. (1998). Limites externos da antepraia (shoreface) em plataforma continental de Tramandaí RS. *Simpósio Nacional de Geomorfologia, 11. Geosul, Edição Especial, UFSC, Florianópolis*. p. 235-238.
- Gruber, N. L.S.G., Toldo Jr., E.E., Barboza, E.G. e Nicolodu, J.L. (2003). Equilibrium beach and shoreface profile of the Rio Grande do Sul coast - South of Brazil. *Journal of Coastal Research, SI, 35*:253-259.
- Manso, A.V., Toldo, E.E., Medeiros, C. e Almeida, L.E.S.B. (2001). Perfil praial de equilíbrio da praia de Serinhaém, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geomorfologia, 2(1)*:45-49.
- Muehe, D. e Carvalho, V.G. de, (1993). Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico, 41(1/2)*:1-12. São Paulo.
- Muehe, D., Roso, R.H. e Savi, D.C. (2003). Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia.. *Revista Brasileira de Geomorfologia, 4(1)*:53-57.
- Muehe, D., e Souza, S.R. (1997). Determinação do perfil de praia na zona de surfe e arrebenção através do emprego do trenó submarino. *Notas Técnicas, 10*:1-5.
- Roso, R.H. 2003. *Avaliação da aplicabilidade dos conceitos de morfodinâmica de praia no planejamento de desembarques anfíbios*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.